Handlingsplan



mot buller

SOU 1993:65

Bilagedel till betänkande av Utredningen för en handlingsplan mot buller

Ref KB Occ

Statens offentliga utredningar
1993:65
Miljö- och naturresursdepartementet

Handlingsplan mot buller

Bilagedel

Bilagedel till betänkande av Utredningen för
en handlingsplan mot buller
Göteborg 1993

SOU och Ds kan köpas från Allmänna Förlaget som ingår i C E Fritzes AB. Allmänna Förlaget ombesörjer också, på uppdrag av Regeringskansliets förvaltningskontor, remissutsändningar av SOU och Ds.

Beställningsadress: Fritzes kundtjänst
106 47 Stockholm
Fax: 08-20 50 21
Telefon: 08-690 90 90

Tryck: Graphic Systems AB, Göteborg 1993

ISBN 91-38-13399-7
ISSN 0375-250X

Bilagor

SOU 1993:65

Bilaga 1 Kommittédirektiv

Bilaga 2 EG-direktiv

BILAGEDEL

Bilaga 3 Medicinska synpunkter på bullerproblem
av Alf Axelsson, Sahlgrenska sjukhuset, Göteborg

Bilaga 4 Omgivningsbullers effekter på människor
av Ewy Öhrström, Göteborgs universitet

Bilaga 5 Talkommunikation i buller
av Stig Arlinger, Universitetet i Linköping

Bilaga 6 Buller och inlärning
av Staffan Hygge, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle

Bilaga 7 Priset på tystnad, en enkätstudie om människors värdering av bullerdämpande åtgärder
av Tor Kihlman, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
Sören Wibe, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå m fl
Siv M Johansson, Högskolan i Karlstad

Bilaga 8 Flygbullermått och krav på mätförhållanden
av Conny Larsson, Meteorologiska institutionen, Uppsala universitet

Bilaga 9 Bullerexponerade i Sverige, Hur många är det egentligen? En jämförelse mellan TBU, 1973 och Wittmark 1992
av Björn Wittmark, Wittmark & Wilson AB

Bilaga 10 Trafikbullerutveckling 1974 - 2010, historia och tekniska möjligheter
av Lars Avellán, Ecotraffic AB

Bilaga 11 Åtgärder mot däck/vägbanebuller
av Ulf Sandberg, Statens väg- och trafikinstitut

Bilaga 12 Flygbullret i Sverige - en underlagsrapport
av Sten Ljunggren, DNV Ingemansson AB

Bilaga 13 Spårtrafikbuller, förslag till handlingsprogram
av Leif Åkerlöf, DNV Ingemansson AB

Bilaga 14 Synpunkter på reglerna för industrins omgivningsbullerstörningar
av Lars Landström, DNV Ingemansson AB

Bilaga 15 Byggbuller, förslag till handlingsprogram
av Leif Åkerlöf, DNV Ingemansson AB

Bilaga 16 Tekniska aspekter på bullret som arbetsmiljöproblem
av Hans Elvhammar, DNV Ingemansson AB

Bilaga 17 Buller i det militära försvaret. Ett underlag till utredningen "Handlingsplan mot buller"
av Janne Kjellsson, Fst/Plan 2

MEDICINSKA SYNPUNKTER PÅ BULLERPROBLEM

Alf Axelsson, Sahlgrenska sjukhuset, Göteborg

Disposition

Inledning

Bullerskadan

A. Orsak:

1) Arbetsbuller

a) riskgränser

2) Fritidsbuller

3) Leksaksbuller

B. Subjektiva symtom

C. Vad händer med hörselorganet?

D. Samhällets kostnader för bullerskadan

E. Behandling

F. Profylax

G. Forskning

Inledning

Orsaken till den hörselnedsättning som vi benämner bullerskada är alltför starkt buller under alltför lång exponeringstid. Bullret kan, förenklat uttryckt, vara av två olika karaktärer, antingen kontinuerligt, d v s ihållande höga ljudnivåer eller impulsartat, d v s slagljud eller skottljud. Det senare begreppet innebär ljud av kort varaktighet. Båda typer av buller, kontinuerligt ljud och impulsljud, förekommer såväl i arbetssammanhang som på fritiden och också hos leksaker. Att långvarig bullerexponering medför hörselnedsättning är känt sedan lång tid. Liksom vid andra arbetsrelaterade sjukdomar räknade man förr med att vissa yrkesgrupper fick en hörselnedsättning. Detta accepterades som någonting ofrånkomligt som följde med yrkesutövningen. Det är egentligen först efter andra världskriget som man har börjat intressera sig för att bekämpa arbetsrelaterade sjukdomstillstånd, t ex bullerskada.

Problemen med arbetsbetingat buller och bullerskador hänger intimt ihop med industrialismen och med användning av vapen. Tills inte alltför länge sedan har det rått en relativt ojämn kamp mellan bullerprofylaktiska åtgärder å ena sidan och strävan efter förbättrade prestanda inom industrin å den andra vilket oftast också medfört mera buller. Oftast har bullerprofylax kommit på efterkälken i denna kamp. Man kan emellertid säga att medvetenheten om bullerproblemen numera är ganska stor i samhället. Samtidigt som det finns tecken på att arbetsbullret tenderar att minska finns det dessvärre motsatta tecken vad gäller fritidsbuller.

Ytterligare ett incitament att åtgärda skadligt buller var det mycket stora antalet hörselskadade soldater som återvände efter andra världskriget och de därpå följande krigen i Korea, Vietnam etc.

Det är också värt att notera att det nästan inte finns några naturliga ljud, vare sig kontinuerliga eller av impulskaraktär, som ligger vid sådana ljudnivåer att hörseln skulle kunna skadas. Undantag för kontinuerliga ljud utgör t ex mycket höga vindhastigheter, vattenfall, jordbävningar, och när det gäller impulsljud, åskknallar, möjligen en hagelskur, och slutligen kan man tänka sig att vissa djur genom sina läten, åtminstone tillfälligtvis, kan åstadkomma ganska höga ljudnivåer. I princip ligger emellertid alla sådana naturliga ljud betydligt under nivåer som innebär risk för hörselnedsättning.

BULLERSKADAN

A. Orsak

1) Arbetsbuller

I en rapport från Bygghälsan (14) har man relativt nyligen visat att hörselstatus hos arbetare vid Bygghälsan 1990 var jämförelsevis bättre för alla yrkesgrupper jämfört med 12 - 13 år tidigare. I en färsk rapport från Arbetarskyddsnämnden 1992 (4) kunde man på likartat sätt visa att hörselstatus förbättrats vid tre stora industrier i Göteborg, Gatukontoret, Volvo och SKF, vid jämförelser med hörselstatus 10 - 15 år tidigare. De ökade kunskaperna om bullret, bullerskadans uppkomst och profylax mot bullerskador har medfört att man idag med rätt kan hävda att "Ingen behöver bli hörselskadad annat än genom rena olyckshändelser".

Trots detta anmäls årligen ett stort antal bullerskadade för arbetsskadeersättning vilket visar att tillgängliga kunskaper inte i tillräcklig grad sprids och omsätts i praktiken, i företagshälsovården och "på verkstadsgolvet". I den nyligen citerade rapporten från Arbetarskydsnämnden redovisas mycket klart att detta framför allt beror på en stor okunskap i alla led inom industri och företagshälsovård, alltifrån arbetsgivare till arbetsledare och skyddsombud och den enskilde på verkstadsgolvet. Fast det i arbetsmiljölagen (AFS)(2) finns fastslaget att åtgärder skall vidtagas mot hörselskadligt buller har detta ofta skett halvhjärtat och när det gäller hörselskyddsanvändning har det varit upp till den enskilde att använda hörselskydd eller låta bli.

Arbetsmarknadsförsäkringar har sedan 1974 betalat ut c:a 1.5 miljarder i engångsersättning för bullerskador. Det är uppenbart att bullerskadan förutom lidande och kostnader för den enskilde också är mycket kostnadskrävande för samhället.

Omfattningen av bullerproblemet är betydande. Enligt Arbetsmiljökommissionens rapport 1989 (3) finner vi under 4.2.2: "Skador på hörselorganen till följd av bullerexponering i arbetet är en mycket utbredd företeelse. Enligt gjorda uppskattningar är c:a 200.000-400.000 personer sysselsatta i hörselskadligt buller. En minskning av antalet bullerexponerade har troligen ägt rum under de senaste två decennierna bl.a. som en följd av nedläggningen av varv och gruvor.

Skador på hörselorganen till följd av buller har bedömts som "onödiga" eftersom hörselskadligt buller på arbetsplatsen kan undvikas helt genom rätt teknik och/eller rätta skyddsåtgärder.

Buller har för övrigt effekter inte bara på hörselorganen. Det kan även

vara psykiskt påfrestande, och ger troligen också effekter på cirkulationsorganen".

Sammanfattning
Bullerskadan är alltså onödig, dyrbar, obotlig, invalidiserande och bullret påverkar vår livskvalitet på en rad områden.

E. Riskgränser (31,58)
I vår tid kommer det att vara omöjligt att bestämma var riskgränsen för skadligt buller går. Det finns inte nu som förr möjlighet att undersöka populationer som stannar mycket länge på samma arbetsplats och som vistas i ett enahanda buller under mycket lång tid utan personlig skyddsutrustning. Ett klassiskt exempel på en sådan bullerexponerad population är Taylors och medarbetares undersökningar av jutevävare i England där de anställda hade arbetat i upp till över 50 år i samma maskinbuller och utan hörselskydd (52).
För kontinuerligt buller gäller riskgränsen Leq 85 dBA i Sverige och flera andra länder. Det anses alltså att man kan arbeta i 85 dBA under 8 tim per dag 5 dgr i veckan under ett helt arbetsliv utan hörselskydd utan att få en bullerskada. Detta är emellertid en statistisk gräns och sanningen gäller på 91%-nivån, d v s 9% av bullerexponerade arbetare skulle i detta buller ändå ådra sig en hörselskada. Motsvarande siffra för 80 dBA är 4%.
En annan vedertagen gräns har varit en maximal permanent hörselförlust på 10 dB vid 1000 Hz och därunder, 15 dB vid 2000 Hz, och maximalt 20 dB vid 3000 Hz och däröver efter 10 år eller mer i buller det s.k. CHABA-kriteriet (34).

Temporary threshold shift (TTS)
Om man utsätts för tillräckligt starkt buller under tillräckligt lång tid uppkommer först en tillfällig hörselnedsättning, TTS. Nästan alla människor har upplevt en sådan TTS i samband med att de utsatts för starkt buller, t ex en flygresa, på popkonserter, diskotek, i samband med skytte el liknande. Symtomen är lockkänsla för öronen och ofta susning (tinnitus). Besvären brukar, om de är måttliga, gå över på någon timme. Eftersom man inte kan använda den permanenta hörselnedsättningen i forskningssyfte har man i stället använt TTS, som ju inte lämnar en bestående hörselnedsättning och som därför av etiska skäl kan användas i dessa sammanhang.

Sådana TTS-experiment visar att hörselnedsättningen ökar snabbt under exponeringens början men småningom avtar och planar ut till en s k asymtotisk tröskel (ATS), d v s vid fortsatt ljudexponering för samma ljud ökar inte hörselnedsättningen ytterligare.

H §± VÉ I mitten av 1960-talet fanns det ett stort forskningsintresse i USA för TTS. Man hävdade bl.a. att återhämtningen från TTS var oberoende av vilken typ av ljud som orsakat TTS. Det har visat sig att detta inte är korrekt bl.a. för impulsljud. Man hävdade också på 60-talet att alla exponeringar som orsakade lika stor TTS var lika farliga. Detta har heller inte kunnat bekräftats i senare undersökningar (39). Däremot hävdade man redan för länge sedan att en asymtotisk tröskelförändring (ATS) d.v.s. en hörselförlust som inte ökade vid ytterligare exponering också innebär den maximala hörselförlusten för en viss typ av exponering och detta har man kunnat bekräfta i senare undersökningar (38,41,42).

När det gäller intermittent buller har man också visat att pausernas resp. bullerperiodernas längd och förhållande till varandra är av betydelse för den uppkomna temporära hörselnedsättningen (55). Ju längre bullret varade och ju kortare intervallerna varade desto större TTS.

Effective quiet

Man har också diskuterat uttrycket "effective quiet" (57) d.v.s. försökt definiera det starkaste buller som varken producerar TTS eller PTS. Dessa ljudnivåer varierar mellan 77 dB SPL för oktavband vid 250 Hz och minskar till 65 dB för oktavband vid 4 kHz. Som en sammanfattande tumregel för "effective quit" kan man alltså använda ljudnivån 70 dB.

När det gäller bredbandsbrus så tycks gränsen för skadligt buller (=ingen TTS) ligga på 76 dBA (57), medan studier av ATS snarare antyder en gräns på 78 dB A (40). Sammantaget kan man alltså säga att en säker gräns för bredbandigt buller d.v.s. ljudnivå som varken orsakar en temporär eller permanent hörselnedsättning ligger vid 75 dBA medan för rena toner kriteriet varierar mellan 77 dB SPL för låga frekvenser och 65 dB SPL i diskanten.

Impulsljud

I det ovannämnda CHABA-kriteriet angavs 140 dB som en övre gräns, och ovanför denna bedömdes bullret som hörselskadligt.

När det gäller impulsljud har vi i Sverige en gräns på 140 dBC peak. Impulsljud är ljud av mycket kort varaktighet såsom ett skottljud eller ett

slagljud. Dessa är betydligt farligare för sinnesorganet hörsel än kontinuerligt ljud. Vid tillräckligt höga ljudnivåer sker en omedelbar mekanisk skada i innerörat. Det mest förrädiska med impulsljuden är att de "lurar" hjärnan - p g a deras korta varaktighet uppfattas ljuden som lägre än de egentligen är (13). En mindre påsksmäll som kanske inte "låter" speciellt högt kan utan vidare ha impulstoppvärde på över 140 dBC vid örat.
Flera nyare undersökningar visar att det finns många olika faktorer som bidrar till impulsljudens farlighet 17,19,25. Det är f n oklart i vilken grad dessa olika faktorer bidrar. Det kanske inte bara är det absoluta toppvärdet som är avgörande utan frekvensinnehållet i impulsen, durationen av impulsen, intervallet mellan flera impulser, den akustiska miljön (fritt fält utan ekoeffekt eller reflekterande ytor i närheten etc.) (56). Infallsvinkeln av ljudet mot örat kan också medverka.
När det gäller gränsvärden för impulsbuller har dessa av naturliga skäl varit svåra att bestämma när det gäller permanent bullerskada. Nästan inga exponerade har registrerat eller vet hur många impulser och vid vilka nivåer de exponerats. Man har därför varit hänvisad till djurförsök och använt experimentdjur som är så lika människan som möjligt när det gäller känslighet.
De flesta "experter" är överens om att impulsljuden troligen innebär en större risk för hörselskador än kontinuerligt ljud p g a att de ofta inträffar överraskande (man hinner inte skydda sig), därför att ljudnivån bedöms som lägre än den är och p g a innerörats bristande förmåga att kompensera denna typ av ljud (26). Ljudförloppet är alltför kortvarigt för att kompensations-mekanismer skall kunna sätta in (förbättrad blodcirkulation och syresättning).

Sammanfattning
Riskgränser för buller varierar en del mellan olika länder. I Sverige använder vi för kontinuerligt buller en gräns av 85 dBA, d.v.s. vi anser att en arbetare med oskyddade öron kan vistas i 85 dBA 8 tim./dag, 5 dagar/vecka under ett helt arbetsliv utan att hörselskada uppkommer. Definitionsmässigt är detta emellertid en statistisk gräns som innebär att c:a 10% av arbetare exponerade för detta buller kommer att erhålla en bullerskada. För att komma ner på en säkert oskadlig nivå av kontinuerligt buller måste ljudnivån understiga 75 dB.
När det gäller impulsljud använder vi i Sverigen en riskgräns på 140 dBC peak. Detta är också ett internationellt vedertaget gränsvärde. Det är

oklart om hörselskador kan uppkomma vid ljudnivåer strax under 140 dBC peak. Impulsbuller är mer "förrädiska" än kontinuerligt buller eftersom de p.g.a. sin korta varaktighet "lurar" hjärnan.

2) Fritidsbuller

Samtidigt som det finns tydliga tecken på att omfattningen av bullerskador inom industrin minskar så är situationen inte lika ljus när det gäller fritidsbullret (5,10). När det gäller arbetsbuller finns det föreskrifter och lagar, tillsynsmyndigheter, företagshälsovård med hörselkontroller o.s.v. Motsvarande saknas när det gäller fritidsbuller. Intresset för att bekämpa bullret är svagt utvecklat. Exempel på bullrande fritidsaktiviteter framgår av nedanstående tabell

Musik	Skytte
Pop/rock konserter	Jakt
Jazzkonserter	Tävlingsskytte
Diskotek	Hemvärn
Bärspelare	Militärtjänst
Bilstereo	
Motorsport	Övriga
Tävlingsbilar/motorcyklar	"Hemmasnickeri"
Mopeder	Gräsklippning
Vattenscooter/snöscooter	
Lekar/spel	
Modellplan	Videospel
Motocross	Fyrverkeri
Speedway	Knallpulverpistoler
Utombordsmotorer	Visselpipor

Till detta kan läggas vissa aktiviteter i hemmet som användning av olika typer av hushållsmaskiner t.ex. dammsugare, matberedningsapparater etc. Ljudnivåerna från dessa ligger ofta mellan 80 och 90 dBA. Exponeringstiden är i allmänhet kort men för individer som är buller-exponerade i arbetet eller på fritiden för övrigt kan användning av sådana apparater utgöra ett visst tillskott till den totala bullerdosen.
Under de sista 20 - 30 åren har det vuxit fram ett mycket stort intresse för modern musik. I takt med elektronikens frammarsch har också högtalar-

anläggningar och förstärkare gjort att musiken kan framföras vid mycket höga ljudnivåer. Ofta drar sådana pop/rockgalor 10.000-tals åhörare vid ett enda tillfälle. Under 1970-80-talet ökade ljudnivåerna successivt och man hade ofta en känsla av att det fanns en icke uttalad tävlan mellan de olika orkestrarna om vem som kunde producera högst ljudnivåer. För 15 år sedan var det vanligt att den maximala förstärkareffekten uppgick till c:a 20.000 watt; numera är det mer eller mindre standard att man använder 100.000 watt i förstärkare vid stora konserter. Amerikanska ljud-nivåmätningar i samband med rockkonserter har visat genomsnittsvärde på 103. 4 dBA (16). Vid inomhuskonserter på Scandinavium har ljudnivåer mellan 97 och 110 dBA uppmätts med toppvärden mellan 124 och 140 dB. Vid 10 konserter var ljudnivån i medeltal 101 dBA (10).

Man har i Norge påvisat att hörselstatus hos unga norrmän som mönstrar i 18-årsåldern försämrats på några år så att 1987 35% av de som mönstrade uppvisade en hörselnedsättning. 1981 var motsvarande siffra 17%. Man tror att detta framför allt beror på musikexponering eftersom 18-åringarna ännu inte nämnvärt utsatts för arbetsbuller (12).

Det är naturligt att man har oroat sig för den eventuella hörselskadliga effekten av pop/rockmusik inte bara vid konserter utan också vid diskoteksbesök. När man betänker hur många ungdomar som årligen besöker denna typ av musikaktivitet, d.v.s. miljontals, kan man konstatera att det finns mycket få fall kända där exponeringen för musik lett till en omedelbar hörselnedsättning. Troligen innebär den exponering som ungdomar i allmänhet utsätts för, d.v.s. ett fåtal pop/rockkonserter per år och något diskoteksbesök per vecka under 3 - 4 timmar, en ganska begränsad exponering som nästan alltid tycks innebära att man är på den "säkra sidan".

Man har också oroat sig för den utbredda användningen av bärspelare (freestyle-apparater). Anledningen till detta är att bärspelarna kan producera höga ljudnivåer. Användningen innebär teoretiskt lång exponeringstid eftersom kasettbandspelarna är bärbara. Bärspelare reproducerar impulsljud bra och man stör inte omgivningen såsom med frifältshögtalare. Därför får användarna inte kritik från omgivningen vad gäller ljudnivåerna.

Man har också ansett att de som använder bärspelare har sämre hörsel än icke användare (21,43). Detta har vi i våra egna undersökningar icke kunnat bekräfta utan det tycks som om bärspelare inte innebär någon omedelbar risk för hörselnedsättning hos ungdomarna på det sätt som de

i allmänhet används, d.v.s. under någon timma/dag eller vecka vid ljudnivåer mellan 85 och 95 dBA (28,29).

En ny företeelse som kan vara bekymmersam är den ökade användningen av kraftiga högtalaranläggningar inne i bilar och man har kunnat montera ett stort antal högtalare och åstadkomma ljudnivåer uppåt 120 dBA. I flera amerikanska stater har man nu börjat bötfälla bilförare som "missbrukar" bilstereoanläggningar p.g.a. den störande effekten som de har på omgivningen.
Undersökningar av svenska förhållanden visar att ungefär 15% av tonårspojkar deltar i olika skytteaktiviteter, t.ex. hemvärn, frivillig befälsutbildning, tävlingsskytte (5,32). Jag tror att det finns ett samband mellan det stora intresset för skjutvapen hos en del tonårspojkar och det stora utbudet av våldsfilmer som ofta förhärligar användandet av vapen. Jämfört med andra typer av fritidsbuller är det helt klart att skytteaktiviteterna innebär en betydligt större risk för en omedelbar och bestående hörselnedsättning eller en fortskridande hörselnedsättning. Dessbättre tycks hörselskyddsanvändningen i militära sammanhang, i hemvärnet och på skjutbanor ha förbättrats under senare år. Pojkarna själva uttrycker emellertid ofta åsikten att en del av den "riktiga känslan" reduceras när man använder personlig skyddsutrustning.

Sammanfattning: Det görs numera betydande ansträngningar och ekonomiska investeringar för att bekämpa industribullret. Man kan konstatera att detta på ett positivt sätt medverkar till en reduktion av bullerskadorna. När det gäller fritidsbuller är situationen troligen betydligt sämre. Här finns inte samma tillgång på lagar och förordningar, övervakning och kontroll. Det är upp till den enskilde att skydda sig eller låta bli. Man har framför allt oroat sig för de höga ljudnivåerna vid moderna musikarrangemang såsom pop/rock-konserter och diskotek men också för den utbredda användningen av bärspelare. Det behövs omfattande enkät- och hörselundersökningar för att avgöra hörselskadligheten av dessa musikaliska aktiviteter (7,18). Det är troligt att aktiviteter som innebär exponering för impulsljud, framför allt skytte, är betydligt mer hörselskadliga. Eftersom man numera kan skydda sig effektivt mot denna typ av buller med olika typer av moderna hörselskydd finns det anledning att förbättra informationen om fritidsbuller och hur bullerskadan förebyggs.

3. Leksaksbuller

Man har på senare år börjat intressera sig alltmer för de bullerkällor som barn utsätts för. Bakgrunden till detta är att det finns fallbeskrivningar och kliniska erfarenheter av barn som blivit utsatta för höga ljudnivåer och som fått en hörselskada (11,22,59). I många länder, däribland i Sverige genomförs regelbundna hörselmätningar av skolbarn i olika åldrar och i samband med detta har man också påvisat att ett icke litet antal elever har hörselnedsättningar av det utseende som man finner vid tidiga bullerskador. Ljudnivåmätningar har visat att det finns ett stort antal leksaker som avger kontinuerligt buller med höga ljudnivåer t.ex. pipleksaker (6). Karakteristiskt för dessa leksaker är också att de har ett "förrädiskt utseende", de liknar runda, snälla djur och har behagliga pastellfärger. De är mycket ofta försedda med ljudgivare som alstrar en ren ton i diskanten, vilket är den typ av kontinuerligt ljud som är mest skadlig för örat. Dessutom uppgår ofta ljudnivåerna till över 100 dBA vilket förutom att de uppnår hörselskadliga nivåer också förefaller fullkomligt onödigt (6).

Barns känslighet för buller

En annan viktig faktor när det gäller leksaksbuller är att barns känslighet för höga ljudnivåer är fullständigt okänd. Av etiska skäl kan experiment icke genomföras på barn p.g.a. risken för en bestående hörselnedsättning och man har därför varit hänvisad till undersökningar på djur. Det har då visat sig att många djurslag som används i experimentsammahang har en period av ökad ljudkänslighet en tid efter födelsen, d.v.s. de är först relativt okänsliga och har sedan en onormalt ökad känslighet för att sedan återigen bli relativt okänsliga (49). Om man översätter dessa tidsperioder till mänskliga förhållanden skulle det emellertid motsvara embryonallivet i livmodern.

De undersökningar som utförts med exponering av djur har huvudsakligen gällt impulsleksaker, t.ex. påsksmällare och knallpulverpistoler. P.g.a. den korta varaktigheten hos impulsen hinner hjärnan inte uppfatta den verkliga nivån. Ett betydande antal av dessa leksaker avger impulser som överskrider den allmänt vedertagna riskgränsen för impulsljud i arbetslivet nämligen 140 dBC peak (34). På basen av kunskapsläget, vad gäller leksaker, har en förberedande grupp med representanter från konsumentorganisationer i flera europeiska länder föreslagit att man för impulsleksaker sätter ett gränsvärde på 140 dBC peak och för leksaker som avger kontinuerligt ljud ett övre gränsvärde på 80 dBA; i båda fall 2.5 cm från örat.

Nya forskningsrön har visat ytterligare en intressant och viktig faktor nämligen att den ljudförstärkning som normalt förekommer hos vuxna p.g.a. resonans i hörselgången och som ger en maximal förstärkning av ljudet vid 2.5 kHz, hos barn, p.g.a. barnens kortare hörselgång, kan ge förstärkningsfenomen betydligt högre upp i diskantområdet där ljud också är mera skadliga (51,53).

Det finns ytterligare en faktor som är viktig att ta hänsyn till när det gäller leksaksbuller och det är att leksakerna ofta inte används på ett förnuftigt sätt eller ens på det sätt som tillverkarna avsett. Istället måste man när det gäller leksaker räkna med vad som kan hända "i värsta fall", d.v.s. barnen använder leksakerna på ett vårdslöst och farligt sätt. Det händer t.ex. relativt ofta att pojkar kastar påsksmällare mot lekkamrater eller att de riktar en knallpulverpistol direkt mot örat på en kamrat. I sådana fall kan en akut akustisk olyckshändelse uppkomma med bestående hörselnedsättning för resten av livet.

Det finns ytterligare en synpunkt på ljud hos leksaker och det är att ljuden ofta är primitiva och ointressanta förutom att de är farliga. Det borde alltså vara betydligt bättre att ha ett sammansatt svagt musikaliskt ljud i leksakerna än en högfrekvent enformigt pipande ton. När det gäller impulsleksakerna är det speciellt farligt att föräldrar tror sig kunna bedöma risken med hjälp av örat. Det är mycket viktigt att betona att det nästan alltid är fullkomligt omöjligt att avgöra skadligheten hos ljudet eller bedöma ljudnivån för ljud av den korta varaktighet det rör sig om när det gäller krut som exploderar. Denna information måste på ett mycket tydligt sätt bibringas barn, lärare och föräldrar.

Sammanfattning

1. Det finns inga acceptabla skäl varför ljud från leksaker skall tillåtas alstra hörselskadligt buller.
2. Buller som alstras av leksaker kan skada hörseln på barn.
3. Man bör motarbeta att leksakerna alstrar ljud av höga frekvenser, rena toner och impulsljud eftersom dessa är speciellt skadliga för hörseln.
4. Barns känslighet för starka ljud är okänd.
5. Impulsbullerleksaker med krut som exploderar, t.ex. knallpulverpistoler och påsksmällare kan ge ett omedelbart och bestående akut akustiskt trauma.
6. Också med leksaker där en fjädermekanism utlöser slagljud mot trä, metall eller plast kan mycket höga ljudnivåer uppnås.

7. Leksakerna handhas ofta på oförnuftigt och hörselskadligt sätt.
8. Barn och föräldrar kan icke avgöra den potentiella hörselskaderisken från leksaker.

B. Subjektiva symtom vid bullerskada

Det mest dominerande symtomet på en bullerskada är hörselnedsättning.(35). Med exponering för kontinuerligt buller framträder ofta denna hörselnedsättning med smygande förlopp; hörseln försämras sakta och den som drabbas vänjer ofta in sig vid den nya hörtröskeln och märker inte att hörseln försämrats påtagligt. Det är karakteristiskt att det ofta är hustru och övriga anhöriga som uppmanar den bullerexponerade att söka hjälp för sin hörselnedsättning, fast denne själv inte tycker sig ha speciellt dålig hörsel. Karakteristiskt är att hörselnedsättningen i första hand märks i situationer med störmiljö, d v s vid gruppsamtal när flera pratar samtidigt, vid samtal i trafikbuller och liknande. Ofta anser den bullerskadade att det är "de andra" som talar otydligt snarare än att han själv tolkar besvären som beroende på dålig hörsel.
Vid försämring av hörseln är det framför allt diskanten som drabbas vilket försvårar konsonantuppfattningen. Det är konsonanterna som är informationsbärarna i språket i betydligt högre grad än vokalerna. När konsonanthörseln försämrats innebär detta språkliga missförstånd, "goddag yxskaft". Det är svårt att höra fågelsång. Man får ofta också en förvrängning av ljuduppfattningen så att t ex basljud som drabbats mindre av hörselnedsättningen än diskantljuden framträder onaturligt tydligt (diskodunk).

Ett symtom som förekommer i hög frekvens i samband med bullerskador och som inte fått tillräcklig uppmärksamhet är tinnitus (öronsus). Många bullerexponerade lider mer av tinnitus än av hörselnedsättningen. Den som har tinnitus kan aldrig uppleva tysnad. Den som inte har tinnitus och är normalhörande eller bullerskadad har stunder av tystnad när man av olika skäl inte exponeras för ljud eller önskar bli exponerad för ljud. Tinnitus finns däremot ofta dygnet runt och stör många olika aktiviteter framför allt intellektuella men också sömnen. Tinnitus förekommer både efter kontinuerligt buller och impulsbuller men det har allmänt ansetts att det är vanligare efter impulsbuller. Det finns en rad undersökningar om förekomsten av tinnitus vid bullerskador. Dessa visar mycket olika siffror beroende på vilken population man valt, vilken åldersgrupp, könsfördelning o.s.v. I stora undersökningar med någorlunda slumpartad

selektion finner man att permanent bestående tinnitus förekommer hos 20 - 30% av bullerexponerade populationer. Om man omvänt undersöker patienter med tinnitus i förhållande till deras bullerexponering finner man likaledes att ungefär en patient på tre varit exponerad för hörselskadligt buller i betydande omfattning (9). Det verkar alltså som ungefär 1/3 av alla tinnituspatienter fått sina besvär p.g.a. hörselskadligt buller.
Tinnitus är ett ovanligt opåverkbart symtom som ofta invalidiserar den drabbade mycket kraftigt. Det förekommer mycket sällan att någon behandling får tinnitus att försvinna helt. Däremot kan man ofta åstadkomma en viss lindring av besvären. Eftersom tinnitus liksom hörselnedsättning kan förebyggas på olika sätt så finns anledning att rikta större uppmärksamhet på detta ofta plågsamma symtom.

Övriga symtom
Bullerskadan medför också en rad andra påverkningar på kroppen. Eftersom buller är en stressfaktor, så har det diskuterats om buller bidrar till sjukdomar såsom förhöjt blodtryck, magsår och andra stressrelaterade sjukdomstillstånd. I korttidsförsök på friska försökspersoner har man kunnat visa en lång rad av sådana effekter på olika organsystem (1,20). Det är emellertid tveksamt om dessa mer eller mindre tillfälliga förändringar i kroppens funktioner leder till bestående sjukdomstillstånd. Det finns anledning att tro att många bullerexponerade vänjer sig vid långtidsexponering som alltså inte behöver ha direkt skadliga följder (utom på hörseln). Det behövs emellertid fler undersökningar av långtidseffekter på hälsan allmänt sett. Det är otvetydigt att buller liksom andra stressfaktorer i arbetsmiljön kan bidra till uppkomsten av sådana stressrelaterade sjukdomstillstånd.

Psykologiska konsekvenser
När den hörselskadade märker att han har svårt att kommunicera med omgivningen medför detta ofta att han isolerar sig från umgänget. Han undviker att gå på kalas och träffa andra människor därför att han då har svårt att höra vad som sägs. Man vill inte verka dum, det är obehagligt att fråga om flera gånger, och feltolkningarna leder till bristande självförtroende. Det är just bland pensionärer som umgänget med goda vänner och arbetskamrater framstår som speciellt väsentligt. Eftersom bullerskadan är vanligare ju längre man exponerat sig för buller och ju äldre man blivit så kan man också konstatera att det är just äldre bullerskadade som isolerar sig mest. Isoleringen i sin tur leder ofta till

depressioner. Om den bullerskadade dessutom lider av tinnitus, är detta ytterligare en faktor som dels försvårar talkommunikationen, dels bidrar till depression eftersom tinnitus är ett symtom som man inte kan komma ifrån utan får bära med sig dygnets alla timmar.

Det finns också betydligt mer subtila problem när det det gäller bullret; att vi lever i en mera ljudlig miljö än förr? Vilka fysiologiska och psykologiska effekter innebär det för inlärning, kommunikation och allmän inställning till olika typer av miljöproblem och välbefinnande? (15). Inte minst i skolan är situationen bekymmersam när undervisningen måste bedrivas i ett störande bakgrundsbuller av prat, skrap med bänkar och stolar etc.

Sammanfattning
Långvarig bullerexponering leder till hörselnedsättning, tinnitus och förändringar i andra funktioner beroende på bullrets stressframkallande karaktär. Hörselnedsättningen och tinnitus är obotliga symtom. Hörselnedsättningen leder till kommunikationssvårigheter vilket i sin tur leder till isolering och depression. Hörselnedsättningen kan i någon mån kompenseras av hörapparat och tekniska hjälpmedel. Det är betydligt svårare att dämpa tinnitus som medför stort lidande för många bullerskadade. Bullerskadan kan förebyggas och eftersom tinnitus är ett symtom som åtföljer bullerskadan innebär bullerprofylax också indirekt tinnitusprofylax.

C. Vad händer med hörselorganet?
Det finns ett mycket stort antal undersökningar av experimentdjur när det gäller inverkan av skadligt buller på sinnesorganet både kontinuerligt buller och impulsbuller (23,36,48,50). Gemensamt för båda är att det finns en variation mellan olika arter av experimentdjur vad gäller känslighet men också att det finns stora individuella variationer i känslighet mellan enskilda försöksdjur liksom hos människan. Det är framför allt stereocilierna, sinneshåren på sinnescellerna, som skadas av starkt buller och som ofta bryts av vid fästet till själva cellen. Man har också en ganska god uppfattning om vilken grad av skador som kan vara övergående och vilken typ av skador som blir permanenta. Man kan klart konstatera att en sinnescell som förtvinat inte kan återfå sin funktionsförmåga hos däggdjur.

Det vanligaste är att hörselskadan utvecklas långsamt beroende på att allt fler sinnesceller förtvinar och dör. Man har ofta beskrivit detta som en långsamt fortskridande process. När det gäller impulsbullerskadan rör det sig om en omedelbar skada där ljudintensiteten orsakar mekaniska skador på sinnesceller och membran i innerörat. Med impulsljud finns det också s.k. tröskeleffekter, vissa ljudnivåer är kritiskt höga och då uppkommer relativt plötsligt skador betydligt oftare. Det förekommer emellertid mycket stora individuella variationer i känslighet vid alla nivåer både för kontinuerligt buller och impulsbuller. Det är oklart vad detta beror på. När det gäller hörselnedsättning orsakad av kontinuerligt buller kan det mycket väl tänkas att det i denna också döljer sig små impulsbullerskador. Individen kanske tappar 10-15 dB i diskanten i samband med ett måttligt akustiskt trauma ena året och sedan kanske ett par år senare en lika stor förlust igen. Över lång tid ser det alltså ut som en sakta fortskridande hörselförsämring när den i själva verket är trappstegsformad. Det är värt att notera att försämringen är ganska stor innan den enskilde individen märker den subjektivt.

Man har diskuterat mycket vad som är den bakomliggande mekanismen till skadan; om det är bristande ämnesomsättning (46), om det är en direkt mekanisk skada på grund av den starka inverkan av ljudet (24) eller om det rör sig om cirkulationsrubbningar i hörselsnäckan (8,44,45,54). Alla tre mekanismerna kan förekomma och då är det troligen vanligare med cirkulatoriska och metaboliska skador i samband med kontinuerligt buller och mekaniska skador i samband med impulsbuller.

Sammanfattning

Både kontinuerligt buller och impulsbuller orsakar skador på sinnescellerna framför allt på sinneshåren. Vid kontinuerligt buller är det troligen framför allt en bristande syresättning och näringstillförsel som är orsaken till skadan. När det gäller impulsbuller är det mekaniska skador i hörselsnäckan som dominerar. Uppkomna skador är obotliga.

D. Samhällets kostnader för bullerskadan

Vad kostar en bullerskada?

Det finns naturligtvis inga säkra hållpunkter för hur kostnaderna fördelas när det gäller bullerskada. Man kan emellertid vid ett "typiskt fall" notera följande kostnader:

1. Företagshälsovården med hörselmätning, information om hörselskydd och remiss till öron-näs-hals eller- audiologläkare. Kostnad c:a 500/fall.
2. Undersökning av patienten på ÖNH eller Audiologisk avd. med fullständig hörselundersökning. Kostnad c:a 4000/fall.
3. Utprovning av hörapparat och tekniska hjälpmedel inkl. återbesök. Kostnad c:a 5000/individ.
4. Arbetsskadeanmälan till Försäkringskassan med åtföljande utredning. Kostnad c:a 500/fall.
5. Utredning vid AMF och/eller RFV för bedömning av invaliditetsgrad.
   Kostnad c:a 600-900/ärende.
6. Konsultläkare som engageras i invaliditetsbedömningen. Kostnad c:a 500/ärende.
7. AMF engångsersättning 40.000 kr/fall
8. RFV livränta 10.000 kr/år
   Totalt c:a 61.000.

I det enskilda fallet kan det alltså röra sig om betydande belopp.
Om vi istället ser på totalkostnader/år finner vi att AMF betalar ut ungefär 200 milj. kr/år och Riksförsäkringsverket c:a 400 milj. kr/år. Om vi till detta lägger den totala kostnaden för utredningar, hörapparater och rehabilitering ger beräkningar vid handen att bullerskadorna kanske kostar landet närmare 700 milj. kr/år.
Ur Kjell Karlssons rapport till Arbetsmiljökommissionen (33), kartläggningsgruppen om bullerskador kan följande citeras:

Kostnader
"AMF-trygghetsförsäkringar hade avseende skador visade eller försämrade sedan 1974, framtill okt. 1987 betalat ut sammanlagt 712 milj. kronor för hörselskador till drygt 37.000 individer.Ytterligare 207 milj. kronor har reserverats.(Den totala siffran t.o.m. 1991 var 1.4 miljarder kr).
Riksförsäkringsverkets kostnader för YFL-livräntor utgörs till c:a 30% eller 400 milj. kr/år av bullerskador.Det är följaktligen uppenbart att det inte bara finns ett medicinskt och humanitärt individuellt intresse att bekämpa bullerskadorna men också ett tydligt behov ur samhällets synpunkt p.g.a. de höga kostnaderna.

Sammanfattning
Både när man räknar i det individuella fallet eller totalt i landet är det uppenbart att bullerskadan är mycket dyrbar. Det måste vara felaktigt att invänta hörselnedsättning och invaliditet och då betala ut stora summor pengar när förbättrade profylaktiska insatser skulle kunna förebygga bullerskadan.

E. Behandling
Den hörselnedsättning som uppkommit p g a bullerpåverkan är i princip inte behandlingsbar. De sinnesceller som förstörts kan inte åter fås att fungera och ersätts inte av nya sinnesceller. Skadan utvecklas framför allt under de första femton åren i buller (om hörselskydd inte används) och därefter i betydligt långsammare takt. Det är alltså framför allt tidigt i arbetslivet som profylaktiska insatser behöver göras. Här behövs mycket information till arbetsledare, arbetsgivare och den enskilde där det inte minst viktiga är att framhålla bullerskadans obotliga karaktär.
De möjligheter som finns är rehabiliteringsinsatser, d v s man försöker kompensera den hörselskadades handikapp på olika sätt. Ett viktigt faktum i dessa sammanhang är det minskade höromräde som är användbart för rehabilitering. Dels har de hörselskadade en nedsättning i diskanten, dels besväras de ofta av ljudöverkänslighet på en nivå som inträder betydligt tidigare än hos normalhörande, d v s området mellan hörtröskeln och obehagströskeln kanske rör sig om 40-50 dB mot 100 dB eller däröver hos normalhörande. Detta gör också att det är mycket svårt att kompensera det uppkomna hörselhandikappet med hörapparater; det är svårt att åstadkomma en inställnig som är lagom stark utan att förstärkningen blir obehaglig.
Det finns också andra hjälpmedel, t ex telefonförstärkare, förstärkare till TV, optiska signaler för att man skall uppfatta när dörrklocka och telefon ringer, förstärkare för gruppsamtal i samband med möten och överläggningar o s v. Dessutom ingår träningskurser i rehabiliteringsprogrammet där man får lära sig munavläsning, hörtaktik, telefonträning och att på bästa sätt hantera attityder från omvärlden. Den bullerskadade bör inte isolera sig p g a hörselskadan. Den hörselskadade skall påpeka för anhöriga och vänner att han hör dåligt och inte vara generad för att fråga om och uppmana människor att tala tydligt.

Ett speciellt kapitel gäller det akuta olycksfallet orsakat av buller, s k akut akustiskt trauma. I dessa fall finns det en viss spontanläkning under

de första dagarna efter olyckan. I det enskilda fallet är det dock osäkert om det blir en förbättring och hur stor den i så fall blir. På många håll i världen försöker man behandla dessa patienter med avskärmning från ljud i det skadade örat med hörselskydd, sjukhusvård eller vård i hemmet så att de kommer bort från den akustiskt skadliga miljön. Dessutom försöker man förbättra blodcirkulationen med olika cirkulationsbefrämjande åtgärder i innerörat under läkningsprocessen. Tyvärr kan man konstatera att det ofta funnits en nihilistisk attityd till åtgärder för akut akustiskt trauma. Här behövs också betydande upplysning inom Företagshälsovården och även till andra läkare.

Sammanfattning
Bullerskadan är i princip obotlig. Vid akustiskt trauma kan man ibland få en viss läkning om behandlingsansträngningen sätts in tidigt. Behandlingen mot bullerskada blir därför profylaktisk och åtminstone t.v. framför allt omfattande personlig skyddsutrustning.

F. Profylax
Det profylaxprogram som finns inom företagshälsovården vad gäller yrkesbuller brukar betecknas som "hörselvårdsprogrammet" och innefattar: (27,35,37,47)

* Ljudnivåmätningar för att identifiera skadliga ljudnivåer
* Återkommande hörselmätningar för att identifiera tidiga bullerskador
* Teknisk bullerbekämpning för att reducera ljudnivåerna
* Personlig skyddsutrustning, d v s hörselskyddsanvändning
* Information i dessa frågor

De viktigaste frågorna här är vad den enskilde individen kan göra för att skydda sig mot bullerskada och vilken roll utbildare, arbetsgivare och samhället har när det gäller att förebygga bullerskador. Man vet nämligen i allmänhet teoretiskt mycket väl hur bullerskadan skall förebyggas och s k hörselvårdsprogram är välkända och internationellt överensstämmande. Problemet är att man inte har lyckats få ut kunskapen på ett praktiskt och effektivt sätt. Dessutom är det stora svårigheter att förebygga bullerskador orsakade av fritidsaktiviteter där ansvaret nästan helt faller på den enskilde eller föräldrar.
Hörselvårdsprogrammet omfattar för det första basal information angående utvecklingen av bullerskadan, dess inverkan på talförståelsen, och att

tinnitus och hörselnedsättning är tidiga tecken på skada. Det är viktigt att den exponerade förstår att bullerskadan inte förorsakar smärta och att hörapparater inte kan återställa normal hörsel. De exponerade måste lära sig uppfatta när de vistas i skadligt buller och hur de skall skydda sig. De måste förstå att vissa ljud, såsom explosioner, kan orsaka omedelbar och bestående hörselnedsättning. Information behöver riktas till föräldrar vad gäller barns bullriga lekar och leksaker. Många yrkeskategorier såsom lärare, läkare, hälsovårdare, ingenjörer, arkitekter och lagstiftare behöver en förbättrad utbildning om fritidsbuller. Det är viktigt att bullriga produkter märks på ett lättförståeligt sätt, och att informationen om tillgängliga hörselskydd förbättras.
Bullerexponerade individer behöver rådgivning och återkommande hörselmätningar för att en eventuell bullerskada skall upptäckas så tidigt som möjligt, och en försämring förhindras.
Inom industrin behöver hörselvårdsprogrammet utvecklas innefattande ljudnivåmätningar, teknisk bullerbekämpning, information, hörselskyddsanvändning och återkommande audiometri. Många hörselvårdsprogram som finns på pappret är ineffektiva på grund av dålig organisation och okunnig personal. Hörselvårdsprogrammens effektivitet bör följas av framför allt återkommande audiometri.

Sammanfattning
De i hörselvårdsprogrammet ingående komponenterna internationellt vedertagna: Man bör framför allt sträva efter att bekämpa bullret vid källan. På senare år har det framför allt skett en utveckling mot bättre personlig skyddsutrustning men det vore önskvärt att man med förbättrad teknisk bullerbekämpning kan sänka ljudnivåerna så att personlig skyddsutrustning inte behöver bäras.

Personlig skyddsutrustning
Det finns för närvarande många olika typer av hörselkåpor och proppar. Dessa kan anpassas efter individuella variationer i hörselgångens form och variationer i önskemål om bekvämlighet. När det gäller att få fram bästa möjliga hörselskydd för den enskilde individen har vi vid flera tillfällen rekommenderat att man inom industrin skulle använda ett s k hörselrum där man kunde presentera inspelat fabriksbuller, helst från den egna maskinen och låta den bullerexponerade prova olika typer av hörselskydd för att få fram det som passar honom bäst och dämpar mest effektivt.
Det finns emellertid stora brister när det gäller användning av

hörselskydd. Detta beror framför allt på ren okunskap om vilka ljudnivåer som är farliga (och dessutom vet den anställde inte vilka ljudnivåer han arbetar i). Det är obekvämt med hörselskydd och i vissa fall är den bullerexponerade endast utsatt under mycket korta stunder för buller och saknar därför motivation att bära hörselskydd hela tiden. Slutligen innebär hörselskydd en isolering och man har svårigheter att samtala med arbetskamraterna på "verkstadsgolvet", vilket också försämrar användingen. Ett annat vanligt exempel på problem med hörselskydd är den dåliga ljudkvaliten p g a av att hörselskydden dämpar diskanten mycket kraftigt men basen knappast alls. Detta leder till talförvrängning och betydande kommunikationssvårigheter och ökar känslan av isolering. Med nyare typer av hörselskydd kan man uppnå en betydligt mera jämn dämpning över hela frekvensområdet och därmed också ett mindre förvanskat ljud. Sådana hörselskydd finns på marknaden och lanseras i första hand för närvarande på musiker.

Ett annat problem är dålig komfort. Man har sedan länge vetat att dämpningsvärden från laboratorier och tillverkare inte stämmer med verkligheten. Orsaken är dålig anpassning. Tillverkarna har tidigare försökt kompensera detta med att göra hörselskydden större för att dämpa bättre, men därmed har de också blivit obekvämare. Ett viktigt faktum i dessa sammanhang är att skyddseffekten mycket snabbt går förlorad om man slarvar med hörselskydd. Om man t ex underlåter att använda hörselskyddet under 10% av tiden i ett visst buller så återstår endast 10 av 30 dB möjliga dämpning. Hörselskyddstillverkarna har därför börjat ändra synsätt och gör nu lättare och bekvämare hörselskydd som därmed kan användas hela tiden i buller men deras dämpning är något lägre. Eftersom de allra flesta industribuller ligger under 95 dBA räcker det nästan alltid med 10 dB dämpning för att vara på den säkra sidan. Man bör därför använda lättare och mer bekväma hörselskydd men det är viktigt att de används hela tiden i buller.

Under de sista åren har man också fått tillgång till nya elektroniskt aktiva nivåberoende hörselskydd (30). Dessa dämpar inte svaga ljud alls och vissa t o m förstärker svaga ljud. Vid en viss nivå, c:a 85 dBA, inträder dämpningen som sedan ökar ju starkare bullret blir. I en verkstad med måttlig bakgrundsnivå kan man alltså samtala med hörselskydden på nästan lika bekvämt som utan hörselskydd, men när det kommer plötsligt buller så dämpas detta mycket effektivt.

Det kanske viktigaste problemet när det gäller hörselskydd är emellertid bristande motivation. Information om och tillgång till moderna hörsel-

skydd med måttlig dämpning eller elektroniskt aktiva hörselskydd kan förbättra motivationen. Jag tror också att det varit för mycket skrämseltaktik när det gäller bullerprofylax och att man kanske snarare behöver betona vikten av att bevara den känsliga hörseln och framhålla den glädje vi har av hörselsinnet.

Sammanfattning

Det finns ett mycket stort sortiment av hörselskydd på marknaden, så stort att varje bullerexponerad arbetstagare bör kunna finna ett för honom acceptabelt hörselskydd. Man eftersträvar nu framför allt att ha bekväma hörselskydd som kan accepteras hela arbetsdagen i buller.

G. Forskning

Vid en konferens i USA i regi av National Institute of Health 1990, en s k konsensus-konferens, kom man fram till att framtida bullerskadeforskning framför allt bör inriktas mot två ämnesområden: studier som använder våra nuvarande kunskaper för att i en nära framtid förebygga bullerskador, samt forskning om hur man på sikt på bästa sätt skall förebygga bullerskador. För att uppnå dessa mål behöver forskningen inriktas på följande områden:

- man behöver empiriskt försöka fastställa sambandet mellan ljudnivån, exponeringens duration och den resulterande bullerskadan,
- longitudinella studier av olika populationer med olika ljudnivåer där man följer hörselutvecklingen,
- fortsatt teknisk bullerbekämpning, bl a med s k aktiv bullerutsläckning (noise cancellation) och kostnad-nytta-analyser av bullerreduktion,
- utveckling av hörselskydd för att förbättra komfort, användning och hörselförmåga,
- utveckling av laboratorieprocedurer för att fastställa realistiska värden för hörselskyddsdämpning,
- empirisk värdering av effektiviteten av hörselvårdsprogram,
- förbättrad kunskap om det anatomiska korrelatet till temporär hörselnedsättning och permanent bullerskada,
- sambandet mellan åldersnedsättning och bullerskada,
- undersökning av genetiska faktorer som kan ha betydelse för individuella variationer i känslighet,
- farmakologiska studier i avsikt att undersöka ämnen som kan skydda örat för bullerskada,

- undersökningar i djurmodell av interaktion mellan vissa farmaka och buller.

Till denna lista vill jag foga följande intressanta och viktiga forskningsområden:

1. Förbättrade metoder för tidig diagnostik av bullerskada.
2. Fortsatta studier av faktorer i arbetsmiljön som samverkar till uppkomsten av bullerskada.
3. Förbättrade pedagogiska metoder för att genomföra bullerprofylaktiska åtgärder inom industrin.
4. Hur farligt är musikbullret? Undersökningar av risker med bärspelare, diskotek, rock-konserter o.s.v.
5. Åtgärder för att minska förekomsten av tinnitus vid bullerskada.

Sammanfattning

Det finns alltså en rad områden som kan förbättras när det gäller bullerbekämpning. Detta är av både teknisk- och pedagogisk karaktär.

Referencer

1 Abel SM. 1990. J. Otolaryngol. 19:1-13
The extra-auditory effects of noise and annoyance: an overview of research.

2 AFS 1986:15. Buller

3 Arbetsmiljöorsakad ohälsa - betydelsen av olika typer av hälsoproblem och skador. Arbetsmiljökommissionen.

4 Arbetarskyddsnämnden 1991. Bullerprofylax.

5 Axelsson A, Jerson T, Lindgren F 1981. Am. Industr. Hyg. Ass. J., 3, 229-233. Noisy leisure time activities in teenage boys.

6 Axelsson A, Jerson T. Danielsson K, Lindqvist Å 1984.
Läkartidningen 81, 4162-4166.
Leksaksbuller - en hörselskaderisk?

7 Axelsson A, Aniansson G, Costa OA 1987. Scand. Audiol. 16, 137-143.
Hearing loss in school children.

8 Axelsson A, Dengerink H. 1987. Hearing Research 31, 183.
The effects of noise on histological measures of the cochlear vasculature and red blood cells: a review.

9 Axelsson A & Barrenäs M-L 1991.
Noise-Induced hearing loss. Mosby year book. Ed. Dancer, Henderson, Salvi & Hamernik 23, 269-276. Tinnitus in noise-induced hearing loss.

10 Axelsson A 1992. Proceedings of 1992 hearing conservation conference p 79.
The risk of hearing loss from recreational noisy activities.

11 Bentzen O & Hansen NS 1961. Ugeskrift laeger 123, 657-664.
Fyrvaerkerilesion af hörelsen hos skolebörn.

12 Borchgrevink HM 1988. in Noise as a public health problem. Ed. Swedish council for building research. One third of 18 year old male conscripts show noise induced hearing loss etc. pp 27-31.

13 Bruel PV 1983. Internoise 1001-1003.
Measurement of short duration high level impact noises.

14 Bygghälsan Internrapport 1991.
Sjunkande prevalens av hörselförluster av bullerskadetyp bland Bygghälsan-undersökta 1971-1990.

15 Böttiger LE 1990. Läkartidningen vol 87, 24:2119-2120.
Buller - ett gissel!

16 Clark WW 1991. JASA 90, 175-181.
Noise exposure from leisure activities: a review.

17 Coles RRA 1968. JASA 43, 336-343.
Hazardous exposure to impulse noise.

18 Costa OA, Axelsson A, Aniansson G 1988. Scand. Audiol. suppl. 30, 25-32.
Hearing loss at age 7, 10 and 13 - an audiometric follow-up study.

19 Danielsson R. Henderson D, Gratton MA, Bianchi L, Salvi R.1991. JASA 90, 209.
The importance of "temporal pattern" in traumatic impulse noise.

20 DeJoy DM 1984. J. Aud. Res. 24:123-50.
The nonauditory effects of noise:review and perspectives for research.

21 Fearn RW, Hanson DR 1984. J. Sound & Vibration 96, 147-149.
Hearing damage in young people using headphones to listen to pop music.

22 Gjaevenes K, Moseng J, & Nordahl T 1974. Scand. Audiol. 3, 153-156.
Hearing loss in children caused by the impulsive noise of chinese crackers.

23 Hamernik R, Henderson & Salvi R 1982.
New perspectives on noise-induced hearing loss.
Raven Press, New York

24 Hamernik RP, Turrentine G, Roberto M, Salvi R & Henderson D 1984. Hearing Research 13, 229-247.
Anatomical correlates of impulse noise-induced mechanical damage in the cochlea.

25 Hamernik RP, Ahroon WA & Hsueh KD 1991. JASA 90, 197-204.
The energy spectrum of an impulse: its relation to hearing loss.

26 Hamernik RP & Hsueh KD 1991. JASA 90, 189-196.
Impulse noise: some definitions, physical acoustics and other considerations.

27 Heijbel CA & Lidén G 1974. Hörselskadligt buller (Om medicinsk bullerskadeprofylax).Svenska Arbetsgivareföreningen.

28 Hellström P-A, Axelsson A 1988. J. Sound & Vibration 127, 521-528.
Sound levels, hearing habits and hazards of using portable cassette players.

29 Hellström P-A 1992. J.Sound & Vibration 151, 461-469.
The effects on hearing from portable cassette players: a follow-up study.

30 Hellström A. 1990. in Noise-induced hearing loss. Eds. Dancer, Hendersen, Salvi, Hamernik 401-412.
Objective measures for evaluating conventional, nonlinear, and active hearing protector attenuation.

31 ISO 1999:2. Acoustics. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment.

32 Jerson T, Axelsson A & Lindgren F 1981. Tidskrift for den norske laegeforening 101, 370-373.
Hörselskadliga fritidsvanor hos yrkesinriktade gymnasieskolelever.

33 Karlsson K. 1989. Arbetsmiljökommisionens kartläggningsgrupp. Rapport bullerskador.

34 Kryter KD, Ward WD, Miller JD & Eldredge DH 1966. JASA 39, 451-464.
Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise.

35 Lidén G 1985. Audiologi. Almqvist & Wiksell.

36 Lim DJ 1988. Amer. J. otolaryngol. 7, 73-99.
Effects of noise and ototoxic drugs at the cellular level in the cochlea: a review.

37 Lipscomb DM 1978. Noise and audiology.
Univ. Park Press, Baltimore

38 Melnick W 1976. in Effects of noise on hearing. Raven press. Eds Henderson, Hamernick, Dosanjh, Mills.
Human asymptotic threshold shift.

39 Melnick W 1991. JASA 90, 147-154.
Human temporary threshold shift (TTS) and damage risk.

40 Mills JH, Adkins WY, Gilbert RM 1981. JASA 70, 390-396.
Temporary threshold shifts produced by wideband noise.

41 Mills JH, Gengel RW, Watson CS, Miller JD 1970. JASA 48, 524-530.
Temporary changes of the auditory system due to exposure to noise for one or two days.

42 Mills JH, Osguthorpe JD, Burdick CK, Patterson JH, Mozo B 1983. JASA 73, 918-923.
Temporary threshold shifts produced by exposure to low-frequency noises.

43 Mori T 1985. Int. Arch. Occup. & Environm. Health 56, 91-97.
Effects of record music on hearing loss among young workers in a shipyard.

44 Okamoto A, Tamura T, Yokoyama K, Kobayashi N & Hasegava M 1990. Acta Otolaryng. 109, 378-382.
Effect of loud sound exposure on the cochlear blood flow.

45 Quirk, WS, Avinash G, Nuttal AL & Miller JM 1992. Hearing Research in print.
The influence of loud sound on red blood cell velocity and blood vessel diameter in the cochlea.

46 Ryan AF, Goodwin P, Woolf NK & Sharp F 1982. Brain Research 234, 213-225.
Auditory stimulation alters the pattern of 2-deoxyglucose uptake in the inner ear.

47 Sataloff RT & Sataloff J 1987.
Occupational hearing loss. Ed. Marcel Dekker.

48 Saunders JC 1985. JASA 78, 833-860.
The anatomical consequences of acoustic injury: a review an tutorial.

49 Saunders JC, Chen C-S 1982. Environments Health Perspect 44, 63-65.
Sensitive periods of susceptibility to auditory trauma in mammals.

50 Schmiedt RA 1984. JASA. 76, 1293-1317.
Acoustic injury and the physiology of hearing.

51 Shaw EA 1975. Scand. Audiol. suppl. 5, 24-50.
The external ear: new knowledge.

52 Taylor W, Pearson J, Mair A & Burns W 1965. JASA 38, 113-120.
Study of noise and hearing in jute weaving.

53 Toremalm NG, Ivarsson A, Bennrup F & Sheppard H 1990. Proceedings Internoise 1223-1226.
The effect of ear canal volume in the development of noise-induced hearing loss.

54 Thorne PR and Nuttal AL 1987. Hear. Research 27, 1-10.
Laser Doppler measurements of cochlear blood flow during lound sound exposure in the guinea pig.

55 Ward WD 1962. JASA 34, 234-241.
Studies on the aural reflex. Reduction of temporary threshold shift from intermittent noise by reflex activity.

56 Ward WD 1970. JASA 48, 561-574.
Temporary threshold shift and damage-risk criteria for intermittent noise exposures.

57 Ward WD, Cushing EM, Burns EM 1976. JASA 59, 160-165.
Effective quiet and moderate TTS: implications for noise exposure standards.

58 Ward WD 1991. JASA 90, 164-169.
The role of intermittence in PTS.

59 Weber HJ, McGovern FJ & Zink O 1967. J. Speech. Hear. Dis. 32, 343.
An evaluation of 1000 children with hearing loss.

Omgivningsbullers effekter på människan

Evy Öhrström

Institutionen för Miljömedicin
Göteborgs universitet
Medicinaregatan 16
413 90 Göteborg
telefon 031/853610 (arbetet) 031/7956580 (bostaden)

Innehåll

1.	**Introduktion**	5
2.	**Omedelbara fysiologiska reaktioner på buller**	5
3.	**Effekter på sömn**	7
	- *Insomningsperioden*	8
	- *Sömnperioden*	8
	- *Eftereffekter*	10
4.	**Effekter på talkommunikation**	13
5.	**Effekter på prestation och inlärning**	15
6.	**Psyko-sociala effekter och symptom**	18
7.	**Störning**	22
	- *Samband mellan störning och bullerexponering*	22
	- *Störning av olika bullerkällor*	23
8.	**Behov av åtgärder mot buller**	26
	- *Bostäder*	26
	- *Skolor och undervisningslokaler*	27
	- *Kontor*	28
	- *Specifika ljudkällor*	28
9.	**Forskningsbehov**	30

Innehåll

1. Introduktion 5

2. Omedelbara fysiologiska reaktioner på kallor 5

3. Effekter på sikten 7
- Accommodationsparesen 8
- Ögonmuskelns 8
- Ögonrörelser 10

4. Effekter på talkommunikationen 13

5. Effekter på prestation och inlärning 15

6. Psyko-sociala effekter och symptom 18

7. Störning 22
- Samband mellan störning och hälsoeffekter 22
- Störning av olika källor/källor 23

8. Skador av högljudd musik och buller 25
- Bestämmelser 26
- Skador och undersökningsmetoder 27
- Åtgärder 28
- Specifika åtgärder 28

9. Tonvärkningsskador 30

1. Introduktion

Allt icke önskvärt ljud definieras som buller. Buller kan leda till *allmänna subjektiva störningsreaktioner*. Det kan också *interfera med samtal* och *kommunikation*, påverka olika typer av aktiviteter samt *vila* och *sömn*. Vid långvarig exponering kan buller ge upphov till *psyko-sociala och psyko-somatiska symptom*.

I det följande redovisas kortfattat omedelbara fysiologiska reaktioner på buller, därefter ges en beskrivning av kunskapsläget rörande olika effekter; sömn, talkommunikation, prestation och inlärning, psyko-sociala effekter och symptom samt allmän störning och dos-responssamband. Avslutningsvis diskuteras behov av åtgärder mot buller i vår omgivning.

2. Omedelbara fysiologiska reaktioner på buller

Vårt hörselsystem står i förbindelse med centrala nervsystemet och påverkar därmed det autonoma och neuroendokrina systemet. Detta innebär att ljudstimulering utlöser en rad olika mätbara fysiologiska reaktioner. Hörselsystemet reagerar mest på förändringar i ljud, t ex då en lastbil passerar eller då ljudet från en fläkt upphör. Men hjärnan registrerar även kontinuerligt pågående ljudstimulering dock utan att vi alltid är medvetna om det.

De omedelbara fysiologiska reaktionerna på ljud/buller är av två slag; en orienteringsreaktion och en försvarsreaktion (1). Vid nya och ovana ljud reagerar vi genom att vrida på huvudet och orientera oss i riktning mot ljudkällan, den s k *orienteringsreaktionen*. Därefter följer en rad andra fysiologiska reaktioner. Genom EEG-mätningar kan man se att hjärnan aktiveras. Pulsen och blodtrycket sänks under någon sekund, pupillen vidgas och blodflödet i fingrarna minskar. Detta beteende upphör (habituerar) när vi identifierat och vant oss vid ljudet. Om en tillräckligt lång tid har passerat uppkommer dock denna reaktion på nytt då ljudet återkommer. För ljud som ligger strax över hörtröskeln (är nätt och jämnt förnimbara) är tillvänjningen mindre eftersom vårt hörselsystem har svårare att identifiera dessa ljud. Plötsliga, intensiva ljud orsakar en snabb och kortvarig muskelsammandragning (mindre än 1 sekund), den s k överumplingsreflexen.

Försvarsreaktionen uppkommer ofta som en förlängning av de reaktioner som uppkommer vid orienteringsreaktionen, men kan uppkomma oberoende av denna och vid låga ljudnivåer. Den orsakas av ljud med tillräcklig intensitet, betydelse eller varaktighet för att upplevas som skrämmande, och mobiliserar en "kämpa eller fly-reaktion". Försvarsreaktionen innefattar bl a en höjning av vakenhetsnivån och en ökning av pulsfrekvensen, andningen påverkas och utsöndring av olika stresshormoner kan ske. I motsats till orienteringsreaktionen habituerar denna reaktion inte fullständigt. Buller från 70 dB kan ge upphov till dessa fysiologiska reaktioner i vaket tillstånd, medan avsevärt lägre nivåer erfordras (30-40 dB) under sömn (2,3).

Referenser:

1. *Westman J C and Walters J R (1981). Noise and stress: A comprehensive approach. Environmental Health Perspectives, 41, 291-309.*
2. *Di Nisi J, Muzet A, Ehrhart J and Libert J P (1990). Comparison of cardiovascular responses to noise during waking and sleeping in humans. Sleep, 13, 108-120.*
3. *Vallet M, Olivier D, Laurens J F and Clairet J M (1988). Effects on road traffic noise on pulse rate during sleep. In Noise as a public health problem. Berglund B and Lindvall T (Ed.) Swedish council for building research Stockholm 1990.*

3. Effekter på sömn

Ostörd sömn är väsentlig för såväl mental som fysisk hälsa/välbefinnande och är en förutsättning för att vi skall fungera väl i vårt dagliga liv. Sömnstörningar är därför en av de allvarligaste effekterna av bullerexponering i våra boendemiljöer.

För den största delen av befolkningen är vägtrafiken den helt dominerande bullerkällan nattetid och utgör därmed den vanligaste externa orsaken till sömnstörningar. Buller från flyg, tåg och industrier liksom ljud från fasta installationer i eller utanför bostaden (fläktar, ventilations-anläggningar och värmepumpar) kan ge upphov till störningar av vila och sömn.

Effekter av buller på vår sömn har sedan 1960-talet utgjort ett viktigt område inom bullerforskningen, framför allt har effekter av vägtrafikbuller studerats såväl i laboratorium som i fält. Till en början inriktades forskningen nästan uteslutande på att belysa effekter på själva sömnen,
s k *primära effekter*. Dessa effekter studeras genom registrering av hjärnaktivitet (EEG), hjärtaktivitet (EKG), fingerpulsfrekvens och kroppsrörelser. Även beteendeeffekter under sömnen, t ex att försökspersonen får indikera uppvaknande genom att trycka på en knapp, har studerats.

Under senare år har sömnforskningen lagt allt större vikt vid *eftereffekter*, d v s effekter som kan mätas på morgonen eller dagen efter bullerstörd sömn. Exempel på sådana effekter är subjektivt upplevd sömnkvalitet (vilken är relaterad till insomningstid, uppvaknanden och hur utvilad man känner sig på morgonen) och sinnesstämning (välbefinnande, aktivitetsgrad och avspändhet). Dessa effekter fastställs med frågeformulär. Vidare mäts prestationsförmågan med olika typer av tester.

Viktiga mål inom pågående sömnforskning är, förutom att studera dessa typer av effekter, att klarlägga dess konsekvenser för hälsa och välbefinnande, att fastställa gränser för buller, att definiera störningspotentialen hos olika karakteristika i bullerexponeringen, samt att studera effekter bland riskgrupper. I det följande sammanfattas de viktigaste slutsatserna från sömnforskningen med tonvikt på studier av bullerkällor som är vanligt förekommande nattetid.

Insomningsperioden

Buller som förekommer under insomningskedet leder ofta till en *förlängning av insomningstiden*. Detta har konstaterats såväl i olika laboratoriestudier (1,2) som i epidemiologiska studier i bostadsområden med olika bullerexponering (3,4). I en studie konstaterades (5) att insomnings-svårigheter var dubbelt så vanliga i ett bostadsområde med intensiv vägtrafik (ca 30.000 fordon per dygn, Leq 72 dBA) som i ett tyst kontrollområde (Leq < 50 dBA). Vidare använde 24 % någon gång sömnmedel för att kunna somna, mot 14 % i det tysta området. Motsvarande siffror för användning av öronproppar var 14 respektive 4 %. Eftersom endast personer som bodde i lägenhet med fönster mot trafikleden, och inte de som bodde mot gårdssidan, använde sömnmedel och öronproppar i större utsträckning än i det tysta området, måste skillnaderna bero på buller och inte på ev skillnader i befolkningsstruktur mellan områdena. I en annan fältstudie på olika avstånd från en större trafikled (6) fann man likartade skillnader i insomningssvårigheter.

Buller under insomningsskedet upplevs således som en påtaglig störningseffekt som medför att man på olika sätt försöker underlätta insomning. I ett flertal laboratoriestudier har en förlängning av insomningstiden med 7-15 minuter konstaterats redan vid enstaka bullerhändelser med maximala ljudnivåer på 45 dBA. Skillnaden mellan bakgrundsnivå och nivån på bullertoppar tycks vara viktigt (7), snarare än den absoluta maximalnivån. Sålunda har nivåer på 45 dBA visat sig kunna förlänga insomningstiden i samma omfattning som nivåer på 50 till 60 dBA (2,8).

Sömnperioden

Efter insomningsskedet sker en övergång till allt djupare sömnstadier som återkommer i cykler om 3-5 gånger per natt. Dessa sömnstadier (stadium 1 - 4 och REM eller drömsömn) har klassificerats genom EEG-registrering av hjärnans aktivitet. I skiften till ytligare sömnstadier förekommer ofta större kroppsrörelser. Under sömnen förekommer också variationer i EEG-mönster som är mindre än en stadieförändring, s k 0-reaktioner eller mikroreaktioner. Normalt sover en vuxen person 7 - 8 timmar per natt och sömnen är djupast under första delen av natten. Under natten sjunker kroppstemperaturen och hjärtfrekvensen blir långsammare.

Buller som förekommer under sömnen ger upphov till olika reaktioner i direkt anslutning till bullret i form av ökad *hjärtfrek-*

vens och *kroppsrörelser*. För dessa effekter sker ingen tillvänjning över tiden, d v s de är lika uttalade i början av exponeringen som efter dagar eller år av bullerexponering. En ökning av hjärtfrekven har påvisats redan vid 32 dBA maximal bullernivå (9). Betydelsen av dessa relativt svaga hjärtfrekvensförändringar (en ökning med några slag per minut) för effekter på hälsa och välbefinnande är ännu oklar, men de måste anses vara en indikation på att störningar förekommit. Detsamma gäller den ökning av kroppsrörelser som uppkommer i omedelbar anslutning till en bullerhändelse.

Andra akuta reaktioner under sömnen är *uppvaknanden*. Dessa fastställs oftast med EEG eller genom frågeformulär nästa dag. Vanligen minns man dock inte uppvaknanden som varar kortare tid än 4 minuter. Uppvaknanden förekommer redan vid maximala bullernivåer på 45 dBA och sannolikheten för uppvaknanden ökar med ökad bullernivå (2). Flera forskare (10) anser att antalet uppvaknanden ökar med ökat antal buller upp till ett visst antal, ca 40 buller per natt, varefter ingen ytterligare ökning sker. Detta gäller sannolikt vid högre bullernivåer, då istället den vakna tiden under natten ökar. Men det har visats att eftersom känsligheten för buller varierar mellan olika individer och mellan olika sömnstadiedjup, kommer risken för uppvaknanden i en exponerad befolkning att öka ju fler bullerhändelser, även med relativt låg bullernivå, som förekommer under natten. Beträffande uppvaknandereaktioner anser flera sömnforskare att det - för närvarande - är den säkraste indikationen på förekomst av hälsoeffekter av bullerstörd sömn bland befolkningen.

Sömnstadiefördelningen, d v s andel sömn i olika EEG-stadier, påverkas av buller. Vanligen sker en ökning av de ytligare sömnstadierna (1 och 2) och en ökad vakenhet under natten. Ibland förekommer en minskning av de djupaste sömnstadierna (3 och 4) och/eller en minskning av REM-sömnen ("drömstadiet"). Senare års forskning har ytterligare fäst uppmärksamheten på de *mikroförändringar i sömnmönstret* som förekommer i sömnstadium 1 - 4. I en studie (11) konstaterades att dessa mikroförändringar normalt förekommer under ca 24 % av sömnen hos unga vuxna och 37 % hos äldre personer. Under bullerexponering ökar frekvensen av dessa förändringar med ökad bullernivå och någon tillvänjning äger inte rum. Medan man mindre ofta kunnat påvisa samband mellan sömnstadieförändringar och subjektivt upplevd sömnkvalitet, har ett signifikant, linjärt samband kunnat påvisas mellan dessa mikrostörningar av sömnmönstret och upplevd sömnkvalitet.

Eftereffekter

Nattens sömnstörningar inverkar på hur man känner sig under påföljande morgon och dag. *Försämrad subjektiv sömnkvalitet* har konstaterats redan efter relativt låga maximala ljudnivåer nattetid (1,2,12) när försökspersoner undersökts under flera nätter. Vid 32 bullerhändelser på 45 dBA maximal ljudnivå (Leq 25,2 dBA) från vägtrafik försämrades sömnkvaliteten i genomsnitt med 9 % i en försöksgrupp (2). Försämringen ökade med ökat antal buller och vid högre maximala bullernivåer har ytterligare försämrad sömnkvalitet konstaterats (i genomsnitt med 26 % vid 50 dBA och 39 % vid 60 dBA vid 64 bullerhändelser per natt) i två olika försöksserier (8). Också i fältstudier, före och efter bullerdämpning samt i områden med olika bullerexponering har konstaterats att sömnkvalitet och subjektivt rapporterade *uppvaknanden* ökar med ökat antal buller över en viss maximal bullernivå (6,13,14,15). Andra kvardröjande effekter av bullerstörd sömn är *ökad trötthet under dagen* (efter 45 dBA maximal bullernivå nattetid) och *lägre sinnesstämning* (2,8). *Prestationsförmågan* i form av reaktionsförmåga och uppmärksamhet på olika typer av tester, försämras efter nätter med bullerstörd sömn (efter maximala bullernivåer på 45 - 60 dBA) (8,16). Samtliga av dessa eftereffekter bedöms som tydliga indikationer på hälsoeffekter av bullerstörd sömn.

Sammanfattningsvis ger buller upphov till olika typer av effekter under insomningsfasen och sömnfasen. Dessa effekter leder till eftereffekter följande dag. Människor vänjer sig inte vid buller ens efter flera års exponering. Vissa faktorer i bullret gör det mera störande för sömnen. Intermittent, oregelbundet buller, stor skillnad mellan bakgrund och toppnivå medför större risk för störning än ett jämnt, regelbundet och förutsägbart buller. Vissa grupper bland befolkningen är mer känsliga för bullerstörningar än andra. Detta gäller äldre, sjuka, skiftarbetare och personer som själva anser sig vara bullerkänsliga. I flera undersökningar (6,17) har visats att den grupp som karakteriserar sig själva som ganska eller mycket känsliga för buller utgör ungefär 1/3 av normalbefolkningen.

För att skydda människor mot olika typer av störningar av intermittent buller under insomning och sömn skall den maximala ljudnivån inte överstiga 45 dBA inomhus. När det gäller effekter av mera jämnt, kontinuerligt buller, typ ventilationsljud eller avlägsna motorvägar krävs ytterligare forskning innan en "säker" nivå kan anges.

Referenser:

1. *Strålhle L-O (1975). Ljudstörningars inverkan på sömnen. Del II. SNV Kontrakt nr 7-163/73-75.*
2. *Öhrström E, Björkman M och Skånberg A (1991). Effekter av buller under sömnen hos bullerkänsliga personer - en laboratoriestudie avseende betydelsen av antal bullerhändelser med en maximal bullernivå på 45 dBA. Rapport 5/91, Institutionen för miljömedicin, Göteborg.*
3. *Koszarny Z (1989). Assessment of after-lunch sleep in crêches and industry schools with different acoustic conditions. Roczn PZH XL, 2, 153-159.*
4. *Griefahm B and Gros E (1983). Sleep disturbances caused by noise: Analysis of a crossectional inquiry. In G Rossi (Ed) Noise as a public health problem. Proceedings of the Fourth International Congress, Turin 1983, 895-904.*
5. *Öhrström E (1991). Psycho-social effects of traffic noise exposure. J Sound Vibr, 151,513-517.*
6. *Öhrström E (1989). Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms - a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. J Sound Vibr 133, 117-128.*
7. *Horonjeff R D, Fidell S, Teffeteller S R and Green D M (1982). Behavioral awakening as a function of duration and detectability of noise intrusions in the home. J Sound Vibr 84, 327-336.*
8. *Öhrström E and Rylander R (1990). Sleep disturbance by road traffic noise - a laboratory study on number of noise events. J Sound and Vibr 143, 93-101.*
9. *Vallet M, Olivier, D Laurens J F and Clairet J M (1988). Effects on road traffic noise on pulse rate during sleep. In Noise as a public health problem. Berglund B and Lindvall T (Ed.) Swedish council for building research Stockholm 1990.*
10. *Griefahn B (1990). Critical loads for noise exposure during the night. In: Science for Silence. (Ed) Jonasson H G. Inter-noise 90, Acoustic Society of Sweden, Gothenburg, Volume II, 1163-1166.*
11. *Terzano M G, Parrino L, Fioriti G, Orofiamma and Depoortere H (1990). Modifications of sleep structure induced by increasing levels of acoustic perturbation in normal subjects. Electroencephalograaphy and clinical neurophysiology, 76, 29-38.*

12. *Eberhardt J L, Strâhle L-O and Berlin M H (1987). The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. J Sound and Vibr 116, 445-464.*
13. *Eberhardt J L and Akselsson K R (1987). The disturbance by road traffic noise of the sleep of young male adults as studied in the home. J Sound and Vibr 114, 417-434.*
14. *Vernet M (1979). Effects of train noise on sleep for people living in houses bordering the railway line. J Sound and Vibr 66, 483-492.*
15. *Nemecek J, Wehreli B and Turrian V (1981). Effects of the noise of street traffic in Switzerland, a review of four surveys. J Sound Vibr, 78, 223-234.*
16. *Wilkinson R T, Campbell K B and Roberts L D (1978). The effect of noise at night upon performance during the day. In: Proceedings of the Third International Congress on noise as a public health problem. Freiburg 1978, ASHA reports no 10, 1980, 405-412.*
17. *Langdon F J (1976). Noise nuisance caused by road traffic noise in residential areas: Part III. J Sound Vibr 49, 241-256.*

4. Effekter på talkommunikation

Buller förekommer ofta vid nivåer som stör talkommunikation. Omgivningsbuller, t ex från olika typer av trafik, har en frekvenssammansättning som liknar talspektrum, och ger därför ett dåligt S/N (signal-till brus) förhållande vilket försvårar möjligheten att uppfatta tal. Buller försvårar inte bara *direkt* möjligheten att föra samtal, utan också *indirekt* genom att det är ansträngande att höja rösten eller upprepa tal i bullriga situationer. I extrema fall kan detta leda till social isolering (1).

I vissa miljöer, t ex skollokaler, barnstugor och kontor kan talavståndet vara långt, varför en förhållandevis lägre bullernivå krävs för att uppnå bra taluppfattbarhet än i bostäder. I skolor exponerade för flygbuller har man konstaterat störningar av talkommunikation mellan lärare och elever (2). Andra studier (3) visar att i skolor med högre bullernivå är arbetsresultatet sämre än i mindre bullriga skolor. Man har också funnit skillnader i arbetsprestation mellan olika bullriga klassrum i samma skola. Vid experiment där bullernivån i klassrum höjts, har man sett en försämrad arbetsprestation och i klassrum som ljudisolerats har en förbättrad arbetsprestation konstaterats, vilket sannolikt beror på att undervisningen kunnat bedrivas effektivare utan maskeringseffekter av buller (3). I denna typ av lokaler är det också viktigt att efterklangstiden är kort. Efterklang kan delvis liknas vid bakgrundsbuller - tidigare uttalade talljud eller buller lever kvar i rummet och bidrar till maskering av efterföljande ljud. Buller i kombination med lång efterklangstid försämrar taluppfattbarheten ytterligare. I en studie (4) testades effekten av efterklangstid på taluppfattning för lyssnare i olika åldrar. En grupp på tio 10-åringar avvek inte från vuxnas prestation när testmaterialet presenterades utan efterklang men var sämre i efterklangstider på 0,4 och 1,2 sekunder. Barn är sålunda i vissa fall en känsligare grupp än vuxna. För barn där språkinlärningen ännu inte nått full mognad, upp till tonåren, är det särskilt viktigt att kunna uppfatta tal bra. I en studie (5) fann man sålunda att barn som bodde i bullrig miljö på de nedersta våningarna i fyra höghus intill en trafikled i New York, presterade sämre på olika tester med krav på auditiv urskillningsförmåga och läsförmåga än barn som bodde högre upp i samma hus, och därmed i tystare miljö. Skillnaderna mellan barngrupperna var större ju längre tid de bott i huset.

Äldre personer och personer med nedsatt hörsel är, liksom barnen, en känslig grupp (den största). Även lindriga hörselnedsättningar i diskanten gör det svårare att skilja signal och störljud och

orsakar problem att uppfatta tal i bullriga situationer (6). För att erhålla goda talkommunikationsförhållanden på långt avstånd måste, när det gäller känsliga personer eller svårt tal, t ex nya begrepp i en undervisningssituation, bullernivån vara åtminstone 10 dB lägre än talnivån. Detta innebär att bakgrundsnivån bör ligga på nivåer nedtill 25 dBA max (7).

Sammanfattningsvis varierar kravet på bullernivå med röststyrka, innehållet i det talade budskapet och egenskaper hos individen (ålder, hörsel och modersmål) samt lokalens utformning (storlek, rumsakustik). I vissa fall, t ex i undervisningslokaler med långa avstånd kan bakgrundsnivåer på nedtill 25 dBA - 30 dBA erfordras.

Referenser:

1. *Miller D (1975). Effects of noise on people. J Acoust Soc Am 56,729-764.*
2. *Crook M A and Langdon F J (1974). The effect of aircraft noise in schools around London Airport. J Sound Vibr 59, 79-87.*
3. *Cohen S and Weinstein N (1981). Nonauditory effects of noise on behavior and health. J Soc Issues, 37, 36-70.*
4. *Nabalek A K and Robinson P K (1982). Monaural and binaural speech perception in reveberation for listeners of various ages. J Acoust Soc Am 71, 1242-1248.*
5. *Cohen S, Glass D C and Singer J E. (1973). Apartment noise, auditory discrimination and reading ability in children. J Exp Soc Psychol. 9, 407-422.*
6. *Ahrlinger S (1992). Faktorer som påverkar taluppfattning i buller. Avd. för teknisk audiologi, Universitetssjukhuset i Linköping.*
7. *Hygge S, Jauhiainen T och Öhrström E (1989). Det sunda husets ljudklimat. Nordisk Workshop - "När ett hus sunt?", Lidingö 12-14 december 1989.*

5. Effekter på prestation och inlärning

Bullers effekter på arbetsprestation har under flera decennier studerats såväl i naturliga arbetsmiljöer (1) som i laboratorieexperiment där försökspersoner arbetat med olika typer av tester samtidigt som de exponerats för olika bullernivåer (2). Under senare års forskning har effekter av buller vid ljudnivåer som är mera vanligt förekommande i vår omgivning studerats (3). Olika aspekter av arbetsprestation har belysts, t ex reaktionsförmåga, minne, kvalitativ och kvantitativ arbetsförmåga, ansträngning och strategi vid lösandet av en uppgift, för att bara nämna några. Vidare har samtidig inverkan av andra faktorer studerats, ex tid på dagen, hög temperatur, intagande av måltid eller sömnbrist. Indirekta effekter och eftereffekter av buller på prestationen har också belysts.

Buller påverkar alltid arbetet *när viktig information maskeras.* Huruvida effekter på arbetsprestationen uppkommer beror i övrigt framför allt på *arbetsuppgiftens art, bullrets egenskaper* och på *faktorer hos individen.*

Enkla monotona arbetsuppgifter påverkas inte alls eller förbättras av buller (4). I komplexa uppgifter som ställer krav på minne och samtidig bevakning av flera informtionskällor (t ex övervakningsuppgifter) och i verbala uppgifter där man tillägnar sig information från skriven text påverkas arbetsprestationen av buller. En studie där studenter läste egen litteratur, samtidigt som de exponerades för intermittent vägtrafikbuller på 60 dBA under tre 45-minutersperioder (5), visade att försökspersonerna distraherades av bullret och fick börja läsa om texten gång på gång.

Bullrets karaktär; intermittens och variabilitet i tid, nivå, förutsägbarhet och möjligheten att kontrollera bullret, påverkar i hög grad risken för uppkomst av effekter på arbetsuppgiften. Omgivningsbuller, framförallt vägtrafik och flygbuller har ofta alla de egenskaper som gör att det finns risk för påverkan på arbetsuppgifter av olika slag.

De effekter på prestationen som man funnit i olika studier, blir större ju längre tid arbetet i buller pågår. Detta beror till en del på att man ökar sin ansträngning för att kompensera sig för bullrets distraherande effekt. Samtidigt föreligger en tendens att ändra arbetsstrategi vid arbete i buller. Genom att koncentrera uppmärk-

samheten på sådant som man anser vara viktigast i en uppgift försöker man avskärma sig från distraherande ljud, men samtidigt missar man annan viktig infomation vilket kan medföra att framför allt kvaliteten i arbetet försämras.

Det finns en ökad risk för olycksfall i eller utanför arbetet när höga bullernivåer maskerar viktig information såsom varningssignaler eller försvårar kommunikation (4).

I flera sammanhang har visats att personer som anger högre subjektiv känslighet för buller påverkas mera av buller (5). I en laboratoriestudie studerades effekter på olika prestationstester hos tre grupper om vardera 15 personer med olika grad av bullerkänslighet (6). I tyst miljö framkom inga avvikelser mellan grupperna, men under exponering för trafikbuller på 55 respektive 75 dBA, hade den känsligaste gruppen signifikant sämre resultat på ett huvudräkningstest och ett test med krav på korttidsminne. Denna grupp var också mera störd av bullret än den bullertoleranta och normalkänsliga gruppen.

Oavsett om man kunnat påvisa någon prestationsförsämring eller ej under bullerexponering, har olika slag av eftereffekter konstaterats (2). I försök där personer varit utsatta för buller och sedan fått utföra en uppgift i tyst miljö har trötthet, irritation eller andra stressreaktioner till följd av bullret, visat sig försämra arbetsresultatet. Framför allt gäller detta om bullret varit oregelbundet och inte kunnat kontrolleras. Det finns också studier som visar att människor tenderar att vara mindre hjälpsamma och mera aggresiva i bullriga situationer (7).

Sammanfattningsvis kan konstateras att buller inverkar på arbetsprestationen. Det är inte möjligt att generellt ange en nivå som inte får överskridas utan riktvärden måste anges för olika miljöer beroende på vilken typ av arbete som utförs.

Referenser:

1. *Broadbent D E, Little E A J (1960). Effects of noise reduction in a work situation. Occup Psychol 34, 133-140.*
2. *Glass D C, Singer J E (1972). Urban stress: experiments on noise and social stressors. Academic Press, New York.*

3. *Landström U, Kjellberg A, Löfstedt P och Söderberg L (1991). Ventilationsbuller på kontor. Ljudkaraktäristik, exponeringsnivåer och besvärsupplevelser. I Arbete och hälsa 1991:11. Arbetsmiljöinstitutet.*
4. *Wilkins P A, Acton W L (1982). Noise and accidents - a review. Ann Occup Hyg, 25,249-260.*
5. *Öhrström E, Björkman M and Rylander R (1988). Noise annoyance with regard to neurophysiological sensitivity, subjective noise sensitivity and personality variables. Psychological Medicine, 18, 605-613.*
6. *Belojevic, G, Öhrström E and Rylander R. (1992). Effects of noise on mental performance with regard to subjective noise sensitivity. International Archives of Occupational and Environmental Health. (accepted for publication June 1992)*
7. *Kjellberg A. (1990). Inte bara hörselskador. Psykologiska effekter av buller i arbertsmiljön. Arbete och hälsa, Arbetsmiljöinstitutet 1990:36. (Litteraturöversikt)*

6. Psyko-sociala effekter och symptom

Att buller i boendemiljön såväl som i arbetsmiljön ger upphov till besvär och symptom av olika slag som *irritabilitet, huvudvärk* och *trötthet* är väl känt (1-3).

Buller, framför allt vid nivåer som förekommer i arbetsmiljön, har ofta satts i samband hjärtsjukdomar som *förhöjt blodtryck* (4,5). Att högt buller kan ge upphov till en akut höjning av hjärtfrekvens och blodtryck har visats i laboratoriestudier. Att en bestående blodtrycksförhöjning skulle kunna orsakas av buller råder det emellertid idag delade meningar om. Även om många epidemiologiska studier påvisat ett sådant samband, finns det en rad andra och svårkontrollerbara faktorer som kan ha påverkat undersökningsresultatet, t ex ålder, kost, rökning och andra belastningsfaktorer. I studier av barn, där troligtvis andra faktorer inverkar på resultatet i mindre utsträckning än i en vuxenpopulation, har man funnit effekter bl a på blodtrycksnivån. Framför allt har effekter av buller från militärflyg rönt intresse under senare år. I en studie (6) uppmättes högre blodtryck hos flickor som var exponerade för höga bullernivåer från militärflyg (+9 mm Hg) än hos jämnåriga flickor på längre avstånd från flygplatsen. I en annan tysk studie undersöktes effekter hos 376 barn i åldern 4 till 16 år av buller från militärplan (7). Man fann att barnen i det bullrigaste området var mera ängsliga och tenderade att uppvisa högre psyko-fysiologiska arousalreaktioner än barn i mindre bullriga områden.

Det är oomtvistat att buller är en stressfaktor som i samverkan med andra belastningsfaktorer och beroende på individens känslighet och förmåga att hantera stress kan ge upphov till *psyko-sociala* och *psyko-somatiska besvär*. Flera forskare håller för troligt att sådana akuta symptom i förlängningen skulle kunna leda till uppkomst av psykisk sjukdom. Denna hypotes har prövats i flera undersökningar runt Heathrow-flygplatsen i London (8-10) där man försökt belysa effekter av flygbullerexponering på psykisk hälsa genom att studera frekvensen av intagning till psykiatriska avdelningar på sjukhusen. I en första studie (8) fann man en signifikant ökning av antalet psykiatriska fall. I en upprepad studie (9) fann man endast en tendens till ökning. Däremot kunde man konstatera att det fanns ett samband mellan störning av buller och förekomst av olika psykiska symptom i områden med höga bullernivåer. I en senare och mer omfattande studie (nära 1 miljon personer) 1981

(10) undersöktes intagning till psykiatriska avdelningar vid 3 sjukhus inom 12 områden på olika avstånd från flygplatsen med en bullernivå på 58 - 77 Ldn. I en mångfaktoriell reanalys av data från denna studie (1990) konstaterades (11) att det förekom signifikant flera psykiatriska fall från områden med högre flygbullernivåer. Man fastslog att det vid flygbullernivåer över Ldn 58 föreligger en sådan ökad risk. För hela befolkningen förelåg en riskökning på omkring 40 % (en ökning från 8,7 till 10,1 fall/1000 invånare) i områden med bullernivåer på 77 Ldn.

Inverkan av buller från vägtrafik på psyko-socialt välbefinnande har inte varit föremål för lika omfattande studier som flygbuller. I ett område med höga bullernivåer från vägtrafik i Köpenhamn (12) fann man en högre användning av lugnande medel (25% jämfört med 17) och fler läkarkonsultationer för psykiska problem (19% jämfört med 12) än i ett område med lägre bullernivå. I Göteborg (13) undersöktes 151 personer i ett tyst och 118 personer i ett bullerexponerat område intill en större trafikled (Leq 72 dBA). Urvalet gjordes så att ålders- och könsfördelningen var lika i båda områdena. Syftet med undersökningen var maskerat. I ett omfattande frågeformulär om upplevelse av boendemiljö och sömn och ingick även 26 frågor avsedda att mäta psyko-socialt välbefinnande; nedstämdhet, avspändhet, aktivitet passivitet, välbefinnande och social orientering. En högre andel av dem som bodde mot gatan i det bullriga området var mera nedstämda och mindre avspända än personer i det tysta kontrollområdet. De som bodde mot tystare gård i bulleområdet skiljde sig däremot inte från dem som bodde i kontrollområdet. Välbefinnande hade, liksom sömnkvalitet, ett signifikant samband med störningar från vägtrafiken.

Betydelsen av ostörd sömn för det allmänna välbefinnandet har belysts i en senare studie (14). Psyko-socialt välbefinnande, sömn och allmän störning av buller undersöktes i 6 olika områden med höga bullernivåer från vägtrafik (Leq 61,6 - 74,7 dBA). Man fann därvid signifikanta skillnader mellan dem som hade sovrumsfönster mot gatan och dem som hade sovrumsfönster mot gårdssidan. Såväl psyko-socialt välbefinnande som sömnkvalitet var sämre hos dem som hade sovrumsfönster mot gatan och 70 % av dessa sov sällan eller aldrig med öppet fönster jämfört med endast 30 % i den andra gruppen. Det konstaterades även ett nära samband mellan grad av bullerstörning och sömnkvalitet resp psyko-socialt välbefinnande.

Individuella variationer i känslighet samverkar med störning av buller (15,16). Förkomst av olika symptom, såsom huvudvärk, trötthet, nervösa magbesvär och minskad social orientering, har också kunnat knytas till störning av buller (2). I en fransk studie (17) jämfördes 60 personer i åldern 18-68 år som klagat över bullerstörningar med 30 personer från samma bostadsområde (Leq 57 ± 13 dBA) vilka inte upplevde besvär av buller. Man fann att klagomål över subjektiva besvär hade ett samband med objektivt uppmätta fysiologiska reaktioner. Bland de klagande fann man sålunda bl a en högre frekvens av stressrelaterade symptom (sömnstörningar, neuro-vegetativa störningar och nedstämdhet) samt en högre utsöndring av stresshormoner. Vidare uppvisade de klagande sämre resultat på uppmärksamhetstester än de som inte klagat över buller.

Sammanfattningsvis finns det belägg för att buller i vår omgivning leder till uppkomst av olika psyko-sociala och psyko-somatiska besvär och symptom. Någon "säker" bullernivå är idag inte möjlig att ange, delvis beroende på det begränsade antal studier som gjorts men också beroende på att dessa effekter i så hög grad visat sig vara relaterade till störningsgraden snarare än till själva bullernivån.

Referenser:

1. *Öhrström E and Björkman M (1978). Medical symptoms in noisy industries. J Sound and Vibr 59, 115-118.*
2. *Öhrström E (1989). Psycho-social and medical symptoms - a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. J Sound and Vibr, 133, 117-128.*
3. *Cantrell R W (1974). Prolonged exposure to intermittent noise: Audiometric biochemical, motor, psychological and sleep effects. Laryngoscope 1974; Suppl 1, 84.*
4. *Westman J C and Walters J R (1981). Noise and stress: A comprehensive approach. Environmental Health Perspectives, 41, 291-309.*
5. *Babisch W and Ising H (1988). Traffic noise and cardiovascular risk. The Caerphilly study. First phase. Outdoor noise levels and risk factors. Archives of Environmental Health, 43, 407-414.*

6. *Ising H, Rebentisch E, Poustka F and Curio I (1990). Annoyance and health risk caused by military low-altitude flight noise. Arch Occup Environ Health, 62, 357-363.*
7. *Poustka F and Schmeck K (1990). Über die psychischen Auswirkungen von militärischer Tiefflugtätigkeit aut Kinder. Z Kinder-Jugendpsychiat 18, 61-70.*
8. *Abbey-Wickrama I, Brook M F, Gattoni F E and Herridge C F (1969). Mental hospital admissions and aircraft noise. Lancet ii, 1275-1277.*
9. *Gattoni F and Tarnopolsky A (1973). Aircraft noise and psychiatric morbidity. Psychological Medicine, 3, 515-520.*
10. *Jenkins L, Tarnopolsky A and Hand D (1981). Psychiatric admissions and aircraft noise from London Airport; four-year, three-hospitals study. Psychological Medicine, 11, 765-782.*
11. *Kryter K D (1990). Aircraft noise and social factors in psychiatric hospital admission rates: a re-examination of some data. Psychological Medicine, 20, 395-411.*
12. *Relster E (1975). Traffic noise annoyance. The psychological effect of traffic noise in housing areas. Polyteknisk forlag, Lyngby.*
13. *Öhrström E (1992). Psycho-social effects of traffic noise exposure. J Sound and Vibr 151, 513-517.*
14. *Öhrström E (1993) Long term effects in terms of psycho-social wellbeing, annoyance and sleep disturbance in areas exposed to high levels of road traffic noise. (to be presented in the Congress Noise and Man '93 in Nice)*
15. *Langdon F J (1976). Noise nuisance caused by road traffic noise in residential areas: Part III. J Sound Vibr 49, 241-256.*
16. *Öhrström E, Björkman M and Rylander R (1988). Noise annoyance with regard to neurophysiological sensitivity, subjective noise sensitivity and personality variables. Psychological Medicine, 18, 605-613.*
17. *Poenanaru S, Rouhani S, Poggi D, Moch A, Colas C, Cohen E, Blacker C, Belon J P, Gauge P and Dall'Ava-Santucci (1987). Study of the pathophysiological effects of chronic exposure to environmental noise in man. Acoustics Letters, 11, 80-87.*

7. Störning

Den mest uttalade effekten av buller är störning. Störning brukar allmänt definieras som *en känsla av obehag direkt riktad mot något i omgivningen som man vet eller tror har en negativ effekt på hälsa och välbefinnande*. Störning kan också uppkomma som en konsekvens av att buller påverkar möjligheten att föra samtal, sova eller utföra andra aktiviteter (1).

Samband mellan störning och bullerexponering

Bullrets störande inverkan beror av en rad *faktorer i bullret*: bullrets nivå och karaktär med avseende på variation och intermittens, tidpunkt när bullret inträffar, hur förutsägbart det är, vilken information det innehåller och vilken aktivitet vi håller på med när vi utsätts för bullret. Ett högt buller är oftast mer störande än ett buller med lägre ljudnivå och ett intermittent buller stör mer än ett kontinuerligt och regelbundet buller. Vissa ljud kan upplevas som skrämmande eller oroande, t ex ambulanssirén, militärflygplan eller skottljud. Ett ljud som inte är kontrollerbart, exempelvis det ljud som någon annan åstadkommer, liksom ett ljud som upplevs som onödigt, är mera störande.

Bullrets störande inverkan beror också på *faktorer som är knutna till individen*: attityd till en bullerkälla, personlig läggning, bullerkänslighet, sjukdom eller samtidigt förekomst av andra stressfaktorer i omgivningen. Störningen vid en och samma bullerexponering varierar därför avsevärt mellan olika individer. Man har t ex funnit (2) att skillnader i bullerkänslighet förklarar en större del av variationen i rapporterad störning än vad skillnader i bullerexponeringen gör. Sambandet mellan bullernivå och störning på individniå är därför vanligen inte särskilt högt.

Störning är ett subjektivt mått och mäts följaktligen med frågeformulär. Andelen mycket störda i en undersökt befolkning brukar användas för att beskriva samband mellan störning och bullerexponering, s k dos-responssamband. När störningen anges för en hel grupp är sambandet mellan störning och bullerexponering avsevärt högre än då sambandet anges på individnivå. 10 % mycket störda i en exponerad befolkningsgrupp har under senare år angetts som en gräns som inte bör överskridas.

Eftersom störning samvarierar med såväl individfaktorer som bullerfaktorer, påverkar också valet av mått på bullerexponeringen i hög grad sambandet mellan bullerexponering och störning i en befolkningsgrupp. För ett relativt jämnt och kontinuerligt buller från olika typer av bullerkällor ger ekvivalent ljudnivå i dBA ett bra samband med störning. För ett varierande buller, t ex gator med måttlig trafik men med en hög andel tung trafik, är andelen eller antalet bullerhändelser med hög ljudnivå bättre relaterad till störning än ekvivalent ljudnivå (2,3). Detta gäller såväl för allmän störning som för sömnstörningar (4,5).

Störning av olika bullerkällor

Den vanligaste bullerkällan i våra boendemiljöer är vägtrafik. Buller från flyg och tåg berör ett förhållandevis mindre antal personer. Även buller från olika motordrivna redskap, hushållsmaskiner, fläktar och ventilationssystem i bostaden, liksom grannens musicerande kan ge upphov till störning på olika sätt. I fritidsmiljön kan motorbåtar och andra motorfordon störa den naturmiljö vi sökt oss till för att koppla av och njuta i.

Bullerstörningarna fortsätter att öka, så länge inget görs åt bullerproblemen. En holländsk studie (5) som genomfördes med samma metodik 1977 och 1987 visar *att även om andelen personer som angav att de var mycket störda av olika bullerkällor inte ökade mellan de två undersökningstillfällena, så ökade antalet personer som var störda i någon grad (inte särskilt störda och ganska mycket störda).* Detta gällde för såväl buller från vägtrafik som för buller från industrier, flyg, tåg och buller från grannar.

När jämförelser gjorts mellan störningspotentialen hos olika typer av vanligt förekommande bullerkällor har man i den övervägande delen av studier (7,8) funnit att vägtrafikbuller är mer störande än tågbuller vid samma ekvivalenta ljudnivå. Störningsmönstret, dvs vilka typer av aktiviteter som störs, skiljer sig mellan olika typer av buller. Sålunda har man funnit att vägtrafikbuller rapporteras vara mest störande för sömn (8,9) medan tågbuller, liksom flygbuller framför allt stör samtal.

En bullerkälla, som har uppmärksammats allt mer under senare år, är *lågfrekvent ljud* från bl a ventilationsanläggningar (10,11). Man har visat att dBA-vägningen inte är adekvat vid bedömningen

av lågfrekvent buller eftersom störning rapporterats redan vid låga dBA-nivåer. Det krävs således sannolikt ett strängare riktvärde för buller med lågfrekvent inslag, t ex har, om riktvärdet uttrycks i dBA, en "bestraffning" med 7 dB föreslagits (12). Detta forskningsområde är relativt nytt och ytterligare kunskaper om effekter av lågfrekvent buller krävs innan säkra riktvärden kan fastställas.

Referenser:

1. *Westman J C and Walters J R (1981). Noise and stress: A comprehensive approach. Environmental Health Perspectives, 41, 291-309.*
2. *Langdon F J (1976). Noise nuisance caused by road traffic noise in residential areas: Part III. J Sound Vibr 49, 241-256.*
3. *Rylander R, Björkman M, Åhrlin U, Arntzen E and Solberg S (1986). Dose-response relationships for traffic noise and annoyance. Archives of Environmental health 41,7-10.*
4. *Eberhardt J L and Akselsson K R (1987). The disturbance by road traffic noise of the sleep of young male adults as studied in the home. J Sound and Vibr 114, 417-434.*
5. *Öhrström E (1991). Undersökning av psyko-socialt välbefinnande, sömnstörningra och allmän störning vid exponering för väg- och tågtrafik. Forskningsredogörelse. Bullers effekter på människor, Idnr 33.54.03*
6. *De Jong R G (1988). Review of research developments in community response to noise. In: Noise as a public health problem. New advances in noise research Part II 99-113. Swedish council for building research Stockholm, Sweden.*
7. *Moehler U (1988). Community response to railway noise: a review of social surveys. J Sound Vibr, 120, 321-332.*
8. *Vernet M (1983). Comparison between train noise and road noise annoyance during sleep. J Sound Vibr, 87, 331-335.*
9. *Åhrlin U and Rylander R (1979). Annoyance caused by different environmental noises. J Sound Vibr 66, 459-462.*
10. *Persson K and Rylander R (1988). Disturbance from low frequency noise in the environment: A survey among the local environmental health authorities in Sweden. J Sound Vibr 4,145-153.*
11. *Landström U, Kjellberg A, Löfstedt P och Söderberg L (1991). Ventilationsbuller på kontor. Ljudkaraktäristik, exponeringsnivåer och besvärsupplevelser. I Arbete och hälsa 1991:11. Arbetsmiljöinstitutet.*

12. *Hygge S, Jauhiainen T och Öhrström E (1989). Det sunda husets ljudklimat. Nordisk Workshop - "När ett hus sunt?", Lidingö 12-14 december 1989.*

8. Behov av åtgärder mot buller

För att tillförsäkra människor en ur bullersynpunkt god miljö som inte negativt inverkar på hälsa och välbefinnande krävs kraftfulla åtgärder mot buller i vår omgivning. En god hälsa (enligt WHO:s definition) innebär inte bara frånvaro av psykiska och fysiska symptom utan också frånvaro av störning från olika faktorer i omgivningen. Störning bör därför användas som kriterium för effekter i de fall där inte andra effekter ställer strängare krav på ljudnivån. Hänsyn bör tas till känsliga grupper. ***Kriterier för bullernivåer kan således variera beroende på vilken effekt man vill förhindra och beroende på i vilken miljö bullret förekommer.***

Eftersom många frågor inom bulleområdet fortfarande är obesvarade *behövs ytterligare forskning* om buller och bullers effekter. Långsiktiga effekter på hälsa och välbefinnande, effekter på arbete och talkommunikation, definition av känsliga grupper och studier av specifika bullerkällor är några sådana områden. Samverkan mellan olika effekter av buller såväl som kombinationseffekter av buller och andra miljöföroreningar behöver studeras. *De kunskaper som redan finns måste emellertid utnyttjas på ett helt annat sätt än som sker idag; inom ramen för samhällsplanering och vid tillverkning av bulleralstrande produkter.* På detta sätt uppnås mest effektivt en minskning på längre sikt av bullret i vår miljö. Åtgärder i olika miljöer som även på kort sikt ger en bullerminskning måste vidtas i den befintliga miljön. Det är därvid viktigt att utvärdera effekterna av sådana åtgärder.

Bostäder

Våra bostäder är avsedda för vila, rekreation och umgänge. Ostörd *sömn* ställer där störst krav på ljudnivån och nivåer över *45 dBA maximal ljudnivå* skall därför inte tillåtas.

Naturvårdsverkets förslag till riktvärden för vägtrafikbuller i permanentbostäder har angetts till 45 dBA maximal ljudnivå kl 19-07. Detta värde stämmer väl med kända effekter av buller på sömnen. En god miljö erhålls också under kvällstid. För buller dagtid anges enbart en inomhusnivå i ekvivalent ljudnivå på 30

dBA. Detta innebär att bullertoppar kan uppgå till 50 dBA med stängt fönster. Att kunna ha fönster öppna utan att behöva bli störd under samtal eller andra aktiviteter måste vara ett rimligt krav på en god bostadsmiljö. Risken för störningar måste också minskas för dem som sover och vilar under dagtid. 45 dBA maximal ljudnivå bör därför eftersträvas för hela dygnet.

När det gäller *utomhusmiljön* vid permanentbostäder anger Naturvårdsverket 55 dBA ekvivalent ljudnivå. Denna nivå innebär att bullertoppar kan vara avsevärt högre och därmed föreligger stor risk för störning av samtal, vila och avkoppling. Ljudnivån utomhus vid bostäder bör därför vara lägre på *en sida* för att möjliggöra samtal och avkoppling. Det värde som föreslagits för bostadsområden med tyst bakgrundsnivå (45-50 dBA Leq) bör gälla vid en skyddad sida vid alla bostäder och kompletteras med ett värde för maximal ljudnivå på ca 60 dBA vid uteplats.

Skolor och undervisningslokaler

I dessa lokaler ställs krav på *god talkommunikation och goda inlärningsförhållanden*. Eftersom avståndet mellan lärare och elev kan vara 10 meter eller mer måste högre krav ställas på talkommunikation än i våra bostäder. Personer med nedsatt hörsel och andra känsliga personer behöver lägre bakgrundsnivå för att uppfatta tal. Under vissa förhållanden kan därför bakgrundsnivåer ned till *25 dBA - 30 dBA max* erfordras för att möjliggöra goda talkommunikationsförhållanden.

Naturvårdsverkets förslag till riktvärden för vägtrafikbuller anges till 30 dBA ekvivalent ljudnivå.
Detta värde bör gälla under undervisningstid och kompletteras med riktvärde för maximal ljudnivå.

Kontor

I denna typ av lokaler ställs mindre krav på *god talkommunikation* än i skolor, eftersom samtal kan föras på kortare avstånd. För att möjliggöra god talkommunikation för personer med nedsatt hörsel och för att minska risken för störning vid olika typer av arbetsuppgifter bör ljudnivån inte överstiga *40 dBA ekvivalent ljudnivå och 50 dBA maximal ljudnivå*. Naturvårdsverkets förslag till riktvärden för vägtrafikbuller i arbetslokaler (40 dBA ekvivalent ljudnivå) bör därför kompletteras med ett värde för maximal ljudnivå.

Specifika ljudkällor

Lågfrekvent ljud från olika källor förekommer i samtliga ovan angivna miljöer. För att minska risken för störning bör ljudnivån från dessa källor sänkas. Boverket har för fasta installationer, vilka ofta alstrar lågfrekvent buller, inom bostaden angivit ett riktvärde i ekvivalent ljudnivå på 35 dagtid och upptill 30 nattetid. Detta riktvärde överstiger således Naturvårdsverkets riktvärde för vägtrafikbuller dagtid. Ytterligare forskning krävs inom detta område, men man bör redan nu eftersträva tystare produkter som ger en ljudnivå som är åtminstone 3-7 dBA lägre än Boverkets riktvärde för natt.

För *tågbuller* saknas idag riktvärden, frånsett Banverkets eget förslag. Även om tågbuller har visat sig vara mindre störande än vägtrafikbuller i flertalet av de undersökningar som publicerats, bör vid nyplanering Naturvårdsverkets förslag till riktvärden för vägtrafikbuller eftersträvas. Forskning om tågbuller pågår där betydelsen av såväl buller som vibrationer för uppkomst av olika effekter belyses. När det gäller *flygbuller*, vilket oftast befunnits vara mera störande än vägtrafikbuller ger Naturvårdsverkets förslag till

riktvärden på 45 dBA maximal ljudnivå inomhus och 70 utomhus en god miljö.

9. Forskningsbehov

Vid den senaste internationella konferensen om hälsoeffekter av buller som hölls 1988 i Stockholm - Noise´88 - framfördes behov av ytterligare forskning inom följande områden:

Övergripande forskningsbehov:

- longitudinella studier av hälsoeffekter vid kronisk exponering för buller
- longitudinella studier under ca 5-10 år av hörselutvecklingen hos vuxna
- identifiering och beskrivning av "bullerkänsliga" personer

Sömn:

- långtidseffekter på hälsa och välbefinnande av bullerstörd sömn
  - longitudinella-, före/efter- samt tvärssnittsstudier
- kardio-vaskulära effekter
- samband mellan allmän störning av buller, bullerkänslighet och sömnstörningar
- kritiska grupper
  - skiftarbetare, studier i hemmiljö
  - sjuka personer, speciellt personer med kardio-vaskulära sjukdomar
- effekter på sömnen av åtgärder mot buller
  - fönsterdämpning, varvid särskilt lågfrekvensproblematiken behöver belysas
  - hastighetssänkning
  - förbättring av trafiksignaler för jämnare trafikflöde
  - avstängning av tung trafik nattetid

Dessutom behövs ytterligare forskning om:

- effekter på sömnen av olika typer av bullerkällor
  - tåg, flyg, vägtrafik
  - problematiken perception/störning av buller <--> vibrationer
  - lågfrekvent buller från installationer inom byggnader

Talkommunikation, inlärning och arbetsprestation:

- standardiseringarbete och utarbetning av riktlinjer för buller vid talkommunikation innefattande hänsynstagande till hörselskadade personer
- formulering av riktlinjer och audiometriska test som hjälpmedel vid val av personer för olika typer av arbetsuppgifter
- fortsatta undersökningar av olika aspekter på talkvalitet (skillnad mellan talare, främmande språk och syntetiskt tal)
- studier av effekter av hörselskydd för perception av tal och varningssignaler
- undersöka hälsoeffekter av den ökade ansträngningen av röst och lyssnande i bullriga omgivningar (ex. undervisningssituationer)
- studera mera komplexa typer av arbetsprestation och beteende, speciellt vad avser social interaktion (exempel på sådana effekter är ökad aggresivitet, minskad hjälpsamhet i bullriga miljöer)
- longitudinella epidemiologiska studier för att undersöka huruvida det kan finnas bestående förändringar hos dem som är kroniskt exponerade för buller i hemmet eller skolan

Psyko-sociala och fysiologiska effekter

- Metodutveckling av studier av medicinska effekter
  - confounding faktorer, longitudinella studier och tvärsnittsstudier
  - kritiska grupper: sjuka, äldre, gravida kvinnor, bullerkänsliga personer (multidiciplinärt samarbete med psykologer,sociologer, läkare, akustiker och epidemiologer)
  - integrerad forskning om buller i andra epidemiologiska studier om kardio-vaskulära sjukdomar

Dessutom behövs ytterligare forskning om:

- psyko-sociala effekter av buller på hälsa och välbefinnande och "mildare" stressymptom som huvudvärk, irritabilitet, social orientering och nedstämdhet/depression
  - tvärsnitts-, före/efter, samt longitudinella studier

Störning:

- utarbetande av störningsmodell
  - input: olika bullerkarakteristika och olika störningseffekter
  - output: responsmått, kritisk bullernivå
- kriteria för buller med låg ljudnivå
  - detekterbarhet: perception, bakgrundsbuller, temporalt mönster
  - karakteristika: låga frekvenser, kort varaktighet, hög nivå, tonal- och impulskomponenter
- bullerbekämpning
  - kontroll
  - kravspecifikation
- samarbete mellan olika områden inom bullerforskningen

- utbyte av data: sammanställning och jämförelser av resultat från olika studier och reanalyser av befintliga data
- forskningssamarbete: planering, mindre studier/individuellt, större studier/samarbete
- finansiering av forskning: samverkan longitudinella studier, internationell finansiering krävs

TALKOMMUNIKATION I BULLER

Stig Arlinger, adj.prof., Avd. för teknisk audiologi, Universitetet i Linköping

1. INLEDNING

Fundamentalt för människan som social varelse är definitionsmässigt hennes samvaro och samverkan med andra människor. Häri intar kommunikationen med tal-hörsel en unik position som den kanske viktigaste av alla medmänskliga kontaktformer. För de flesta av oss är den så självklar att vi alltför sällan reflekterar över dess betydelse. Människor som genom sjukdom eller skada helt eller delvis förlorat förmågan att tala eller att höra kan dock omvittna den oerhörda grad av handikapp detta innebär. Temporärt kan vi alla drabbas av störd talkommunikation på grund av buller, starka ljud som helt eller delvis överröstar en talsignal och därmed stör eller omöjliggör talkommunikation. För att möjliggöra en ostörd talkommunikation människor emellan är det angeläget för ett civiliserat samhälle att så långt möjligt förhindra sådant buller. Detta gäller både i fritids- och arbetsmiljö och kanske framför allt buller från olika transportformer - väg-, järnväg- och flygtrafik - men också från industrier och från en mångfald andra bulleralstrande processer och utrustningar.

2. TALSIGNALEN

Talsignalen täcker totalt ett frekvensområde från ca 100 Hz till ca 8 kHz (1). Talspektrum har sin huvudenergi i lågfrekvensområdet upp till 5-600 Hz med successivt lägre medelenergi vid högre frekvenser. Enskilda talljud karaktäriseras av sina spektrala mönster, som kan vara mycket olika sinsemellan och som också kan variera avsevärt från talare till talare. Intilliggande talljud sammanbinds ofta genom kontinuerliga övergångar, formanttransitioner, som innebär gradvisa förändringar i frekvens och nivå av signalen. Talsignalen innehåller dessutom kortare eller längre avbrott och diskontinuerliga förändringar. Hörselsinnet måste följaktligen som mottagande sinnesorgan för denna signal ha kapacitet att detektera (upptäcka), diskriminera (uppfatta skillnad) och identifiera (känna igen) dessa egenskaper hos talsignalen (2). Man talar om hörselns signalanalysförmåga i form av spektral analys och temporal analys.

Naturligt tal innehåller i varierande grad överskottsinformation, redundans, som möjliggör för lyssnaren att förstå det talade budskapet även om delar av den akustiska talsignalen ej uppfattas. Sådan överskottsinformation ligger i kunskapen om att talljudens akustiska utformning inte kan variera hur som helst, att i ett givet språk förekommer bara vissa talljud och då i ett begränsat antal kombinationer som är ord, att språkets regler inte accepterar att ord kombineras hur som helst, att i ett givet samtal förväntar man sig vissa ord med större sannolikhet än andra o.s.v. (2).

Den C-vägda ljudtrycksnivån från en normal talare är genomsnittligt ca 60 dB mätt framför talaren på ca en meters avstånd. Motsvarande A-vägda nivå är ca 55 dB. Variationerna runt denna genomsnittsnivå är dock stora i naturligt tal. Ljudnivån hos talljud i olika delar av talspektrum täcker typiskt ett ca 30 dB stort variationsområde.

Ljudnivån avtar med avståndet till talaren. Utomhus med fri ljudutbredning sjunker nivån med ca 6 dB per avståndsdubbling. Inomhus gäller denna princip endast i talarens närfält. På längre avstånd, i rummets efterklangsfält, är ljudnivåns avståndsberoende väsentligt mindre. Var gränsen mellan närfält och efterklangsfält går beror på rummets akustiska egenskaper.

Människans talorgan har ett ganska utpräglat riktningsberoende. Ljudet strålar effektivast framåt, mindre effektivt åt sidorna och sämst bakåt från talaren. Riktningsberoendet är mest uttalat för de talkomponenter som ligger i diskanten men är påtagligt också i lågfrekvensområdet (1). På nära avstånd är ljudnivån typiskt 3-5 dB lägre vid sidan av talaren och 8-10 dB lägre bakom talaren jämfört med samma avstånd framför.

Trots att olika språk låter mycket olika är dock talsignalens frekvensinnehåll mycket lika från språk till språk (1, 3). Uppmätta skillnader i medelspektra avviker som mest 4-5 dB i enstaka frekvensband från ett globalt medelspektrum. Olika genomsnittlig ordlängd och andra fonetiska särdrag kan dock ge upphov till skillnader i redundans mellan olika språk, vilket inte språkets medelspektrum förmår återspegla.

Den primära skillnaden mellan mans- och kvinnostämman är stämbandens svängningsfrekvens vid tonande talljud, som för mansstämman vanligen ligger i området 100-150 Hz och för kvinnostämman i

området 200-250 Hz. Dessutom uppvisar som regel kvinnostämman något högre energi än mansstämman i det högsta diskantregistret över ca. 4 kHz (3).

Talarens sätt att tala påverkas av den aktuella ljudmiljön. Den allmänna ljudnivån i lokalen och avstånd till lyssnare är två väsentliga faktorer som påverkar talnivån. I ljudnivåer över ca 45 dB A tenderar en talare att försöka kompensera genom att öka talstyrkan. Genom att skrika höjer man talets totalnivå med 10-20 dB jämfört med normal röststyrka. Röstens karaktär ändras också genom att energin i mellanfrekvensområdet 1-2 kHz ökas mer än i andra delar av spektrum. Svagt mumlande tal ligger typiskt 10-15 dB under normal talstyrka (1).

3. MÄNNISKANS HÖRSEL

Grundförutsättningen för ostörd talperception är att talsignalen är hörbar, d.v.s. att talsignalens olika komponenter i talfrekvensområdet har ljudnivåer som överstiger lyssnarens hörtrösklar. Men talperceptionen förutsätter att den perifera delan av hörselsinnet kan återge med god detaljrikedom talsignalens mikrostruktur, som representerar de olika talljudens olika spektra och de dynamiska förloppen i och mellan talljud. Denna auditiva signalanalys kräver ljudnivåer som ligger åtminstone några tiotal dB över hörtröskeln för att fungera optimalt.

Maskering innebär att ett ljud försvårar eller omöjliggör uppfattandet av ett annat ljud. Talmaskering eller talinterferens representerar den specifika situation då mänskligt tal maskeras av ett annat ljud. Maskering är primärt ett simultant problem d.v.s. interaktion mellan två samtidiga ljud. Maskeringen har utpräglade spektrala egenskaper såtillvida att energin i ett visst frekvensområde i talet främst störs av komponenter i störljudet i samma frekvensområde. Detta gäller dock inte renodlat, utan störljudets maskerande effekt sprider sig också utanför det egna frekvensområdet och framför allt uppåt i frekvens (4). Denna uppåt-maskering (upward spread of masking) blir mera uttalad vid högre ljudnivå och orsakar att basdominerade ljud av viss ljudnivå stör talkommunikation mera än diskantdominerade ljud av samma ljudnivå.

Maskeringen är primärt men inte helt ett simultant problem. Man kan också tala om temporal maskering, vilket innebär att ett visst ljud kan störa ett annat ljud som presenteras omedelbart före eller

efter det störande ljudet (5). Framför allt framåt-maskeringen (forward masking) har praktisk betydelse. I ett normalt öra har den en varaktighet av maximalt något hundratal millisekunder och kan liknas vid en slags fysiologisk efterklang i sinnesorganet. Denna förhållandevis korta efterklang möjliggör hörselns goda förmåga att återge snabba dynamiska förlopp i talsignalen men sätter samtidigt en gräns för hur snabba förändringar som är möjliga att uppfatta.

4. STÖRLJUDETS EGENSKAPER

På grund av talets frekvenssammansättning och maskeringens osymmetriska karaktär är störljudets spektrum av väsentlig betydelse för dess förmåga att störa talkommunikation. En konsekvens av detta är att det är svårt att generellt värdera talmaskeringsgraden hos buller enbart med utgångs-punkt i ett bredbandigt ljudtrycksnivåvärde, t.ex. den A-vägda eller C-vägda ljudtrycksnivån. Avsnitt 6 nedan beskriver några olika akustiska metoder för att beräkna inverkan på talkommunikation från ett godtyckligt buller.

Om man utgår från en specifik typ av buller med känt och relativt konstant spektrum är det dock möjligt att ange den högsta acceptabla A- eller C-vägda ljudtrycksnivån. Med utgångspunkt i typiska spektra för buller från gatu-, motorvägs- och järnvägstrafik (6) kan man således beräkna att en A-vägd trafikbullernivå på ca 55 dB representerar gränsen för acceptabel talkommunikation. Denna störnivå beräknas ge ca 95% taluppfattbarhet för normalt sammanhängande tal på ca en meters avstånd, vilket anses som acceptabelt för fungerande talkommunikation under normala betingelser (7).

Många störljud innehåller snabba variationer i nivå. Motsägelsefulla resultat har presenterats med avseende på huruvida detta innebär mindre maskering av tal (8, 9) eller mera (10, 11) jämfört med lika starkt störljud utan nivåvariationer. Den minskade maskeringen skulle kunna förklaras av att lyssnaren hinner uppfatta väsentlig information under de tystare intervallen i variationsmönstret. Ökad maskering skulle kunna förklaras av att en del av talsignalens information ligger i dess amplitudvariationer. Om också störbullret innehåller amplitudvariationer av snarlikt mönster kan en extra maskeringseffekt tänkas uppstå, som fysiologiskt skulle kunna förklaras i påverkan på nervceller i hörselbanorna med specifik uppgift att reagera på just amplitudvariationer. Övervägande fakta (12, 13, 14) talar dock för att för lyssnare med normal hörsel störs talkommunikationen mindre av ett störljud med styrkevariationer än

av samma störljud på samma ljudnivå utan styrkevariationerna. Hörselskadade lyssnare har däremot inte förmågan att utnyttja de tystare intervallen i störbullret p.g.a. försämrad signalanalys i sin skadade hörsel. Med hänsyn till denna grupp finns det därför ingen anledning att ta hänsyn till nivåvariationer i störbullret med avseende på talmaskering.

Som lyssnare kan man ofta tycka att störljud i form av annat tal är mera störande för taluppfattningen än icke-tal, d.v.s. att störljudets eventuella informationsinnehåll skulle påverka talmaskeringen. Flera studier (15, 16, 17) med framlänges och baklänges tal som störning visar dock ingen skillnad i talmaskering. Dessa resultat styrker således att störljudets eventuella informationsinnehåll saknar betydelse för graden av talinterferens.

5. EFTERKLANG

Efterklang är en ljudmiljöfaktor som påverkar talkommunikation. Stor efterklang uppstår i ett rum vars gränsytor genomgående är hårda och släta och därigenom uppvisar mycket liten ljudabsorption. Efterklang i ett rum innebär att när en ljudkälla plötsligt stängs av dör inte ljudet ut plötsligt utan gradvis. När en person talar med normal talhastighet i ett rum med lång efterklang hinner inte ett talljud dö ut innan nästa kommer, och följden blir att talljuden kan störa varandra. I synnerhet kan starka vokalljud överrösta efterkommande svagare konsonantljud. Efterklang orsakar således maskering genom att efterföljande ljud maskeras av föregående ljud. Detta innebär att taluppfattning påverkas negativt av efterklang. Om störbuller uppträder i kombination med efterklang är möjligheten till taluppfattning sämre än i samma buller utan efterklang (18). Kort efterklangstid är därför generellt önskvärt för bästa möjliga taluppfattning.

En normal reaktion hos talaren för att minska problemen med lång efterklang är att tala långsammare. Detta kan ibland reducera problemet men innebär ofta onaturlig intonation, prosodi.

6. AKUSTISKA METODER FÖR BERÄKNING AV TALUPPFATTNING

Som nämnts ovan är A- eller C-vägd ljudtrycksnivå dåliga mått på ett störljuds talmaskerande effekt (7). En första approximation mot ett bättre mått är den s.k. talinterferensnivån (Speech Interference Level, SIL) (7, 19). Talinterferensnivån definieras som det aritmetiska medelvärdet av bullrets oktavnivåer vid 500, 1000, 2000 och 4000 Hz. En talinterferensnivå på ca 50 dB anges möjliggöra acceptabel talkommunikation på drygt en meters avstånd med användande av normal talstyrka.

Artikulationsindex (AI) är en metod som utvecklades på 40-talet (20) och som bygger på kravet att talsignalen måste ha en viss nivå över störljudet i ett antal frekvensband som är väsentliga för informationsöverföringen. Frekvensområdet från 250 till 7000 Hz delas in i 20 band som vart och ett anses bidra med 5% till taluppfattbarheten. Genom att mäta störbullrets nivå band för band och jämföra detta med talsignalens styrkemässiga variationsområde i varje band erhålls ett mått på hur stor del av talsignalen som är hörbar i varje band och därmed kan bidra till att talet uppfattas. Ett artikulationsindex på ca 0,4 anses motsvara ungefär 95% taluppfattning för normal naturlig konversation, vilket bedöms som undre gräns för acceptabel taluppfattning (7, 21).

Taltransmissionsindex (Speech Transmission Index, STI) är en akustisk mät- och beräkningsmetod som utnyttjar en syntetisk mätsignal baserad på intensitetsmodulerat oktavbandsbrus med mittfrekvenser från 125 till 8000 Hz (22). Modulationen sker genom sinusformig variation av intensitetet med 14 modulationsfrekvenser i området 0,63-12,5 Hz, vilket motsvarar det område där talsignalens styrkemässiga modulationer återfinns. Denna signal simulerar en talsignal och presenteras via högtalare i den miljö, vars förutsättningar för talkommunikation är under testning. I en miljö med hög störnivå och /eller lång efterklang kommer intensitetsmodulationerna i den signal som fångas upp av en mikrofon i lyssnarposition att vara mindre än i den utsända signalen. Denna reduktion av intensitetsmodulationen är grunden för beräkning av taltransmissionsindex. En förenklad variant av metoden, RASTI (Rapid Speech Transmission Index) finns realiserad som kommersiellt tillgänglig mätutrustning. I denna utnyttjas bara två oktavband, 500 och 2000 Hz, för det utsända brusljudet med vardera fyra resp. fem modulationsfrekvenser för intensitets-modulationen (23). STI-

värden i storleksordningen 0,6 och högre representerar god taluppfattbarhet (24).

7. BETYDELSEN AV LYSSNARENS HÖRSEL

De metoder för mätning eller beräkning av taluppfattning i en bullrig miljö, som diskuterats ovan, utgår från att lyssnaren är en ung och normalhörande lyssnare och att talkommunikationen sker på det språk som är såväl talarens som lyssnarens modersmål. När dessa villkor inte är uppfyllda gäller självfallet inte metoderna.

Storleksordningen 10% av Sveriges befolkning beräknas ha en hörselnedsättning av sådan grad att den påverkar deras livsvillkor (25). Den överväldigande majoriteten av dessa är s.k. sensorineurala skador, d.v.s. skador som har drabbat innerörats hårceller och hörselnervens nervtrådar. Konsekvensen av sådana skador är dels försämrad känsighet så att många svaga ljud blir ohörbara, dels förvrängningar i ljudupplevelsen, som beror på störning av hörselns signalanalys (26, 27, 28). Dessa störningar i signalanalysen avser bl.a. försämrad spektral upplösning, frekvensselektivitet. Detta innebär att det skadade örat har svårare att separera olika samtidiga frekvenskomponenter och därmed är sårbarare för maskering. Också den temporala upplösningen är ofta försämrad, vilket innebär att det skadade örat reagerar trögare och därmed missar snabba förändringar i ljudsignalen. Rent konkret återspeglas dessa förändringar i den beskrivning som de flesta hörselskadade människor ger av sin situation, nämligen att det går bra att höra vad folk säger när det är lugnt och tyst och bara en pratar. Men när det är stimmigt, i trafikbuller på gatan eller i bilen, i matsalen eller kafferummet på jobbet, på fest när många pratar samtidigt kan det vara helt omöjligt att uppfatta talet. Man hör att talaren talar men förmår inte uppfatta vad han säger.

Det är framför allt hörselnedsättningar i diskanten som orsakar problem med taluppfattning i buller. Smoorenburg i Holland (29) undersökte en stor grupp relativt unga personer med varierande grad av hörselnedsättning i diskanten orsakad av bullerexponering. Han fann att redan vid en hörselnedsättning så liten som 10-15 dB vid 2 och 4 kHz börjar man kunna se en begynnande försämring i förmågan att uppfatta tal i buller och vid en nedsättning på 30 dB var försämringen statistiskt signifikant. En nedsättning på 50 dB vid 2 och 4 kHz krävde i genomsnitt 5 dB lägre störnivå vid given talnivå för att uppfatta 50% korrekt i det taltest han genomförde.

Glasberg & Moore (27) studerade en grupp med ensidiga hörselskador, där man kunde testa både det friska och det sjuka örat och varje försöksperson således var sin egen kontroll. Vid bestämning av taluppfattning i brus behövde de skadade öronen 5-13 dB högre talnivå än de friska för att upfatta 50% korrekt.

Gustafsson & Arlinger (13) studerade taluppfattning i buller utan och med amplitudvariationer hos bl.a. äldre normalhörande och äldre hörselskadade lyssnare. De hörselskadade behövde generellt 11-12 dB lägre bullernivå än de normalhörande för samma prestation. Merparten av denna skillnad beror på försämrad spektral signalanalys. När bullret gjordes amplitudvarierande förbättrades de normalhörandes taluppfattning signifikant vid given tal-bullernivåskillnad medan de hörselskadade inte kunde dra nytta av detta p.g.a. försämrad temporal signalanalys.

En liknande holländsk studie (14) visade att de hörselskadade behövde ca 5 dB högre talnivå än de normalhörande försökspersonerna när störbullret utgjordes av omodulerat talvägt brus. När störningen utgjordes av tal eller av intensitetsmodulerat brus kunde de normalhörande tolerera en 4-6 dB lägre talnivå medan de hörselskadade inte kunde tillgodogöra sig styrkevariationerna i störljudet utan krävde oförändrad talnivå för bibehållen taluppfattning.

I en svensk studie av taluppfattning i störbuller som utgjordes av tal med sina naturliga amplitud-variationer krävde hörselskadade försökspersoner i genomsnitt storleksordningen 15 dB större skillnad mellan talnivå och bullernivå jämfört med jämngamla lyssnare med normal hörselfunktion (15). Vid denna undersökning användes en subjektiv justeringsmetod där lyssnaren själv ställde in talnivån i förhållande till en konstant störnivå så att talet nätt och jämnt kunde uppfattas. När störbullret hade bruskaraktär utan styrkevariationer var medelskillnaden mellan hörselskadade och normalhörande ca 7 dB. Att skillnaden var så mycket större med tal som störning beror på att de normalhörande kunde utnyttja de tystare intervallen i den störande talsignalen för att uppsnappa värdefull information. Den rubbade temporala signalanalysen hos de hörselskadade hade däremot berövat dem denna förmåga.

Plomp (26) uppskattade att för varje 3 dB ökad hörselnedsättning ökade kravet på bättre tal-bullernivåskillnad med 1 dB för bibehållen taluppfattning i buller för den hörselskadade. Senare har denna

siffra reviderats och data pekar mot att för varje 7 dB nedsättning behövs 1 dB lägre störnivå (30).

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att ett stort antal studier visar att en hörselskadad lyssnare kräver 5-10 dB lägre störbullernivå än en normalhörande för motsvarande taluppfattning. I motsats till normalhörande kan de hörselskadade inte dra nytta av styrkevariationer i störbullret utan störeffekten predikteras av dess medelnivå oberoende av modulationsspektrum.

8. BEROENDE AV LYSSNARENS ÅLDER

Hörselnedsättning är betydligt vanligare hos äldre människor än hos yngre. Detta beror fr.a. på att den åldersbetingade förändringen i hörsel är mycket vanlig men också på att påverkan på hörseln av yttre faktorer som exempelvis bullerexponering representerar en över tiden ackumulerad effekt. Flera studier tyder emellertid på att åldern i sig tycks ha en mätbar effekt på förmågan att uppfatta tal i buller, d.v.s. att äldre lyssnare med en viss grad av hörselnedsättning har svårare att uppfatta tal i buller än yngre med samma hörselnedsättning. Bilden är dock inte helt entydig (31).

Poulsen & Keidser (32) fann ingen skillnad i taluppfattning hos en grupp äldre med medelåldern 65 år och normala hörtrösklar jämfört med en ung kontrollgrupp. Testmaterialet utgjordes av enstaviga ord i bärfras med fyra givna alternativ som skiljde sig i begynnelse- eller slutkonsonant eller båda. I den tidigare refererade studien med amplitudmodulerat störbrus (13) behövde däremot de äldre (55-70 år) 6 dB lägre störnivå än de unga försökspersonerna. Av denna skillnad kunde högst 2 dB förklaras av att de äldres hörtrösklar var något sämre än de yngres.

En amerikansk undersökning av Dubno och medarbetare (33) visade att skillnaden mellan äldre (>65 år) och yngre (<44 år) lyssnares taluppfattning i buller påverkades av talmaterialets karaktär. För tvåstaviga testord och meningar med hög förutsägbarhet (redundans) fann de en skillnad på ca 2 dB mellan de båda grupperna. För meningar med låg förutsägbarhet ökade skillnaden till ca 4 dB.

Också Helfer & Huntley (34) testade äldre (>60 år) och yngre (<32 år) försökspersoner avseende taluppfattning i buller och i efterklang. Deras resultat uttryckt i kvalitativa termer innebär att en del av de ökade svårigheter som de äldre lyssnarna uppvisade inte

kunde förklaras av hörselnedsätt-ning. Nabelek & Robinson (35) fann också en signifikant försvårande effekt från efterklang på taluppfattning hos äldre lyssnare med minimala hörselnedsättningar.

Förklaring till de påvisade fenomenen kan ligga i såväl små åldersrelaterade förändringar i den perifera hörselns signalanalys (36) som förändringar i centrala kognitiva funktioner (37). Kunskapen är i många avseenden ofullständig i detta avseende (31) men faktum kvarstår att åldrandet är en påverkande faktor, framför allt med avseende på förmågan att uppfatta tal i svårare testsituationer, där lyssnaren inte lätt kan gissa på grund av att talmaterialet har låg redundans.

Också i andra änden av åldersspektrum är ålder en faktor att ta hänsyn till. Flera studier har visat att barn har svårare att uppfatta tal i buller än unga vuxna. Elliott (38) testade förmågan att uppfatta tal i buller hos barn i åldersintervallet 9 - 17 år och fann att yngre barn presterade sämre än äldre, framför allt vid användning av talmaterial med hög predikterbarhet. Skillnaderna motsvarade ca 2 dB i tal-bullernivåskillnad.Willeford (39) presenterar data för central auditiv funktion hos barn i åldern 5 - 10 år, som visar en med åldern gradvis ökande förmåga att klara dichotiskt meningstest. Marshall och medarbetare (40) testade barn i åldersintervallet 5 - 11 år samt unga vuxna med olika tester baserade på försvårat talmaterial. Resultaten visade att 11-åringarna ännu inte nått upp till de vuxnas prestation. En tydlig mognadsprocess förelåg således avseende förmågan att uppfatta försvårat tal, som delvis antas ha lingvistisk grund - talet har mindre lingvistisk redundans för barnet än för den vuxne lyssnaren.

Flera studier har publicerats avseende effekten av efterklang på barns förmåga att uppfatta tal (35, 41, 42, 43). Yngre barn störs mera än äldre och barnens prestationer i efterklang är generellt sämre än unga vuxnas. Genom att språkinlärningen ännu inte är helt fullbordad has barnet har talsignalen mindre redundans och därmed störs taluppfattningen lättare av negativa mijöfaktorer som buller.

Sammanfattningsvis föreligger fakta som visar att såväl äldre personer, från 50-60-årsåldern och uppåt, som barn har svårare än unga vuxna att uppfatta tal i buller trots att den perifera hörselfunktionen enligt det konventionella audiogrammet är normalt. Effekten kan beräknas innebära att dessa lyssnare behöver upp till 5 dB lägre

störbullernivå för att klara samma prestation som unga vuxna lyssnare.

9. BEROENDE AV SPRÅK

De flesta har säkert upplevt hur mycket svårare det är att uppfatta tal på annat språk än det egna modersmålet under svårare lyssnarbetingelser, t.ex. i buller eller med sämre talkvalitet som via telefonkommunikation. Detta har bekräftats i flera vetenskapliga studier. Bergman (44) testade taluppfattning med tal i en bakgrund av babbel. Han fann att icke-infödda presterade klart sämre än infödda trots att de icke-infödda hade talat testspråket, hebreiska, i minst 13 år och ansågs behärska det flytande. Hans resultat indikerade också att skillnaden mellan infödda och icke-infödda ökade med lyssnarnas ålder. Abel och medarbetare (45) testade taluppfattning vid användning av hörselskydd på två grupper av försökspersoner där den ena behärskade språket flytande medan den andra inte gjorde detta. Den senare gruppens taluppfattning låg generellt 10 - 20% sämre än den förras i de olika kombinationer av talnivå, bullertyp och hörselskydd som testades.

I en annan amerikansk studie (46) testades infödda och icke-infödda i åldersintervallet 21 - 45 år, där de icke-infödda bott i USA mellan 5 och 16 år och studerade eller undervisade på universitets-nivå. De icke-infödda behövde 3-5 dB lägre störbullernivå än de infödda för att klara samma tal-uppfattning. En annan liknande studie som också innefattade icke-infödda universitetsstuderande visade ingen signifikant skillnad i taluppfattning i tystnad (47). Med brus i bakgrunden uppvisade de icke-infödda en taluppfattning som låg 20-40% under de inföddas prestation.

Också efterklang stör icke-infödda mer än infödda (48, 49). I båda studierna låg försöks-personernas medelålder mellan 30 och 35 år. De icke-infödda hade bott i USA i genomsnitt ca 15 resp. ca 7 år. Efterklangstider upp till 1,2 sekunder testades, motsvarande vad som gäller i många undervisningslokaler. Taluppfattningen för de icke-infödda försämrades ungefär dubbelt så mycket som för de infödda när efterklangen introducerades jämfört med helt efterklangsfritt tal.

Sammanfattningsvis är människor som ska uppfatta tal på annat språk än sitt modersmål mera sårbara för buller och efterklang i lyssningsmiljön än infödda lyssnare. Skillnader på upp till 5 dB i krav på lägre störbullernivå har påvisats.

Under denna rubrik må också beröras språket som talarparameter. Variationer mellan olika normala talare ger upphov till mätbara skillnader i taluppfattning i buller eller efterklang. Nabelek och medarbetare (50) testade sex olika talare. För tjugo hörselskadade lyssnare i åldern 50-69 år varierade den genomsnittliga uppfattningsförmågan för vokaler mellan ca 50 och ca 80% rätt i bakgrundsbuller eller i efterklang för de olika talarna. Effekten kan förväntas vara större med en talare med brytning eller som begår enstaka grammatiska eller syntaktiska fel och därmed genererar en talsignal som har mindre redundans än den helt korrekta. Detta innebär större svårighet att uppfatta den korrekt under bullriga lyssnarsituationer. Också syntetiskt tal finns skäl att beröra i detta sammanhang. Även det bästa syntetiska tal har lägre redundans än det naturliga och är därmed mera utsatt för den degradering i lyssningsmöjlighet som omgivningsbuller utgör (31). Några kvantitativa data synes dock inte föreligga.

10. INVERKAN AV MUNAVLÄSNING

Möjligheten att komplettera den auditiva informationen med visuell, att samtidigt höra och se den som talar, ökar motståndskraften mot störande buller. Den visuella informationen genom munavläsning kan typiskt motsvara 2-3 dB skillnad i störbullernivå (15, 51), oberoende av typ av störljud och lika för normalhörande och hörselskadade. Äldre personer har dock svårare att klara rena avläsetest jämfört med yngre (52) och också mindre nytta av den samtidiga audio-visuella möjligheten till taluppfattning (53).

11. SAMMANFATTNING

Med utgångspunkt i genomsnittligt spektrum för tal gäller att en trafikbullernivå (gatu-, motorvägs- eller järnvägstrafik) på ca 55 dB(A) ger en taluppfattbarhet av storleksordningen 95% för normalt sammanhängande tal, vilket anses acceptabelt för fungerande talkommunikation under följande betingelser:

- avstånd talare - lyssnare ca en meter,
- lyssnaren befinner sig framför talaren,
- lyssnaren har normal hörsel,
- lyssnaren är i åldersintervallet ca. 15 - 55 år,
- talkommunikationen sker på ett språk som är både talarens och lyssnarens modersmål.

När ovanstående betingelser inte är uppfyllda gäller:

* Hörselskadade lyssnare behöver upp till ca 10 dB lägre bullernivå.
* Äldre och yngre lyssnare än angivet intervall behöver upp till 5 dB lägre bullernivå.
* Annat språk än modersmålet (gäller sannolikt även syntetiskt tal) innebär behov av upp till 5 dB lägre bullernivå.

Vissa resultat tyder på synergistisk effekt av efterklang och buller. I princip kan faktorerna hörsel, ålder och språk betraktas som oberoende. Detta innebär att en äldre hörselskadad invandrare kan behöva upp till 20 dB lägre bullernivå för acceptabel taluppfattning.

Ca 10% av Sveriges befolkning uppskattas ha hörselnedsättning av sådan omfattning att den har social betydelse. Uppskattningsvis tre fjärdedelar av dessa är över 65 år. Närmare 20% av Sveriges befolkning är över 65 år. Storleksordningen 10% av befolkningen har annat språk än svenska som modersmål. Totalt berörs storleksordningen en fjärdedel av befolkningen av en eller flera av de begränsande faktorerna hörselnedsättning, hög eller låg ålder samt annat språk än svenska som modersmål.

12. REFERENSER

1. Tarnoczy T 1971. Das durchschnittliche Energie-Spektrum der Sprache. Acoustica 24, 57-74.

2. Stevens KN, House AS 1972. Speech perception. I Foundations of modern auditory theory
Vol II (red. J.V.Tobias). Academic Press, New York.

3. Byrne D, Tran K, Dillon H 1992. An international comparison of the long-term average speech spectrum. 10th Nat. Conf Audiol Soc Austr.

4. Gelfand SA 1981. Hearing. An introduction to psychological and physiological acoustics. Marcel dekker, Inc., New York.

5. Moore BCJ 1982. An introduction to the psychology of eharing. Academic Press, London.

6. Nordtest Method NT ACOU 061, 1987. Windows: Traffic noise reduction indices. Nordtest, Esbo, Finland.

7. ISO/TR3352, 1974. Acoustics - Assessment of noise with respect to its effect on the intelligibility of speech. International Organization for Standardization, Geneve.

8. Carhart R, Tillman TW, Johnson KR, 1966. Binaural masking of speech by periodically modulated noise. J Acoust Soc Am 39, 1037-50.

9. Dirks DD, Wilson RH, Bower DR, 1969. Effect of pulsed masking on selected speech materials. J Acoust Soc Am 46, 898-906.

10. Carhart R, Johnson C, Goodman J, 1975. Perceptual masking of spondees by combination of talkers. J Acoust Soc Am Suppl 1, 58, S35.

11. Danhauer JL, Leppler JG, 1979. Effects of four noise competitors on the California consonant test. J Speech Hear Dis 44, 354-62.

12. Arlinger SD, Gustafsson HÅ, 1991. Masking of speech by amplitude modulated noise. J Sound Vibr 151, 441-45.

13. Gustafsson HÅ, Arlinger SD, 1993. Masking of speech by amplitude modulated noise. J Acoust Soc Am (in press).

14. Festen JM, Plomp R, 1990. Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. J Acoust Soc Am 88, 1725-36.

15. Hygge S, Rönnberg J, Larsby B, Arlinger S, 1991. Normal-hearing and hearing-impaired subjects' ability to just follow conversation in competing speech, reversed speech, and noise backgrounds. J Speech Hear Res 35, 208-15.

16. Larsby B, Arlinger S, 1993. Speech recognition and just-follow-conversation tasks for normal-hearing and hearing-impaired listeners with different maskers. Submitted manuscript.

17. Dirks DD, Bower DR, 1969. Masking effects of speech competing messages. J Speech Hear Res 12, 229-45.

18. Nabelek AK, Nabelek IV, 1985. Room acoustics and speech perception. I Handbook of clinical audiology (red. J.Katz). Williams & Wilkins, Baltimore.

19. ISO/CD 9921-1, 1991. Ergonomic assessment of speech communication - Part 1: Speech interference level and communication distances for persons with normal hearing capacity in direct communication. International Organization for Standardization, TC159, Geneve (Draft)

20. French NR, Steinberg JC, 1947. Factors governing the intelligibility of speech sounds. J Acoust Soc Am 19, 90-119.

21. Webster JC, 1978. Speech interference aspects of noise. I Noise and audiology (red. DM Lipscomb). University Park Press, Baltimore.

22. Steeneken HJM, Houtgast T, 1980. A physical method for measuring speech-transmission quality. J Acoust Soc Am 67, 318-26.

23. Steeneken HJM, Houtgast T, 1985. RASTI: a tool for evaluating auditoria. Bruel & Kjaer Technical Review 3-1985, 13-30.

24. Houtgast T, Steeneken HJM, 1985. The modulation transfer function in room acoustics. Bruel & Kjaer Technical Review 3-1985, 3-12.

25. SCB, 1984. Handikappade. Levnadsförhållanden. Statistiska centralbyrån, Stockholm.

26. Plomp R, 1978. Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. J Acoust Soc Am 63, 533-49.

27. Glasberg BR, Moore BCJ, 1990. Psychoacoustic abilities of subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairments and their relationship to the ability to understand speech. Scand Audiol Suppl 12.

28. Hall JW, Davis AC, Haggard MP, Pillsbury HC, 1988. Spectro-temporal analysis in normal-hearing and cochlear-impaired listeners. J Acoust Soc Am 84, 1325-31.

29. Smoorenburg GF, 1992. Speech reception in quiet and in noisy conditions by individuals with noise-induced hearing loss in relation to their tone audiogram. J Acoust Soc Am 91, 421-37.

30. Duquesnoy AJ, 1983. The intelligibility of sentences in quiet and in noise in aged listeners. J Acoust Soc Am 74, 1136-44.

31. Working Group on Speech Understanding and Aging, 1988. Speech understanding and aging. J Acoust Soc Am 83, 859-95.

32. Poulsen T, Keidser G, 1991. Speech recognition in young and elderly normal-hearing listeners in a closed response test. Scand Audiol 20, 245-49.

33. Dubno JR, Dirks DD, Morgan DE, 1984. Effects of age and mild hearing loss on speech recognition in noise. J Acoust Soc Am 76, 87-96.

34. Helfer KS, Huntley RA, 1991. Aging and consonant errors in reverberation and noise. J Acoust Soc Am 90, 1786-96.

35. Nabelek AK, Robinson PK, 1982. Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. J Acoust Soc Am 71, 1242-48.

36. Peters RW, Moore BCJ, 1992. Auditory filter shapes at low center frequencies in young and elderly hearing-impaired subjects. J Acoust Soc Am 91, 256-66.

37. van Rooij JCGM, Plomp R, 1992. Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. III. Additional data and final discussion. J Acoust Soc Am 91, 1028-33.

38. Elliott LL, 1979. Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability. J Acoust Soc Am 66, 651-53.

39. Willeford JA, 1985. Sentence tests of central auditory dysfunction. I Handbook of clinical audiology (red. J.Katz). Williams & Wilkins, Baltimore.

40. Marshall L, Brandt JF, Marston LE, Ruder K, 1979. Changes in number and type of errors on repetition of acoustically distorted sentences as a function of age in normal children. J Am Aud Soc 4, 218-25.

41. Bess FH, Tharpe AM, 1986. An introduction to unilateral sensorineural hearing loss in children. Ear and Hearing 7, 3-13.

42. Neuman AC, Hochberg I, 1983. Children's perception of speech in reverberation. J Acoust Soc Am 73, 2145-49.

43. Yacullo WS, Hawkins DB, 1987. Speech recognition in noise and reverberation by school-age children. Audiology 26, 235-46.

44. Bergman M, 1980. Aging and the perception of speech. University Park Press, Baltimore.

45. Abel SM, Alberti PW, Haythornthwaite C, Riko C, 1982. Speech intelligibility in noise: effects of fluency and hearing protector type. J Acoust Soc Am 71, 708-15.

46. Florentine M, 1985. non-native listeners' perception of American-English in noise. Proc. Inter-Noise 85, pp.1021-24.

47. Gat IB, Keith RW, 1978. An effect of linguistic experience. Audiology 17, 339-45.

48. Nabelek AK, Donahue AM, 1984. Perception of consonants in reverberation by native and non-native listeners. J Acoust Soc Am 75, 632-34.

49. Takata Y, Nabelek AK, 1990. English consonant recognition in noise and in reverberation by Japanese and American listeners. J Acoust Soc Am 88, 663-66.

50. Nabelek AK, Czyzewski Z, Krishnan LA, 1992. The influence of talker differences on vowel identification by normal-hearing and hearing-impaired listeners. J Acoust Soc Am 92, 1228-46.

51. Hawkins DB, Montgomery AA, Mueller HG, Sedge RK, 1988. Assessment of speech intelligibility by hearing-impaired listeners. Proc. of Noise as a Public Health Problem, Vol.2. Byggforskningsrådet, Stockholm.

52. Arlinger SD, 1991. Results of visual information processing tests in elderly peoply with presbycusis. Acta Otolaryngol Suppl 476, 143-48.

53. Maurer JF, Rupp RR, 1979. Hearing and aging: tactics for intervention. Grune & Stratton, New York.

Buller och inlärning

Staffan Hygge
Statens institut för byggnadsforskning, Gävle

Sammanfattande slutsatser

Buller har effekter på den typ av inlärning som är vanlig i skolor. Ju svårare uppgift, ju mer den kräver analys av mening och innehåll, desto kraftigare är effekten av buller. För långtidsminne är effekter visade för flygbuller ned mot 55 dBA, L_{eq} både för ett svårt erinringstest och ett lättare igenkänningstest.

För korttidsminne är mänskligt tal en kraftfull störningskälla, särskilt om talet är på ett språk lyssnaren förstår. Arbetsuppgifter som kräver en analys av mening och innehåll i en läst text är särskilt känsliga. Studierna av korttidsminne har använt högre ljudnivåer än studierna av långtidsminne och det är därför inte undersökt om också korttidsminne påverkas redan vid 55 dBA, L_{eq}.

För prestation under buller på kognitiva uppgifter gäller också att arbetsuppgifter som kräver en analys av mening och innehåll är särskilt känsliga, och att mänskligt tal är en viktig störkälla. För begripligt mänskligt tal är ljudnivåer ned mot 50 dBA tillräckliga för att visa en effekt på prestation.

Fältstudierna av elevers skolprestationer efter kronisk bullerexponering visar nästan genomgående sämre resultat vid högre ljudnivåer i eller runt skolan. Färdigheter i läsning drabbas hårdare än t ex matematikkunskaper. Dessutom är effekterna kumulativa och därför mer påtagliga i högre årskurser. Det finns också visst stöd för att barn med sämre intellektuella förutsättningar och barn som bor i bullriga bostadsområden drabbas hårdare. Inget i studierna strider mot ett antagande om att sambandet mellan ljudnivåer och försämrade skolprestationer i huvudsak är linjärt.

Grundläggande uppmärksamhetsmekanismer och motivation/uthållighet verkar också förändras med kronisk bullerexponering, även om skolprestationerna inte påverkats.

Eftereffekter av akut, intermittent bullerexponering på motivation och uthållighet har visats för så låga ljudnivåer som 56 dBA. Mänskligt tal förefaller vara en viktig ingrediens i det buller som orsakar eftereffekter.

Inledning

Avsikten med denna litteraturgenomgång är att ge ett svar på frågan om buller påverkar inlärning. För att avgöra frågan måste ett antal definitioner och preciseringar göras både av termen *buller* och termen *inlärning*.

Att precisera *buller* är relativt okomplicerat. Det kan sägas vara alla ljud som är oönskade eller inverkar negativt på någon (mänsklig) aktivitet. Definitionen innebär att buller inte är någon egenskap hos ljud, utan ljuds effekter på människor. I den enkla meningen kan därför inte en ljudnivåmätare mäta buller utan bara ljud. Ur grunddefinitionen följer också att det enda strikta sättet att mäta buller är att undersöka om ljud har någon negativ påverkan på människor eller ej. Definitionen för också med sig att samma ljud kan vara buller för en person, men den ljuvaste musik för andra. Vad som är ljuv musik för en viss person i en given aktivitet, kan vara buller för samma person i en annan aktivitet, som en svår problemlösningssituation. Det finns dock många ljudhändelser som är störande för de allra flesta människor i de allra flesta situationer. Därför kande det ofta varit berättigat att göra den medvetna förenkling det innebär att tala om en bullermätare i stället för ljudnivåmätare.

Preciseringar av termen *inlärning* kan ta sin utgångspunkt i det som lärs i skolan. Inlärning gäller **något nytt**, inte hur bra eller dålig **prestation** man kan visa upp i färdigheter som redan är inlärda. Om buller försämrar resultatet för den som kan sin multiplikations-tabell, säger det i och för sig inget om hur buller påverkar inlärning av multiplikationstabellen. Prestation under buller är i sig en intressant och viktig effekt av buller, men inte det primära för inlärning. En slutsats av distinktionen mellan inlärning och prestation är att i en regelrätt inlärningsstudie måste inlärningseffekten testas under **tystnad**. Är det bullrigt vid testet för inlärning går det inte att avgöra

om en nedsättning beror av dålig tidigare inlärning under buller eller om bullret vid testtillfället sätter ned prestationsförmågan.

Det material som skall läras in begränsar jag primärt till en text som **läses**. Det är visserligen sant att mycket av skolundervisningen är muntlig, och att det därför vore intressant att också värdera forskning om inlärning under buller av talat material. En komplikation är att buller maskerar talat material, och att den maskeringsinseffekten inte med lätthet kan skiljas från bullrets effekter på inlärning.

Det material som lärs in i skolan är också relativt **svårt** och **meningsfullt** Bullerexperiment med inlärning av meningslösa stavelser eller ordlistor är därför inte lika relevanta som t ex inlärning av en text om regnskogar. Det sätt på vilket inlärning testas spelar också en roll. En vanlig distinktion skiljer mellan **igenkänning** (eng recognition) och **erinring** (eng recall). Flervalsfrågor är ett exempel på igenkänning. Att med egna ord skriva ned centrala fakta i en text man läst är ett exempel på erinring. Igenkänning och erinring har vistas vara olika processer (Nilsson, Law & Tulving, 1988), och måste därför hållas isär. Ofta är erinringsuppgifter också svårare än igenkänningsuppgifter.

Det som lärs in skall, i någon mening, läras för livet och inte bara vara av övergående natur. Därför är frågan om **långtidsminne** viktigare än frågan om **korttidsminne**. Psykologisk forskning har också visat att långtidsminne och korttidsminne inte alltid är känsliga på samma sätt för störningar (Folkard, Monk, Bradbury & Rosenthall, 1977; Oakhill, 1986; 1988a; 1988b), och därför måste de två hållas isär.

Den ideala undersökningen om buller och inlärning är ett experiment, eftersom experiment tillåter kausala slutsatser. Testningen av inlärning skall göras under tystnad så att en hopblandning av inlärnings- och prestationseffekter inte sker. Tidsutdräkten mellan inlärningsfasen och testfasen skall vara relativt lång, för att säkerställa att långtidsminnet undersöks. Inlärningsuppgifterna skall vara meningsfulla och svåra, så att de har stor likhet med inlärning i skolsituationer. Erinringsuppgifter är att föredra framför igenkänningsuppgifter, eftersom de kräver mer aktiv organisation av ett inlärt material.

Det finns väldigt få undersökningar som kommer nära den ideala. Därför finns det skäl att titta på besläktade undersökningar som inte fyller alla krav på en ideal undersökning, men på sina sätt har viss

relevans och kan bidra till att ge en konvergerande bild av buller och inlärning. En utvidgning kommer därför att göras till att inkludera studier av korttidsminne.

Två huvudgrupper av icke ideala undersökningar är vanliga. Den ena är bullerexperiment som rör prestation under buller, ej inlärning. För de fall där den uppgift som skall utföras är relativt komplicerad och rör intellektuella eller mentala funktioner, kan sådana studier ge en fingervisning om vilka kognitiva funktioner som påverkas av buller. Den andra gruppen är fältundersökningar, ej experiment, om skolprestationer och kognitiva färdigheter efter långvarig bullerexponering. Ibland har färdigheterna testats under tystnad och liknar då regelrätta inlärningsexperiment, med den skillnaden att experimentvariabeln buller inte är under försöksledarens kontroll och styrkan i en kausal slutsats därför är svagare. Ett annat genomgående problem med fältundersökningar är hur metodologiskt skickligt de grupper som exponerats för buller har matchats mot grupperna med liten bullerexponering, för att göras lika i alla avseenden utom graden av bullerexponering. Mängder av socio-ekonomiska bakgrundsfaktorer kan vara bestämmande för vilka människor som bor i bullriga och mindre bullriga områden, och risken är att dessa skillnader, snarare än bullret, är orsaken till att barn i bullriga områden får sämre skolbetyg.

Dock, fältundersökningar har fördelen att undersöka **kronisk** bullerexponering, till skillnad från den **akuta** exponeringen i experiment. Det hade därför varit önskvärt med experimentella studier av kronisk bullerexponering, men några sådana exempel på sådana studier finns ej.

För att läsaren skall ha en möjlighet att själv pröva mina slutsatser, har jag beskrivit varje undersökning på ganska detaljerad nivå. Detaljerna inkluderar uppgifter om vilka försökspersoner som använts, deras ålder, kön, begåvningsnivå och s k personlighetsdrag.

För den intressersade läsaren rekommenderar jag bredare och mer teoretiskt hållna översikter av bullereffekter, som Cohen, Evans, Stokols & Krantz (1986), Evans (1990) och Jones (1990).

Inlärningsexperiment

Musik som bullerkälla

I detta avsnitt är studierna redovisade i tidsföljd. Det som testas som kausal effekt, beroendemåtten, är oftast korttidsminne och läsförståelse.

Ett antal studier har undersökt effekten av musik på inlärning och testat för inlärningseffekten under tystnad. (Det kan naturligtvis diskuteras om musik skall räknas till buller, men i den här framställningen gör jag den definitionen). Fendrick (1937) använde sig av 60 sant-falskt frågor på en text som lästes in medan försökspersonerna (studenter) lyssnade på klassisk musik under 30 min. Inga uppgifter redovisades om ljudnivåer. Överlag hade de grupper som exponerats för musik säkerställt lägre testpoäng än de tysta grupperna, även om skillnaden var liten för några av de fem musikstyckena. Det fanns också en tendens till att de mer intelligenta studenterna hade större inlärningsförsämring av buller än de mindre intelligenta. För de musikexponerade grupperna fanns också en tendens till att hinna läsa mer av texten än de tysta grupperna. Det resultatet stämmer med påståendet att buller ökar genomströmningen av information, men försämrar korttidsminnet (Hamilton, Hockey, & Rejman, 1977).

Freeburne & Fleischer (1952) använde sig av igenkänningsfrågor direkt efter försökspersonerna (studenter) läst en text under 30 min sent på eftermiddagen. Under inläsningen spelades en av fyra sorters musik (klassisk, halvklassisk, populär och jazz). En kontrollgrupp läste under tystnad. Inga mätvärden för ljudnivåer redovisades. Överlag fanns inga säkerställda skillnader mellan de fyra experimentgrupperna och kontrollgruppen vad gäller läsförståelse. Inte heller läshastighet skilde sig i genomsnitt åt mellan grupperna, med det undantaget att den gruppen som exponerats för jazzmusik läste snabbare än kontrollgruppen. Det fanns ingen säkerställd inverkan av försökspersonernas intelligens på graden av inlärningsförsämring under buller.

Andersson & Levin (1966) och Levin & Andersson (1968) redovisade en serie experiment med flervalsfrågor direkt efter inläsning av en text under buller. Försökspersonerna kom från olika årskurser (5, 7, 8), gymnasium, seminarium eller folkhögskola. (För elever från årskurs 3 användes prestationsmåttet räkneprov under bullerexponeringen i stället för ett inlärningsprov efter exponeringen). Bullret varierade

mellan studierna. I några av undersökningarna var det lägenhetsljud, i andra pop-musik, och i ännu andra "soft" instrumentalmusik. I några av delstudierna redovisas inga ljudnivåer för exponeringen, i andra redovisas de till 70 dB för soft musik, i ännu andra som genomsnittsnivån 45 dB för lägenhetsljud och ca 55 dB för popmusik. Resultaten visar inte på någon generell inlärningsnedsättning i bullergrupperna. För fem jämförelser av 20 mellan bullerexponerade grupper och kontrollgrupper finns en säkerställd nedsättning i inlärning, i ett fall en säkerställd förbättring.

I Etaugh & Ptasnik (1982) går det inte klart att utläsa om inlärningsmåttet var av igenkännings- eller erinringstyp, ej heller om frågorna besvarades under tystnad eller buller. Men eftersom Etaugh & Ptasnik (1982) i sitt referat av studien hävdar att försökspersonerna testades i tystnad omedelbart efter inläsningen, godtar jag det. De studenter som var med i undersökningen fick ta med sig en skiva med musik de föredrog. Alla försökspersoner, lika många män som kvinnor, var med både om en tyst session och en session med musik i motbalanserad ordning. Två läsförståelsetest motbalanserades också. Det fanns ingen huvudeffekt av musik, men väl en interaktion mellan musikexponering och kön, med innebörden att kvinnor visade sämre inlärning till musik. För män fanns ingen skillnad mellan musik och tystnad. Det fanns också en säkerställd korrelation mellan hur ofta försökspersonerna uppgav att de brukade läsa till musik och hur litet deras inlärning försämrades.

Etaugh & Ptasnik (1982) använde sig troligen av samma flervalsfrågor och texter som i Etaugh & Michals (1975). Också här fick försökspersonerna (studenter) välja vilken musik de tog med sig. Lika många män som kvinnor deltog. Till skillnad från den förra studien var varje försöksperson bara med om en inlärningssession, antingen med musik eller utan. Under 10 min efter inläsningen hade hälften av försökspersonerna en avslappningsövning medan den andra hälften läste ett stycke ur en tidskrift. Överlag hade försökspersonerna i den tysta betingelsen säkerställt högre poäng på inlärningstestet, men efter en uppdelning av materialet fanns den skillnaden bara kvar för dem som uppgav att de sällan studerade till musik. Försökspersonerna som hade avslappningsövningar mellan inläsnings- och testfasen hade också högre poäng på inlärningsprovet än de som läste en artikel. Någon könsskillnad rapporterades ej. Varken i Etaugh & Ptasnik (1982) eller Etaugh & Michals (1975) rapporterades några ljudnivåer.

Hygge & Bergquist (1992) studerade långtidsinlärning över en vecka med både svårare erinringsfrågor och lättare igenkänningsfrågor. Försökspersoner var elever i årskurs 7 och experimenten gjordes i elevernas vanliga klassrum. Varje försöksperson var med om tre inlärningssessioner. Den första var ett förtest under påbjuden tystnad, för att ta reda på vilka som hade lätt och svårt för inlärning mätt som erinring. Under session två skedde inläsningen till vokal popmusik (73 dBA, L_{eq}) under 15 min för hälften av klasserna, och under påbjuden tystnad för den den andra hälften. I session tre rådde de spegelvända betingelserna. Tre olika texter om äldre kulturer användes och alltid samma text för alla i session ett. I session två och tre motbalanserades två andra texter. Hälften av klasserna var med om experimenten under förmiddagen och hälften under eftermiddagen. Resultaten visade en nedsättningen av inlärning på erinringsfrågorna för de grupper som exponerats för popmusik på förmiddagarna, men ej för de som exponerats under eftermiddagar. Överlag var inlärningen under tystnad bättre på förmiddagarna. Inlärningsförmågan, som den mätts upp från session ett, gjorde ingen skillnad i nedsättning av erinring till popmusik. På de lättare igenkänningsfrågorna fanns inga effekter av popmusik. Elevernas rapporter om hur vana de var att läsa läxor till popmusik spelade ingen roll för graden av nedsatt erinring. Ej heller fanns någon skillnad mellan antalet lästa sidor under tystnad och popmusik, vilket gör en distraktionsförklaring av resultatet mindre trolig.

Slutsatser av musikstudierna. Det finns ett visst stöd för att korttidsinlärning med igenkänningsfrågor försämras av musikexponering. Men eftersom inte alla studier rapporterar en sådan nedsättning finns det skäl att tro att t ex uppgiftens svårighetsgrad är avgörande för om det finns någon effekt eller ej. Könsskillnader i nedsatt inlärning till musik är antydda, men ej generellt visade. Samma sak gäller för skillnader i begåvning eller inlärningsförmåga.

För långtidsminne mätt med svåra erinringsfrågor över en vecka finns stöd för nedsatt inlärning på förmiddagarna, när inlärningsförmågan är som bäst.

Nedsättningen av kort- eller långtidsminne, mätt som erinring eller igenkänning, verkar börja i området 55-70 dBA, L_{eq}.

Andra bullerkällor

I detta avsnitt redovisas först ett par studier där verbalt buller varit en av störningskällorna och korttidsminne ett av beroendemåtten. Sedan redovisas en metodologiskt viktig stude med bredbandsbrus som störningskälla och både kort-och långtidsminne som beroendemått. I slutet av avsnittet redovisas en större undersökning av långtidsminne efter exponering för olika bullerkällor.

Martin, Wogalter & Forlano (1988) redovisade fem experiment med olika bullerkällor avspelade med en ljudnivå på ca 82 dB (för experiment tre redovisades ingen ljudnivå). Alla försökspersoner (studenter) deltog i alla betingelser inom ett av de fem experimenten, och korttidsinlärning testades direkt efter inläsningsfasen med i huvudsak igenkänningsfrågor i experiment ett och två, och med i huvudsak erinringsfrågor i experiment fyra och fem. (Experiment tre begränsades till musikstudenter och bestod i att känna igen melodier utifrån enbart nottexten. Jag väljer därför att inte redovisa det tredje experimentet). I det första experimentet jämfördes betingelserna kontinuerligt tal, slumpmässigt ordnade ord, instrumental jazz-rockmusik, slumpmässigt ordnade toner och kontinuerligt bredbands-brus mot en tyst kontrollgrupp. Resultaten visade sämre inlärning under kontinuerligt och slumpmässigt tal. De andra bullerbetingelserna skiljde sig ej från kontrollgruppen. I det andra experimentet jämfördes sex kombinationer av instrumentalmusik/ej musik och sjungen text/talad text/ingen text. Resultatet visade säkerställd sämre inlärning i de kombinationer där sångtext eller talad text fanns med, jämfört med betingelsen ingen text. I betingelserna utan musik resulterade talad text i sämre inlärning än sjungen text. I det fjärde experimentet jämfördes den tysta betingelsen mot bredbandsbrus, engelskt (begripligt) tal och ryskt (obegripligt) tal. Inlärning till engelskt tal var sämre än i alla de andra betingelserna. Inlärning till ryska var sämre än under tystnad, men ej sämre än under bredbandsbrus. Bredbandsbrus skiljde sig ej från den tysta betingelsen. I det femte experimentet jämfördes tystnad och bredbandsbrus mot slumpmässigt ordnade ord och slumpmässigt ordnade icke-ord (en bokstav i varje ord byttes ut). Resultaten visade att alla tre bullerbetingelser gav sämre inlärning än kontrollgruppen, att betingelsen med ord gav sämre inlärning än icke-ord och brus, som inte skiljde sig åt. Sammantaget visar experimentet att buller i form av tal försämrar korttidsinlärning, och att graden av nedsättning beror på semantiska snarare än fonologiska egenskaper hos talet. Se det det femte experimentet där störningen från icke-ord ej skiljde sig från bredbandsbrus.

Collins-Eiland, Dansereau & Brooks (1986) lät sina försökspersoner (studenter) vara med om tre sessioner. I den första sessionen fick alla göra ett ordkunskapstest under tystnad och sedan läsa in en av två texter under 40 min. Texten lästes in under tystnad i den ena gruppen och under buller i den andra gruppen. Bullret var 2-min avsnitt med inspelad konversation från TV-program, återgivna med 60 dB och åtskilda av 20 sek tystnad, Tanken med bullrets sammansättning var att återge ett vanligt buller i studentbostäder. Under session två, som ägde rum 2 dagar efter session 1, fick studenterna under tystnad fylla i ett frågeformulär om upplevd inre eller yttre kontroll (Rotters I-E skala), och under mer än en halvtimme skriftligt svara på frågor om texten från den första sessionen. Frågorna var i huvudsak av erinringstyp. Därefter utsattes försökspersonerna för samma betingelser som under den första sessionen medan de läste in den andra av de två (motbalanserade) texterna. Under session tre ännu två dagar senare, (det är troligen ett feltryck i artikeln där det sägs 2 dagar efter session 1), gavs under tystnad först ett geometriskt test (utifrån antagandet om fältberoende, som kan antas vara relaterat till hur lättdistraherade individer är). Därefter fick studenterna svara på frågor om den text de läst under session två. Kovariansanalyser med poäng på ordkunskapstest som kovariat, visade ingen säkerställd skillnad mellan den grupp som exponerats för buller och tystnadsgruppen. De personer som rapporterade sig som internstyrda på Rotterskalan gjorde bättre ifrån sig än de externstyrda på inlärningstestet efter inläsning under buller, medan det omvända var sant för tystnadsbetingelsen. Det resultatet är förenligt med antagandet om att de internstyrda, som uppfattar att de har kontroll över situationen, är mindre mottagliga för en yttre störning som buller.

Nurmi & von Wright (1983) använde sig också av personlighetstest för att särskilja undergrupper bland sina försökspersoner (gymnasister). Utifrån Eysencks (1967) dimensioner extrovert-introvert och neurotisk-stabil, antog de att extroverta personer är mindre störda av buller än introverta, och att under inlärning är neurotiska människor är mer störda av buller än stabila och icke ångestfyllda individer. Fyra grupper av försökspersoner matchades m a p ålder, kön, och poäng på de två personlighetsdimensionerna. De fyra grupperna var buller/tystnad under inläsningsfasen (5 min) korsat med buller/tystnad under erinringsfasen (14 min). Erinringsfrågorna konstruerades så att hälften var lätta, hälften svåra. Före och direkt efter inläsningen av texten, och efter erinringstestet fick försökspersonerna fylla i ett formulär om upplevd ångest. Bullret var intermittent brus i stötar med 0.5 - 3 sek varaktighet och .5 - 1 sek tystnad mellan stötarna. Ljudnivån i

bullerstötarna var 90 dBA. Experimentet gjordes i elevernas klassrum före lunchtid. Utan förvarning gavs eleverna fyra dagar efter det egentliga experimentet ännu ett erinringstest på den text de läst. På så sätt kunde effekten av buller under inläsning och erinring skiljas åt, likaså effekter på kort- och långtidsminne.

För omedelbar erinring fanns ingen huvudeffekt av buller, men väl en interaktion mellan buller och neuroticism, med innebörden att buller försämrade de neurotiska personernas inlärning, men ej de stabilas. Efter inlärning under tystnad fanns ingen skillnad mellan de neurotiska och stabila. För omedelbar erinring fanns också en interaktion mellan buller, neuroticism och extroversion, som tolkades så att de stabila introverta klarade sin inlärning bra under buller, medan de neurotiska introverta klarade sig bra i den tysta betingelsen. Buller under omedelbara erinringsfasen försämrade säkerställt poängen för enbart de **svåraste** inlärningsuppgifterna. Det resultatet är viktigt att notera med tanke på hur man skall tolka bullerstudier där testningen av svåra kognitiva uppgifter skett i buller.

För erinringstestet med fyra dagars fördröjning fanns också en interaktion mellan buller och neuroticism, också med innebörden att buller försämrade de neurotiska personernas inlärning, men ej de stabilas. Där fanns också en interaktion mellan buller, neuroticism och frågornas svårighetsgrad. Det tolkades som att de stabila relativt sett hade bättre inlärning under tystnad av de lätta uppgifterna, men relativt sett sämre inlärning av de svåra uppgifterna.

Sammantaget visar Nurmi och von Wrights (1983) studie på att långtids- och korttidsinlärning inte är helt jämställda processer i betydelsen att de påverkas olika av samspelet mellan buller, materialets svårighetsgrad och försökspersonernas personlighetsdrag. Att effekterna av buller inte var rena huvudeffekter, utan samspelade med andra variabler, kan ha att göra med att bredbandsbrus inte är en särskilt kraftfull bullerstörning (jmf Martin, Wogalter & Forlano, 1988, exp. 4 och 5 ovan), att 5 min inläsningstid är en kort period, att inlärningsmaterialet i genomsnitt inte var alltför svårt, eller att en undersökningsuppläggning med fyra oberoende grupper (mellan-person design) är mindre känslig än när alla försökspersoner får vara med om både buller- och tystnadsbetingelsen (inom-person design).

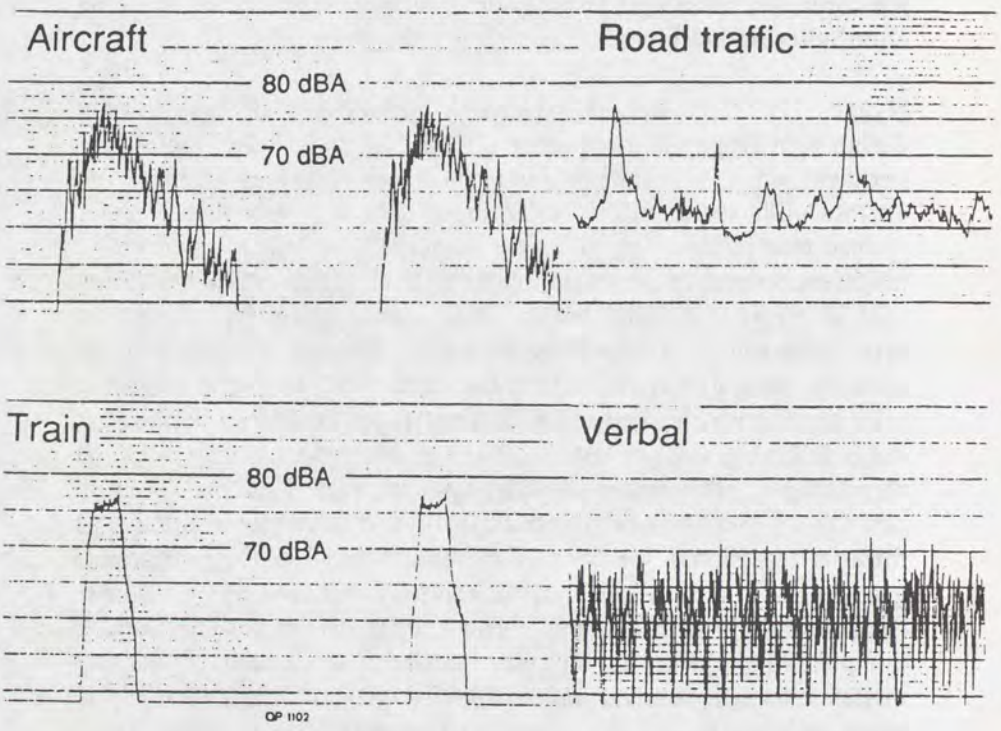
Krýsa (1983) studerade korttidsminne efter en exponering för vägbuller (82 dB, L_{eq}) eller tystnad (40 dB, L_{eq}). Inlärningsuppgiften var att lära sig kombinationer av bilder och konstgjorda ord, t ex sol -

MISU, bokstaven B -KUSO. Testningen bestod i att återge rätt ord när föremålet presenterades. Resultatet visade en försämrad erinring efter bullerexponeringen.

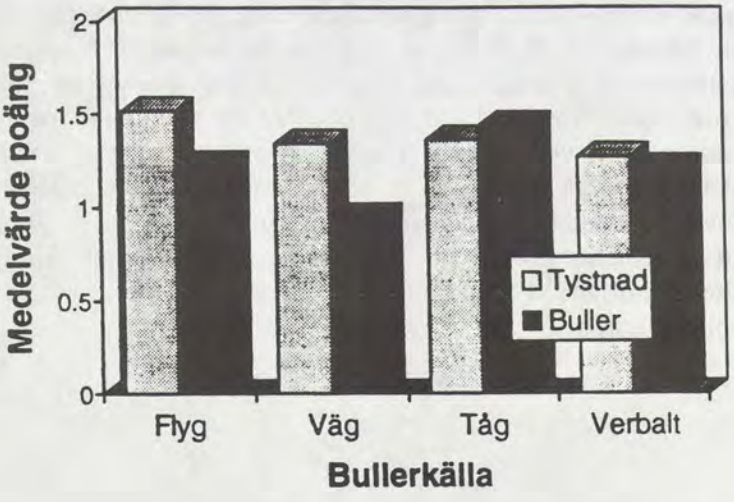
Hygges (1993) studier av fyra olika bullerkällor använde samma design som Hygge & Bergquists (1992) popmusikstudie. I gruppexperiment som genomfördes i klassrummet fick varje elev vara med om att läsa olika texter vid tre inlärningstillfällen: (1) ett förtest under tystnad med inlärning av en av tre texter, (2) en inlär
ningssession med en annan text under tystnad, (3) en inlärningssession med en tredje text under buller. Varje klass utsattes bara för en av fyra bullerkällor. Tidsordningen mellan (2) och (3) och mellan texterna motbalanserades. Testning med hjälp av ganska svåra erinringsfrågor och lättare igenkänningsfrågor skedde en vecka efter varje inlärningssession. Både inlärning och testning ägde rum på förmiddagen, alltid under påbjuden tystnad, alltid i samma klassrum och tog 15 min vardera. I resultatanalyserna användes resultatet på förtestet i session 1 för att dela eleverna i hög- och lågpresterande grupper, och skillnaden i inlärning mellan buller- och tystnadsbetingelsen som primärt mått på inlärning (inom-person design). Som ett kompletterande mått på inlärning användes skillnaden i inlärning mellan session 1, som var under påbjuden tystnad för alla försökspersoner, och session 2, där hälften av klasserna läste in texten under buller och den andra hälften under tystnad (mellan-person design). Barnen fick också svara på frågor om hur mycket de ansträngt sig, hur svårt det var mm. Sammanlagt har mer än 520 barn deltagit.

Fyra bullerkällor spelades upp från bandspelare i klassrummen. Alla fyra hade samma fysikaliska genomsnittsnivå (66.1 dBA L_{eq} 4 m framför högtalarna). Bullret från flyg och tåg bestod av 8 passager med bullertoppar (inställningen fast på ljudnivåmätaren) på 76-77 dBA, och vägtrafikbullret hade samma värde för bullertopparna men fler passager. Det verbala bullret bestod av en blandning av en saga på tyska och en på serbo-kroatiska och hade inga särskilda bullertoppar utöver de fluktuationer ett normalt tal har. Valet av språk gjordes för att minimera ströningens semantiska effekter (jmf Martin, Wogalter & Forlano, 1988). Se figur 1 för ett grafiskt exempel på de fyra bullerkällorna.

Figur 1. Schematisk framställning av ljudnivåer över tid för fyra bullerkällor.



Figur 2. Medelvärde för poäng på de svåra erinringsfrågorna för fyra bullerkällor. (Notera att den statistiska prövningen analyserar skillnaden mellan tystnad och buller för varje individ - en skillnad som spänner sig från flera pluspoäng till flera minuspoäng).



Resultaten visade ingen inverkan av buller på igenkänningsfrågorna.

På erinringsfrågorna - se figur 2 - försämrades inlärningen på ett statistiskt säkerställt sätt av flyg- och vägtrafikbuller. Nedsättningen var ca 20 resp 30%. Tågbullret och det verbala bullret hade ingen sådan inverkan. Dessutom fanns ingen skillnad mellan de hög- och lågpresterande eleverna i hur mycket de påverkades av bullret.

Den kompletterande analysen (mellan-person) gav, med ett undantag, samma resultat som den inom-person analysen. Undantaget var att effekten av vägbuller inte var säkerställd.

En möjlig förklaring till resultaten kan vara att flyg- och vägtrafikbuller distraherar mer än verbalt buller och tågbuller. Men distraktionsmåttet antalet lästa sidor vid inlärningen visar inte någon sådan skillnad, och därför kan den förklaringen avfärdas. Inte heller finns det någon överensstämmelse mellan inlärningsresultaten och hur mycket barnen rapporterar att de ansträngt sig med och utan buller, och hur svårt det varit att läsa eller lära sig under bullret. Därför kan flera förklaringar utifrån upplevd stress eller ansträngning föras bort.

En annan möjlig förklaring till varför tågbuller, men inte flyg- och väg-buller, visar någon effekt på inlärning kan vara fluktuationsgraden, och därmed predicerbarheten hos bullret. Eftersom tåg och flygbuller hade samma antal maximivärden vid samma tidpunkter, så är den grundläggande skillnaden mellan dem flygbullrets större grad av fluktuation. Vägtrafikbullret har fler men mindre fluktuationer än flygbullret, och kan därför tänkas ha samma inverkan som flygbullret.

Att det verbala bullret inte gav någon effekt på inlärning var oväntat och i motsats till effekter på auditivt, seriellt korttidsminne sammanfattade (se Jones, 1990 och t ex Martin, Wogalter & Forlano, 1988, exp 4 och 5 ovan). Dock, Hygge (1993) använde sig av långtidsminne för läst material, och med tanke på de skillnader mellan kort- och långtidsminne som pekats ut ovan, är det möjligt att det också här är fråga om en processkillnad.

Det är något speciellt med det verbala bullret. Eleverna upplevde att det var svårare att läsa texten och lära in den när de utsatts för det verbala bullret. Svårare än för flyg- och tågbullret, men inte svårare än för vägtrafikbullret. Men eftersom det inte återspeglas i inlär-

ningsresultaten för det verbala bullret, kan man spekulera i att för ett naturligt ljud som andra människors tal, har människan som art utvecklat särskilda mekanismer. Dessa kan tänkas föra bort naturliga ljud så att de inte överbelastar inlärningsförmågan, även om de belastar uppmärksamheten.

Under hösten 1992 har flygbullerstudien upprepats, men med en avspelningsnivå på 55 dBA L_{eq}. Preliminära analyser visar en säkerställd nedsättning på erinring också vid den nivån och av ungefär samma storlek som vid 66 dBA L_{eq}. Dos-respons kurvan är alltså inte linjär från den tysta betingelsens ca 40-44 dBA L_{eq} upp till 55 och 66 dBA L_{eq}. Resultaten visade också en nedsättning av inlärning mätt med igenkänningsfrågor.

Slutsatser av andra bullerkällor. Studierna visar att både för långtids- och korttidsminne finns stora skillnader mellan olika bullerkällor vid samma genomsnittliga ljudnivå. Ett integrerat genomsnittsmått som L_{eq} är därför inte en bra indikator på ljudets effekter på inlärning. Andra egenskaper, som kvalitet (språk/ej språk), fluktuationsgrad och predicerbarhet förefaller vara viktigare.

För korttidsminne är mänskligt tal en stark störningskälla, särskilt om talet är på ett språk lyssnaren behärskar. Bullrets effekter på inlärning har också olika styrka för individer med olika personlighetsdrag. Externstyrda och vissa
grupper som ligger högt i neuroticism eller 'ångest' är sämre på inlärning under buller. Effekterna av verbalt buller och sångtexter på korttidsinlärning reser frågan om de musikexperiment som redovisades ovan använt instumentalmusik eller musik med sånginslag. Några av dem förefaller ha använt rent instrumentell musik, andra redovisar ej, men har troligen inslag av sång. Hygge & Bergquist (1992) använde sig av popmusik med sång.

För långtidsminne mätt som erinring, finns effekter av flyg- och trafikbuller. För flygbuller är effekterna visade redan vid 55 dBA L_{eq}. Tågbuller och verbalt buller på språk som inte förstås av lyssnaren har inga visade effekter på långtidsminne.

Det förefaller vara en generell sanning att ju svårare inlärningsuppgiften är, desto mer påverkas den av buller.

Prestation under buller

Det finns ett relativt stort antal studier av mer eller mindre komplexa kognitiva färdigheter med åtskilda inlärnings- och testfaser, men där testfasen äger rum under buller. Undersökningarna är därför, som sagts tidigare, inte metodmässigt rena studier av inlärning. Låt mig kalla dem **orena inlärningsstudier**. Att frågan inte bara är metodologisk utan också har ett empiriskt stöd i betydelsen att det finns en skillnad mellan hur bra ett inlärt och svårt material kan erinras under buller jämfört med tystnad, visades av Nurmi & von Wright (1983).

Utöver de orena inlärningsstudierna finns också undersökningar av hur buller påverkar prestation i mer eller mindre komplexa mentala och kognitiva färdigheter. Dessa studier har alltså ingen motsvarighet till en inlärningsfas. Låt mig kalla dem **rena prestationsstudier.**

Trots att båda typer av studier faller utanför en strikt definition av inlärning, kan det ha sitt intresse att mer summariskt titta på undersökningar där de kognitiva eller mentala färdigheter som undersökts är av relativt komplex natur. Skälet är att de har viss relevans för den skolprototyp för inlärning som skisserades i början av översikten.

Orena inlärningsstudier

Här presenteras först ett antal studier där bullerkällan varit musik, och därefter några studier som som använt naturliga ljud från en skolmljö.

Henderson, Crews & Barlow (1945) jämförde effekterna av popmusik, klassisk musik och tystnad på ett lästest och fann att popmusiken, men inte den klassiska musiken, försämrade läsförståelsen. Flera av de populära musikstycken som spelades innehöll sång, men detta sägs inte explicit i artikeln. Inga ljudnivåer rapporterades. De studenter som uppgav sig vara vana att studera med radion på, skiljde sig inte i läsförståelse under buller från de som inte var vana att ha radion på.

LaBach (1960) fann ingen skillnad på ett test för läsförståelse mellan en grupp som exponerades för musik och en tyst kontroll-

grupp. Några ljudnivåer angavs ej, ej heller vad slags musik som spelades. Försökspersonerna var elever i årskurs 6.

Fogelson (1973) använde populär instrumentalmusik i bullerbetingelsen och ett läsförståelsetest under 55 min som arbetsuppgift. Det är oklart om testet var av erinrings- eller igenkänningstyp. Ljudnivåer redovisades ej. Försökspersonerna var två grupper på 14 elever vardera från årskurs 7. De två grupperna hade valts ut efter kriteriet begåvade och icke-begåvade och matchades efter intelligenskvot till experiment- och kontrollgrupp. Resultaten visade lägre poäng för bullergruppen än den tysta kontrollgruppen, och en interaktion med intelligens på det sättet att de mindre intelligentas resultat försämrades mer av bullret än de mer intelligentas.

Zimmer & Brachulis-Raymond (1978) uppgav inte explicit att testningen för inlärning skedde under tystnad, och därför räknar jag deras studie till de orena inlärningstudierna. Ej heller går det avgöra om inlärningsmåttet var av erinrings-eller igenkänningsnatur. En tyst betingelse jämfördes med betingelserna industribuller, musik och tal. Bullerbetingelserna uppgavs ha konstant dB nivå, men det är inte sagt vilken nivå. Ej heller ges någon närmare beskrivning av bullren eller försökspersonerna. Resultaten visar en nedsättning av korttidsminnet för de som utsatts för industribuller, men musik- och talbetingelserna skiljde sig ej från kontrollgruppen.

Goel (1984) jämförde 36 musikstudenter med 60 icke musikstudenter på inlärning av vanliga ord och meningslösa stavelser. De tre betingelserna var en tyst kontrollgrupp, instrumentell musik och ljud från skepp och regn. Inga ljudnivåer angavs. Det enda säkerställda resultat var att icke musik-studenter i gruppen med ljud från skepp och regn presterade bättre än kontrollgruppen på inlärningen av meningslösa stavelser.

Hilliard & Tollin (1979) undersökte om förekomsten av samma musik både under inläsningen av en text och ett påföljande test, förbättrade resultatet i jämförelse med att lyssna på annan musik under testfasen. Klassisk musik med ljudnivån 80 $\pm$5 dB användes. Poängen på ett lätt och ett svårt läsförståelsetest med flervalsfrågor användes som beroendemått och försökspersonerna var studenter. Det fanns en säkerställd effekt av att den bekanta musiken ökade läsförståelsen oberoende av testets svårighetsgrad. En brist i undersökningen är att det inte fanns någon tyst kontrollgrupp under testfasen.

Slater (1968) använde sig av ett lästest, troligen av igenkänningstyp, och tre bullerbetingelser med en tyst grupp (45-55 dB), en något bullrig grupp (55-70 dB) och en mycket bullrig grupp (75-90 dB). Bullret gjordes för att vara en blandning av ljud som är typiska för en skola och bredbandsbrus. Grupperna matchades m a p läsförståelse, intelligenskvot, och socioekonomisk status. Försökspersonerna var 263 elever i årskurs 7. Inga effekter av bullerexponering visades. Ej heller någon interaktion med kön.

Edmonds & Smith (1985) använde sig av inspelat ljud från ett vanligt klassrum, som spelades upp med genomsnittligt nivå av 40 eller 70 dBA. Försökspersonerna var 289 elever i årskurs sju som antingen fick lösa ett spatialt problem (s k matriser, som går ut på att finna vilken av flera olika geometriska mönster som passar in i ett tomrum i ett annat mönster. Just den arbetsuppgiften i denna studie hör mer till de rena prestationsstudierna nedan). Eleverna testades också på läsförståelse. I analyserna inkluderades variablerna kön och intelligens (hög/låg). Eleverna med den låga bullernivån klarade det spatiala problemet bättre än de som utsattes för den höga nivån. För lästestet fanns en interaktion mellan bullerexponering och intelligens, sådan att de med hög intelligens hade högre poäng vid lågt än vid högt buller. Studenter med låg intelligens hade bättre resultat vid den högre än vid den lägre ljudnivån. Någon interaktion med kön kunde inte visas.

Slutsatser av de orena inlärningsstudierna. Dessa studier tillför egentligen inget nytt till en utvärdering av buller och inlärning. Även om man gör antagandet att buller under testfasen inte påverkar resultaten, är beskrivningarna av inlärningsmaterialet, de buller som använts och deras ljudnivåer så bristfälliga, att inga egentliga slutsatser kan dras.

Rena prestationsstudier

De studier som presenteras här har i huvudsak ordnats efter principen att gå från enkla till mer komplexa kognitiva funktioner.

Christie & Glickman (1980) undersökte elever i årskurs 1, 3 och 5 på en spatial uppgift (matriser). Bullret var en bandinspelning av vanliga klassrumsaktiviteter som spelades upp med 70 dBA in den bullriga och 40 dBA i den tysta betingelsen. Ingen huvudeffekt av buller kunde visas, men en interaktion med kön. Pojkar hade högre poäng i den bullriga än den tysta betingelsen, men flickor prestera-

de bättre under tystnad. Resultatet kan jämföras med Edmonds & Smith (1985) ovan, som också använde sig av en matrisuppgift och fann en prestationsnedsättning under buller.

I en tidig studie av Cason (1938) undersöktes hur den sammantagna störningen från radio och en försöksledare som hummade, trummade med fingrarna, visslade falskt och gick runt i rummet påverkade hur studenter löste additionsproblem, aritmetiska problem, mycket enkel inlärning (parade associater) läsning av intressant prosa och läsning av ordspråk och skämt. Inga statistiksa prövningar gjordes, men författaren hävdar ett det fanns en liten prestationsminskning i additionsproblemen, enkel inlärning och läsningen av prosa. Det pekades ut i artikeln att störningen från försöksledarens beteende troligen var större än den från radion.

Johansson (1983) undersökte ord-figur inlärning, läsning och multiplikation hos tioåringar under ett två timmar långt experiment. Ljudbetingelserna var tystnad (25 dB), kontinuerligt brus (51 dB) och intermittent brus av samma genomsnittsnivå (ekvivalent noisiness). Inga huvudeffekter av buller rapporterades. Barn med högre intelligens löste dock fler multiplikationsuppgifter under buller än tystnad, medan det omvända gällde för barn med låg intelligens.

Kassinove (1972) använde sig av en tyst kontrollgrupp och fyra typer meningsfullt buller: (1) sagor, (2) populärmusik, (3) en blandning av sagor och populärmusik från samma högtalare, och (4) som (3) men från olika högtalare. Bullret uppgavs variera mellan 70-80 dB. Arbetsuppgiften var en serie additions-och divisionsproblem, där både hastighet och kvalitet mättes. Försökspersoner var elever från årskurs 3 och 6. Ingen effekt av bullerkällorna kunde visas.

Typen av arbetsuppgift, dess svårighetsgrad, vilken kontext den presenteras i, exponeringstidens längd, och typen av buller verkar alla kunna spela en roll för resultaten. Smith & Broadbent (1980) använde sig av geometrisk uppgift där försökspersonerna skulle finna en av fem enkla mönster i mer komplicerade mönster (dolda figurer). I den bullriga betingelsen fanns ett bredbandsbrus på 85 dBC, och i den tysta betingelsen var nivån 55 dBC. Två experiment gjordes och försökspersonerna, alla kvinnor, arbetade med uppgifterna under 8 min. Inga effekter av bullret kunde visas. Hygge (1991) använde samma uppgift tillsammans med fem andra arbetsuppgifter i senare delen av ett experiment med två sessioner på

vardera 2.5 tim med ett dygns mellanrum. Försökspersonerna fick dag 1 arbeta med uppgifterna vid 20° C och ett fläktbuller på 38 dBA. Dag 2 vad betingelserna en av de fyra kombinationerna temperatur 19/27° C och fläktbuller 38/53 dBA. Resultaten visade att den högre fläktbullernivå i kombination med den lägre temperaturen försämrade prestationen (differensen dag 2 - dag 1) på de dolda figurerna.

I en ofullständigt redovisad studie utan statistiska prövningar hävdade Hall (1952) att läsförståelse hos elever från årskurs 8 och 9 förbättrades av att lyssna till musik. Förbättringen uppgavs till 4-5%.

En vanlig slutsats om bullers direkta inverkan på minne och uppmärksamhet är att buller förytligar bearbetningsprocessen, så att t ex en utantillinlärning av ordningsföljd mellan de enskilda enheter som presenteras blir vanligare på bekostnad av meningsfulla relationer mellan enheterna (Daee & Wilding, 1977). Smith (1985) prövade en liknande idé i fyra experiment med tre ljudkällor: (1) kontinuerligt brus, (2) intermittent brus och (3) ett konglomerat av meningsfulla ljud sammansatt av utsnitt från ett radioprogram, populärmusik och ljud från en skrivmaskin. Ljudnivåerna för brusljuden uppgavs till 85 dBC och konglomeratet hade sina maxvärden vid 85 dBC. Arbetsuppgifterna var ett test om mening och innehåll (semantiskt) och ett om logiska relationer (syntaktiskt). Prestationen på båda uppgifter försämrades av bullerkonglomeratet, men det kontinuerliga bredbandsbruset hade ingen effekt. Det intermittenta bullret störde den semantiska uppgiften, men inte den syntaktiska. Resultaten visar bl a betydelsen av meningsfulla ljuds inverkan på grundläggande processer för uppmärksamhet och korttidsminne.

Weinstein (1974; 1977) använde studenter som försökspersoner, och förståelse och korrekturläsning som arbetsuppgift. I korrekturet hade ett antal kontextuella fel (grammatik, felaktiga ord eller ord som saknas) och icke-kontextuella fel (typografiska fel och stavfel) förts in. Försökspersonerna fick bara se en rad åt gången av den text de läste utan möjlighet och gå tillbaka. Bullret var intermittent och kom från en terminalskrivare (teletype) i den första studien och från en inspelning av radionyheter i den senare studien. Ljudnivån på bullerstötarna i den första studien uppgavs till 70 dB och till 50 dB i pauserna. Ljudnivån i den tysta betingelsen i studie ett var ca 36 dB. I den senare studien angavs den högre ljudnivån till ett genomsnitt på 68 dBA och den tysta betingelsen till 42 dBA. Alla

försökspersoner i den första studien arbetade under tystnad under ett första pass på 6 min och sedan antingen i buller eller tystnad under 2 perioder på 7 minuter. Försökspersonerna i den senare studien hade också ett inledande arbetspass i tystnad under 6 min, och sedan fyra pass vardera på 5 min med ordningen tyst-buller-buller-tyst för ena gruppen och buller-tyst-tyst-buller för den andra. Utan att ha informerat i förväg, gavs försökspersonerna i den första studien som avslutning ett erinringstest på den text de korrekturläst (Den delen är ett inlärningsexperiment). Försökspersonernas prestation i slutet av den inledande tysta fasen användes som kovariat i en kovariansanalys av resultaten. I den första studien fanns ingen effekt av buller på erinringstestet, ej heller på hur många procent (relativt antalet lästa rader) icke-kontextuella fel som hittades. Bullergruppen hittade dock (procentuellt) färre kontextuella fel än vad den tysta gruppen hittade. Initialt hade bullret också effekten att försökspersonerna arbetade långsammare och ojämnare, men med fler rätta svar. Den senare studien replikerade resultaten att buller försvårar upptäckten av grammatikfel, men inte spelar någon roll för att upptäcka stavfel.

Jones, Miles & Page (1990) undersökte effekten av ovidkommande tal (irrelevant speech) på korrekturläsning. De, som Weinstein, gjorde en åtskillnad mellan kontextuella och icke-kontextuella fel, och räknade upptäckta fel i relation till hur många rader försökspersonerna hunnit med att läsa. Bullret i de fem experimenten var olika varianter av ovidkommande tal, uppspelat framlänges (begripligt) eller baklänges (obegripligt) med 50 eller 70 dBA, och flera röster med olika grad och typ av separation. Det fanns ingen skillnad mellan ljudnivåerna 50 och 70 dBA i hur många av felen försökspersonerna hittade. Meningsfullt tal var dock mer störande än baklängestalet på uppgiften att hitta de icke-kontextuella felen, medan upptäckten av kontextuella fel inte påverkades. I ett annat av experimenten visades att baklängestal vid 70 dBA inte skiljde sig från tystnad 35 dBA i antalet fel försökspersonerna gjorde. Meningsfullt tal med en ljudnivå på 50 dBA var en tillräcklig orsak till försämrad upptäckt av icke-kontextuella fel.

Här finns en motsättning i att ovidkommande meningsfullt tal stör mer än meningslöst tal, men att det som störs inte är analysen av meningsfullhet i den text försökspersonerna läser. Här finns också en slags motsättning till Weinsteins (1977) resultat där ovidkommande tal störde upptäckten av kontextuella fel. I Weinsteins studie gjordes dock jämförelsen mot en tyst kontrollgrupp, ej mot bak-

längestal. En dellösning till båda motsättningar kan ligga i att Jones, Miles & Page (1990) i flera av sina experiment liksom Weinstein (1974; 1977) presenterade korrekturtexten med en rad i taget, vilket kan försvåra en analys av textens meningsfullhet. När Jones, Miles & Page i experiment 4 ökade antalet synliga rader från en till fem ökade upptäckten av grammatikfel, men ej de icke-kontextuella felen. Dock, framlänges- och baklängestal skiljde inte mellan hur många kontextuella fel som hittades.

Slutsatser av prestationsstudierna. Relativt enkla och väl inlärda kognitiva färdigheter, som aritmetik, störs ej nämnvärt av buller. Svårare uppgifter, särskilt de som kräver en analys av mening eller innehåll är mer lättstörda, särskilt när bakgrundsbullret är meningsfullt, som t ex irrelevant tal. Bullerkällans kvalitativa egenskaper förefaller än en gång vara mer väsentliga än ljudnivåer. Det verkar som om ljudnivåer ned mot 50 dBA för begripligt mänskligt tal är tillräckliga för att en effekt på prestation skall kunna visas.

De flesta prestationsstudier av buller har haft mycket korta exponeringstider, men det finns en tendens till att längre exponeringstider ger tydligare effekter.

Inga generella könsskillnader i bullerpåverkan har vistas.

Fältstudier

I detta asnitt redovisas först ett antal studier med relativt grova mått på ljudexponering och individers färdigheter. Oftast har man använt sig av existernade kartor över bullerkonturer och t ex skolans egna standardprov.
I senare delen av avsnitten redovisas studier med individuell mätning av ljudnivåer och mätresultat från test undersökarna själva administrerat.

Maser, Sorensen, Kryter & Lukas (1978) hävdade som slutsats i en ofullständigt rapporterad studie, att buller försämrade skolprestationer, särskilt för de svagbegåvade och att effekten var starkast i de högre årskurserna (årskurs 7 och 10). Det redovisades inte hur bullerexponeringsdata tagits fram.

Lukas, DuPree & Swing (1981) undersökte läsförståelse och matematikkunskaper i årskurs 3 och 6, mätt med skolornas egna stan-

dardprov, i tysta och bullriga skolor som matchades på socioekonomiska variabler. Ljudnivåerna i de tysta och bullriga skolorna redovisas inte i särskild ordning, men det hävdas att de mättes upp i egen regi. Utifrån en av figurerna kan de utläsas till 45-60 dBA, L_{eq}. Korrelationerna mellan ljudnivå och läsförståelse var starkare än sambandet mellan ljudnivåer och matematikkunskaper. Resultaten visar också en starkare effekt av ljudnivåerna på årskurs 6 än årskurs 3. I genomsnitt var eleverna i de bullriga skolorna 0.4 år efter i läskunskaper i årskurs 3 och 0.7 år efter i årskurs 6. I matematikkunskaper var både årskurs 3 och 6 0.2 år efter de tysta skolorna. En interaktionseffekt mellan buller i skolan och buller i allmänt miljöbuller (community noise) noterades, med innebörden att i en tyst miljö kan ljudnivån i klassrummen vara högre utan att läsförståelse försämras.

Green, Pasternack & Shore (1982) undersökte sambandet mellan ljudnivåer utomhus och andelen elever som låg efter 1 år eller mer i läsförmåga. Enligt de tillgängliga uppgifterna från kartor över bullerkonturer varierade maximalvärdena mellan 85-95 dB och genomsnittsnivåerna mellan 59-66 dB, L_{eq}. Efter statistisk kontroll för socioekonomiska och etniska variabler, och lärarnas utbildning, visades ett säkerställt samband mellan ljudnivåer och andelen elever som låg efter i läskunnighet. Sambandet var starkare i de högre årskurserna (årskurs 5 och 6).

Weinstein & Weinstein (1979) jämförde läsförståelse hos elever i årskurs 4 som var med om sex testtillfällen under både tysta (45-49 dBA medianvärde) och bullriga betingelser (58-61 dBA medianvärde). Skolan hade en öppen planlösning och undersökarna valde i förväg ut tidpunkter när de naturliga ljudnivåerna i skolan var höga och låga. Resultaten visade ingen effekt av buller på läsförståelse eller läshastighet. Ej heller fanns någon interaktion mellan buller och begåvningsnivå.

Cohen, Glass & Singer (1973) undersökte barn (årskurs 2-5) i ett hyreshus som var byggt ovanpå en bro med mycket vägtrafik. Ljudnivåerna inne i huset varierade från 66 dB i åttonde våningen till 55 dB i trettioandra våningen. Efter statistiska kontroller för socioekonomisk status och föräldrarnas utbildningsnivå fanns säkerställda korrelationer mellan våningsplan och auditiv diskrimination (att höra en skillnad mellan t ex **gear-beer**, **cope-coke**) och mellan våningsplan och läsförmåga (mätt med ett standardprov i skolan). Styrkan i sambandet mellan bullerexponering och auditiv diskrimi-

nation var relativt svag för de barn som bott 3 år eller kortare tid i huset, men starkare med ökat antal år därefter.

Bronzaft & McCharty (1975) jämförde läsförmåga mätt med ett standardprov i skolan, och ljudnivåerna i klassrum i en skola i närheten av ett järnvägsspår för förortståg. Enligt skolledningen fördelades eleverna slumpmässigt över bullriga och mindre bullriga klassrum. Klasser i den bullriga delen av skolan matchades mot klasser i den mindre bullriga delen m a p intelligens, betygsnivå, årskurs och undervisningsmetoder. De maximala ljudnivåerna i klassrummen närmast järnvägen var 89 dBA. I medeltal störtes dessa klasser 30 sek varje 4.5 min, d v s ca 10% av undervisningstiden kunde läraren inte göra sig hörd. Resultaten visar att eleverna i de bullriga klassrummen säkerställt hade sämre läspoäng än eleverna i de tystare klassrummen. Eftersläpningen i läsförmåga i de bullriga klasserna uppskattades till 3-4 mån i de lägre klasserna och upp till 11 mån i årskurs 6.

Järnvägsspåret utanför den skola Bronzaft & McCharty (1975) undersökte byggdes om 1978 och försågs med gummikuddar för att minska ljudnivåerna, och 1979 ljudisolerades tre av de bullrigaste klassrummen. De maximala ljudnivåerna minskade från 89 dBA till 81-83 dBA. Bronzaft (1981) gjorde ännu en studie av läsförmåga och fann att 1978 fanns fortfarande samma skillnad som tidigare mellan de bullriga och mindre bullriga klassrummen, men att den skillnaden var borta 1980-81. Bronzaft noterar sin förvåning över att förändringen gick så snabbt och diskuterar möjliga felkällor i undersökningen. En sådan felkälla är att skolledningen kan ha selekterat de klasser som fick tillgång till de bullriga och mindre bullriga klassrummen. Som i förra studien försäkrades hon om att slumpen varit den enda fördelningsgrunden. Hennes slutsats är därför att den ökning i undervisningstiden ljuddämpningen orsakat, ger en grund för en bättre inlärningsmiljö och högre poäng på läsprovet.

Cohen, Evans, Krantz & Stokols (1980) undersökte bl a läsförståelse och matematikkunskaper som de mätts upp i skolans reguljära standardprov. Elever (åk 3-4) från de fyra bullrigaste skolorna vid flygkorridorerna runt Los Angeles internationell flygplats jämfördes med tre matchade (socioekonomiskt, etniskt, socialhjälp, föräldrars yrke och utbildning) skolor i tysta områden. De maximala ljudnivåerna i de bullriga skolorna var 95 dBA och antalet överflygningar per dygn var ca 300. Maximala ljudnivån i de tysta

skolorna uppmättes till 68 dBA. Genomsnittliga maximalvärden uppgavs till 74 dBA för de bullriga skolorna och till 56 dBA för de tysta skolorna. Resultaten visar inga skillnader mellan de tysta och bullriga skolorna i läsförståelse och matematikkunskaper.

Cohen, Evans, Krantz, Stokols & Kelly (1981) redovisar tvärsnitts- och längdsnittsanalyser av bl a läsförståelse och matematikkunskaper som de mätts upp i skolans reguljära standardprov. Efter datainsamlingen gjorts i Cohen, Evans, Krantz & Stokols (1980), byggdes flera av de bullriga klassrummen om till att bli tystare. I längdsnittsstudien undersöktes det ursprungliga samplet ett år senare, och för tvärsnittsstudien reanalyserades data från förra datainsamligen med ljudisolerade (genomsnittligt maximalvärde 63 dBA) klassrum som en egen kategori. Tvärsnittsstudien visar att barn i årskurs 3 i ljudisolerade skolor var säkerställt bättre på matematikkunskaper än barn i både tysta och bullriga skolor. En tendens i samma riktning fanns också för läsförståelse. Författarna är dock tveksamma till om resultaten beror av buller eftersom de tysta skolorna hade lägre ljudnivå än de ljudisolerade skolorna. Andra faktorer, som kvalitet på undervisningen antogs vara viktigare faktor för skillnaden i skolprestationer. I längdsnittsanalysen fanns inga effekter av ljudisolering på läsförståelse och matematikkunskaper.

I Cohen, Evans, Krantz & Stokols (1980) och Cohen, Evans, Krantz, Stokols & Kelly (1981) togs uppgifterna om barnens matematikkunskaper och läsförmåga ur skolregistren. Bullerbetingelserna för de testen var skolornas normala bullermiljö, vilket kan innebära att barnen i de bullriga skolorna presterade sämre på testen, även om deras inlärning var lika god som för barn i tysta skolor. För att få en renare testsituation använde de två studierna sig också av test i tystnad i en ljudisolerad husvagn för två olika kognitiva färdigheter. Ett test rörde uthållighet i problemlösning. Under 2.5 min fick hälften av barnen arbeta med ett olösligt pussel och andra hälften med ett lösbart. Därefter fick alla barn under 4 min pröva på ett lösbart, inte alltför svårt pussel. Beroendemått var hur länge barnen arbetade med pusslen till de fann en lösning eller gav upp. Hypotesen var att barn från bullriga skolor skulle ge upp tidigare på de olösliga pusslet och att de skulle behöva längre tid att finna en lösning för de lösbara pusslen. Resultaten från tvärsnittsstudien visar att barn i de bullriga skolorna var sämre på att lösa det första lösbara pusslet och det andra pusslet, och att de gav upp tidigare på det olösbara första pusslet. Skillnaden mellan de tysta och bullriga skolorna i uthållighet berodde av det antal år de bullerexponerats,

på det sätt att ingen skillnad fanns mellan grupperna för de elever som varit kortare tid än 3.5 år i sin skola. Med mer än 3.5 år i samma skola använde barnen i de bullriga skolorna längre tid att lösa pusslet än barnen i de tysta skolorna. I längdsnittsstudien gavs barnen det andra pusslet ett år efter första testomgången. Barn i bullriga skolor tog längre tid på sig att lösa pusslen och misslyckades oftare än barnen i de tysta skolorna. Barn i skolor som ljudisolerats presterade sämre än barn i de tysta skolorna, men bättre än barn i de bullriga skolorna. Resultaten är förenliga med idéen att barn i bullriga skolor, i kraft av kronisk bullerexponering, har lägre uthållighet och motivation.

I ett annat kognitivt test undersöktes hur lättdistraherade barnen var utifrån antagandet att barn som växer upp i bullriga miljöer slutar reagera på akustiska signaler och får svårigheter att urskilja språkljud och varningssignaler. Barnens uppgift var att läsa en text och stryka över alla förekomster av bokstaven e. Alla barn fick göra uppgiften både under tystnad och störning från en mansröst som läste en berättelse. Resultaten i tvärsnittsstudien visar att barn i de bullriga skolorna, jämfört med barn i de tysta skolorna, presterar bättre under distraktion under de första två åren av den kroniska bullerexponeringen, men sämre efter fyra år. Resultaten i längdsnittsstudien är likartade. Initialt är barn som exponerats för kroniskt buller bättre på arbetsuppgiften under distraktion, men den skillnaden försvinner efter ett antal års bullerexponering. Resultaten, som inte var förväntade, tolkades som att barn i bullriga skolor initialt lär sig en selektiv uppmärksamhetstrategi som stänger ut (tune out) auditiva signaler, men att de överger den strategin med tiden när de finner att den inte fungerar särskilt bra.

Slutsatser av fältstudierna. Med ett par undantag visar ett tiotal studier på försämrade skolkunskaper som resultat av buller. Ett genomgående resultat är också att effekten av buller är kumulativ och därför mer påtaglig i de högre årskurserna, som exponerats för kroniskt buller en längre tid. Läsförmåga förefaller vara mer känslig för bullerpåverkan än t ex matematikkunskaper, vilket förefaller rimligt med tanke på att läsfärdigheter kräver en verbal interaktion mellan lärare och elev, en interaktion som lätt störs av buller. Undersökningarna indikerar också att lågpresterande barn drabbas hårdare av buller.

Fältstudierna ger också vid handen att grundläggande uppmärksamhetsmekanismer och uthållighet/hjälplöshet/motivation påverkas negativt av kronisk bullerexponering.

Eftereffekter

I studier av eftereffekter av buller studeras beteendet efter det att bullret slagits av. De arbetsuppgifter som utföras i bullerfasen och under den påföljande tystnaden är dock orelaterade, och det är därför inte fråga om någon traditionell inlärningssituation.

Studier av eftereffekter initierades av Glass och Singers (1972) i deras numera klassiska arbete om buller och stress. I en vanlig eftereffektstudie utsattes försökspersonerna i en första fas för buller samtidigt som han/hon får arbeta med relativt enkla kognitiva uppgifter, som att finna alla ord med bokstaven **e**, att avgöra om två tal innehåller samma siffror eller att addera tal. Bullret hade ingen inverkan på hur bra dessa uppgifter klarades. Efter bullret slagits av fick försökspersonerna byta till en uppgift som innehållsmässigt var orelaterad till den första. I Glass & Singers studier var beroendemåtten (1) uthållighet i försök att lösa olösliga geometriska uppgifter (Feather-uppgiften), (2) korrekturläsning av en text med preparerade fel och (3) Stroop-testet, som bygger på en kognitiv konflikt mellan ordet för en färg (t ex **blå**) och den färg med vilket ordet presenteras (t ex gul). Alla tre beroendemåtten visade sig känsliga för manipulationen buller/tystnad i fas ett. Det buller Glass & Singer använde sig av, likaväl som många av efterföljarna, hade speciella karakteristika. På varandra i ett konglomerat lades ett samtal på spanska, en person som talade armeniska, ljuden från en stencilapparat, räknemaskin och skrivmaskin. Bullret presenterades intermittent (stötvis) och opredicerbart (både vad gäller när och varaktighet) med ljudnivåer i bullerstötarna från 56 till 108 dBA i olika experiment.

Utöver att använda sig av en experimentgrupp som utsattes för bullret och en grupp med tystnad varierade Glass & Singer graden av predicerbarhet hos bullret eller den upplevda kontrollen över bullerkällan. Predicerbarheten hos bullret gjordes hög genom att låta bullerstötarna komma i konstanta tidsintervall och med konstant duration. Den upplevda kontrollen över bullerkällan introduceras med en knapp bredvid försökspersonen och med instruktionen att den kunde användas för att slå av bullret om det blev för besväran-

de. En möjlighet som ytterst få försökspersoner använde sig av. Predicerbarheten hos buller, likaväl som den upplevda kontrollen, reducerade eftereffekterna ned till de nivåer som fanns i kontrollgruppen med tystnad. Också för den relativt låga ljudnivån 56 dBA fanns en säkerställd skillnad i uthålligheten att lösa Feather-uppgiften mellan de grupper som exponerats för predicerbart och icke-predicerbart buller. Grupperna med predicerbart buller var mer uthålliga.

Efter Glass & Singer (1972) publicerade sitt arbete har ett stort antal liknande studier gjorts. I en översikt Cohen (1980) drogs bl a slutsatserna att eftereffekter av opredicerbar, okontrollerbar stress, inte bara är begränsad till buller, utan har visats också för trängsel (crowding) och för arbetsbelastning (task load). Vad gäller buller har eftereffekten visats, om än med blandat resultat för intermittent, opredicerbart buller (som hos Glass & Singer). Cohen (1980, s 583) skriver dock att om analysen begränsas till de studier som använde ett klart opredicerbart buller och rimligt känsliga beroendemått (som Feather-uppgiften eller Stroop-testet, men kanske inte korrekturläsning), så ger studierna om intermittent buller ett klart stöd för att eftereffekterna är reliabla.

I nästan alla studier som använt kontinuerligt buller, som varierat enbart i styrka, eller kontinuerligt buller med inslag av konglomerat buller (se tabell 1 i Cohen, 1980) har eftereffekten också visats.

I en studie av Percival & Loeb (1980) jämfördes olika typer av buller i sin förmåga att framkalla eftereffekter. Den typ av bullerkonglomerat som Glass & Singer använde och flygbuller med snabb "onset" och "offset" (maximalvärde 95 dBA) gav eftereffekter på Feather-uppgifter, men inte vitt brus och flygbuller med gradvis onset och offset.

Flera förklaringar har förts fram för att tolka eftereffekterna. Glass & Singers (1972) arbetshypotes var att adaptationen till okontrollerbart och opredicerbart buller kräver ett visst kognitivt arbete. Detta arbete utgör en viss kostnad, en kostnad som är större ju större det kognitiva arbetet är. Desto större kostnad för den kognitiva anpassningen till okontrollerbart och opredicerbart buller, desto mindre kognitiv energi finns till övers för att lösa de svåra kognitiva uppgifterna under eftereffektfasen.

Cohen (1978, 1980) har en liknande hypotes som bygger på kognitiv trötthet (cognitive fatigue). Opredicerbar, okontrollerbar stress ökar kraven på uppmärksamhetsförmågan därför att de är hotande. En individs uppmärksamhetskapacitet är inte konstant utan krymper och tröttas ut när den används en en viss tid.

Glass & Singer använde också inlärd hjälplöshet (Seligman, 1975) som en förklaring av eftereffekter. Försökspersoner som inte kan predicera eller kontrollera en yttre påfrestning (som buller), lär sig att det obehag de utsätts för är oberoende av deras beteende, vilket leder till sänkt motivation och sämre prestation också efter det att bullret upphört.

I en intressant replikation av eftereffekter på Feather-uppgiften vänder Klein & Beith (1985) något upp och ned på den teoretiska tolkningen av eftereffekter. Klein & Beith menar att fenomenet att försökspersonerna snabbare gav upp i Feather-uppgiften efter buller, inte visar på sänkt motivation eller kognitiv trötthet, utan på att de snabbare än tystnad-gruppen inser att uppgifterna är olösliga, vilket alltså är en prestationsförbättring. Prestationsförbärringen, menar de, skulle kunna förklaras med den omvända U-kurvan och den prestationförbättring som följer med höjd aktivering. Frågan om den teoretiska förklaringen av eftereffekterna är därför inte avgjord.

Slutsatser om eftereffekter. Intermittent slumpmässigt buller likaväl som kontinuerligt buller ger reliabla eftereffekter, särskilt på Feather-uppgiften och Stroop-testet. Svåra uppgifter störs mer. Flygbuller med markerade toppar och snabb onset har visat sig vara särskilt effektiva i att ge en eftereffekt.

Likaväl som för inlärning under buller finns det skäl som talar för att mänskligt tal som en del av ett bullerkonglomerat, eller ensamt, är ett särskilt effektivt störningsmedel. Eftereffekter av akut, intermittent bullerexponering på motivation och uthållighet har visats för så låga ljudnivåer som 56 dBA.

Studier av eftereffekter på barn saknas, och det går därför inte att avgöra om barn är mer eller mindre känsliga än vuxna. Det är heller inte undersökt hur varaktig eftereffekten är. I de studier som publicerats har tiden från bullerexponeringen till testet för eftereffekt varit kort, ofta mindre än 30 min.

Cohen, Evans, Krantz & Stokols (1980) och Cohen, Evans, Krantz, Stokols & Kelly (1981) använde dock ett test som påminner om Feather-uppgiften när de undersökte hjälplöshet/uthållighet utifrån antagandet om att kronisk bullerexponering inducerar hjälplöshet. Deras resultat (se ovan) var förenliga med hypotesen att barn i bullriga skolor, i kraft av kronisk bullerexponering, har lägre uthållighet och motivation.

Referenser

Andersson, B. E., & Levin, L. (1966). *Inlärning till ljud och oljud* [Learning while exposed to sound and noise]. Report 20, Department of Education, University of Gothenburg.

Bronzaft, A. L. (1981). The effect of a noise abatement program on reading ability. *Journal of Environmental Psychology, 1*, 215-222.

Bronzaft, A. L., & McCarthy, D. P. (1975). The effect of elevated train noise on reading ability. *Environment and Behavior, 7*, 517-527.

Cason, H. (1938). The influence of attitude and distraction. *Journal of Experimental Psychology, 22*, 532-546.

Christie, D. J., & Glickman, C. D. (1980). The effect of classroom noise on children: Evidence for sex differences. *Psychology in the Schools, 17*, 405-408.

Cohen, S. (1978). Environmental load and the allocation of attention. In A. Baum, J. Singer, & S. Valins (Eds), *Advances in environmental psychology* (Vol 1). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Cohen, S. (1980). Aftereffects of stress on human performance and ocial behavior: A review of research and theory. *Psychological Bulletin, 88*, 82-108.

Cohen, S. Evans, G. W., Krantz, D.S., & Stokols, D. (1980). Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: Moving from the laboratory to the field. *American Psychologist, 35*, 231-243.

Cohen, S., Evans, G. W., Krantz, D. S., Stokols, D., & Kelly, S. (1981). Aircraft nosie and children: longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. *Journal of Personality and Social Psychology, 40*, 331-345.

Cohen, S., Evans, G. W., Stokols, D., & Krantz, D. S. (1986). *Behavior, health, and environmental stress*. New York: Plenum.

Cohen, S., Glass, D. C., & Singer, J. E. (1973). Apartment noise, auditory discrimination, and reading ability in children. *Journal of Experimental Social Psychology, 9*, 407-422.

Collins-Eiland, K., Dansereau, D. F., Brooks, L. W., & Holley, C. D. (1986). Effects of conversational noise, locus of control, and field dependence/independence on the performance of academic tasks. *Contemporary Educatinal Psychology, 11*, 139-149.

Daee, S., & Wilding, J. (1977). Effects of high intensity white noise on short-term memory for position in a list and sequence. *British Journal of Psychology, 68*, 335-349.

Edmonds, E. M., & Smith, L. R. (1985). Students' performance as a function of sex, noise, and intelligence. *Psychological Reports, 56*, 727-730.

Etaugh, C., & Michals, D. (1975). Effects on reading comprehension of preferredmusic and frequency of studying to music. *Perceptual and Motor Skills, 41*, 553-554.

Etaugh, C., & Ptasnik, P. (1982). Effects of studying to music and post-study relaxation on reading comprehension. *Perceptual and Motor Skills, 55*, 141-142.

Evans, G. W. (1990). The nonauditory effects of noise on child development. In B. Berglund, U. Berglund, J. Karlsson, & T. Lindvall (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Noise as a Public Health Problem, Vol. 5* (pp. 425-453). Stockholm, Sweden: Swedish Council for Building Research.

Eysenck, H. J. (1967). *The Biological Basis of Personality*. Springfield, Ill.: Thomas.

Fendrick, P. (1937). The influence of music distraction upon reading efficiency. *Journal of Educational Research, 31*, 264-271.

Fogelson, S. (1973). Music as a distractor on reading-test performance of eigth grade students. *Perceptual and Motor Skills, 36*, 1265-1266.

Folkard, S., Monk, T. H., Bradbury, R., & Rosenthall, J. (1977). Time of day effects in school children's immediate and delayed recall of meaningful material. *British Journal of Psychology, 68*, 45-50.

Freeburne, C. M., & Fleischer, M. S. (1952). The effect of music distraction upon reading rate and comprehension. *The Journal of Educational Psychology, 43*, 101-108.

Glass, D.C., & Singer, J.E. (1972). *Urban stress: Experiments on noise and social stressors*. New York: Academic Press.

Goel, R. (1984). Effect of auditory distractions on recognition memory. *Psycholingua, XIV*, 113-121.

Green, K. B., Pasternack, B. S., & Shore, R. E. (1982). Effects of aircraft noise on reading ability of school-age children. *Archives of Environmental Health, 37*, 24-31.

Hall, J. C. (1952). The effect of background music on the reading comprehension of 278 eighth and ninth grade students. *Journal of Educational Research, 45*, 451-458.

Hamilton, P., Hockey, G. R. J., & Rejman, M. (1977). The place of the concept of activation in human information processing theory. In S. Dornic (Ed.), *Attention and Performance. Vol. 6*. New York: Academic Press.

Henderson, M. T., Crews, A., & Barlow, J. (1945). A study of the effect of music distraction on reading efficiency. *Journal of Applied Psychology, 29*, 313-317

Hilliard, O. M., & Tolin, P. (1979). Effect of familiarity with background music on performance of simple and difficult reading comprehension tasks. *Perceptual and Motor Skills, 49*, 713-714.

Hygge, S. (1991). The interaction of noise and mild heat on cognitive performance and serial reaction time. *Environment International, 17*, 229-234.

Hygge, S. (1993). *Classroom experiments on the effects of aircraft, traffic, train, and verbal noise on long-term recall and recognition in children aged 12-14 years.* Paper presented at Noise and Man '93.

Hygge, S., & Bergquist, S. (1992). *The effects of pop-music and time of day on long-term recognition and recall of a text in students aged 13-14 years.* Manuscript in progress.

Johansson, C. R. (1983). Effects of low intensity, continuous, and intermittent noise on mental performance and writing pressure of children with different intelligence and personality characteristics. *Ergonomics, 26*, 275-288.

Jones, D. M. (1990). Recent advances in the study of performance in noise. *Envrironment International, 16*, 447-458.

Jones, D. M., Miles, C., & Page, J. (1990). Disruption of reading by irrelevant speech: Effects of attention, arousal or memory. *Applied Cognitive Psychology, 4*, 89-108.

Kassinove, H. (1972). Effects of meaningful auditory stimulation on children's scholastic performance. *Journal of Educational Psychology, 63*, 526-530.

Klein, K., & Beith, B. (1985). Re-examination of residual arousal as an explanation of aftereffects: Frustration tolerance versus response speed. *Journal of Applied Psychology, 70*, 642-650.

Krýsa, I. (1983). The effect of noise on learning and retention. *Activitas nervosa superior, 25(4)*, 299-303.

LaBach, J. P. (1960). The effects of background music on reading comprehension and their relationship to various other characteristics in sixth grade students. *Dissertation Abstracts, 21*, 350-351.

Levin, L., & Andersson, B. E. (1968). *Inlärning till ljud och oljud II* [Learning while exposed to sound and noise]. Report 28, Department of Education, University of Gothenburg.

Lukas, J. S. DuPree, R. B., & Swing, J. W. (1981). *Report of a study on the effects of freeway noise on academic achievement of elementary school children, and a recommendation for a criterion levels for a school noise abatement program.* Sacramento, CA: California Department of Health Services.

Martin, R. C., Wogalter, M. S., & Forlano, J. G. (1988). Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of Memory and Language, 27*, 382-398.

Maser, A. L., Sorensen, P. H., Kryter, K. D., & Lukas, J. S. (1978, 22/ April). *Effects of intrusive sound on classroom behavior: Data from a successful lawsuit*. Paper presented at Western Psychological Association. San Francisco, California.

Nilsson, L.-G., Law, J., & Tulving, E. (1988). Recognition failure of recallable unique names: Evidence for an empirical law of memory and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14*, 266-277.

Nurmi, J-E., & von Wright, J. (1983). Interactive effects of noise, neuroticism and state-anxiety in the learning and recall of textbook passage. *Human Learning, 2*, 119-125.

Oakhill, J. (1986). Effects of time of day and information importance on adults' memory for a short story. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 38A*, 419-430.

Oakhill, J. (1988a). Text memory and integration at different times of day. *Applied cognitive psychology, 2*, 203-212.

Oakhill, J. (1988b). Effects of time of day and text memory and inference. In M. M. Gruneberg, P. E. Morris, & R. N. Sykes (Eds.), *Practical aspects of memory: Current research and issues. Vol. 2. Clinical & educational implications.* Chichester: Wiley (pp 465-470).

Percival, L., & Loeb, M. (1980). Influence of noise characteristics on behavioral aftereffects. *Human Factors, 22*, 341-352.

Seligman, M.E.P. (1975). *Helplessness*. San Francisco: W. H. Freeman.

Slater, B. R. (1968). Effects of noise on pupil performance. *Journal of Educational Psychology, 59*, 239-243.

Smith, A. P. (1985). The effects of different types of noise on semantic processing and syntactic reasoning. *Acta Psychologica, 58*, 263-273.

Smith, A. P., & Broadbent, D.E. (1980). Effects of noise on performance on embedded figures tasks. *Journal of Applied Psychology, 65*, 246-248.

Weinstein, C. S., & Weinstein, N. D. (1979). Noise and reading performance in an open space school. *Journal of Educational Research, 72*, 210-213.

Weinstein, N. D. (1974). Effects of noise on intellectual performance. *Journal of Applied Psychology, 59*, 548-554.

Weinstein, N. D. (1977). Noise on intellectual performance: A confirmation and extension. *Journal of Applied Psychology, 62*, 104-107.

Zimmer, J. W., & Brachulis-Raymond, J. (1978). Effects of distracting stimuli on complex information processing. *Pereceptual and Motor Skills, 46*, 791-794.

PRISET PÅ TYSTNAD

en enkätstudie om människors värdering av bullerdämpande åtgärder.

av

Tor Kihlman, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
Sören Wibe, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå, m fl
Siv M Johansson, Högskolan i Karlstad

FÖRORD

Föreliggande rapport redovisar resultaten från en enkätundersökning om betalningsviljan för bullerdämpande åtgärder. Undersökningen ingår som ett led i den av Miljö- och Naturresursdepartementet tillsatta utredningen om en handlngsplan mot buller. I rapporten analyseras betalningsviljan för reducering av (i) trafikbuller i storstad, (ii) inomhusbuller (t ex från stereo, TV etc) samt (iii) ljudet från motorgräsklippare.

Det bör kraftigt understrykas att undersökningen är en **pilotundersökning**. De siffror för betalningsviljan som framkommer skall ses som (troligen) rimliga storleksuppskattningar för de områden det är fråga om och inte mer. Siffrorna kan under inga omständigheter användas som riktvärden för genomsnitt för t ex städer eller hela landet.

De tre olika författarna har var och en arbetat med olika delar av undersökningen. Professor Tor Kihlman har svarat för områdesurval och för att frågorna varit relevanta ur utredningens synvilkel. Professor Sören Wibe har svarat för den ekonomiska analysen i rapporten och Siv M Johansson, Högskolan i Karlstad har svarat för enkätarbete, databerbetning samt korrelationsanalys av svaren.

Göteborg, Umeå och Karlstad den 15/5 1993

Tor Kihlman Sören Wibe Siv M Johansson

INNEHÅLL

Kapitel I Teorin för samhällsekonomiska värderingar 5

Kapitel II Trafikbullerenkäten 10

Kapitel III Värdering av inomhusbuller 32

Appendix
Enkät om värdering av trafikbuller 71
Enkät om värdering av inomhusbuller 74
Enkät om värdering av buller från motorgräsklippare 77

Kapitel I Teorin för samhällsekonomiska värderingar

Inledning, syfte

Syftet med föreliggande rapport är att genomföra en pilotstudie rörande människors värdering av åtgärder mot buller av olika slag. De två slag av buller som här analyseras är (i) vanligt trafikbuller i en storstad samt (ii) inomhusbuller, t ex grannars stereo eller fastighetens ventilationsljud. Inom ramen för utredningen har även utförts en smärre enkät rörande människors upplevelse av ljudet från motorgräsklippare.

Rapportens karaktär av pilotstudie måste understrykas. Undsersökningen har genomförts på kort tid, med ett i förhållande till problemet mycket begränsat populationsurval och med ofullständigt beaktande av olika bakgrundsfaktorer. Studien skall ses som en pilotstudie, och de resultat som framkommer (t ex rörande värderingen av minskat trafikbuller) skall uppskattningar som troligen är storleksmässigt rimliga för områden likartade de som ingår i studien. Under inga omständigheter får de angivna siffrorna tas som riktvärden för hela landets befolkning.

De samhällsekonomiska värderingarna grundas på resultaten från enkäter rörande människornas betalningsvillighet för olika bullerdämpande åtgärder. Dessa enkäter har sänts till 1250 hushåll i Stockholms- och Göteborgstrakten. I enkäterna har det konkreta budet varierats, dvs en grupp har fått frågan om de var villiga att betala X kronor för en viss bullerdämpande åtgärd, en annan har fått budet Y kronor osv. De olika enkäterna finns bilagda som appendix till rapporten.

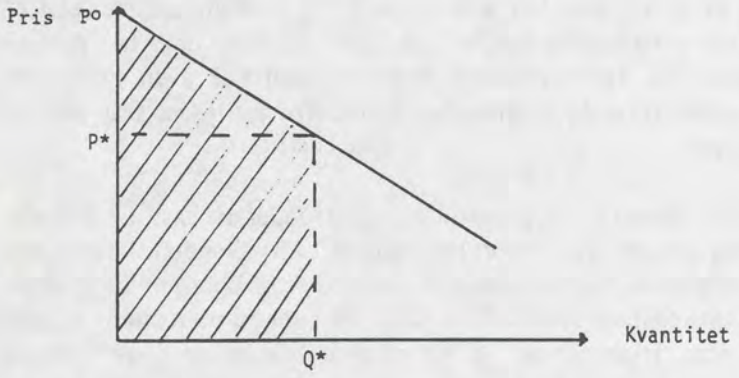
I detta inledande kapitel presenteras först den teoretiska grunden för undersökningarna -teorin för samhällsekonmiska analyser. I följande kapitel redogörs för resultaten från studien om trafikbuller, och i kapitel III presenteras studien om inomhusbuller och dess resultat. Rapporten avslutas (i appendix) med resultaten av enkäten rörande ljudet från motorgräsklippare.

Teorin för samhällsekonomiska utvärderingar

Teorion för samhällsekonomisk analys bygger på den traditionella mikroekonomiska teorin. Kärnan kan illustreras med hjälp av vanliga efterfråge- och utbudskurvor. Antag att en vara produceras i mängden

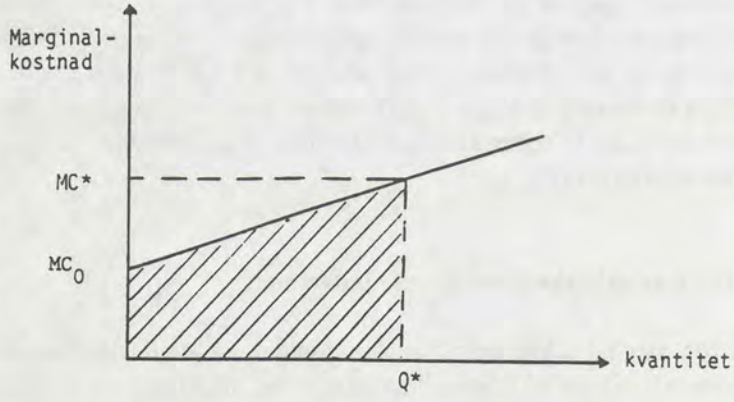
Q^* samt att efterfrågekurvan för denna vara är den som utvisas i figur I:1

Figur I:1 Illustration till den samhällsekonomiska teorin.



Efterfrågekurvan kan fattas som en rangordning av de individer som efterfrågan varan. Någon är således beredd att betala priset P^o medan de andras betalningsvilja är lägre. Den Totala betalningsviljan för mängden Q^* motsvaras av ytan under efterfrågekurvan, dvs det streckade området i figur I:1. De kostnader som är förenade med en viss produktion kan illustreras på motsvarande sätt. I figur II:2 utvisas kurvan för produktionens marginalkostnader, dvs kostnaden för att produycera ytterligare en enhet.

Figur II:2 Illustration till den samhällsekonmomiska teorin

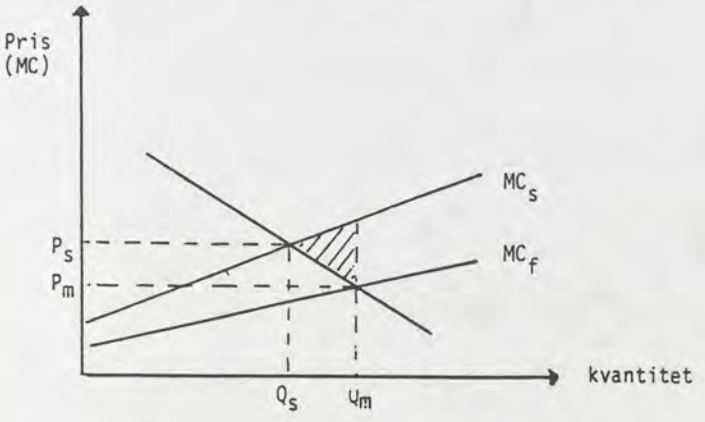


Det kostar således MC_0 att producera den första enheten varefter (enligt illustrationen) enhetskostnaden succesivt stiger. Den totala kostnaden för att producera mängden Q^* motsvaras av ytan under marginalkostnadskurvan, dvs det streckade området i figuren.

Antag nu att de utvisade kurvorna återger samtliga intäkter och kostnader som är förenade med en viss produktion. Marknadslösningen (dvs skärningen mellan de båda kurvorna) kommer då att maximera det samhällsekonomiska överskottet, eftersom en produktion vid denna volym innebär en maximering av skillnaden mellan konsumenternas värdering och producenternas kostnad.

Antag nu emellertid att produktionen av den aktuella varan innehåller en "dold" kostnadspost, dvs en kostnad som företaget inte behöver betala för. Det kan t ex vara fråga om något utsläpp som förstör miljön, obehag som företagets bullersamma produktion orsakar de närboende eller något liknande. Denna verksamhet bör finnas med i en total samhällsekonomisk kalkyl, men den ingår alltså inte i företagets kostnadsbild. Därvid uppkommer en skillnad mellan marknadslösningen och vad som är samhällsekonomiskt effektivt. I figur II:3 utvisas en samhällsekonmomisk och en företagsekonomisk mareginalkostnadskurva tillsammans med efterfrågekurvan.

II:3 Illustration till den samhällsekonmomiska teorin



Marknadens lösning blir här punkten Q_m:P_m , dvs skärningspunkten mellan den företagsekonomiska kostnadskurvan och efterfrågekurvan. Man inser emellertid att den samhällsekonomiskt bästa kombinationen är punkten Q_s:P_s. Den samhällsekonomiska förlust som merproduktio-

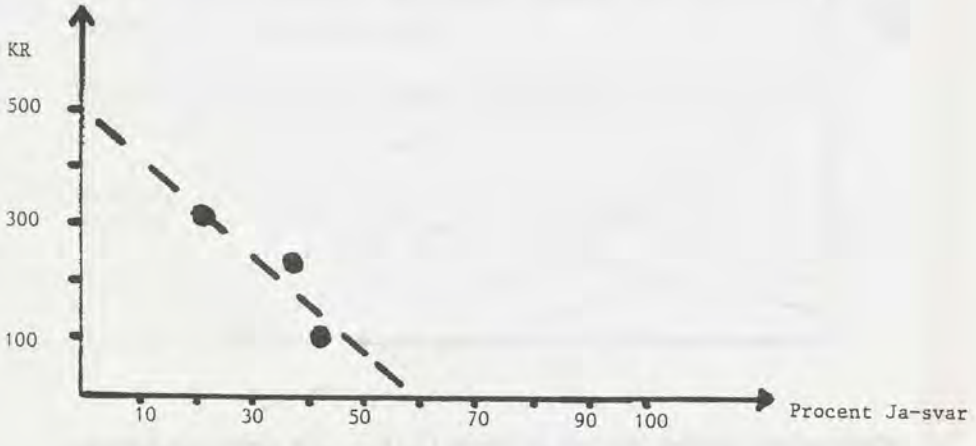
nen innebär blir skillnaden mellan kurvorna i produktionsintervallet Q_s- Q_m, dvs det streckade området i figur II:3.

Den ovanstående analysen kan varieras på olika sätt: marknadens efterfrågan kan skilja sig från samhällets, produktionen kan innehålla en dold intäkt (istället för kostnad osv). Essensen i analysen blir dock densamma: den samhällsekonomniska vinsten med en viss produktion anges av ytan under efterfrågekurvan, kostnaden anges av ytan under marginalkostnadskurvan och det samhällsekonomiska optimiläget ges av kurvornas skärningspunkt.

Den samhällsekonomiska teorin applicerad på föreliggande studie.

Förliggande rapport är ingen fullständig samhällsekonomisk kalkyl eftersom här endast intäktssidan (dvs efterfrågesidan) beaktas. Syftet här är alltså det mycket begränsade att erhålla en uppskattning av människors betalningsvilja för olika bullerdämpande årgärder. Den metod vi använt oss av går ut på att i en enkät ge olika "bud" till respondenterna och registrera andelen ja-svar. Antag t ex att vi frågar om människorna är villiga att betala 100 kronor (200, 300) mer i hyra för helt ljudisolerande fönster, och erhåller den svarsbild som illustreras i nedanstående figur.

Figur I:4 Illustration till rapportens kalkyler av betalningsvilligheten



På våra tre bud erhåller vi således de andel ja-svar som anges av punkterna. Vi antar nu att vi approximerar det statistiskt mest sannolika sambandet (dvs de medelvärden som skulle erhållits vid en verkligt omfattande enkät) med den streckande linjen i figuren. Den

motsvarar då "efterfrågekurvan" (på tystnad). Vi ser av den att ingen är beredd att betala mer än 500 kronor i månaden för tystnad, och att 40% (av de i området boende) inte är beredda att betala något alls för bullerdämpande åtgärder. (Vi antar dock att de inte har något emot att bullernivåerna sänks genom t ex tätare fönster.)

Antag nu att alla fönster skulle göras mer isolerande. Den totala värderingen av detta är uppenbarligen ytan under efterfrågekurvan. Om vi för enkelhets skull antar att området bebos av 100 personer (så att alltså en procent är lika med ett hushåll) så blir den totala betalningsviljan (500*60)/2 = 15.000 kronor. Eftersom det bor 100 personer i området är alltså den genomsnittliga betalningsviljan 1.500 kronor per hushåll. Om i detta fall tätare fönster kostar mindre än 1.500 kronor per hushåll ger den tänkta åtgärden ett samhällsekonomiskt överskott, annars inte.

KAPITEL II - TRAFIKBULLERENKÄTEN

Enkäten

Denna enkät riktades till 8 olika bostadsområden i Stockholm och Göteborg. Totalt omfattade den 750 hushåll. De frågor som ställdes i enkäten rörde alla värderingen av trafikbullret i och kring den aktuella lägenheten samt hushållens vilja att betala för att på olika sätt minska detta buller. Totalt 314 bearbetningsbara svar inflöt vilket motsvarar en svarsfrekvens på 42 procent. Tyvärr medgav inte den begränsade utredningstiden att påminnelser sändes till de icke-svarande, något som i vanliga fall höjer svarsfrekvensen till 50-55%. En svarsfrekvens på 42% är emellllertid fullt tillräckligt för tillförlitliga slutsatser i alla normala fall, men självfallet måste resultaten tolkas med viss försiktighet.

De olika bostadsområdena kan delas in i tre olika klasser nämligen "**lugna**" områden (=**Område I**) definierade som områden med trafikbuller under 55 dBA vid väg, "**bullriga områden med åtgärdade fönster**",(= **Område II**) definierade som områden med trafikbullersnivåer över 70 dBA men där fönsteråtgärder vidtagits så att bullernivån inomhus inte överstiger 40 dBA, samt slutligen "**bullriga**" områden,(=**Område III**) definierade helt enkelt som områden med trafikbullernivåer (vid vägkant) överstigande 70 dBA. Vissa medelvärden för populationerna i de tre områdena redovisas i tabell II:1 nästa sida.

Det var inte möjligt att identifiera vilka lägenheter som vette mot gatan respektive gården i de olika områdena. Samtliga i de aktuella fastigheterna fick därför enkäten, men bland frågorna fanns en där antalet fönster mot gården/gatan efterfrågades. (De allra flesta lägenheter hade fönster både mot gatan och mot gården.)

Frågorna i enkäterna var bortsett från vissa prisuppgifter som varierades. Då det gällde t ex betalningsviljan för ljudisolerande fönster fick respondenterna ta ställning åtgärderna om hyran i detta fall höjdes med 25, 50 eller 100 kronor i månaden. Cirka en tredjedel av respondenterna fick därvid budet 25 kronor, en tredjedel 50 kronor och så vidare. Detta förfarande (med tre olika bud) upprepades i samtliga tre värderingsfrågorna.

Tabell II:1 Populationsmedelvärden för de tre områdena.

	OMRÅDE I	OMRÅDE II	OMRÅDE III
Ålder	57	48	55
Personer i hushållet	1.7	2.1	1.7
Bostadens yta	102	77	89
Fönster mot gata	3.9	3.0	3.1
Fönster mot gård	1.8	2.2	1.9
Inkomst tkr	187	186	164

I enkäten (se bilaga) efterfrågades först **om** och i så fall **hur** respondenten upplevde trafikbullret. Därefter kom en värderingsfråga, där respondenten fick ta ställning till hur mycket han/hon värderade helt ljudisolerade fönster i form av en högre hyra. Den andra värderingsfrågan gällde hur mycket (i form av högre hyra) de svarande var villiga att betala för en helt tyst trafikmiljö, preciserad så att man inte blev störd, även om fönstren mot gatan var öppna. Slutligen fick respondenten väga värdet av helt ljudisolerade fönster mot en minskad boendeyta. Denna fråga formulerades så att svaret avsåg värderingarna för en nybyggd lägenhet, dvs en situation där respondenten har möjlighet att påverka lägenhetsutformningen innan bygget startar. Ett annat skäl för denna formulering var att många respondenter kanske (speciellt våren 1993) har sådan likviditetsbrist att de inte om frågan ställs i kronor, korrekt anger sin långsiktiga värdering. I dessa fall avslöjas den riktiga värderingen lättare om alternativet istället för höjd hyra (som respondenten i dagsläget inte kan betala) är en minskad boendeyta.

Analysen

Kapitlet är upplagt så, att först sker en enkel resultatredovisning område för område. Denna kompletteras emellertid med en sammanfattande analys i slutet av kapitlet. I denna jämförs resultaten från de tre områdena, både vad avser de direkta svaren, och då det gäller

standardiserade svar. Behovet av standardiserade svar beror på att varje undergrupp (t ex de inom område III som fått budet 50 kronor i en fråga) är tämligen lågt, ca 75. Detta innebär en betydande sannolikhet för att olika bakgrundsvariabler, t ex inkomst eller antal fönster mot gatan, skall påverka resultatet. Ett enkelt exempel kan belysa problematiken: Om en tredjedel inom en grupp får frågan om de är villiga att betala 25, 50 respektive 100 kronor för bättre isolerade fönster, väntar vi oss helt naturligt att fler av de som fått budet 25 kr skall svara ja än de som fått budet 50 kr. Men antag att de som fått budet 25 kr är yngre, har färre fönster mot gården, har färre barn etc. Det är då möjligt att fler svarar ja på budet 50 än de som svarar ja på budet 25. För att korrigera detta krävs att vi gör en statistisk analys av svaren och därefter konstruerar hypotetiska (eller som vi kallar det standardiserade) svar, där vi håller de betydelsefulla bakgrundsvariablerna konstanta och lika för de olika grupperna. Först då kan vi på ett meningsfullt sätt jämföra gruppernas svar sinsemellan.

I enkäten utformas penningbuden som en månatlig avgift. Denna kan emellertid omvandlas till en engångssumma genom att multipliceras med 12 (vilket ger årsavgiften) och divideras med den reala årsräntan. I framställningen nedan antar vi städse att den reala årsräntan är **3%.**

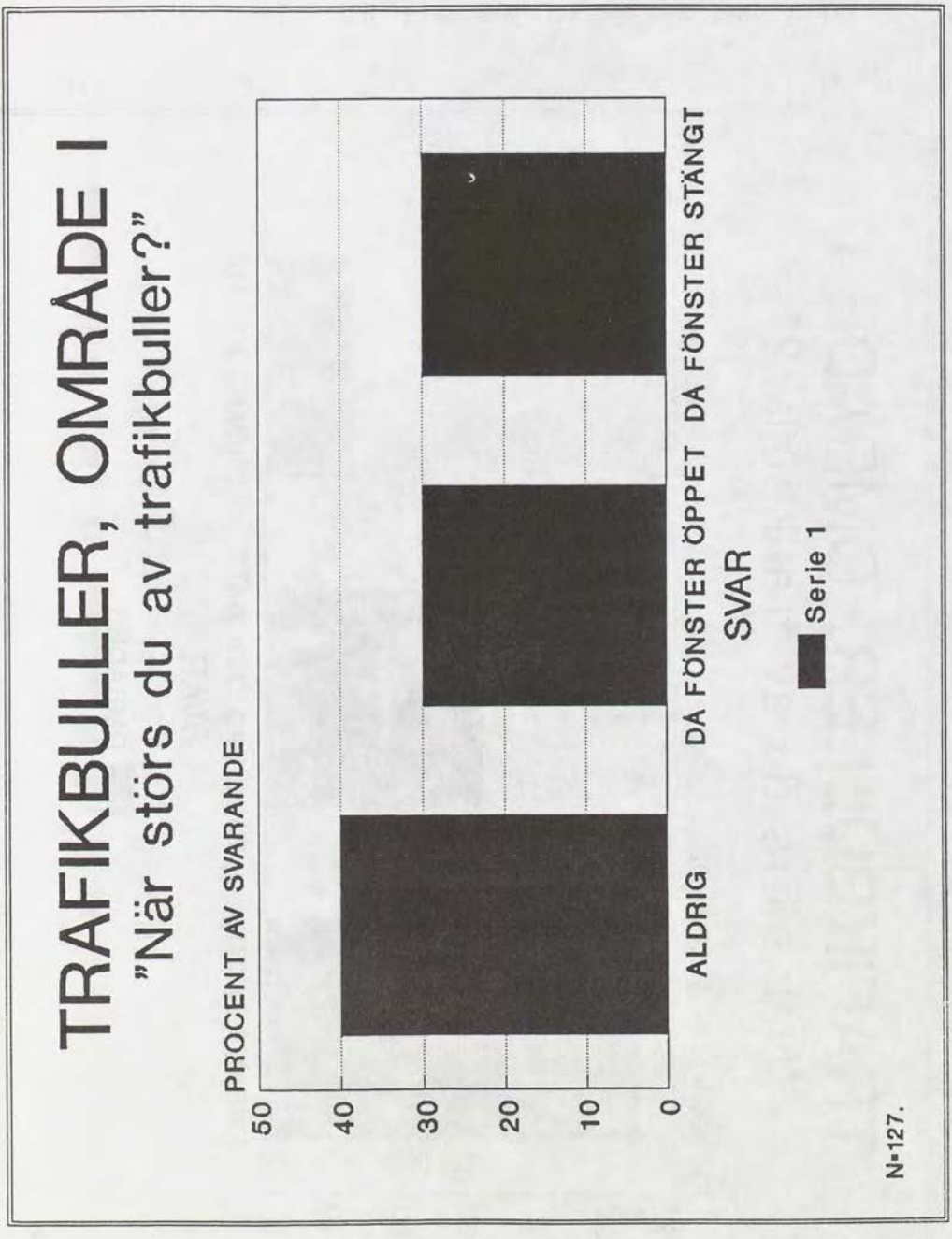
Resultat från områden med lugn trafikmiljö: Område I

Till dessa områden (två i Stockholm och ett i Göteborg) sändes totalt 250 enkäter. Antalet inkomna svar var 136, varav 127 från lägenheter med åtminstonde ett fönster mot gatan. Som framgår av tabell II:1 ovan är den genomsnittliga lägenhetsstorleken betydligt större än i de två andra områdena, respondenternas genomsnittsålder något högre och hushållsstorleken något mindre.

Område I: Trafikstörningens karaktäristika

Den första frågan gällde när de boende störtes av trafik från gatan. Hur svaren fördelade sig mellan de olika alternativen framgår av nedanstående figur. (Figur II:1)

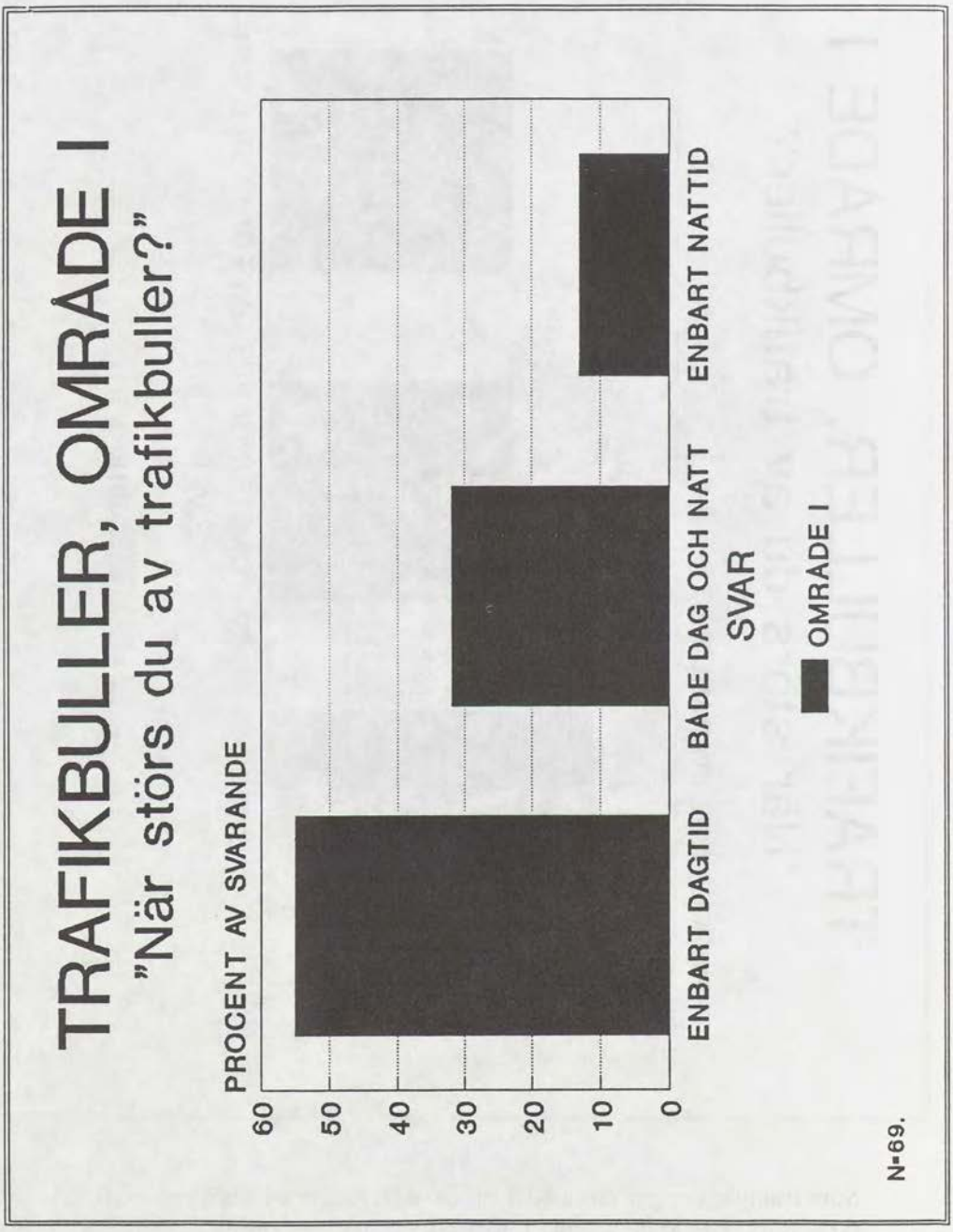
II:1



Som framgår uppger cirka 40% att de aldrig störs av trafiken, medan 60% störs. Det är dock enbart 30% som känner sig störda då fönstren är stängda, resterande störs enbart då fönstren är öppna.

Vilken form störningen tar sig utvisas av figur II:2

II:2



Som framgår är 55% av de som är störda av trafiken enbart störda på dagar och kvällar.

Drygt 10 % störs enbart under sömnen, medan 30% störs både dagar och nätter.

Område I: Värdering av trafikbullret

Respondenterna fick frågan om de var villiga att acceptera en hyreshöjning mot att de fick totalt ljudisolerande fönster. De bud som gavs var 25, 50 och 100 kronor i tänkt hyreeshöjning. Svarsfördelningen anges av figur II:3 nedan.

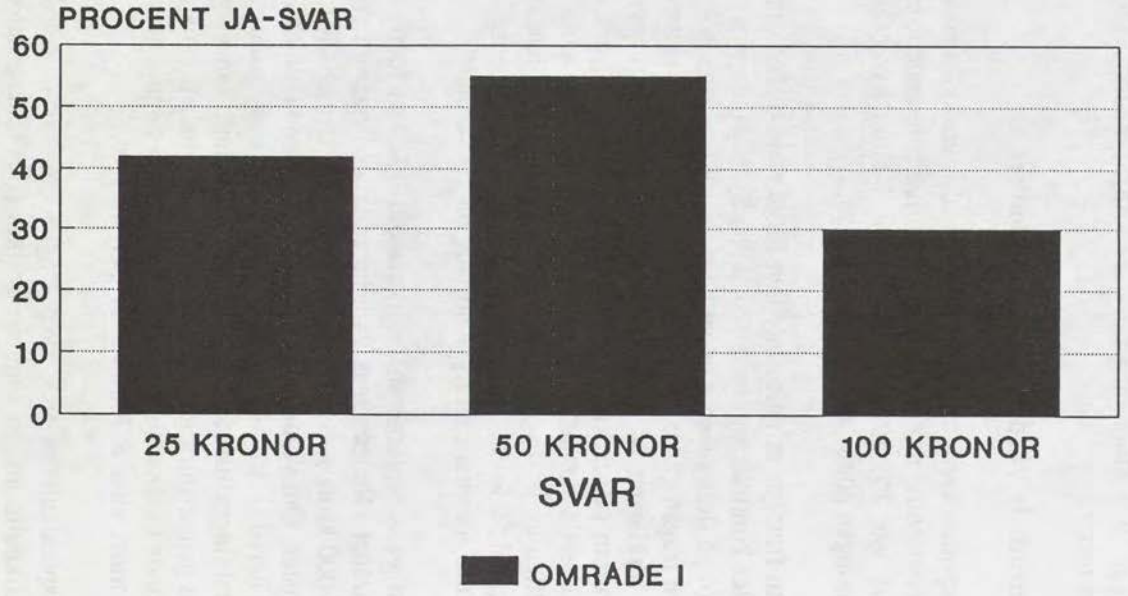
Som framgår erhålles inte den förväntade bilden, där andelen ja-svar faller kontinuerligt med den tänkta hyreshöjningens storlek. Detta kan bero på flera saker, t ex att betalningsviljan är prisokänslig i de avsnitt som frågan gäller, i kombination med ett för litet urval. (En naturligare förklaring är dock att betalningsviljan beror av många faktorer förutom priset; se den avslutande analysen till detta kapitel.) Vill vi emellertid sammanfatta resultatet i grova drag, kan vi säga att ungefär hälften av hyresgästerna skulle acceptera en (månatlig) hyreshöjning upp till 50 kronor för mer isolerade fönster, medan cirka en tredjedel skulle acceptera en hyreshöjning på 100 kronor.

Om vi accepterar en realränta om 3% kan hälften av de boende i området således sägas vara beredda att betala en engångssumma om 20 000 kronor, och en tredjedel 40 000 kronor för totalt ljudisolerade fönster. Om vi antar att 50% inte är beredda att betala något, att 50% är beredda att betala 50 kronor eller mer, samt att den maximala betalningsviljan är 175 kronor i månaden, kan vi grovt räkna ut att den genomsnittliga betalningsviljan (för hela populationen) är cirka 56 kronor i månaden. I form av en engångssumma motsvarar det **22 400 kronor,** eller **5 700 kronor per fönster.**

Respondenterna fick även frågan om hur de värderade den totala trafikbullermiljön runt sin bostad. (Det tänkta fallet var här t ex att gatan helt stängdes av så att inga trafikljud hördes ens då fönstren var öppna.) De bud som gavs var här 100, 200 och 300 kronor. Svarsfördelningeningen utvisas i nedanstående figur.(Figur II:4)

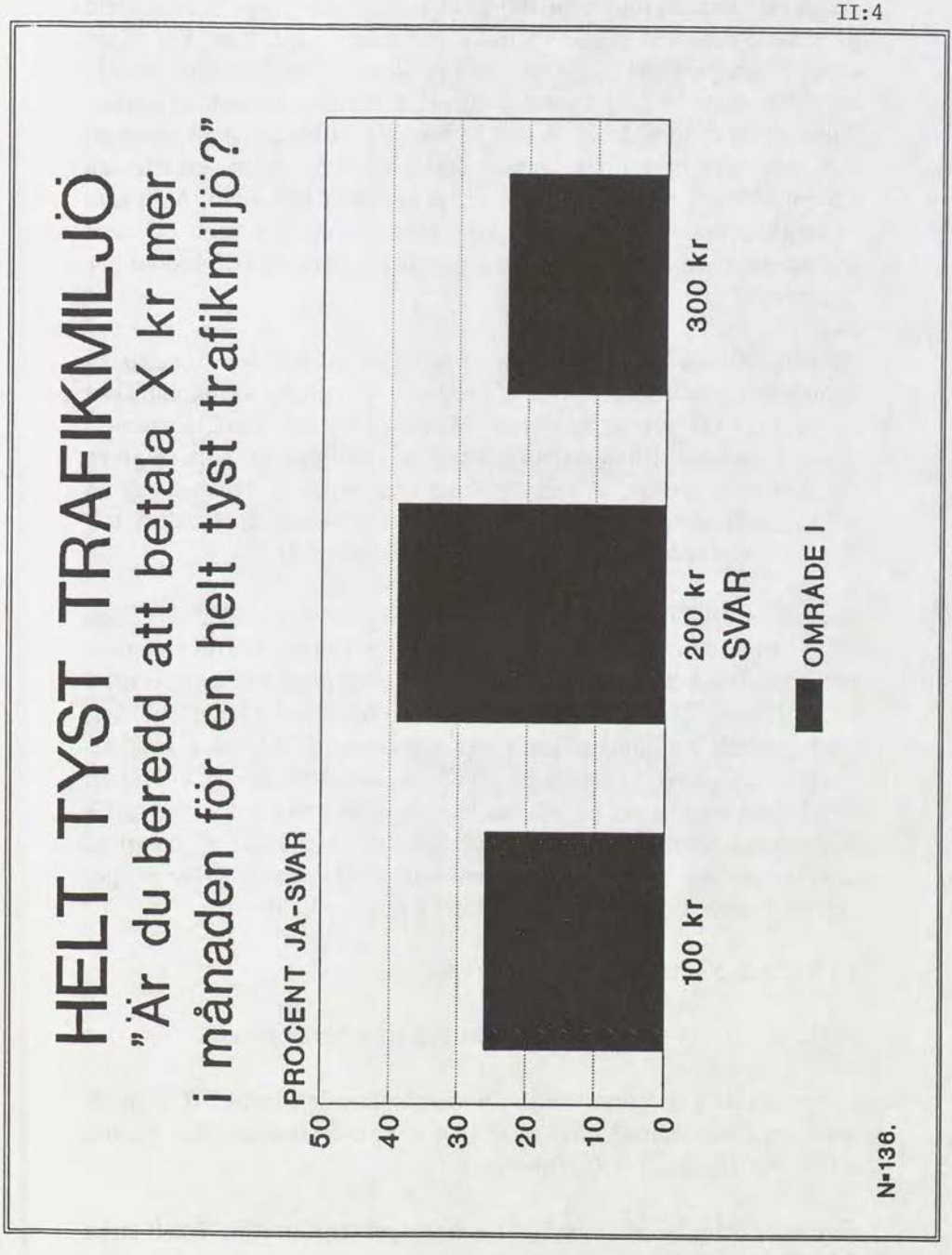
LJUDISOLERADE FÖNSTER

"Är du beredd att betala X kr per månad för helt isolerade fönster?"



N=127.

II:4



Även här får vi det icke-förväntade utseendet i svarsfördelningen i det att andelen ja stiger mellan 100 och 200 kronors-buden. (Detta har samma förklaringar som tidigare; 50-kronorsbudet i föregående fråga

riktas till samma grupp som 200-kronorsbudet här.) Vill vi emellertid på samma sätt som tidigare grovt sammanfatta resultaten, kan sägas att cirka en fjärdedel av de boende i de aktuella områdena är beredda att betala upp till 300 kronor i månaden för den aktuella åtgärden. Antar vi att resterande 75 % inte är beredda att betala något, samt att den maximala betalningsviljan är 600 kronor månaden, erhålles en genomsnittlig betalningsvilja om **112.5 kronor i månaden.** Mätt som en engångssumma innebär det att värdet av en helt lugn och tyst trafikmiljö (i de aktuella området) uppgår till cirka 45.000 kronor per lägenhet.

Respondenterna fick slutligen ta ställning till ett bud som innebar att lägenheten skulle göras helt ljudisolerad till priset av en minskad boendeyta. Tanken var att denna fråga skulle återge inställningen till ett val som finns innan husen konstrueras, nämligen att inom en given kostnad välja mellan en mindre, men mer isolerad lägenhet och en större, men sämre isolerad. De bud som gavs var 2, 4 och 8 m^2. Svarsfördelningen visas i figuren nedan:(Figur II:5)

Samma oregelbundna mönster som tidigare framträder här och förklaringen är också densamma. Resultaten kan emellertid sammanfattas så att bortåt hälften av de boende är villiga att avstå upp till 4 kvadratmeter boendeyta för en (för trafikbuller) ljudisolerad lägenhet, medan bortåt en sjättedel kan tänka sig att avstå upp till 8 kvadratmeter. Om vi avrundar svaren på så sätt att 60% inte är villiga att överhuvud minska sin boendeyta, medan 40% kan avstå 4, och 20% 8 kvadratmeter (och den maximala betalningsviljan är 12 kvm) så erhåller vi en **genomsnittlig betalningsvilja om 3.2 kvm** per lägenhet, eller 0.82 kvm per fönster i det aktuella området.

Område I: Sammanfattning av resultaten

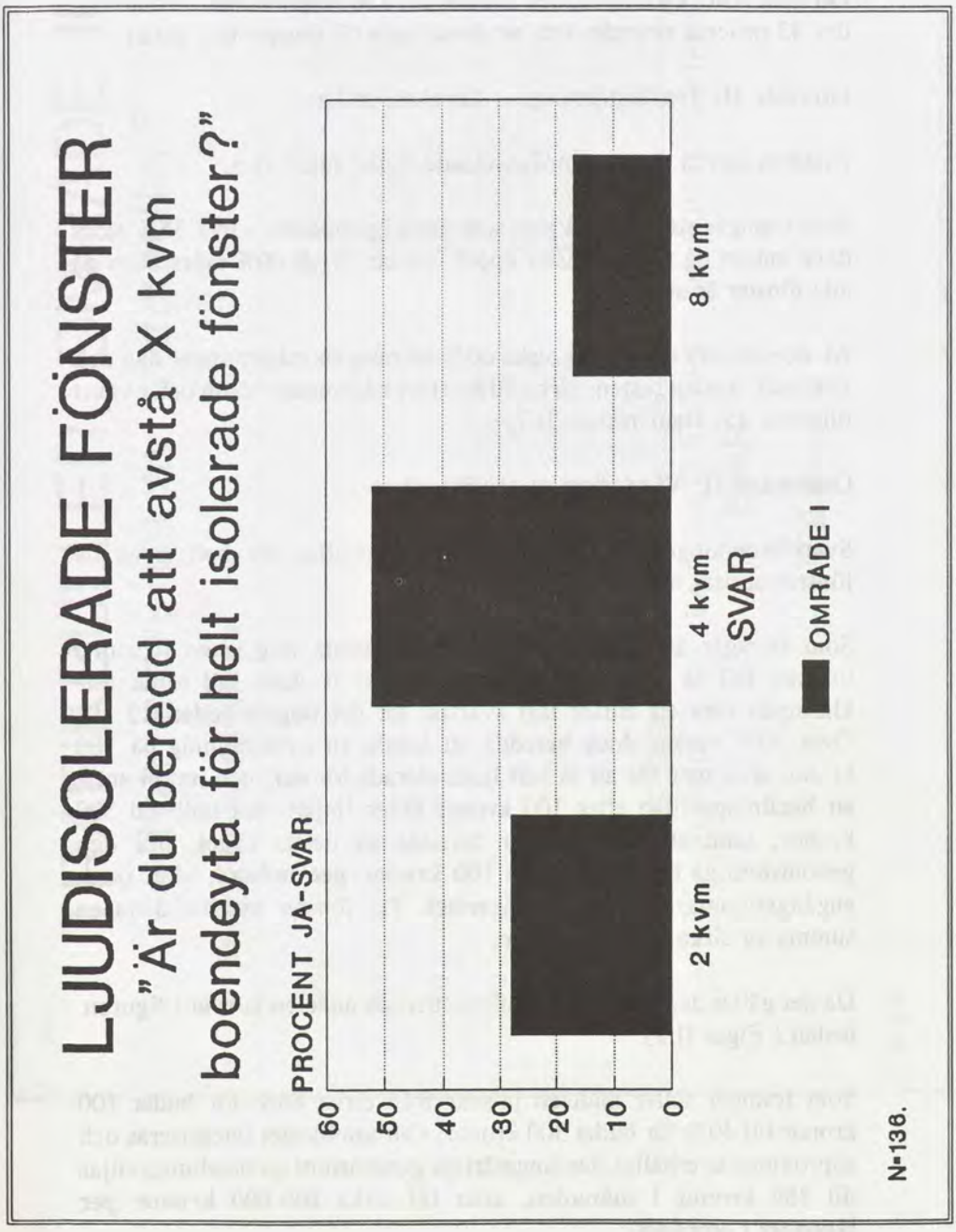
Följande tal kan sammanfatta resultaten från detta område:

Genomsnittlig betelningsvilja för helt isolerade fönster: (Cirka) 56 kronor i ökad månadshyra, eller (vid tre procents realränta) 22.400 totalt. Per fönster 5.700 kronor.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt tyst trafikmiljö: Totalt cirka 30.000 kronor per lägenhet.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt isolerade fönster vid nybygge: Cirka 0.80 kvadratmeter mindre boendeyta per isolerat fönster.

II:5



Resultat från område II: Mycket trafikbuller (>70 dBA) men åtgärdade fönster.

Inom detta område (som omfattade ett avsnitt längs en livligt trafikerad gata i Stockholm) sändes enkäter till 150 respondenter. Totalt 65, dvs 43 procent svarade, och av dessa hade 63 fönster mot gatan.

Område II: Trafikstörningens karaktäristika.

Andelen störda utvisas i nedanstående figur: Figur II:6.

Som framgår störs här så gott som samtliga boende: cirka 35% störs dock enbart då något fönster öppet, medan drygt 60% störs även då alla fönster är stängda.

Av de som störs upplever cirka 60% störningen enbart under dag och kvällstid, medan resten- cirka 40%- störs både under sömn och i vaket tillstånd. (Se figur nedan, II:7)

Ommråde II: Värdering av trafikbullret

Svarsfördelningen då det gäller betalningsviljan för helt isolerade fönster utvisas nedan. (Figur II:8).

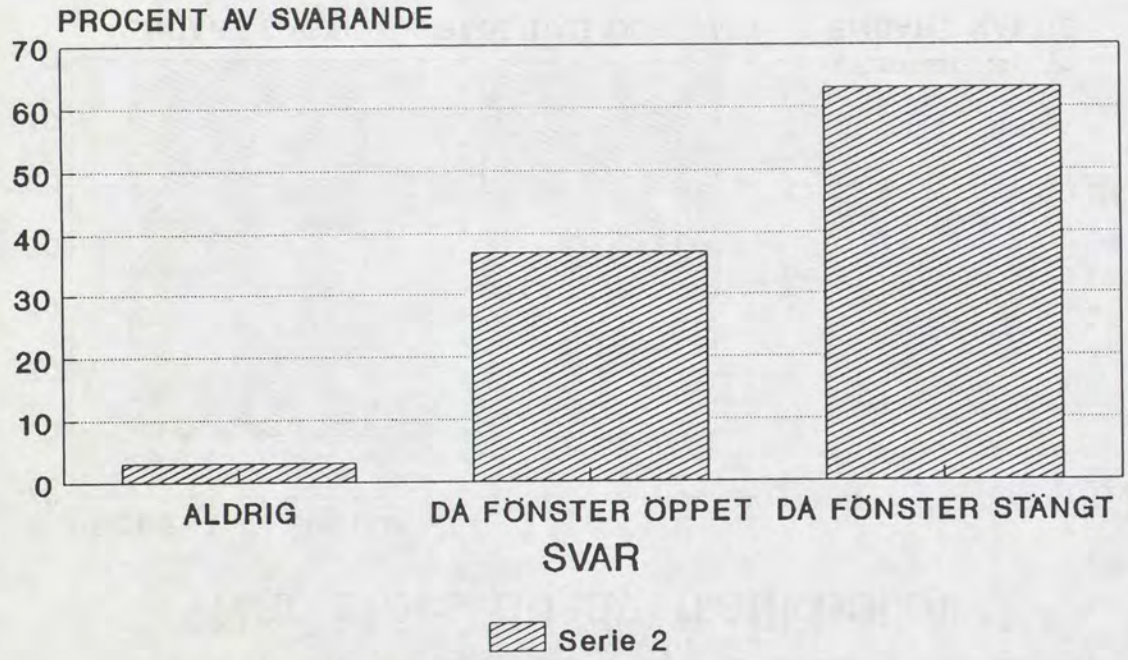
Som framgår är betalningsviljan genomgående hög, men liksom i tidigare fall så är den något osystemstisk. (I detta fall torde förklaringen vara ett alltför lågt svarstal för det högsta budet /12 st/) Över 50% verkar dock beredda att betala en hyreshöjning på 100 kronor eller mer för att få helt ljudisolerade fönster, och om vi antar att betalningsviljan efter 100 kronor faller linjärt mot noll vid 300 kronor, samt att 50% inte är beredda att betala något, blir den genomsnittliga betalningsviljan **100 kronor per månad**, eller (som engångssumma) **40.000 per lägenhet**. Per fönster innebär detta en summa av cirka **13.000 kronor.**

Då det gäller den totala trafikmiljön, utvisas andelen ja-svar i figuren nedan.(Figur II:9)

Som framgår faller andelen ja-svar från cirka 80% för budet 100 kronor till 40% för budet 300 kronor. Om sambandet lineariseras och approximeras erhålles den ungefärliga genomsnittliga betalningsviljan till **250 kronor i månaden,** eller till cirka **100.000 kronor per lägenhet i området.**

TRAFIKBULLER, OMRÅDE II

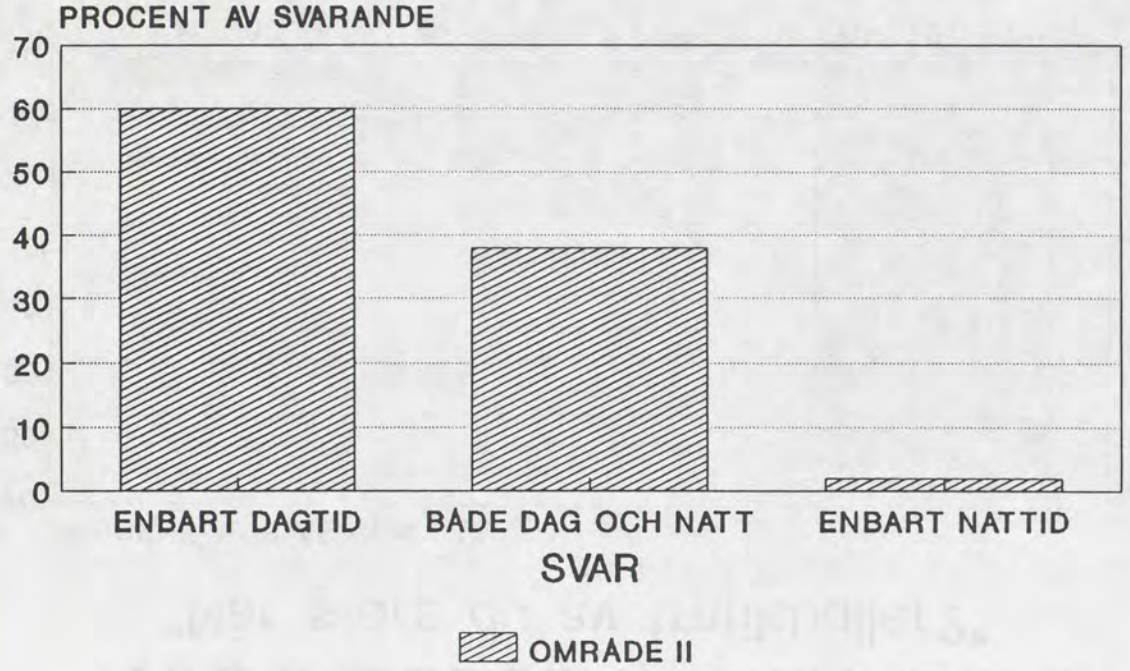
"När störs du av trafikbuller?"



N=63.

TRAFIKBULLER, OMRÅDE II

"När störs du av trafikbuller?"



N=51.

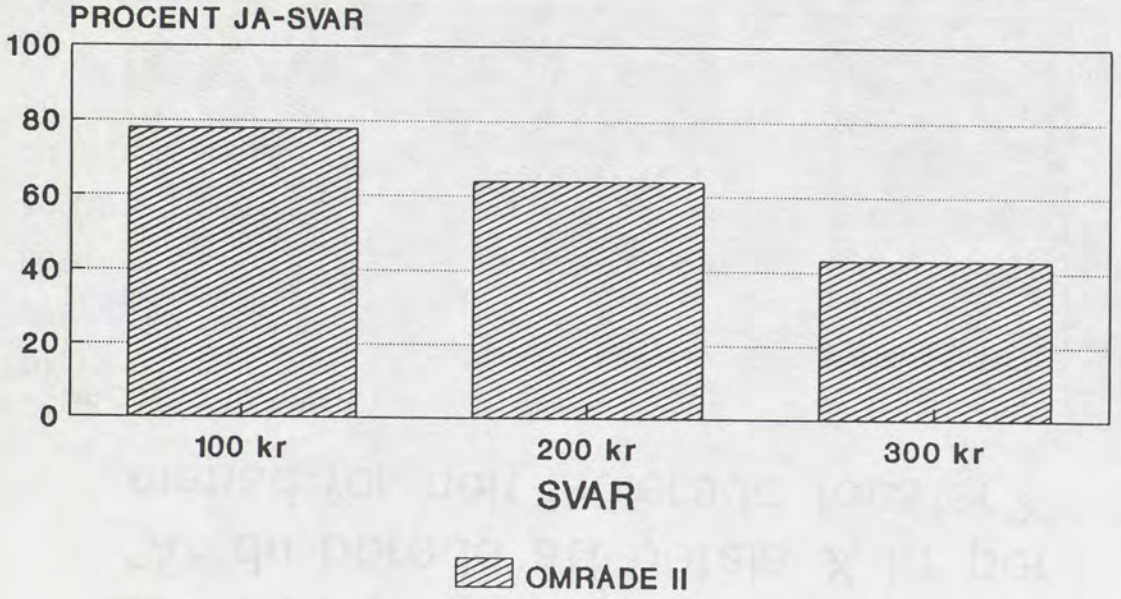
II:8

LJUDISOLERADE FÖNSTER

"Är du beredd att betala X kr per månad för helt isolerade fönster?"

HELT TYST TRAFIKMILJÖ

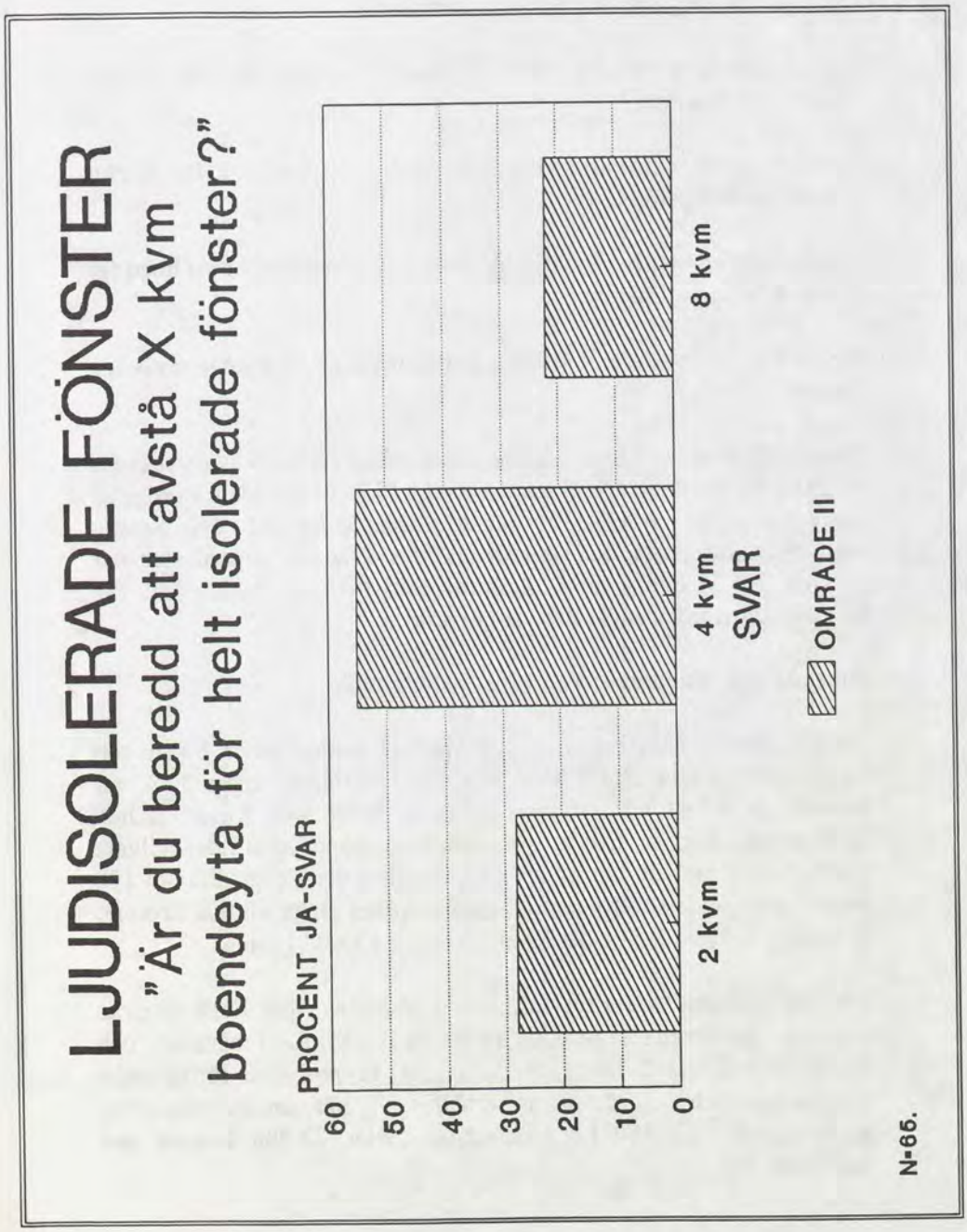
"Är du beredd att betala X kr mer i månaden för en helt tyst trafikmiljö?"



N=65.

Vad slutligen gäller valet mellan boendeyta och ljudisolerade fönster, uppvisar andelen ja-svar åter ett oregelbundet mönster. (Figur II:10)

II:10



Om vi antar att 70% inte är alls villiga att byta boendeyta mot ljudisolering, men att 30% är villiga att offra 8 kvm med maximal betalningsvilja = 12 kvm, erhålles att **den genomsnittliga betalningsviljan är 3 kvm, eller 1 kvm per fönster.**

Område II : Sammanfattning av resultaten.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt isolerade fönster: Cirka 13.000 per fönster.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt tyst trafikmiljö: Cirka 100.000 per lägenhet.

Genomsnittlig betalningsvilja för isolerade fönster vid nytt boende: Cirka 1 m^2 per fönster.

Resultat från område 3: Bullrig trafikmiljö (>70 dBA), ordinära fönster.

Totalt inflöt här 114 svar på 290 enkätutskick, dvs en svarsfrekvens på 39%. Beträffande störningarna, ansåg 13% att de aldrig störtes av trafiken (Se figur II:11), 30% att de störtes enbart då något fönster var öppet, och nära 60% att de störtes även då alla fönster var stängda. Av de störda var 51% störda enbart dagtid, medan 43% (Se figur II:12) störtes såväl dag- som nattid.

Område III: Värderingen av trafikstörningen.

Då det gäller värderingen av trafikbullret framkommer i stor sett samma bild (Figur II:13) som från förra området: drygt 50% var beredda att betala 100 kronor i månaden (eller mer) för att få helt ljudisolerade fönster. Om vi gör samma antagande som i det tidigare fallet, landar vi även här på en genomsnittlig betalningsvilja om **100 kronor i månaden, eller som engångssumma cirka 40.000 kronor.** Utslaget per fönster blir det även här cirka **13.000** kronor.

Då det gäller den **totala trafikmiljön** framgår av figur II:14 att cirka hälften av de boende är beredda att betala 100 kr mer i månaden, och att en tredjedel är beredda att betala 300 kronor. Om förhållandet linearisera och approximeras erhåller vi här en genomsnittlig betalningsvilja på **180 kr i månaden**, eller **72.000 kronor per lägenhet**.

II:11

TRAFIKBULLER, OMRÅDE III

"När störs du av trafikbuller?"

N=86.

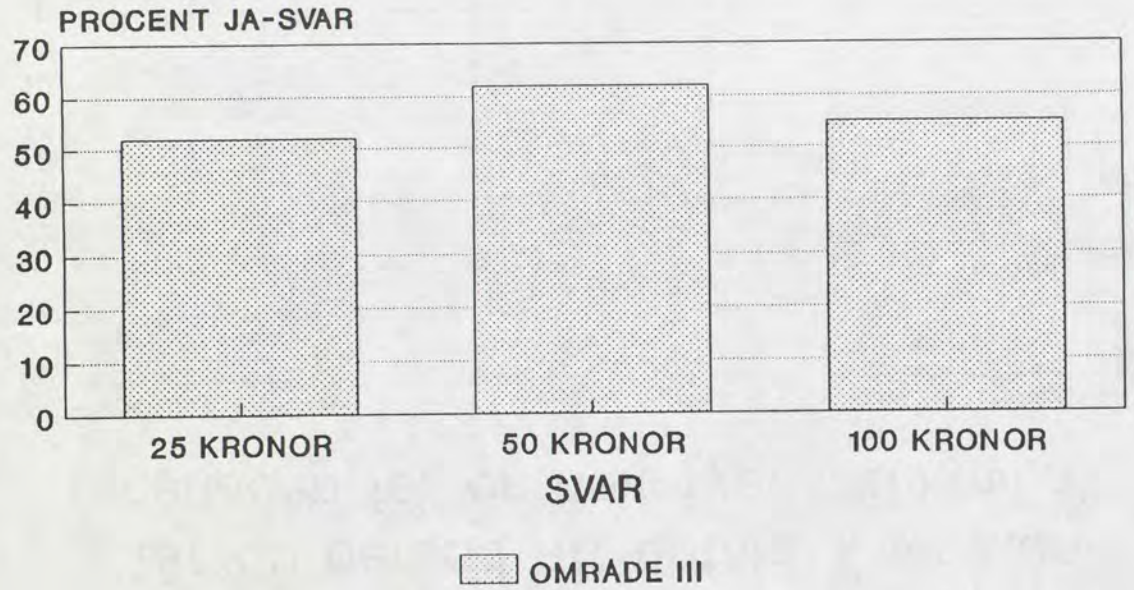
II:12

TRAFIKBULLER, OMRÅDE III

"När störs du av trafikbuller?"

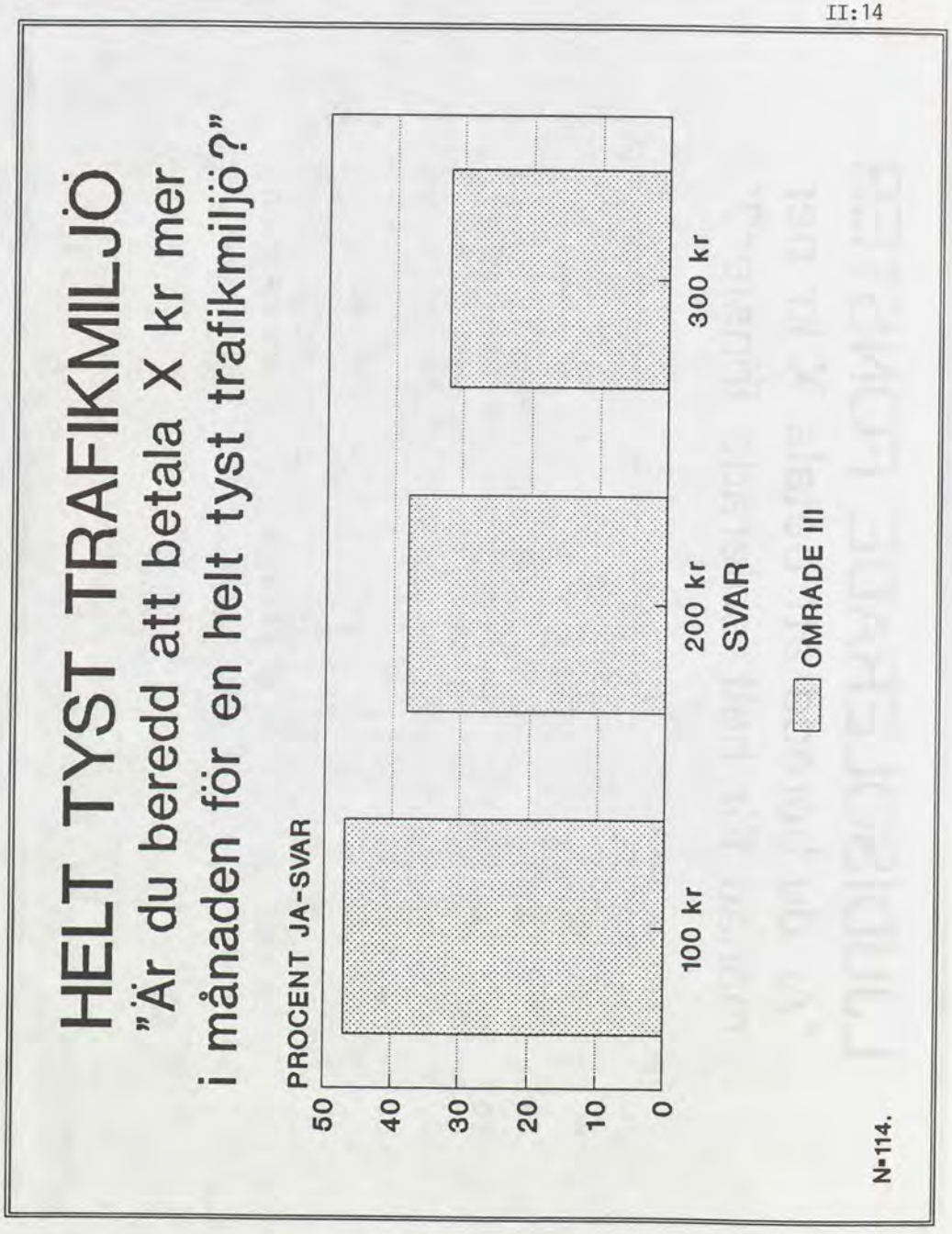
LJUDISOLERADE FÖNSTER

"Är du beredd att betala X kr per månad för helt isolerade fönster?"



N=86.

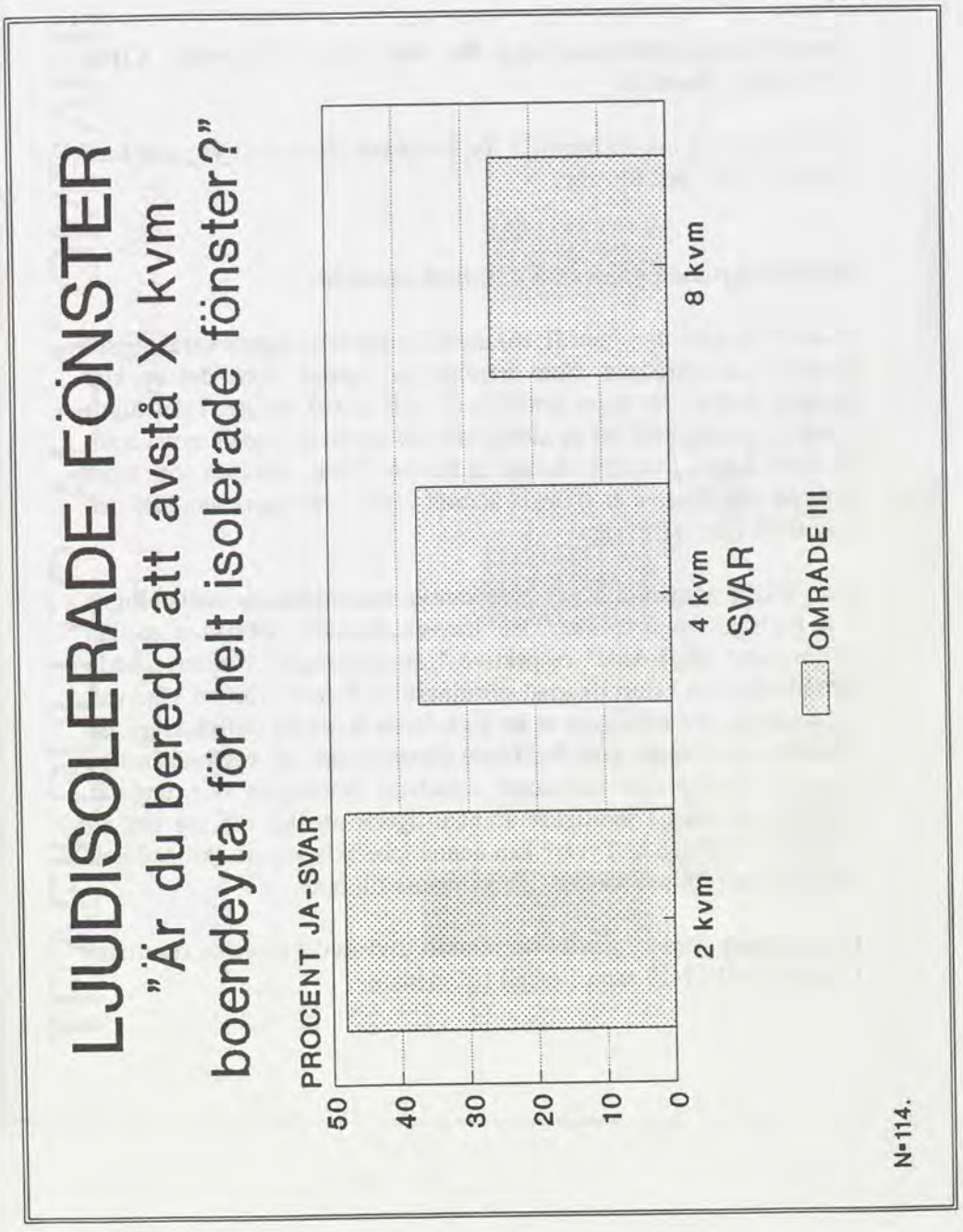
II:14



Vad slutligen gäller betalningsviljan för isolerade fönster i nybyggda lägenheter (figur II:15), ser vi att cirka hälften är beredda att avstå 2 m^2 boendeyta, och en fjärdedel 8 kvadratmeter för att erhålla helt

ljudisolerade fönster. Genomsnittet blir här drygt 4 kvadratmeter per lägenhet, eller 1.3 m^2 per fönster.

II:15



Område III: sammanfattning av resultaten.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt isolerade fönster: Cirka 13.000 kr per fönster.

Genomsnittlig betalningsvilja för helt tyst trafikmiljö: Cirka 72.000 per lägenhet.

Genomsnittlig betalningsvilja för isolerade fönster i nybygda hus: Cirka 1.3 m^2 per fönster.

Sammanfattande analys för samtliga områden

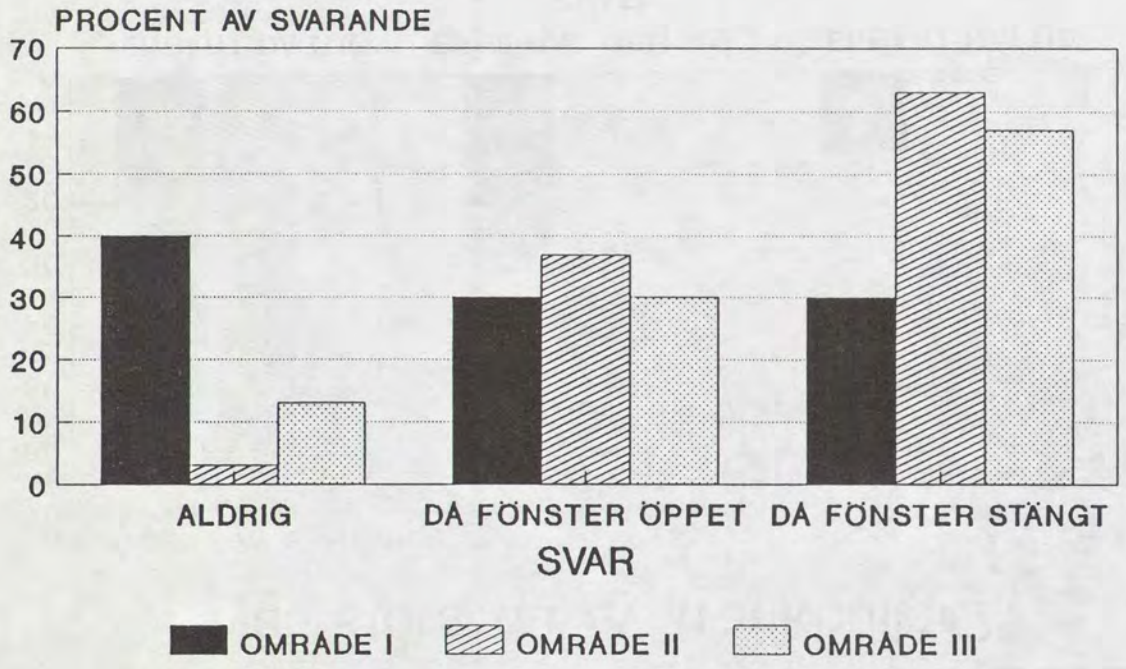
På de nästa sidorna (Figur II:16) utvisas trafikstörningens karaktäristika i de tre områdena. Som framgår av figuren finns det en klar skillnad mellan det lugna området (I) och de två övriga. I det lugna området uppger 40% att de aldrig störs av trafiken, medan motsvarande siffra ligger runt tio i de två andra områdena. Andelen som störs trots att alla fönster är stängda är runt 30% i det lugna området och runt 60% i de två övriga.

Det verkligt anmärkningsvärda är kanske inte skillnaden mellan lugna och bullriga miljöer, utan den icke-existerande skillnaden mellan miljöer met "åtgärdade" respektive "icke-åtgärdade" fönster. Båda områden har en i stort likartad störningsbild. Det är svårt att säga vad det beror på. En möjlighet är att åtgärderna är alltför otillräckliga, en annan är att områden med åtgärdade fönster lockat till sig ljudkänsliga personer varför den subjektivt upplevda störningen blir ungefär likartad. En tredje möjlighet är naturligtvis att det rör sig om en statistisk tillfällighet. Tyvärr kan denna icke-existerande skillnad helt förklaras utifrån det material som står oss till buds.

Då det gäller värderingen av trafikljudet utvisas det samlade resultatet i figurerna II:17-19 samt i tabell II:2 nedan:

TRAFIKBULLER ALLA OMRÅDEN

"När störs du av trafikbuller?"

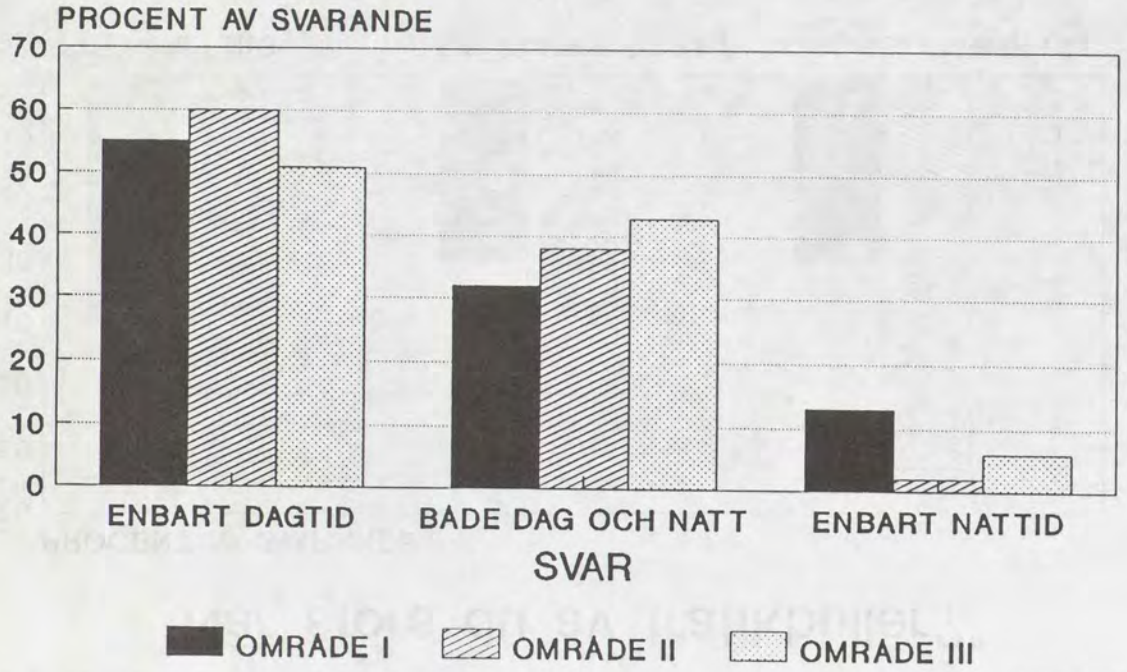


N=276.

II:16

TRAFIKBULLER ALLA OMRÅDEN

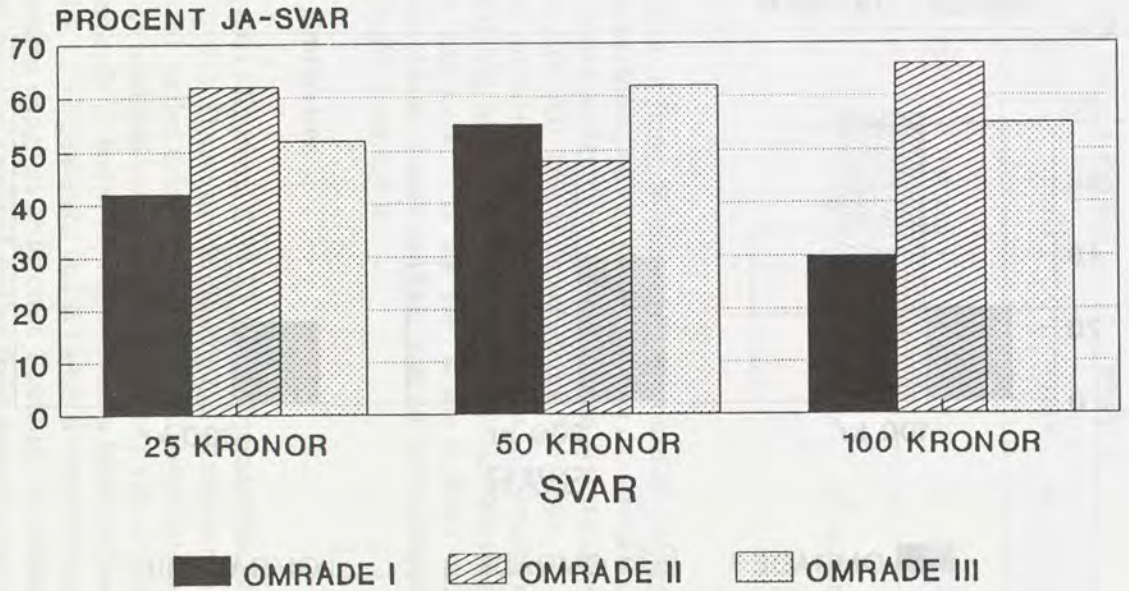
"När störs du av trafikbuller?"



N=190.

LJUDISOLERADE FÖNSTER

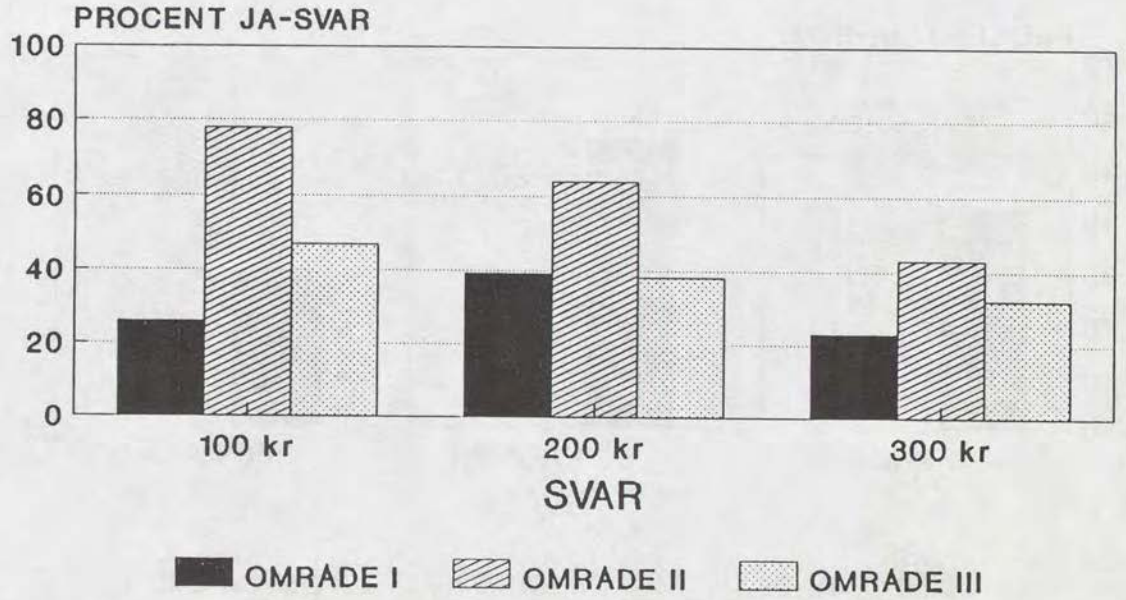
"Är du beredd att betala X kr per månad för helt isolerade fönster?"



N=276.

HELT TYST TRAFIKMILJÖ

"Är du beredd att betala X kr mer i månaden för en helt tyst trafikmiljö?"



N=314.

Tabell II:2 Sammanfattande värdering av trafikstörningar

	OMRÅDE I	OMRÅDE II	OMRÅDE III	
Värdering av helt isolerade fönster	5.700	13.000	13.000	kr per fönster
Värdering av helt tyst trafikmiljö	30.000	100.000	72.000	kr per lägenhet
Värdering av isolerade fönster i nybyggda hus	0.80	1.0	1.25	m^2 per fönster

Som framgår av tabellen finns, förutom skillnaden mellan det lugna och de två bullriga områdena, en viss skillnad mellan områdena II och III vad avser den totala trafikmiljön. Medan en helt tyst trafikmiljö värderas till cirka 100.000 kr för lägenheterna i område II, är motsvarande tal för område III enbart 72.000 kronor. Skillnaden kan naturligtvis vara tillfällig, men det är också möjligt att den återspeglar skilda värderingar, något som i så fall även skulle förklara varför värderingen av ljudisolerade fönster var lika, trots att bullerdämpande åtgärder redan vidtagits i område II.

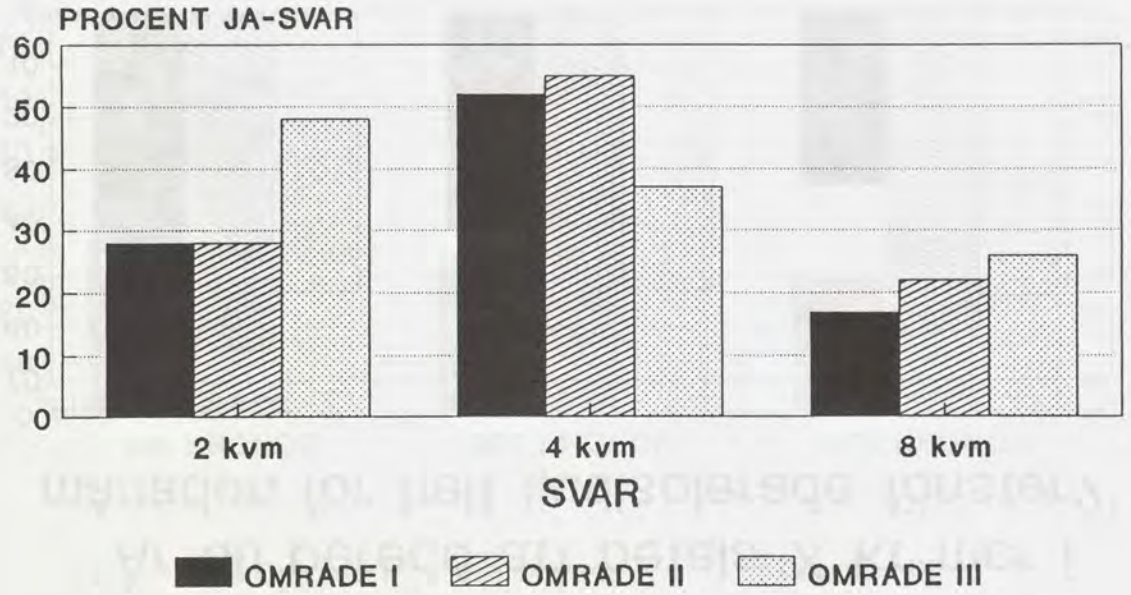
Standardiserade jämförelser

Som avslutning utvisas i figurerna II:20-22 standardiserade svar på de olika värderingsfrågorna. Denna standardisering har åstadkommits på så sätt att en statistisk analys delat upp de olika förklaringsfaktorerna till värderingan. Den beroende variabeln har därvid varit svaret (ja=0, nej=1) och de oberoende (i) budet, (ii) respondentens ålder, (iii) antal personer i hushållet, (iv) lägenhetens yta, (v) antal fönster mot gatan samt (vi) respondentens uppgivna årsinkomst. I samtliga fall utom ett har då erhållits ett negativt samband mellan frekvensen ja-svar och budets storlek. I de olika ekvationerna har så insatts hela populationens medelvärden (för ålder, lägenhetsstorlek osv) varvid vi erhållit det standardiserade sambandet mellan ja-svarsfrekvens och budstorlek. Dessa samband utvisas nedan i figurform.

Från de teoretiska sambandden går det att beräkna standardiserade betalningsviljor, motsvarande de i tabell 2. Detta har emellertid inte synts vara meningsfullt i detta fall eftersom de statistiska sambanden (närmare bestämt signifikanstalen) är svaga beroende på skattningsmetod (linjär regression) och datamängd. De sammanfattande värderingstal som utvisas i tabell II:2 är därför mer rättvisande för undersökningens resultat, än standardiserade men teoretiska värden beräknade utifrån de samband som utvisas i figurerna nedan.

LJUDISOLERADE FÖNSTER

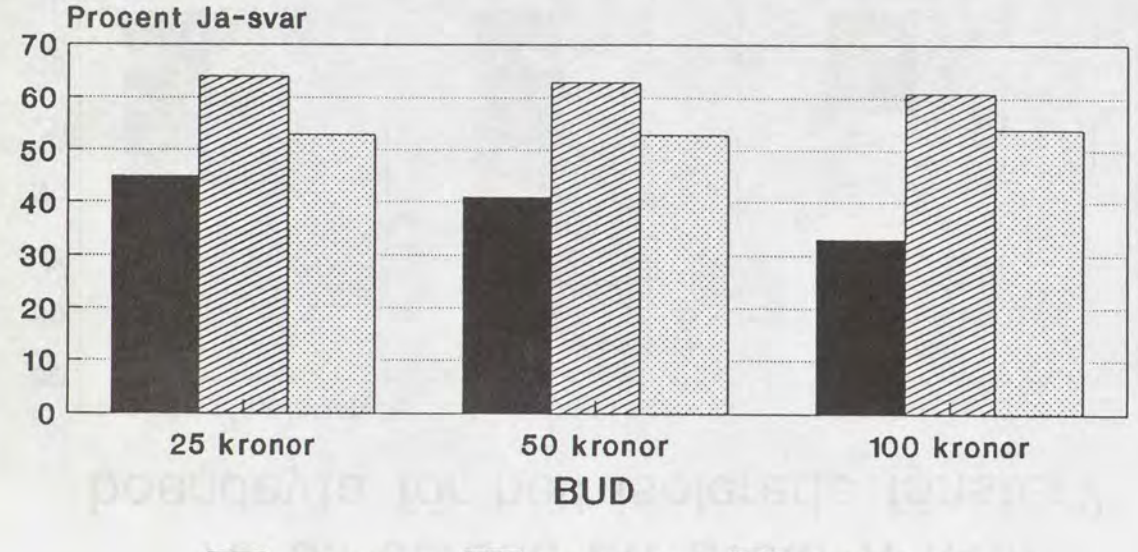
"Är du beredd att avstå X kvm boendeyta för helt isolerade fönster?"



N=314.

LJUDISOLERADE FÖNSTER

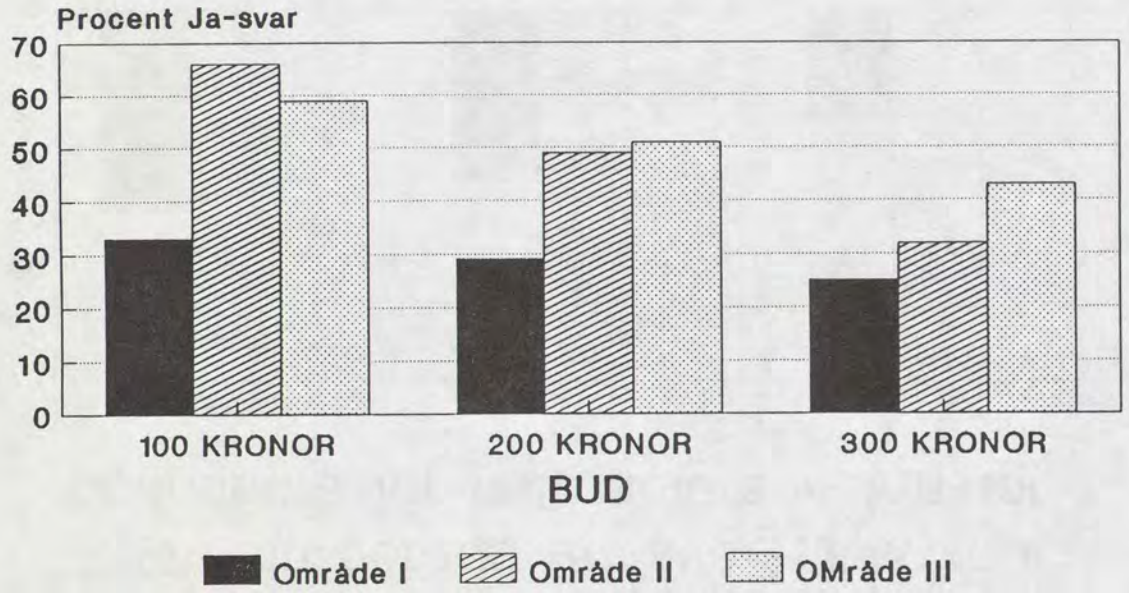
"Är du beredd att betala X kr mer i månaden för helt ljudisolerade fönster?"



Standardiserade, jämförbara värden.

HELT TYST TRAFIKMILJÖ

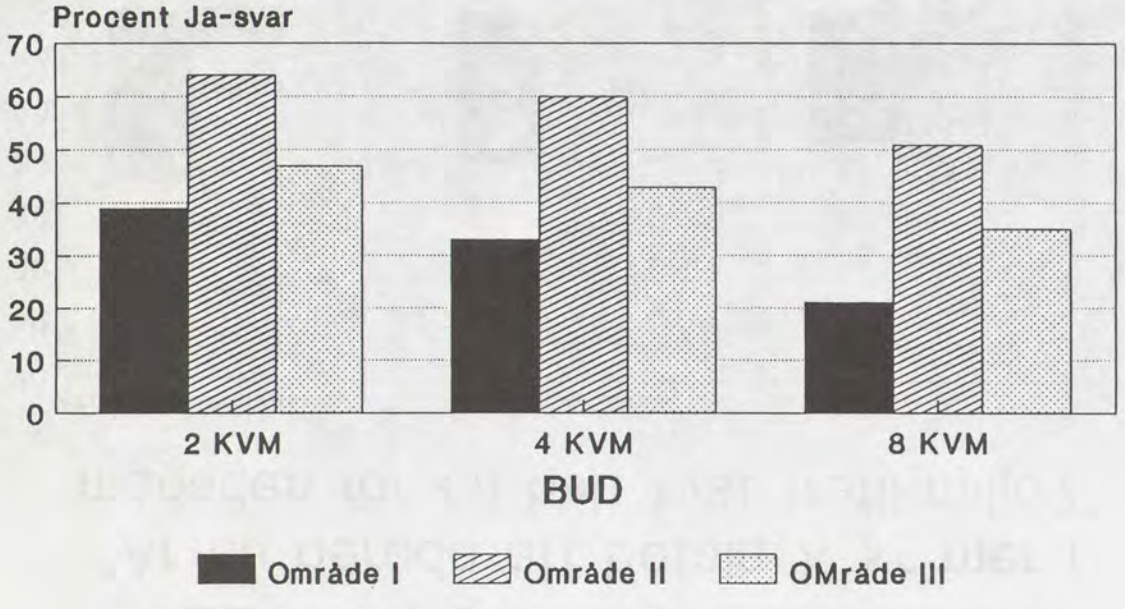
"Är du beredd att betala X kr mer i månaden för en helt tyst trafikmiljö?"



Standardiserade, jämförbara värden.

LJUDISOLERADE FÖNSTER

"Är du beredd att avstå X kvm i boendeyta för helt isolerade fönster?"



Standardiserade, jämförbara värden.

Kapitel III Värdering av inomhusbuller

Till fem olika bostadsområden i och kring Stockholm och Göteborg, sändes en enkät rörande "inomhusbullret". Detta definierades i enkäten (se bilaga) som .."t ex det ljud som kommer från grannars TV/stereo, badrum eller WC." Det påpekades explicit att fråforna inte avsåg utifrån kommande ljudstörningar, t ex trafikbuller, samt att den aktuella bostaden uppfyllde gällande normer vad avsåg ljudisolering inomhus. Två frågor avsåg speciellt det ljud som kom från bostadens ventilationssystem.

Enkäten sändes till sammanlagt 450 hushåll. Inom den stipulerade tiden hade 193 användbara svar inkommit vilket innebär en svarsfrekvens på 43%. Som tidigare påpekats är detta i normala fall tillräckligt för att ge tillförlitliga resultat.

Medelvärden för de olika populationerna utvisas i nedanstående tabell.

Tabell III:1 Medelväden för de olika delpopulationerna

	Område 1	Område 2	Område 3	Område 4	Område 5
Ålder	37	42	44	34	47
Hushållets storlek	2.3	2.7	2.1	2.0	1.8
Lägenhetens yta	78	90	89	84	77
Månadshyran	4384	5263	5145	4642	3578
Svarandes månadsinkomst	134	160	237	175	168

De fem områdena var (1) ett radhusområde med övervägande en-våningshus i en mindre stad. Område 2 bestod av bostadsrättslägenheter vilka vid besiktningsmätningar från 1991 visade ljudisoleringsvärdeen som var godkända med marginal. Område 3 hade mätvärden som i genomsnitt låg runt Ja=55dB, medan område 4 (byggår 89-90) hade mätdata som var godkända enligt SBN80. Område 5 slutligen avser ett nybyggt område med hyreslägenheter nära Göteborg.

"Hör Du Dina grannar?"

Den första frågan rörde i vilken utsträckning de boende överhuvud hörde ljud från grannens lägenhet, t ex samtal, TV eller liknande. Svaren utvisas i figur III:1. Som där framgår besvaras frågan med "Ja" av mellan 50 och 60% av de boende (och med "nej" av 40-50%). Skillanderna mellan bostadsområdena är obetydlig.

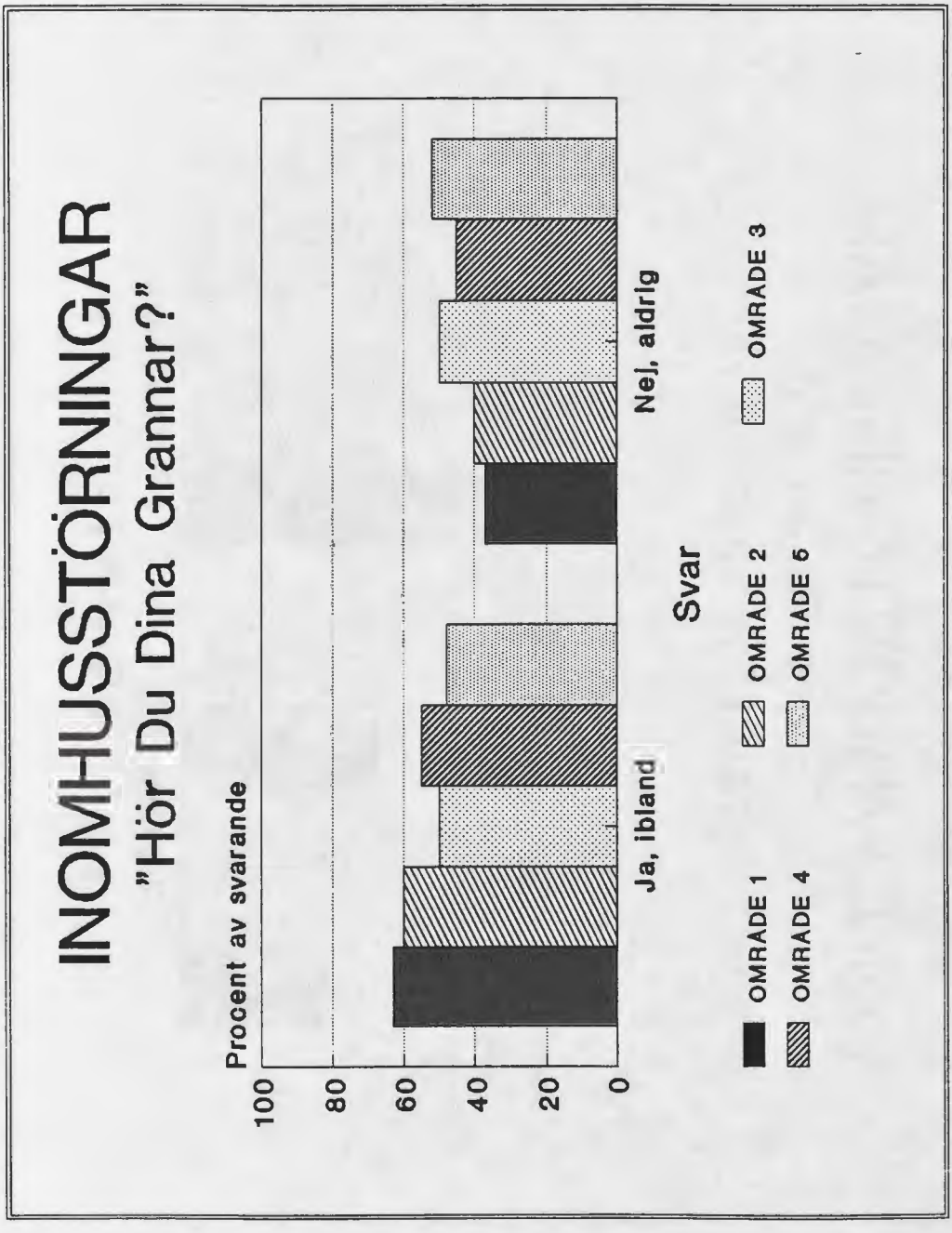
"Störs Du av Dina grannar"

Den omedelbara följdfrågan om respondenten **störde**s av ljud från grannlägenheterna uppvisade en större svarsvariation. Här svarade mellan 20 och 40% "ja" på frågan (Se figur III:2). Lägst andel störda återfanns i område 2 (där ljudisoleringsvärdena väl uppfyllde normerna) med 20%. Störst andel störda återfanns i område 4 (flervåningshus med bostadsrättslägenheter utanför Stockholm) där mer än 40% störde**s** tid efter annan av sina grannar.

"Störs Du av att t ex musik från Din bostad når grannen"

En variation på störningsfrågan var om de boende upplevde det störande att t ex musik från den egna stereon störde grannen. Den genomsnittliga frekvensen ja-svar låg här på ungefär samma nivå som tidigare fråga, dvs cirka en tredjedel (se figur III:3). Högst andel störda fanns här i område 3, ett flervåningsbygge i Stockholm med bostadsrätter.

III:1


INOMHUSSTÖRNINGAR
"Hör Du Dina Grannar?"
Procent av svarande
100
80
60
40
20
0
Ja, ibland
Nej, aldrig
Svar
OMRADE 1
OMRADE 2
OMRADE 3
OMRADE 4
OMRADE 6

III:2

INOMHUSSTÖRNINGAR

"Störs Du av ljud från Dina grannar?"

III:3

INOMHUSSTÖRNINGAR

"Störs Du av att t ex musik från Din bostad når grannen?"

Sammanfattningsvis gäller således om de olika bostadsområdena att cirka hälften av de boende (då och då) hör ljud från sina grannar. Endast en tredjedel känner sig emellertid störda av den bristande ljudisoleringen, och ungefär lika stor andel störs av att ljud från den egna lägenheten tränger in till grannar. Gällande byggnormer skapar alltså en situation där cirka en tredjedel av de boende känner sig störda av en i deras tycke bristande ljudisolering.

"Störs Du av ljud från bostadens ventilationssystem?"

Då det gällde ljudstörningar från ventilationssystemet, uppgav även här cirka en tredjedel att de störtes (se figur III:4). Skillnaden var här påtaglig mellan område 1, (radhusområde) där drygt 40% störtes, och område 2 (där normerna uppfylldes med marginal) med enbart 20% störda.

"Hade bostaden den ljudisolering Du väntade Dig?"

En fråga om bostaden hade den ljudisolering som respondenten förväntade sig, besvarades med "ja" av i genomsnitt 80%.(Se figur III:5) Även här var emellertid skillnaderna betydande, för område 1 ansåg t ex bortåt 40% att ljudisoleringen var sämre än de förväntad sig medan motsvarande siffra för område 3 och 4 var bara drygt tio procent. Som ett genomsnitt kan cirka 20% sägas vara missnöjda med bostadens ljudisolering i förhållande till vad de förväntade sig.

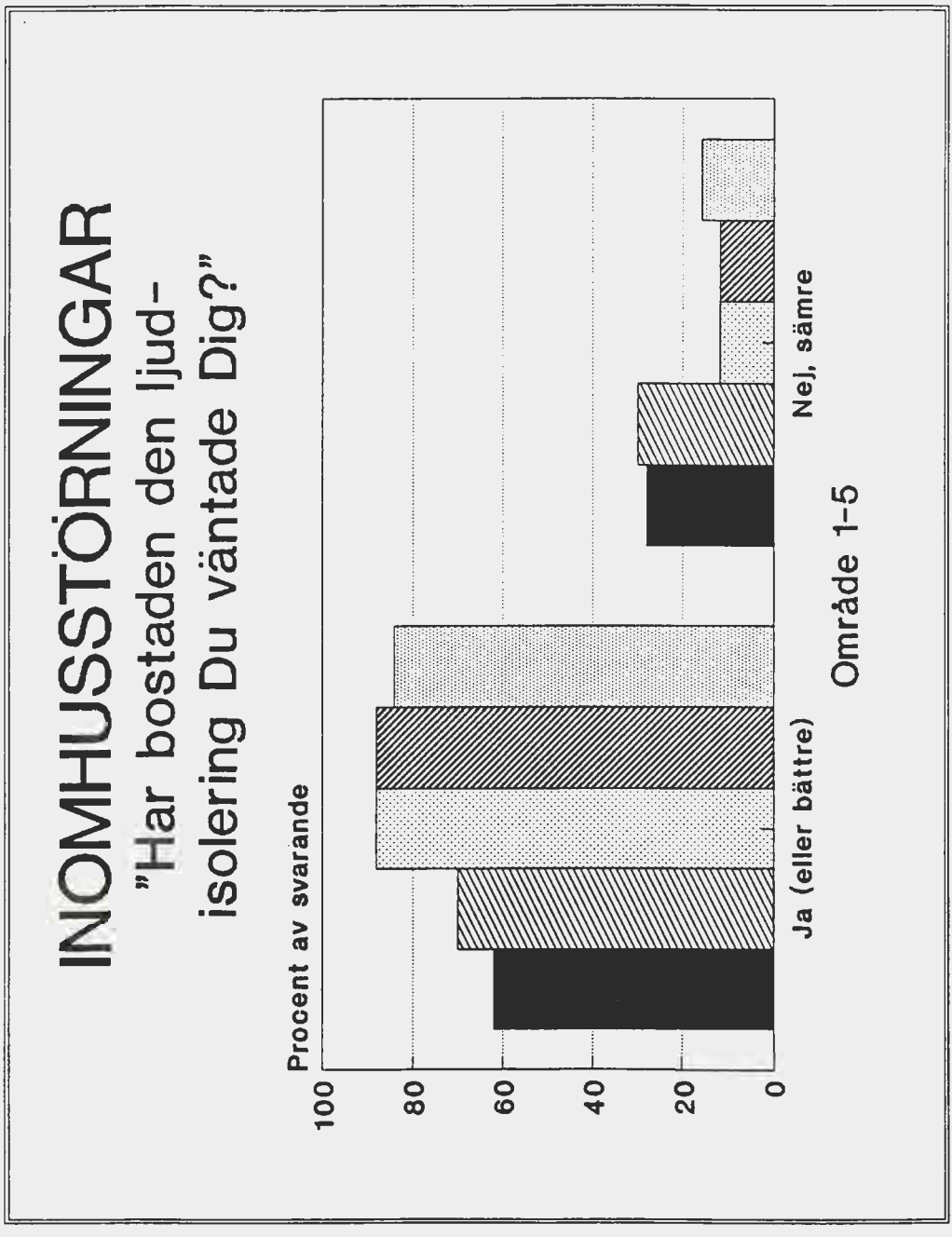
Det kan slutligen nämnas att det inte verkar finnas något entydigt samband mellan andelen störda (i olika avseenden) och andelen missnöjda. Dessa båda tal är visserligen båda högst i område 1, men för t ex område två gäller att här finns det näst högsta talet för missnöjda, medan det har lägst andel störda av alla grupper.

III:4

INOMHUSSTÖRNINGAR

"Störs Du av ljudet från bostadens ventilationssystem?"

III:5


INOMHUSSTÖRNINGAR
"Har bostaden den ljud-
isolering Du väntade Dig?"
Procent av svarande
100
80
60
40
20
0
Ja (eller bättre)
Nej, sämre
Område 1-5

Betalningsvilja för en helt ljudisolerad lägenhet

Betalningsviljan för en intern ljudisolering har undersökts genom samma förfarande som tillämpades då det gällde trafikbuller. Respondenten har fått ta ställning till om han/hon varit villig att betala 100 (200, 300) kr mer i hyra för en tilläggsisolering som skulle göra lägenheten helt ljudisolerad. Svaren utvisas i figurerna III 6-8.

Som framgår gäller mer eller mindre för alla områden, att betalningsviljan avtar med budets storlek, helt i enlighet med förväntningarna. Bortsett från område 4, gäller att ungefär 50% av de boende är beredda att betala 100 kr i hyreshöjning för en ljudisolering, 20% är beredda att betala 200 kr och cirka 10% 300 kronor. Den genomsnittliga betalningsviljan är för områdena 1,2,3 cirka 120 kronor i månaden, för område 5 är den cirka 170 kr i månaden medan den för område 4 endast är cirka 50 kronor. Omräknat i engångssummor innebär detta en genomsnittlig betalningsvilja på cirka 50.000 kronor per lägenhet i områdena 1,2,3, 70.000 för område 5 och 20.000 kronor i område 4.

Sammanfattningsvis gäller således för betalningsviljan för ljudisolering

I tre av de fem områdena är den genomsnittliga värderingen 120 kronor i månaden eller som engångssumma cirka 50.000 kronor. I ett fjärde område är värderingen endast 50 kronor i månaden (20.000 som engångssumma) medan i det femte området motsvarande tal är 170 kronor i månaden eller 70.000 i engångssumma.

I procent av existerande hyresnivåer är man beredd att i område 4 acceptera hyresökningar på 1%, medan man i de övriga områdena accepterar ökningar på 2.3-3.3%.

III:6

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja kr per månad för total ljudisolering.

III:7

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja kr per månad för total ljudisolering.

III:8

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja kr per månad för total ljudisolering.

Betalningsvilja för ljudisolering mätt i minskad boendeyta

På samma sätt som vad avsåg trafikbullret har betalningsviljan lägenhet, isolerad vad avser det interna bullret, mätts i en hypotetisk minskad boendeyta. De bud som gavs var 2,4 och 8 kvm yta. Svaren på dessa bud utvisas i figurerna III 9-11.

Även vad beträffar dessa områden gäller att andelen ja-svar faller med budets storlek. För alla grupper utom 4 är mellan 40 och 60% beredda att avstå 2 kvm, medan enbart cirka 5% är beredda att avstå 8. En grov kalkyl ger här vid handen att betalningsviljan är cirka 1 kvm för område 4, 2 kvm för områdena 1,2 och 3, samt cirka 2.4 kvm för område 5.

Sammanfattningsvis gäller för den genomsnittliga betalningsviljan mätt i minskad boendeyta: Område 4=1 kvm, område 1,2 och 3= 2 kvm, område 5= 2.4 kvm.

Mätt i procent av existerande boendeyta är betalningsviljan för område 4= 1.2 %, för områdena 1,2 och 3 cirka 2.5% samt för område 5=3.1%.

Det bör i sammanhanget poängteras att procenttalen för betalningsviljan mätt i kronor och i kvm är mycket lika område för område, något som givetvis stärker resultatens trovärdighet.

III:9

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja i minskad boende-yta för total ljudisolering.

III:10

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja i minskad boende-yta för total ljudisolering.

III:11

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja i minskad boende-yta för total ljudisolering.

Betalningsvilja för ljudlöst ventilationssystem

Betalningsviljan, mätt i kronor per månad för ett helt tyst ventilationssystem, utvisas i figurerna III:12-15. Bortåt 50% av de tillfrågade är villiga att betala 25 kr mer i månaden, och cirka 25% är beredda att betala 75 kronor. För områdena 1-5 är betalningsviljan respektive 42,27,53,43 och 35 kronor per månad. Omräknat i ett enda genomsnitstal gör detta cirka 16.000 kronor per lägenhet, mätt som engångssumma. Variationerna mellanområdena överensstämmer inte helt med andelen som uppger sig vara störd. För område 2 gäller dock att man har både lägst andel störda och lägst betalningsvilja.

Standardiserade jämförelser av betalningsviljan

På samma sätt som vad avsåg trafikbullret har standardiserade jämförelser vad avser betalningsviljan för inomhusbuller gjorts. I dessa har medelvärden för hela populationen använts (se tabell 1) för beräkningarna, och i figurerna III:16-17 utvisas de tre efterfrågekurvorna för de tre olika områdena.

Den statistiska modellen är sådan, att lutningen på de olika efterfrågekurvorna blir densamma, endast interceptet skiljer sig. Denna modell ger emellertid en god anpassning och hög signifikans för "prisparametern". Beträffande resultaten kan sägas att de i stort sett är konsistenta med de som redan presenteras. Beträffande område 5 erhålles dock här en mycket hög betalningsvilja för en helt ljudisolerad lägenhet-ca 250 kronor i månaden eller som engångssumma 100 000 kronor.

Som genomsnittsvärden erhålles från de standardiserade jämförelserna följande tal. Betalningsviljan för en ljudisolerad lägenhet är ca 150 kronor i månaden, cirka 3.1% av genomsnittshyran eller 60.000 som engångssumma. Mätt med minskad boendeyta är betalningsviljan 3.2 m^2 i genomsnitt eller 3.8% av den aktuella boendeytan. För ett tyst ventilationsystem är betalningsviljan i snitt 50 kronor i månaden, ca 1% av hyresbeloppet eller som engångssumma 20.000 per lägenhet.

III:12

INOMHUSSTÖRNINGAR
Betalningsvilja i kr per månad
för helt tyst ventilationssystem
Procent ja-svar
60
50
40
30
20
10
0
25 kronor
50 kronor
75 kronor
BUD
Område 4
Område 5

III:13

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja i kr per månad för helt tyst ventilationssystem■

III:14

INOMHUSSTÖRNINGAR

Betalningsvilja i kr per månad för helt tyst ventilationssystem■

III:15

EFTERFRÅGAN PÅ TYSTNAD

Betalningsvilja i kr/mån för helt ljudisolerad lägenhet.

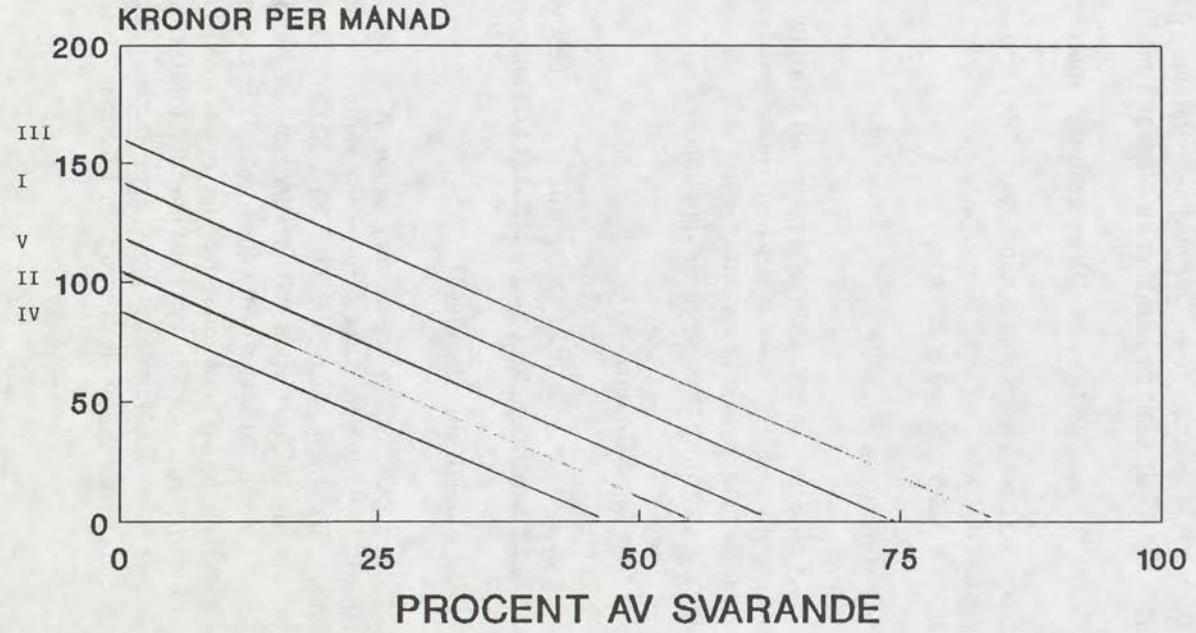
III:16

EFTERFRÅGAN PÅ TYSTNAD

Betalningsvilja i minskad boende-yta för helt ljudisolerad lägenhet.

EFTERFRÅGAN PÅ TYSTNAD

Betalningsvilja i kr/mån för helt tyst ventilationssystem.



Område I-V

III:17

Appendix Störningar från motorgräsklippare

Här sändes en enkät till 100 villahushåll i Göteborg och Karlstad. Svarsfrekvensen var 50%. För medelpopulationen gällde att medelåldern var 48 år samt att hushållet hade drygt 3 medlemmar.

"Störs Du av ljud från Din/Dina grannars motorgräsklippare?"

Svaret på denna fråga som sammanfattas i A:1 utvisade att 50% aldrig störddes överhuvud, Ca 40 % uppgav att de störddes ibland, och 10 % att de störddes ofta (på sommaren).

"Är störningen allvarlig.?"

Drygt 50% (av de som störddes) uppgav att störningen var "märkbar, men ej allvarlig". 30% ansåg den helt bagatellartad och 15% allvarlig. Totalt i hela populationen ansåg alltså 8% att de utsattes för en allvarlig störning av motorgräsklipparnna.

"Behövs lagstiftning?"

70% av de svarande ansåg att lagstiftning inte behövdes, medan 30% ansåg att lagstiftning mot alltför bullriga gräsklippare behövdes.

"Vilken lagstiftning behövs?"

Då det gällde typ av lagstiftning ansåg 55% (av de som ville ha lagstiftning) att den bästa formen var bullerkrav för nya maskiner (även om detta innebar en fördyring på 300 kr). Drygt 20% ansåg att man borde införa förbud mot användning av motorgräsklippare på helger, medan 20% ansåg att båda formerna borde införas. Omräknat i andel av totalpopulationen betyder detta att cirka 17% anser att strängare bullerkrav för nya maskiner bör införas. Sex procent anser att man bör införa klippförbud på helger, medan också 6 procent anser att båda formerna av lagstiftning bör tillgripas.

A:1

Ljud från motorgräsklippare

"Störs Du av ljud från grannars motorgräsklippare?"

A:2

Ljud från motorgräsklippare

"Om Du störs, är störningen allvarlig eller bagatellartad?"

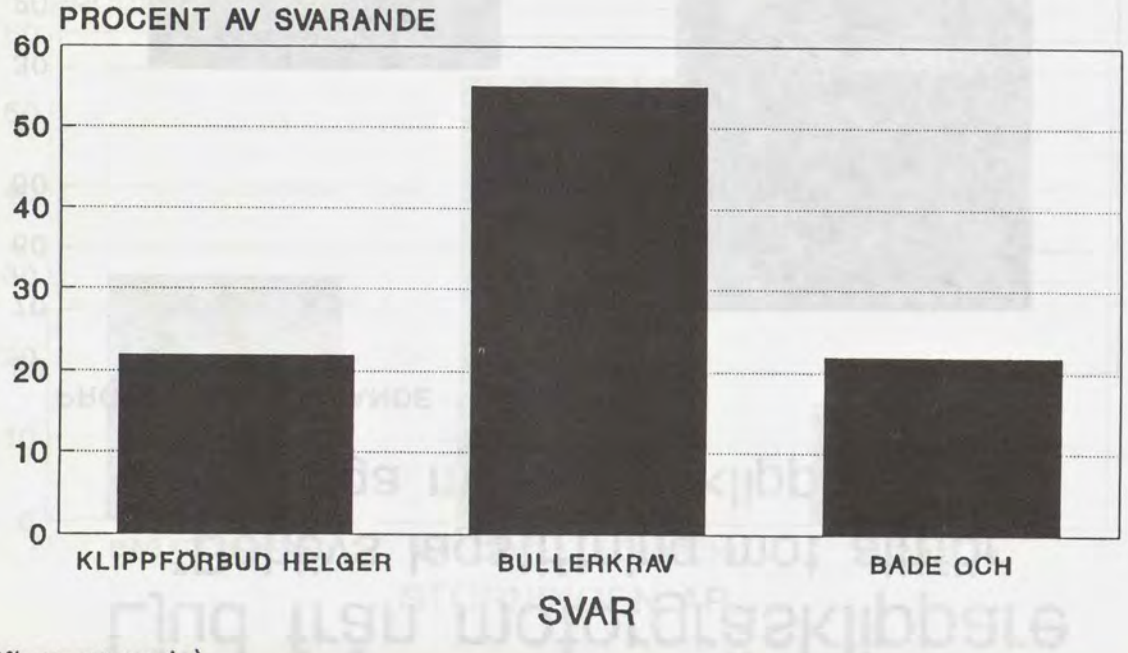
A:3

Ljud från motorgräsklippare

"Behövs lagstiftning mot alltför bullriga motorgräsklippare?"

Ljud från motorgräsklippare

"Om Du anser att lagstiftning behövs, vilken typ av lag bör införas?"



(30% av svarande)

Enkät om värderingen av trafikbuller

Undersökningar har visat att buller av olika slag är ett allvarligt problem på många ställen i vårt land. För att undersöka möjligheterna att minska bullret har Miljö– och Naturresursdepartementet tillsatt en utredning som skall utarbeta en handlingsplan. Som ett led i denna utredning har undertecknad blivit ombedd att genomföra en enkät om människors värdering av trafikbuller. Du är en av ca 600 slumpmässigt utvalda personer som deltar i denna undersökning.

Enkäten innehåller några frågor om Din bostad och hur Du upplever trafikbullret. Jag är tacksam om Du kunde besvara frågorna och returnera frågeformuläret i bifogade svarskuvert inom en vecka.

De flesta frågorna är enkla att svara på, medan andra kanske kräver lite mer eftertanke. Även om Du upplever det svårt att besvara någon av frågorna med absolut säkerhet– svara ändå så gott Du kan (dvs svara hellre ungefärligt än inte alls). Kan (eller vill) Du inte svara på någon fråga så hoppa över den och gå till nästa. Jag är mycket tacksam om Du svarar på alla frågorna så uppriktigt som möjligt!

Ditt svar är naturligtvis sekretessskyddat, och i den rapport som jag publicerar kommer ingen att kunna urskilja Ditt svar. Jag redovisar endast genomsnittsvärden för stora grupper. Det nummer Du finner högst upp på frågeformuläret är endast till för att jag skall kunna pricka av de som svarat, och inte skicka dem någon påminnelse.

Jag hoppas Du vill hjälpa mig med min undersökning. Är det något Du vill fråga om är Du välkommen att kontakta mig per telefon eller brev. Telefonnumret är 090–16 67 92.

Tack på förhand för Din värdefulla medverkan i undersökningen!

Bästa hälsningar

Sören Wibe
Professor i Ekonomi vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå

Adr: Sören Wibe, SLU, 901 83 Umeå

ENKÄTFRÅGOR

1. I vilket län är du bosatt? .....

2. Vad är din ålder? ..... år.

3. Hur många personer bor i ditt hushåll? ..... personer.

4. Hur stor (ungefär hur många m^2) är lägenhetens yta? ..... m^2

5. Hur många av bostadens fönster:

   är vända mot gatan? ..... st.

   är vända mot gården? .....st.

6. Kan Du ange nedan då Du störs av trafikbullret från gatan? (Sätt kryss på lämplig rad.)

   Aldrig .....

   Enbart då något fönster är öppet .....

   Då och då, även när alla fönster är stängda. .....

7. Om du störs av trafikbullret, kan Du nedan ange hur: (Sätt kryss i lämplig ruta.)

   Enbart på dagar och kvällar (dvs inte under sömnen) .....

   Både på dagar och nätter (då och då eller ständigt) .....

   Enbart under sömnen .....

8. Det går att byta ut Dina fönster så att Du får en (i det närmaste) total ljudisolering från trafiken. Kostnaden för detta kommer emellertid att läggas på hyran. Om du fick välja, skulle du vara villig att betala 100 kr mer i hyra (per månad) för att få en bostad där inget trafikbuller hördes utifrån.(Kryssa för lämplig rad)

   Ja .....

   Nej .....

9. Antag nu att det gick att få bort allt trafikbuller (genom att gatan helt stängdes av eller liknande). Allt trafikbuller försvann vare sig Du hade öppet eller stängt fönster. Skulle du acceptera en hyreshöjning med 300 kr månaden för detta.

Ja .....

Nej .....

10. Tänk Dig nu att Du skulle få erbjudande om att få behålla samma lägenhet med samma hyra. En ombyggnad skulle göras så att allt lägenheten blev (i det närmaste) totalt ljudisolerad (då fönstren var stängda), men boendeytan skulle minskas något. Skulle Du vara villig att genomföra denna förändring om boendeytan skulle minskas med 8 m^2?

Ja .....

Nej .....

11.Till slut en fråga om Din inkomst. Kan Du kryssa för i vilket intervall Din totala årsinkomst låg under året 1992:

0–50 000 ..... 51 000– 100 000 ..... 101 000– 150 000 .....

151 000– 200 000 ..... 201 000– 250 000 ..... 251 000– 300 000 .....

över 300 000 .....

Tack än en gång för Din värdefulla medverkan!

Enkät om värderingen av inomhusbuller

Undersökningar har visat att **buller** av olika slag är ett allvarligt problem på många ställen i vårt land. För att undersöka möjligheterna att minska bullret har Miljö– och Naturresursdepartementet tillsatt en utredning som skall utarbeta en handlingsplan. Som ett led i denna utredning har undertecknad har blivit ombedd att genomföra en enkät om människors inställning till ljudisolering och ljudnivå i bostäder. Du är en av ca 600 slumpmässigt utvalda personer som deltar i denna undersökning.

Din bostad uppfyller dagens normer för ljudisolering, men frågan är om normerna är rätt ställda. Enkäten innehåller några frågor om Din bostad och hur Du upplever **innomhusbullret**, dvs det ljud som kommer från trappor, grannars stereo, ventilationssystemet osv. Jag är tacksam om Du kunde besvara frågorna och returnera svaren i bifogade svarskuvert **inom en vecka.**

De flesta frågorna är enkla att svara på, medan andra kanske kräver lite mer eftertanke. Även om Du upplever det svårt att besvara någon av frågorna säkert– svara ändå så gott Du kan (dvs svara hellre ungefärligt än inte alls). På ett par ställen träffar Du på ett stycke förklarande text före frågan. Läs då denna noggrant inna Du besvarar frågan. Jag är mycket tacksam om Du svarar på alla frågorna så uppriktigt som möjligt!

Ditt svar är naturligtvis sekretessskyddat, och i den rapport som jag publicerar kommer ingen att kunna urskilja Ditt svar. Jag redovisar endast genomsnittsvärden för stora grupper. Det nummer Du finner högst upp på frågeformuläret är endast till för att jag skall kunna pricka av de som svarat, och inte skicka dem någon påminnelse.

Jag hoppas Du vill hjälpa mig med min undersökning. Är det något Du vill fråga om är Du välkommen att kontakta mig per telefon eller brev. Telefonnumret är 090–16 67 92.

Tack på förhand för Din värdefulla medverkan i undersökningen!

Bästa hälsningar

Sören Wibe
Professor

ENKÄTFRÅGOR INOMHUSBULLER

Följande frågor berör det buller som kommer inifrån huset, t ex ljud från trappen, från grannars TV/stereo, badrum eller WC. Frågorna avser inte det eventuella buller som kommer utifrån, t ex från trafiken. Tänk på detta då Du besvarar frågorna.

1. I vilket län är Du bosatt? .....

2. Vad är Din ålder? ..... år

3. Hur många personer bor i Ditt hushåll? .....personer.

4. Hur stor (ungefär hur många m^2) är Din lägenhet? .....m^2.

5. Hur mycket betalar Du i hyra (ungefär) varje månad? .....kr/mån.

6. Hör Du Dina grannar? (t ex deras samtal, TV, stereo eller liknande):(Sätt kryss vid lämplig rad)

Ja, ibland .....

Nej, aldrig .....

7. Störs Du av ljud från Dina grannar? (Sätt kryss på lämplig rad.)

Ja (ibland) .....

Nej (aldrig) .....

8. Störs Du av att veta att ljud från Din lägenhet tränger in till grannarna? (t ex då Du spelar musik):

Ja .....

Nej .....

9. Störs Du av ljudet från bostadens ventilation?

Ja .....

Nej .....

10. Har bostaden den ljudisolering/ljudnivå som Du räknade med då Du valde den?

Ja (Ungefär som jag räknade med eller bättre isolering) .....

Nej (Ljudisoleringen är sämre än vad jag räknade med) .....

Vet ej .....

11. Tänk Dig nu att det skulle gå att isolera Din lägenhet så att allt innomhusbuller försvann. (Du hörde inte grannarna och De hörde inte Dig.) Skulle Du vara beredd att betala 300 kronor mer i hyra (per månad) för denna förbättring?

Ja .....

Nej .....

Vet ej .....

12. Tänk Dig nu att en ombyggnad till (i det närmaste) total ljudisolering skulle kunna åstadkommas genom att lägenhetsytan minskades. Skulle Du vara villig att genomföra denna ombyggnad om Din boendeyta i så fall minskades med 8 m^2.

Ja .....

Nej .....

Vet ej .....

13. Tänk Dig att det gick att genomföra en ombyggnad så att ventilationsljuden helt försvann. Skulle Du vara villig att genomföra denna förändring om den innebar en hyreshöjning på 75 kronor månaden?

Ja .....

Nej .....

Vet ej .....

14. Till sist en fråga om Din inkomst. Kan Du genom att kryssa för i lämpligt intervall nge ungefär hur stor Din årsinkomst var under 1992:(Om Du inte vill besvara denna uppgift så hoppa över den.)

0–50 000 ..... 51 000– 100 000 ..... 101 000– 150 000 .....

151 000– 200 000 ..... 201 000– 250 000 ..... 251 000– 300 000 .....

över 300 000 .....

Tack än en gång för Din värdefulla medverkan!

Enkät om värderingen av buller från motorgräsklippare

Undersökningar har visat att buller av olika slag är ett allvarligt problem på många ställen i vårt land. För att undersöka möjligheterna att minska bullret har Miljö– och Naturresursdepartementet tillsatt en utredning som skall utarbeta en handlingsplan. Som ett led i denna utredning har undertecknad har blivit ombedd att genomföra en enkät om människors inställning buller av olika slag. Du är en av ca 1000 slumpmässigt utvalda personer som deltar i denna undersökning.

Denna enkät berör en mycket speciell form av buller, nämligen det som kommer från Din eller Din grannes motorgräsklippare. Anledningen till att jag frågar om denna speciella sak är att man överväger någon form av lagstiftning på området, eftersom många människor i tätortsområden upplever ljudet från motorgräsklippare som ett problem.

Enkäten innehåller några enkla frågor om hur Du ser på saken. Jag är tacksam om Du kunde besvara frågorna och returnera frågeformuläret i bifogade (portofria) svarskuvert inom en vecka.

Ditt svar är naturligtvis sekretessskyddat, och i den rapport som jag publicerar kommer ingen att kunna urskilja Ditt svar. Jag redovisar endast genomsnittsvärden för stora grupper. Det nummer Du finner högst upp på frågeformuläret är endast till för att jag skall kunna pricka av de som svarat, och inte skicka dem någon påminnelse.

Jag hoppas Du vill hjälpa mig med min undersökning. Är det något Du vill fråga om är Du välkommen att kontakta mig per telefon eller brev. Telefonnumret är 090–16 67 92.

Tack på förhand för Din värdefulla medverkan i undersökningen!

Bästa hälsningar

Sören Wibe
Professor

Adr. Sören Wibe, SLU, 901 83 Umeå.

ENKÄTFRÅGOR

1 .I vilket län är du bosatt? .....

2. Vad är din ålder? ..... år

3. Hur många personer bor i ditt hushåll? ..... personer

4. Störs Du på sommaren av ljudet från Din/Dina grannars motorgräsklippare: (Kryssa för på lämplig rad.)

Ja, ofta .....

Ja, ibland .....

Nej, aldrig .....

5. Om Du störs av ljudet från motorgräsklippare, kan Du nedan kryssa för hur allvarligt Du anser att problemet är:

..... (Störningen är bagatellartad)

..... (Ströningen märkbar, men inte allvarlig)

..... (Störningen är allvarlig)

6. För att minska störningarna från motorgräsklippare övervägs lagstiftning, antingen sådan att klippning förbjuds helt på helger (lördag–söndag) eller strängare krav på nya maskiner. Dessa senare krav beräknas höja priset på gräsklippare med cirka 200 kronor.

Anser Du att en lagstiftning på området överhuvudtaget är nödvändig?

Ja .....

Nej .....

Om Du anser att lagstiftning är nödvändig, vilken typ av lagstiftning anser Du att man bör införa:

Förbud mot klippning på helger .....

Bullerkrav på nya maskiner (200 kr dyrare) .....

Tack än en gång för Din värdefulla medverkan!

FLYGBULLERMÅTT OCH KRAV PÅ MÄTFÖRHÅLLANDEN



Conny Larsson

Meteorologiska institutionen
Uppsala universitet
Box 516
751 20 Uppsala

1993

FLYGBULLERMÄTT OCH KRAV PÅ MÄTFÖRHÅLLANDEN

Conny Larsson

Meteorologiska institutionen

Uppsala universitet

Box 516

751 20 Uppsala

1993

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	5
Mätserie	6
Meteorologisk inverkan	9
Beräkningsmetoder	14
Kontrollmätningar	19
Slutsatser	25
Referenser	26

INLEDNING

I denna rapport föreslås förändringar i beräkningsförfarandet för flygbullermåtten flygbullernivå, FBN och maximalnivån. En mätmetod för kontrollmätning av flygbullermått föreslås. De föreslagna förändringarna grundar sig på en litteraturgenomgång. Mätmetoden har testats mot en mätpunkt liggande norr om Arlanda flygplats, där mätning av ljudnivå och olika väderparametrar har pågått i snart tre år.

Innehållet i denna rapport har delvis behandlats på ett seminarium den 29 januari 1993 i Stockholm av den parlamentariska bullerutredningen "Handlingsplan mot buller".

MÄTSERIE

Mätplatsen har valts med tanke på att bullret från andra ljudkällor skall vara så lågt som möjligt och att de meteorologiska mätningarna skall vara representativa för området. Avsikten är att bestämma variationerna hos ljudnivån på nära avstånd till en större flygplats. Med hjälp av mätningarna är det möjligt att avgöra i vilken utsträckning väderförhållandena styr ljudmiljön. Platsen ligger i området mellan de beräknade flygbullernivåerna (FBN) 55 och 65 dB (A). Riktlinjer för god utomhusmiljö har satts till 55 dB(A) vid nybyggnation av bostäder och 65 dB(A) för befintliga bostäder. Eftersom mätstationen placerats mitt emellan FBN 55 och 65 dB (A) erhåller man ett mått på osäkerheten vid bestämmande av ljudnivån. Denna information kan användas i samband med planering/koncessionsbehandling av flygplatser.



Figur 1. Karta över mätplats Weda norr om Arlanda flygplats.

Mätningar av ljud och väder utförs i närheten av bondgården Weda norr om Arlanda flygplats. Mätstationen är placerad (59°42' N och 17°56' E) 4000 m från bantröskeln på bana 01 eller 5750 m från utrikesterminalen, se fig. 1.

Mätplatsen är vald med tanke på att minska antalet ljudstörningar från andra källor än de, som kan knytas till aktiviteterna vid flygplatsen Arlanda.

Stationen ligger vid den sydvästra delen av ett 500 m långt fält. Fältet är 450 m brett vid mätpunkten och smalnar av till 150 m i den nordöstra delen. Terrängen vid sidan av det öppna fältet reser sig 5-10 m högre och är täckt med blandskog. Syd och sydväst om stationen finns ett ungefär 1 km^2 stort område täckt av en gammal sjö, Vedasjön med omkringliggande sankmark.

Tabell 1		
Variabel	Enhet	Mäthöjd, m
Ljudnivå	dB (A)	1,5
Temperatur	℃	0,5 1,5 10,0
Vindhastighet	m/s	0,5 1,5 10,0
Vindriktning	° från norr medurs (1 varv = 360°)	10,0
Relativ fuktighet	%	1,5
Lufttryck	hPa	1,5

Tabell 1.Uppmätta variabler och deras mäthöjd vid mätstationen Weda, 6 km norr om Arlanda flygplats.

Med hjälp av ett datorprogram beräknas timmedelvärde för L_{eq} och för de olika meteorologiska parametrarna i tabell 1. Vidare registreras, L_{max} och L_{min} under timmen och antalet ljudincidenter som överskred 70 dB (A) för varje timme.

En ljudincident definieras när ljudnivån stiger med minst 15 dB (A). Tiden för incidenten, integrationstiden, är den tid ljudnivån befinner sig inom intervallet L_{max}-10 dB (A). Genom att sätta kravet att enbart incidenter > 5 s skall tas med kan ljud av typen koråm, hundskall, rådjursskall och bräkande får mm elimineras.

För varje ljudincident sparades L_{Aqh}, som är dosen över en timme, Lmax, Lmin samt integrationstiden och de olika meteorologiska parametrarna medelvärdesbildade för de senaste 5 minuterna. Denna medelvärdestagningstid valdes med tanke på att få representativa medelvärden över ett större område i både tid och rum. Om man tänker sig att vinden varierar i styrka runt 5 m/s och vi tar medelvärde över 5 minuter så betyder det att vi har bildat medelvärde 5 x 60 x 5 = 1500 m uppströms vinden. Genom tidigare studier av fluktuationer av olika meteorologiska parametrar har det visat sig att det är lämpligt att bilda medelvärde över 5-10 minuter långa perioder, se Larsson och Israelsson (1982).

Mätningarna har pågått sedan den 14 april 1990 och planeras att pågå till april 1993. Här har valts ut en period på två år från 1 juni 1990 till den 31 maj 1992 för analys. Mätstationen fungerade 98 % av denna period. Avbrott skedde mellan den 11-26 maj 1992 beroende på hårdvarufel.

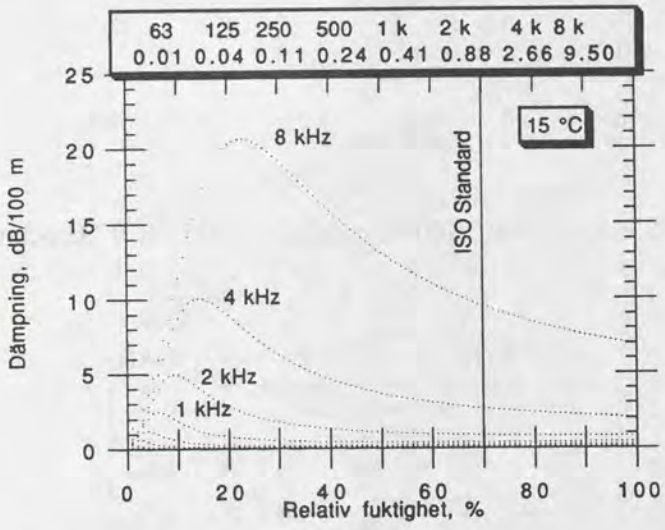
Mätstationen har besökts ungefär var 14:e dag. Kontroll och kalibrering har utförts vid dessa tillfällen.

Genom stationens placering kan vi anta att allt buller av någon betydelse, för de här diskuterade flygbullermåtten, kommer från flygplan som startar och landar vid Arlanda.

METEOROLOGISK INVERKAN

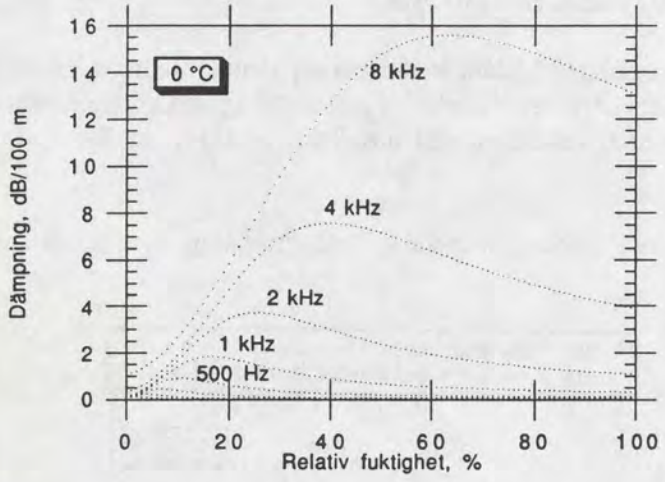
De meteorologiska förhållandena inverkar på ljudutbredning från olika typer av källor. Vädret påverkar ljudutbredning genom tre mekanismer: absorption, refraktion och turbulent spridning, se Piercy m fl (1977).

Absorption av ljudenergi sker vid all ljudutbredning inom atmosfären.

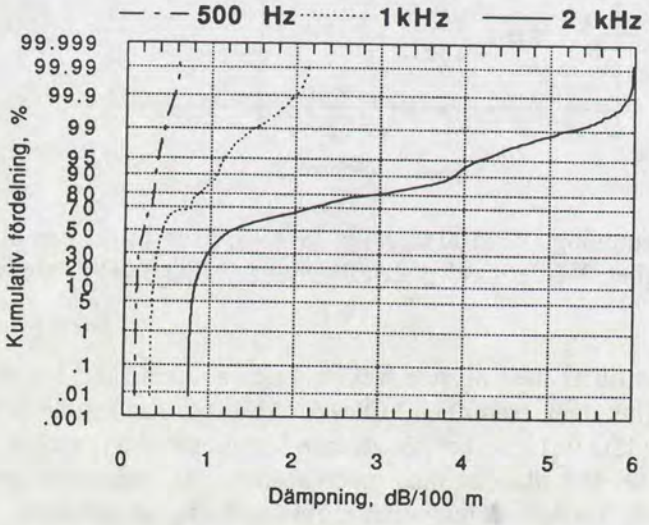


Figur 2a. Dämpning i dB/100 m enligt ISO 9613 för 15 °C och olika relativ fuktighet. Värdena enligt den föreslagna i ISO 3891 är angivna överst.

Absorptionen tilltar med ökande frekvens och avstånd samt beror på relativ fuktighet, temperatur och lufttryck. Absorptionen kan beräknas med hjälp av ISO 9613, vilket gör att man kan presentera ljudnivåerna korrigerade till förhållanden med ingen absorption. Genom att sedan införa aktuella värden på temperatur, relativ fuktighet och lufttryck kan den aktuella ljudnivån beräknas. Figurerna 2a och b visar absorptionen för temperaturerna 15 och 0 °C. Den föreslagna ISO 3891 gäller vid 15 °C och 70 % relativ fuktighet. Dämpningsmaximumet ligger vid lägre fuktighetsvärden men förskjuts något åt höger mot högre fuktighetsvärden när temperaturen blir lägre, jämför figur 2a och b. Hur dessa dämpningsvärden slår för olika delar av landet borde undersökas genom att studera olika klimatologiska serier från några platser. I figur 3 ges den kumulativa fördelningen av



Figur 2b. Dämpning i dB/100 m enligt ISO 9613 för 0 °C och olika relativ fuktighet.



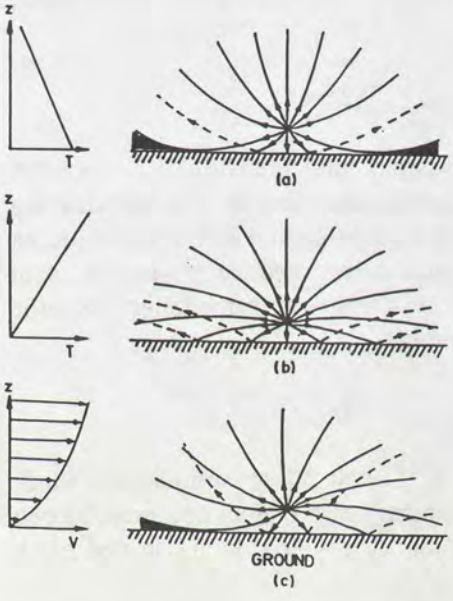
Figur 3. Kumulativ fördelning av dämpning enligt ISO 9613 för Weda, 6 km norr om Arlanda (900601-910531).

dämpningsvärdena beräknade från registreringarna av relativ fuktighet och temperatur på 1,5 m höjd under ett år, 900601-910531. Eftersom dämpningen inte är en linjär funktion av temperatur och fuktighet erhålles ingen normalfördelning hos dämpningsvärdena. Vi ser att

dämpningen varierar över ett stort område och kan uppgå till ganska stora värden om vi studerar ljudutbredning över flera km.

Refraktion av ljudstrålar uppkommer när ljudutbredning sker i medium med temperatur- och/eller vindgradienter.

Refraktionen påverkar ljudutbredningen genom att 1) ljudstrålar ansamlas eller sprids ut över ett område, 2) zoner med ljudskugga uppkommer vid uppåtböjning av ljudstrålar samt 3) infallsvinkeln mot marken, och därigenom även markdämpningen, ändras. Figur 4 visar olika vind- och temperaturförhållanden som åstadkommer dessa ändringar hos ljudstrålarna.



Figur 4. Ljudstrålars krökning vid
a: temperaturavtagande (dagtid),
b: temperaturtilltagande (nattetid) samt
c: motvind (vänster del) och medvind (höger del).

Ljudutbredningsförhållandena kan uttryckas som krökningen av en horisontell ljudstråle, 1/R enligt ekv (1).

$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{10}{\sqrt{T}} \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z}}{c\left(1 + \frac{u}{c}\right)^2} \qquad (1)$$

R=krökningsradien, T=temperaturen i K, u=vindkomponent i riktning källa-mottagare, c=ljudhastigheten och $\partial/\partial z$ = den vertikala gradienten av temperatur eller vind. Med hjälp av denna parameter kan inverkan av temperatur och vindförhållande uttryckas som ett mätetal. Ur ekvationen ser vi att den vertikala gradienten har mycket större betydelse än den temperatur eller vindhastighet, som råder.

Mätvärdena från ekv (1) är av storleksordningen 0,001 eller mindre. För att erhålla storheter nära 1 inför vi den normaliserade krökningen, k enligt

$$k = 1/R\ 10^3 \qquad (2)$$

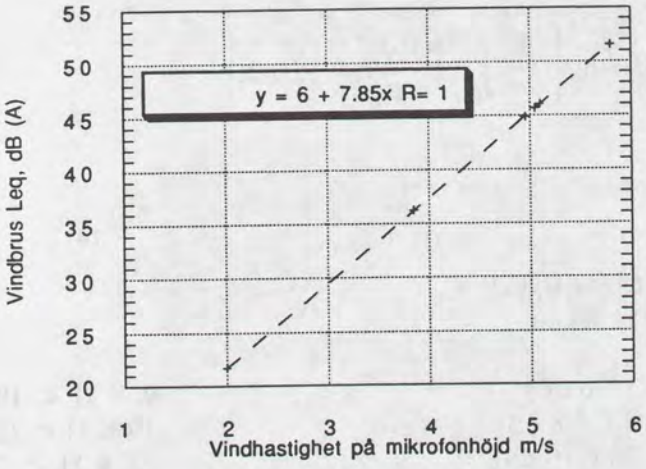
Eftersom temperatur- och vindgradient ändras med höjden är det svårt att veta på vilken höjd man skall beräkna gradienten. Det har visat sig att den enkla metoden att mäta differensen mellan de två mäthöjderna 10,0 och 0,5 m ger god överenstämmelse med de gradienter, som erhålls ur beräkningar med hjälp av strålspårningsmodeller. Vi inför dessa mäthöjder och erhåller uttrycket

$$k \approx (0{,}6\ \Delta t + \Delta u) / 3{,}2 \qquad (3)$$

där t är temperaturskillnaden i °C och Δu är skillnaden i vindkomponent i ljudutbredningsriktningen i m/s mellan höjderna 10 och 0,5 m. Ljudstrålen böjs upp från markytan när $k < 0$ och ned när $k > 0$.

Turbulent spridning orsakar fluktuationer av fas och amplitud hos ljudvågorna, vilket medför att de interferenseffekter, som erhålles mellan olika ljudstrålar, förändras hela tiden. Markdämpningen blir då inte lika stor som vid utbredning i ett ostört medium. Turbulensen innebär också att ljud sprids in i områden med ljudskugga, se figur 4 a och b.

Förutom de ovan nämnda effekterna av vädret måste man ta hänsyn till de mättekniska problem som vindbruset ger upphov till. Vinden genererar ett vindbrus i mikrofonen, som kan störa ljudnivåmätningar. Figur 5, omritad från Larsson m fl (1985) ger vindbrusnivån som funktion av vindhastigheten på mikrofonhöjden. Genom kännedom om vindhastighet kan vindbrusnivån bestämmas och en mätning, som påverkats av vindbrus, kan förkastas. För mätserien från Arlanda har vindbrusnivån legat klart under de uppmätta ljudnivåerna. Man bör vara observant på vindbrusnivån speciellt för mera kustnära placerade flygplatser med högre vindhastigheter men även då ljudnivåerna är lägre än de vid Arlanda.



Figur 5. Vindbrusnivå som funktion av vindhastighet på mikrofonhöjd.

BERÄKNINGSMETODER

Ett stort antal olika mätetal för flygbuller används i olika länder, se Plovsing och Svane (1983). Den A-vägda ljudnivån är den vanligast förekommande. Man kan uttrycka mätningar tagna över längre tid som maximalvärde under en viss tid eller genom olika metoder för medelvärdesbildning. I Sverige har man uttryckt ljudmiljön för de större flygplatserna enligt flygbullernivån, FBN, som är medelvärde på energibasis (ekvivalentnivå) beräknat över 24 timmar.

Flygbullernivå, FBN

Flygbullernivån, FBN, beräknas enligt följande:

$$L_{AeqW,24h} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \int_0^{24} \left[\frac{p_A(t)}{p_0} \right]^2 k(t)\, dt \right\} \qquad (4)$$

där
p0=20 μPa (referens tryck)
k(t) är en vägningsfaktor

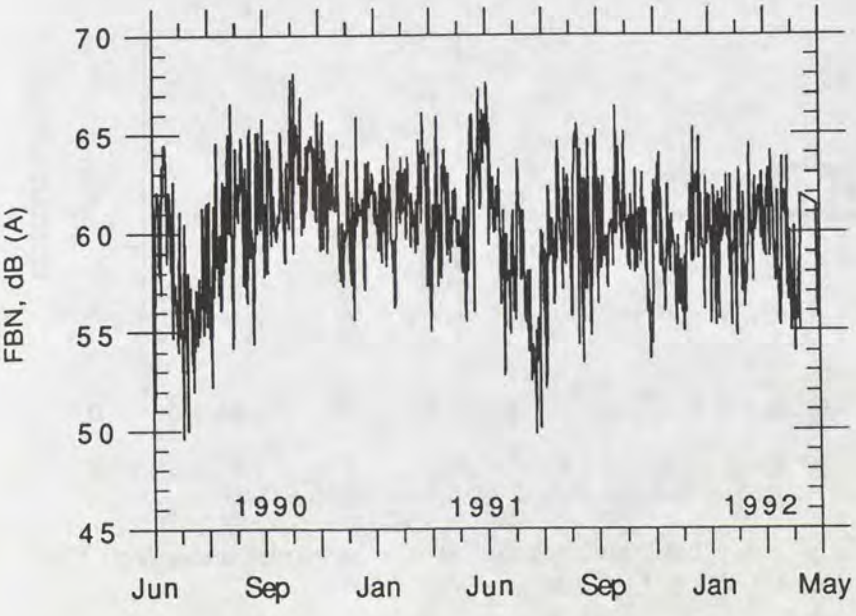
$$k(t) = \begin{cases} 1 \ (0\ dB) & 7 \text{ ¾ kl} < 19 \\ 3 \ (,4{,}8\ dB) & 19 \text{ ¾ kl} < 22 \\ 10 \ (,10\ dB) & 22 \text{ ¾ kl} < 7 \end{cases}$$

Det betyder att ett plan på kvällen räknas som tre på dagen och att ett plan på natten räknas som tio på dagen. Värdena inom parentes visar de tillägg i dB som vägningsfaktorn motsvarar. $L_{AeqW,24h}$ kan också betecknas som FBN för ett dygn. Utför man integrationen över ett helt år erhåller man årsvärdet, som vanligen betecknas FBN.

Figur 6 visar hur dygnets flygbullernivån, FBN, varierat mellan 1 juni 1990 och 31 maj 1992 vid Weda, 6 km norr om Arlanda. Ljudnivån för dygnets olika timmar har vägts samman enligt ekvation 4.

Ljudnivån i figur 6 uppvisar betydande variationer från dag till dag men även en mera långsam variation mellan olika årstider. Variationerna verkar bero på dels flygvägarna men även på de meteorologiska

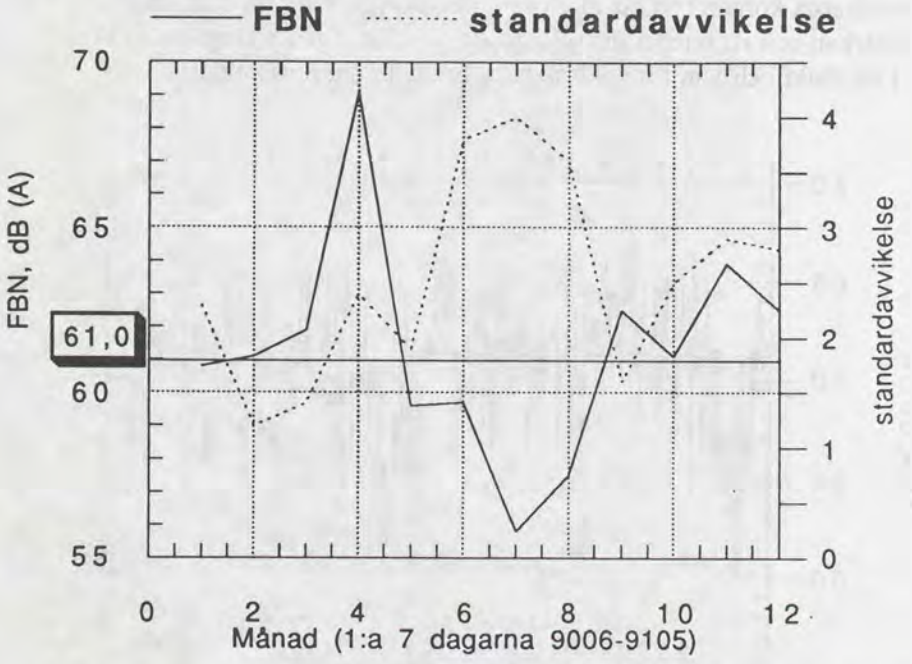
förhållandena. Lägsta ljudnivåerna erhölls i juli och de högsta under maj samt oktober-november. Jämförelser med flygtrafiken visar att dessa variationer inte enbart kan förklaras med antalet start och landningar utan beror även i hög grad på de meteorologiska förhållandena. Den högre FBN-nivån under vår och höst visar sig bero på att ljudnivån under morgontimmarnas trafiktopp mellan 7-9 ökar så pass mycket att den påverkar dygnets FBN-värde. Ökningen av ljudnivån beror på att markinversioner eller inversioner på låg höjd är vanligast i samband med soluppgång. När solen värmer upp de lägsta metrarna kommer vi att få ett temperaturavtagande mycket nära marken och ett temperaturtilltagande ovanför. Ljudet fångas härvid in i ett skikt och kan i huvudsak bara breda ut sig horisontellt.



Figur 6. Flygbullernivå, FBN, för Weda, 6 km norr om Arlanda.

Figur 7 visar hur flygbullernivå och dess standardavvikelse under de sju första dagarna under ett års olika månader. Under sommarhalvåret ligger medelvärdet under långtidsmedelvärdet, 61,0 dB (A), och standardavvikelsen är stor. De meteorologiska förhållandena under sommaren med temperaturavtagande under många timmar medför att ljudstrålarna böjs upp från marken varvid ljudskugga ofta förekommer, vilket innebär att ljudnivån blir lägre och variationerna större än under den övriga delen av året.

I Danmark, Norge och Finland används ett liknande förfarande med lite variation av viktningstal och uppdelning av dygnet, se Plovsing och Svane (1987). I U.S.A. rekommenderar the American Environmental Protection Agency ekvivalentnivå med uppdelning mellan dag och natt. Andra länder bygger inte sina mätmetoder på att utnyttja ekvivalentvärden. Det verkar rimligt att tro att ekvivalentnivån, med eller utan viktning, kommer att bli internationellt accepterad som medelvärdesmått för flygbuller.



Figur 7. Flygbullernivå och dess standardavvikelse under året. FBN efter nära 3 år är 61,0 dB (A).

En viktig skillnad mellan de nordiska ländernas sätt att beräkna flygbullernivån är att i Norge tittar man på de fyra trafiktätaste veckorna medan man i Sverige relaterar det till årsmedelvärde. Där övervägande säsongsbunden flygtrafik förekommer, t ex segelflygklubbar, kan skillnaden bli upp till 12 dB (A), se Svane (1990). För att komma ifrån detta problem föreslås att man även i Sverige baserar beräkningarna på de fyra trafiktätaste veckorna.

En annan skillnad är att man i Sverige i motsats till många andra länder inte räknar med någon markdämpning. Mätningar har visat att de väderförhållanden kan mer eller mindre sätta markdämpningen ur

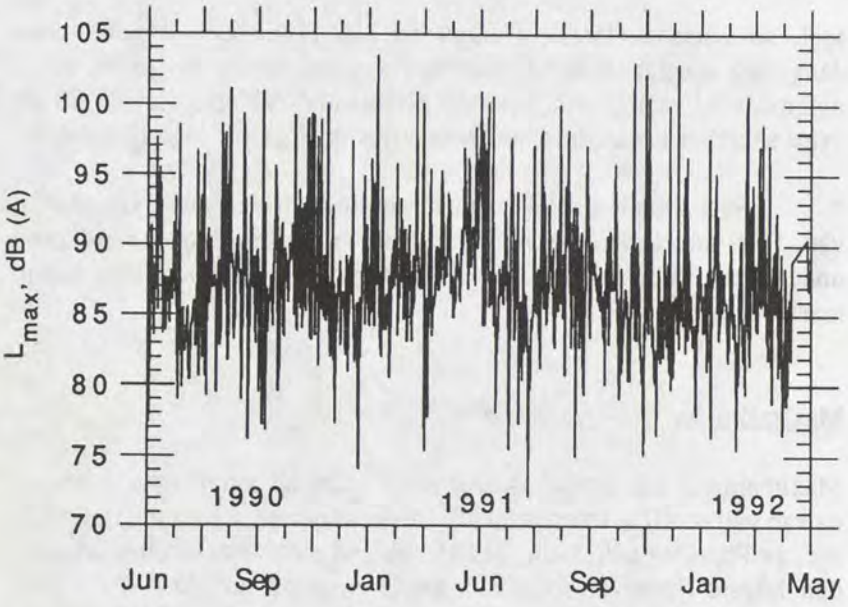
spel, se Larsson (1993). Genom att inte räkna med någon markdämpning speglar vi förhållandena vid nedåtböjning av ljudet, d v s vid medvind och/eller temperaturtilltagande. Vi erhåller därvid en extra säkerhet för att inte beräkningarna skall ge för låga ljudnivåer.

* Sverige bör behålla som flygbullermått den s k flygbullernivån, FBN men basera beräkningarna på de fyra trafiktätaste veckorna under året. Beräkningarna bör även i fortsättningen göras utan någon markdämpning.

Maximalnivån

Maximalnivån kan uttryckas över olika tidsrymd och integrationstiderna kan väljas olika. Internationellt förekommer ett stort antal definitioner, se Plovsing och Svane (1983). Ibland strävar man efter att ange den högsta ljudnivå, som kan förekomma på en plats. Ett sådan absolut maximalnivå faller på sin egen orimlighet. Utsträcker vi tiden till oändlighet kommer den maximala ljudnivån att inträffa när ett flygplan störtar på mätpunkten. Vi är alltså tvungna att relatera mätvärdet över en viss tidsrymd alternativt att ange ett värde som överskrids en viss procent av tiden, t ex L_5.

I figur 8 visas hur dygnets maximalnivå varierat under två år vid mätstationen norr om Arlanda. Dygnets maximalnivån varierar över ett 30 dB (A) stort område och visar inte samma säsongsvariationer som FBN i figur 6.



Figur 8. Dygnsmaximalnivån, L_{max}, för Weda, 6 km norr om Arlanda.

En detaljerad genomgång av maximalnivån har gjort i Jonasson (1990 och 1991). Med utgångspunkt för den där förda diskussionen föreslås att Sverige inför maximal flygbullernivå, MFN, se Jonasson (1991), som definieras som den 3:e högsta momentana maximalnivån, tidsvägning slow, under en typisk dag.

En typisk dag existerar inte utan är en dag som beräknas enligt följande:

$$MFN = 10 \log (x \, 10^{L1/10} + y \, 10^{L2/10}) \qquad (5)$$

x=andel starter i riktning 1 som ger maxnivån L1
y=andel starter i riktning 2 som ger maxnivån L2
x och y hämtas från koncessionshandlingar

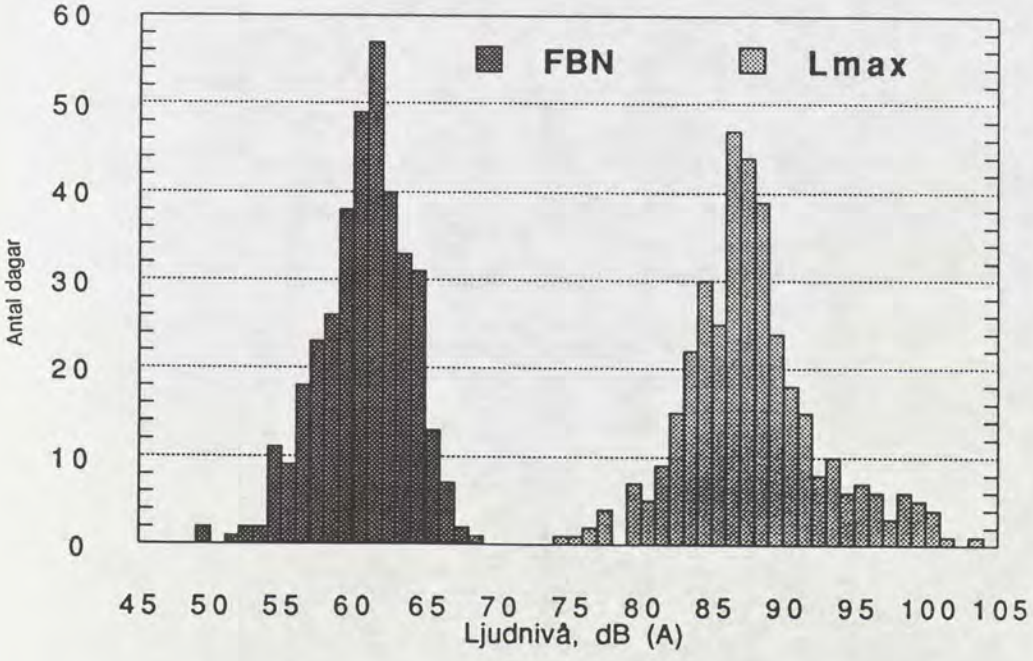
Enligt jämförelser med mätserien från Arlanda svarar detta värde mot de värde som överskrids 5 % av alla maximalvärden.

* Maximalnivå anges som maximal flygbullernivå, MFN (3:e högsta momentana maximalnivån under en typisk dag). De båda flygbullermåtten FBN och MFN ger ett gott underlag för bedömning av ljudmiljön på flygplatser av olika storlek.

KONTROLLMÄTNINGAR

Ett beräknat värde möts ibland av misstänksamhet. Att kunna gå ut och kontrollmäta att det beräknade värdet är rimligt är därför av stor betydelse. Verkligheten skall kunna kontrollmätas. Ett problem är ofta att man vill ha ett bullermått som ger ett medelvärde under någon form av medelförhållande. Därför relaterar man dessa medelvärde över en längre tid, t ex år. Att göra kontrollmätningar under ett helt år verkar orealistiskt. Mot denna bakgrund har en metod för kontrollmätning tagits fram. Metoden har testats mot mätserien vid Arlanda och visar att kontrollmätningar kan utföras med en rimlig noggranhet på bestämningen. Kontrollmätningen utförs under sju dagar då vissa krav på antalet starter och på väderförhållanden måste vara uppfyllda.

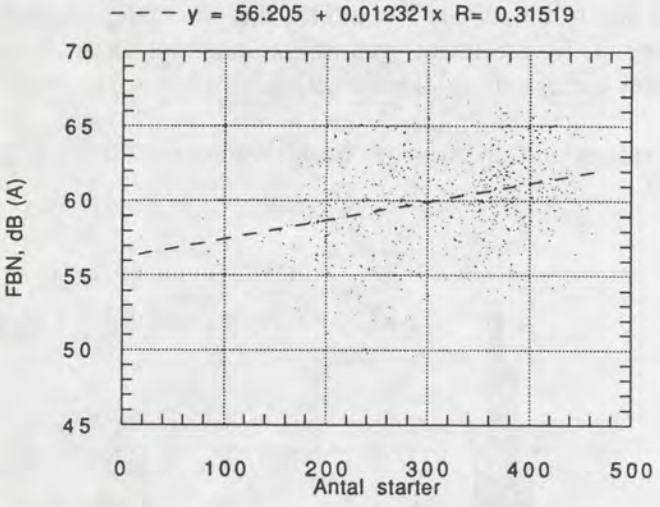
Vi studerar mätserien från Arlanda. Ett histogram för FBN och L_{max} ges i figur 9.



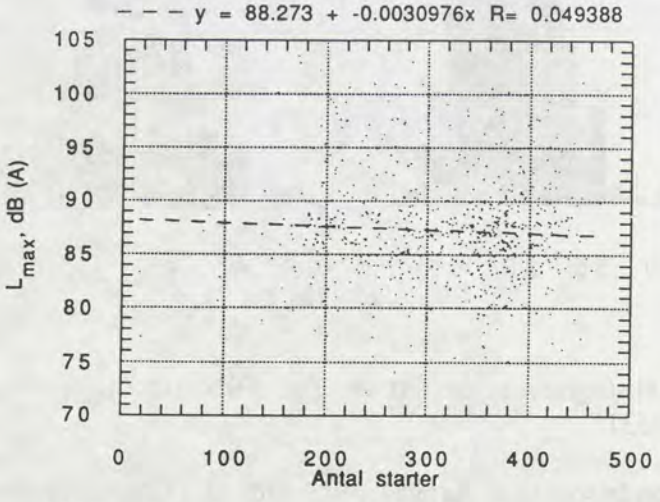
Figur 9. Histogram under ett år för FBN och L_{max}. Weda 900601-910531.

Flygbullernivån som är ett form av medelvärde för ljudnivån ökar med antalet starter, se figur 10, medan dygnets maximala ljudnivå, L_{max},

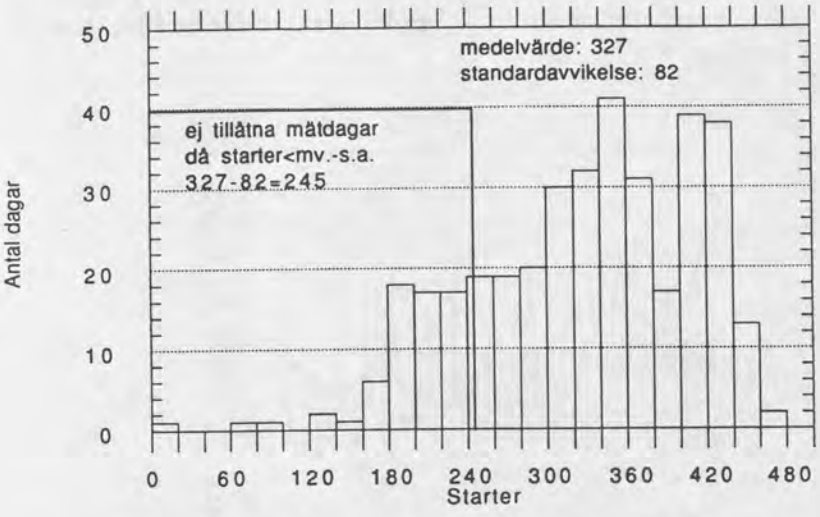
ej beror på antalet starter, se figur 11. Flygbullernivån beror till en viss del på antalet starter. För att sortera bort dagar med få starter utesluts dagar då antalet starter ligger under medelvärdet-standardavvikelsen för antalet starter beräknat över dygnet. Fördelningen av antalet starter för Arlanda ges i figur 12. Medelvärdet under perioden 900601-910531 var 327 starter och standardavvikelsen blev 82. Dagar med starter < 245 får således ej utnyttjas som mätdagar. Statistik bildas lämpligen över minst en årsfördelning eller så utnyttjas koncessionshandlingar.



Figur 10. FBN som funktion av antalet starter.



Figur 11. L_{max} som funktion av antalet starter.



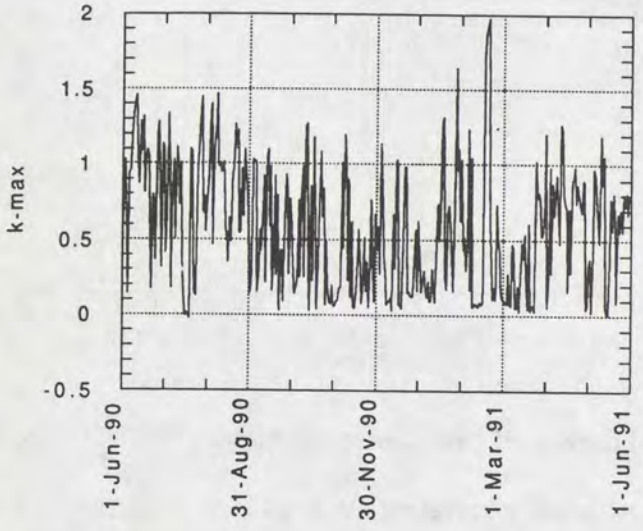
Figur 12. Antal dagar med antal starter vid Arlanda 900601-910531.

För Arlandas del innebar kravet att 19 % eller 68 dagar under året togs bort.

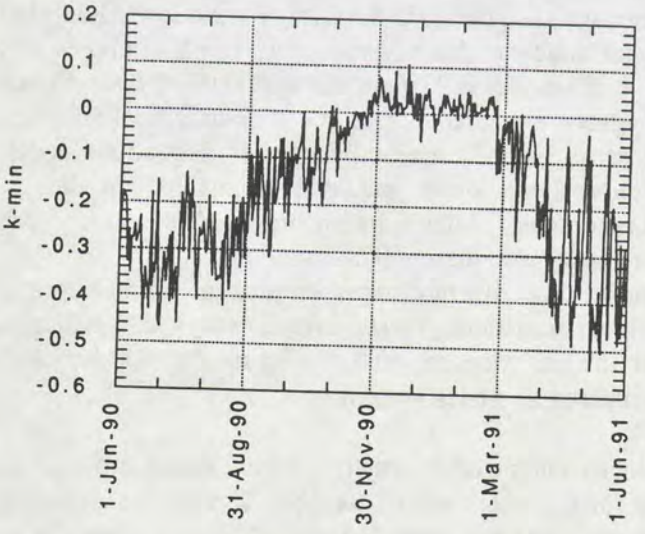
Vi har sett att variationerna för FBN under sommaren är mycket stora, se figur 6 och 7, och vi erhåller i regel lägre ljudnivåer under denna del av året. De meteorologiska förhållandena under sommaren med temperaturavtagande och stora kortvariga variationer hos vind och temperatur introducerar dessa variationer. Uppåtböjningen hos ljudstrålarna, $k < 0$ i ekvation 3, ger sådana effekter. I figur 13 och 14 visar hur dygnets maximala värde på k, k-max, och dygnets minimala värde på k, k-min, varierar över ett år. De största nedåtböjningarna av ljudstrålarna, k-max, med gynnsamma ljudutbredningsförhållanden förekommer under vintern men höga värden kan uppkomma även under sommaren (nätterna). De största uppåtböjningarna, k-min, inträffar däremot under sommaren. k-min uppvisar en mycket tydlig årsvariation. Vi ser samma sak i den två-åriga mätserien i figur 15. Variationerna mellan olika mätdagar är betydligt större under sommaren än under vintern.

I den här föreslagna mätmetoden utnyttjas k-min årsvariation. Olika gränsdragningar för k-min har testats, se tabell 2, men det visade sig att det räckte att exkludera mätdagar då $k\text{-min} < -0{,}3$. Det betyder att vi tillåter en viss grad av uppåtböjning, vilket kan motiveras av att bullerkällan (flygplanet)-markdämpningen når sin maximala ljud-

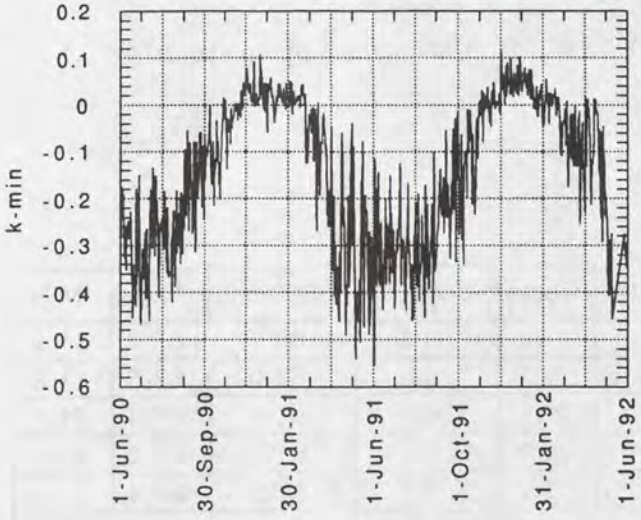
alstring en bit upp i luften. Vi bör notera att hela 63 % (231 dagar/år) av tiden återstår för att utföra kontrollmätningar när de båda kraven är uppfyllda.



Figur 13. Dygnets maximala timmedelvärde på den normaliserade krökningen, k i ekvation 3.



Figur 14. Dygnets minimala timmedelvärde på den normaliserade krökningen, k i ekvation 3. Period: 900601-910531



Figur 15. Dygnets minimala timmedelvärde på den normaliserade krökningen, k i ekvation 3. Period: 900601-920531

I tabell 2 har det aritmetiska medelvärdet angivits för FBN, L_{max} och MFN. När man beräknar årsvärde för FBN enligt ekvation 4 blir det ett ekvivalentvärde där man medelvärdesbildar det kvadrerade ljudtrycket. Ett sådant medelvärde ligger något över det aritmetiska medelvärdet. För mätserien vid Arlanda uppgår skillnaden till ¸ 1 dB (A). Vi har genom att införa restriktioner på antalet starter och väderförhållandena tagit bort en del av den vänstra delen av histogrammet i figur 9. Detta kompenseras om man väljer att beräkna det aritmetiska medelvärdet istället för ekvivalentnivån. Vi bör jämföra värdet 61,3 dB (A) i tabell 2 med FBN-värdet efter nära tre års mätningar, som uppgår till 61,0 dB (A).

Trafikmängden på en flygplats varierar ofta under veckans olika dagar. Vädret har ofta en variation mellan olika väderförhållanden på 6-8 dagar. För att täcka in dessa variationer skall kontrollmätningar utföras under sju dagar i följd. Om en mätdag faller utanför de uppställda kraven på antalet starter och k-min tar man istället nästa dag. En kontroll av den aktuella mätserien visar att under sommaren får man hålla på betydligt längre tid än under höst, vinter och vår. Under juli månad behöver man nästan utnyttja hela månaden för att få ihop sju dagar.

---

1 $\sum_{i=1}^{n} FBN_i$ (dygn) / n där n är antalet dagar under ett år.

Weda,Arlanda 1år	Dagar	Dagar, %	FBN (m v)	L_{max}	MFN
Alla dagar	365	100	60,7	87,8	81,2
Starter≥m v - s a	297	81	61,0	87,6	81,2
k≥-0,3	231	63	61,3	87,4	81,1
k≥-0,2	182	50	61,5	87,2	81,0
k≥-0,1	134	37	61,9	87,4	81,2
k≥0,0	66	18	61,2	86,9	79,9

Tabell 2. Olika gränsdragningar för tillåtna mätförhållanden och dess inverkan på mätmöjlighet och ändring av det aritmetiska medelvärdet för flygbullernivån, dygnets maximalnivå och maximal flygbullernivå. Restriktionen att antalet starter för mätdagen skall vara större än medelvärde-standardavvikelse för flygplatsen gäller även för de olika kraven på k.

Noggranheten för bestämningen av FBN, L_{max} och MFN kan bestämmas med hjälp av standardavvikelsen för medelvärdet. Om vi antar att fördelningarna är normalfördelade täcker medelvärdet $\pm$ standardavvikelsen för medelvärdet 68 % av alla tänkbara kontrollmätningar. För FBN uppgår noggranheten till ± 1 dB (A) och för L_{max} och MFN till $\pm$ 2 dB (A). Det verkar att vara en hög noggranhet efter bara sju mätdagar.

Krav på meteorologiska förhållanden vid utomhusmätning har ställts upp för externt industribuller, Kragh (1984) och för flygbuller, se NT ACOU 075 (1989). Dessa har uttryckts som specifika krav på dels vind- och dels temperaturförhållandena. En sådan typ av krav ger tyvärr avsevärt färre möjliga mätdagar än om man uttrycker temperatur- och vindförhållande som ett sammanvägt mätetal, t ex krökningen k. En reduktion av antalet mättillfällen med en faktor 7 kunde ses vid en sådan jämförelse, se Larsson m fl (1988). Det skulle för mätplatsen Weda, norr om Arlanda innebära att enbart 10% av den aktuella tiden

skulle kunna utnyttjas för kontrollmätningar mot 63 % av tiden om man använder k som krav på väderförhållande.

---

2 $\sigma_n = \frac{s_n}{\sqrt{n}}$ där σ_n är standardavvikelsen för medelvärdet, s_n är standardavvikelsen för hela mätserien och n är antalet mätdagar.

Vi sammanfattar mätmetoden:

Kontrollmätningar

Noggranhet:
FBN: årsekvivalentnivå ± 1 dB (A) (p=68 %)
L_{max}: årsekvivalentnivå ± 2 dB (A)
MFN: årsekvivalentnivå ± 2 dB (A)
Mätmöjlighet: 63 % eller 231 dagar under året.

Mätförfarande:
Mät ljudnivån (L_{eq}, L_{max} och 3:e högsta momentana maximalnivån) under 7 dagar då

---

antalet starter = medelvärde - standardavvikelse av antalet starter/ dygn och normaliserade krökningen k = -0,3.

Normaliserade krökningen, k, är 1000 gånger krökningen hos en ljudstråle som utbreder sig horisontellt.
k ¸ (0,6 t + u) / 3,2
där t är temperaturskillnaden och u är skillnaden i vindkomponent mellan mäthöjderna 10 och 0,5 m.
Ljudstrålen böjs upp från markytan när k < 0 och ned när k > 0.

Beräkna FBN, L_{max} och MFN ur de 7 dagarna (om en dag ej uppfyller mätkraven tas nästa dag).
Aritmetiska medelvärdet av flygbullermåtten ger bättre överenstämmelse eftersom fördelningens nedre del tas bort av kraven på antalet starter och väderförhållanden.

SLUTSATSER

Beräkningsmetoder:
Sverige bör behålla som flygbullermått den s k flygbullernivån, FBN men basera beräkningarna på de 4 trafiktätaste veckorna under året.
Sverige inför maximal flygbullernivå, MFN som definieras som den 3:e högsta momentana maximalnivån under en typisk dag.

Kontrollmätningar
Mätförfarande:
Mät ljudnivån (L_{eq}, L_{max} och 3:e högsta momentana maximalnivån) under 7 dagar då
1) Mätdygnets antal starter= medelvärde - standardavvikelse av antalet starter/dygn räknat över ett år och
2) den normaliserade krökningen k = -0,3.
Kontrollmätningen uppskattar flygbullernivån, FBN: inom $\pm$ 1 dB (A) och L_{max} och MFN inom $\pm$ 2 dB (A)
Mätmöjlighet: 63 % eller 231 dagar under året om vi studerar mätserien vid Arlanda.

REFERENSER

ISO/DP 9613.2: (1989) Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1 Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
ISO 3891: (1978): Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.
Jonasson, H (1990): Flygbuller och maximalnivån, SP 1990:26. Swedish National Testing and Research Institute, Borås.
Jonasson, H (1991): Flygbuller och maximalnivån II, SP 1991:19. Swedish National Testing and Research Institute, Borås.
Kragh, J (1984): Noise from industrial plants. Nordforsk Miljövårds-serien 1984:1.
Larsson, C. och Israelsson, S. (1982): The effects of meteorological parameters on sound propagation from a point source. Report No. 67, Meteorologiska institutionen, Uppsala.
Larsson, C., Hallberg, B. och Israelsson, S. (1985): Long-term audible noise from an operating 400-kV transmission line. Report No. 82, Meteorologiska institutionen, Uppsala.
Larsson, C., Hallberg, B. and Israelsson, S. (1988): A test of new meteorological windows. Paper presented at the workshop "How to expand the meteorological window" held in Borås in June 1988.
Larsson, C.(1993): Ljudnivåmätningar vid Landvetter, maj 1991 Meteorologiska institutionen, Uppsala.
NT ACOU 074: (1989): Air traffic: Noise immission, residental areas. Nordtest, Esbo, Finland.
Piercy, J E, Embleton, T F W och Sutherland, L C (1977): Review of noise propagation in the atmosphere, J. Acoust. Soc. Am. 61(6), pp 1403-1418.
Plovsing, B och Svane, C (1983): Aircraft noise exposure rating. Guidelines for the selection of a Finnish Methodology. Report No. LI 1118/83 Lydteknisk Institut, Lyngby, Danmark.
Plovsing, B och Svane, C (1987):FlystÝj i de nordiske lande. Rapport No. 137. Lydteknisk Institut, Lyngby, Danmark.
Svane, C. (1990): Nordisk harmonisering af vurdering og beregning af flystÝj. Lydteknisk Institut, Lyngby, Danmark.

Bullerexponerade i Sverige. Hur många är det egentligen? En jämförelse mellan TBU, 1973 och Wittmark, 1992

Björn Wittmark,
Wittmark & Wilson AB

921210

Uppgift:

Att klarlägga utvecklingen av antalet bullerexponerade i Sverige mellan åren 1970 och 1990.

1. Bulleruppskattning för 1990

Inledning

TBU uppskattade 1973 antalet boende som vid fasad hade en bullernivå över 55 dB(A) ekvivalent ljudnivå (frifältsvärde) till ca 2,5 miljoner. En uppskrivning till 3 miljoner boende på grund av allmän trafiktillväxt gjordes 1987 av Sandberg och Steward (i denna rapport kallad Sandberg). Förändringen räknades fram med hjälp av en modell, ökningen lades sedan till TBUs uppskattning. Wittmark, 1992 redovisade i en rapport till Naturvårdsverket betydligt lägre antal exponerade boende och uppskattade antalet boende med bullernivåer vid fasad (frifältsvärde) över 55 dB(A) till ca 1,3 miljoner.

Nedan redovisas och diskuteras skillnaderna mellan TBUs, Sandbergs och Wittmarks uppskattningar samt vilka orsakerna kan vara till de förhållandevis stora skillnaderna. Under arbetets gång har det också framkommit att vissa korrigeringar bör göras till Wittmarks uppskattning. När det gäller storstadsområdena är osäkerheterna stora för de lägre bullerintervallen. Varje tätortsgrupp samt landsbygdsgruppen som redovisats i Wittmark, 92 diskuteras var för sig. Under hösten

har diskussioner förts inom bullerutredningen samt med Ulf Sandberg och andra sakkunniga beträffande rimligheten i TBUs uppskattning, urvalet av orter i Wittmark, 92 och om dessa är representativa för landet som helhet, samt om de tolkningar av resultaten som gjordes i Wittmark, 92 är rimliga. Gruppen har kommit fram till att TBUs uppskattning troligtvis är för hög, att vi inte kan få fram bättre underlagsmaterial än de kommunala inventeringar som gjorts och användes i Wittmark, 92 och att tillförlitligheten i dessa är högre än TBUs urval. I de lägre intervallen och då särskilt under 60 dB(A) är underskattningar dock vanliga eftersom detta intervall oftast ej inventeras. Sandbergs modelluppskattning för Linköping bör dock ge en rimlig andel exponerade. Eftersom Wittmark ej tillfullo beaktade trafiktillväxtens effekter på antalet bullerexponerade är det osäkert om minskad boendetäthet och nya bostadsområden haft en så avgörande betydelse som framförts i Wittmark, 92. Ett försök till uppskattning av antalet bullerexponerade 1970 görs utifrån 1990 års uppskattning, trafiktillväxten enligt Sandberg samt förändringar till boendetätheten.

Befolkningsutveckling mellan 1970 och 1990.

Sveriges befolkning har ökat från 8 076 803 inv. år 1970 till 8 590 630 inv. år 1990, en ökning med ca 6%. Tillväxten har framförallt skett i storstadsregionerna; Stockholms län + 180 000, Uppsala län + 41 500, Malmöhus län + 70 000, Göteborg o. Älvsborg + 21 000. Hallands län har också ökat kraftigt, + 60 000. I storstädernas inneområden har dock befolkningen minskat något. Däremot har förorter i storstadsområdena samt universitets- och vissa högskolestäder ökat sin befolkning. Flera mindre städer har haft en befolkningsstagnation eller en minskning av befolkningen. Alla tätorter har ökat i yta, även de vars befolkning minskat. 1970 var 0,98% av Sveriges yta tätort och 1990 hade siffran ökat till 1,23%, en ökning med 25%.

Trafikutvecklingens inverkan på antalet bullerexponerade.

Trafiken har ökat med ca 2% per år under 1970-talet och något mer, ca 2,5% per år, under 1980-talet. Andelen tung trafik har totalt sett varit i det närmaste konstant, men vissa stråk har haft en kraftig ökning (*Gemensamma vägar,* Vägverket 1990:46). Trafikökningen har lett till att bullernivåerna höjts vilket borde fått till följd att antalet bullerexponerade också skulle ha ökat. Enligt Sandbergs modellberäkningar har antalet bullerexponerade mellan 1970 och 1990 ökat med ca 45% på landsbygd, ca 35% i mindre tätorter och ca 10-20% i övriga tätorter. Det har dock funnits motverkande faktorer. Be-

folkningstätheten har minskat i hela landet. I t ex Stockholm har en minskning skett både i inner- och ytterområden. Även i medelstora städer, t ex Linköping och Borlänge, och i mindre tätorter samt på landsbygden har boendetätheten minskat. Andra faktorer som varit positiva ur bullersynpunkt är att när nya bostadsområden anlagts har ofta en god bullermiljö skapats från början. Förbifarter har byggts, i vissa städer har trafikregleringar genomförts och bullerskyddsåtgärder har gjorts.

Landsbygd

Den uppskattade andelen exponerade för de olika bullerintervallen i Wittmark, 92 överensstämmer ganska väl med Sandberg, VTI 1987. Skillnaden är ca 50 000 boende vid en landsbygdsbefolkning på drygt 1,7 miljoner människor. Sandbergs undersökning är baserad på uppgifter från Östergötlands län medan Wittmark använde ett större underlagsmaterial, bl a Sandbergs värden samt Vägverkets inventeringar från Värmland och andra län. Wittmarks siffror bör därför kunna anses vara mera representativa för landet som helhet, skillnaderna är dock inte särskilt stora. Klassen ingick ej i TBU-utredningen.

TABELL 1. Landsbygd. Jämförelse mellan Wittmark, 92 och Sandberg, 87

Landsbygd	**55-60**	**60-65**	**65-70**	**>70**	**Totalt**
Wittmark, 92 andel av områd. befolkning	70 000 4%	40 000 2,4%	10 000 0,6%	2 0000 0,1%	120 000 7%
Sandberg, 87 andel av område. befolkning	5,9%	3,4%	0,8%	0,1%	10,2%

Slutsats:
Inga förändringar behöver göras till Wittmark, 92.

Tätorter 500-10.000

Wittmark, 92 har använt Sandbergs siffror för Kisa tillsammans med uppgifter från Vägförvaltningen och en preliminär uppskattning för Vimmerby tätort. Vimmerby togs med som ett exempel på en ort där förbifart har byggts medan Kisa representerar en mindre ort med genomfartstrafik. Skillnaderna mellan Wittmarks och Sandbergs

uppskattningar är inte särskilt stora och skillnaderna till TBUs uppskattning är inte heller stor.

TABELL 2. Tätorter 500 - 10 000. Jämförelse mellan TBU, Sandberg och Wittmark

Undersökning	55-60dB(A)	60-65 dB(A)	65-70 dB(A)	>70 dB(A)
TBU, 1973	9%	4%	0%	0%
Sandberg för 1975	9,6%	2,9%	0,9%	0%
Sandberg för 1985	9,3%	3,2%	1,3%	0%
Wittmark, 1992	9,7%	3,9%	2%	0,2%

Jämfört med TBUs uppskattning har Wittmark, 92 ett större antal exponerade (+ 87 000). En annan stor skillnad är antalet exponerade i bullerintervallen över 65 dB(A). TBU redovisar endast 5 000 boende medan Wittmark uppskattar antalet till ca 50 000. När det gäller buller över 70 dB(A) finns det betydande skillnader mellan olika län. I Östergötlands län t ex uppskattas antalet till 70 personer medan det i Värmlands län och Hallands län enligt Vägförvaltningarnas redovisningar uppskattas finnas ca 215 resp 220 boende med bullernivåer över 70 dB(A) vid fasad.

I den här tätortsklassen har trafikökningen samt den kraftiga ökningen av tung trafik på vissa av våra vägar försämrat bullersituationen där förbifarter ej byggts. Orternas storlek samt att de ofta är "utdragna" längs med vägen medför att en trafikökning ökar bullerproblemen kraftig. Sandberg, 1987 uppskattade exponeringsökningen mellan 1970 och 1990 till ca +35%. Utefter större stråk med mycket genomfartstrafik ger en förbifart mycket stora positiva effekter.

Slutsats: Wittmark redovisar ca 90 000 fler buller exponerade boende. Skillnaderna är särskilt stora över 65 dB(A). Ingen ändring behöver göras till Wittmark, 92.

Jämfört med TBUs uppskattning har Wittmark, 92 ett större antal exponerade (+ 87 000). En annan stor skillnad är antalet exponerade i bullerintervallen över 65 dB(A). TBU redovisar endast 5 000 boende medan Wittmark uppskattar antalet till ca 50 000. När det gäller buller över 70 dB(A) finns det betydande skillnader mellan olika län. I Östergötlands län t ex uppskattas antalet till 70 personer medan det i Värmlands län och Hallands län enligt Vägförvaltningarnas redovisningar uppskattas finnas ca 215 resp 220 boende med bullernivåer över 70 dB(A) vid fasad.

I den här tätortsklassen har trafikökningen samt den kraftiga ökningen av tung trafik på vissa av våra vägar försämrat bullersituationen där förbifarter ej byggts. Orternas storlek samt att de ofta är "utdragna" längs med vägen medför att en trafikökning ökar bullerproblemen kraftig. Sandberg, 1987 uppskattade exponeringsökningen mellan 1970 och 1990 till ca +35%. Utefter större stråk med mycket genomfartstrafik ger en förbifart mycket stora positiva effekter.

Slutsats: Wittmark redovisar ca 90 000 fler buller exponerade boende. Skillnaderna är särskilt stora över 65 dB(A). Ingen ändring behöver göras till Wittmark, 92.

Tätorter 10 000 - 50 000

En viss underskattning har gjorts av Wittmark, 92 eftersom alla gator i de bägge typ orterna; Landskrona (ej genomfartstrafik) och Borlänge (genomfartstrafik) ej ingått i kommunernas bullerutredningar. I Landskronas bullerutredning från 1984 skrivs att åtskilliga gator som ej beräknats antas ha bullernivåer över 55 dB(A). Ingen uppskattning av dessa gjordes av Wittmark. I Borlänge uppskattades endast gator med trafikvolymer över 2 000 fd/åmd. Även där kan det därför finnas skäl att anta att en del gator som utelämnats har bullernivåer överstigande 55 dB(A). För att undersöka situationen närmare har en detaljerad genomgång gjorts av Borlänge kommun. Diskussioner har förts med Gatukontoret samt Miljö- och Hälsoskyddskontoret. Vidare har trafikflödeskartor, befolknings prickkartor samt statistik angående lägenhetsbyggande och befolkningsfördelning mellan småhus och lägenheter använts i bedömningen. (Se Bilaga 1.)

Genomgången visar att TBUs bedömning för tätortsgruppen måste vara för hög. Detta är särskilt tydligt när man tittar på de intervall

(>60 dB(A)) där kommunerna gjort noggranna och heltäckande utredningar.

TABELL 3. Borlänge - Jämförelse mellan TBU, Sandberg, 1987 och Wittmark, 92

	55-60	60-65	65-70	>70	Totalt
TBU Borlänge, 2,1% av hela gruppens befolkning	4 400	5 000	3400	0	12 800
Sandberg,1987 Borlänge	5 400	6 300	4 300	0	16 000
Wittmark, 92 Borlänge	3 000	3 000	1 000	50	7 000
Wittmark, 92 rev. Borlänge rev. se nedan	4200	2500	1100	100	8000

Om man antar att Sandbergs uppräkning av TBUs siffror stämmer skulle alltså Borlänge ha en exponerad befolkning på ca 16 000, vilket är 40% av tätortens befolkning. Av denna återfinns 2/3 (10 600) i intervallen över 60 dB(A), alltså de grupper som kommunen inventerat. Kommunen kom fram till en siffra på ca 4 000. En skillnad på 6 600! Allt tyder därför på att TBUs uppskattning 1973 var alldeles för hög.

För övriga intervall anser jag att uppskattningarna som redovisats i Wittmark, 92 är rimliga eftersom kommunen gjort en mycket grundlig inventering.

Tätortens befolkning har ökat med ca 5% sedan 1970. Samtidigt har trafiken ökat. Om situationen ej förändrats borde därför enligt Sandbergs modell antalet bullerexponerade ha ökat med 15 - 25% mellan 1970 och 1990 (Sandberg, 1987). Samtidigt har dock boende tätheten minskat från 2.7 till 2.14. Vidare har nya bostadsområden som planerats för att få en bra bullermiljö byggts. Dessa faktorer har enligt min mening bidragit till att antalet bullerexponerade har hållits någorlunda konstant under de senaste tjugo åren. I svenska tätorter

som haft en befolkningsminskning sedan 19709 samt en minskad boende täthet är det troligt att antalet bullerexponerade sjunkit något.

I Borlänge har under de senaste åren lägenhets byggandet åter igen ökat. Flera av dessa byggs utmed "bullriga" gator men ges en sådan design och fasad isolering att acceptabla inomhusnivåer uppnås. Detta är en trend som kommer att bli allt vanligare under 90-talet. Vidare är det troligt att boendetätheten återigen kan öka i områden som nu har en äldre befolkning när barnfamiljer flyttar in och ersätter de äldre och ofta små hushållen.

TABELL 4. Hela landet - Jämförelse mellan TBU, Sandberg, 1987 och Wittmark, 92

TBU, 73	210 000	240 000	165 000	0	615 000
Sandberg, 1987 (TBU + 35%)	260 000	300 000	205 000	0	765 000
Wittmark, 92	97 000	93 000	68 000	7 000	265 000
Wittmark, 92 rev.	140 000	90 000	70 000	7 000	310 000

En underskattning har skett i intervallet 55 - 60 dB(A) och antalet bullerexponerade bör ökas så att de uppgår till ca 10% av befolkningen.

Slutsats.
För intervallet 55 - 60 dB(A) bör Wittmark, 92 ökas med 45 000 boende.

Grupp 50 000 - 110 000

Inledningsvis görs en jämförelse av uppskattningarna som gjorts för Linköping; TBU, Sandbergs modellberäkning samt Wittmark, 92

TABELL 5. Linköping: Jämförelse mellan TBU, Sandberg och Wittmark

Bullernivå i dB(A)	Andel exponerade boende i% av hela områdets befolkning				
	TBU 1973	*Sandberg 1975, modell*	*Sandberg 1980, modell*	*Wittmark (1,5 / 2,3)*	*Wittmark (2,3 / 2,9)*
Befolkning	77 000	78 000	80000	82 500	82 500
55-60	24% 18 500	9,4% 7 300	9,9% 7 900	2,8% 2 300	3,6% 3 000
60-65	15% 11 500	6,7% 5 200	7,2% 5 800	3,8% 3 150	5,2% 4 300
65-70	11% 8 500	4,4% 3 400	4,6% 3 700	4,3% 3 550	6,4% 5 300
>70	2% 1 550	1,3% 1 000	1,0% 800	0,9% 700	1,2% 1 000

Skillnaderna mellan de olika uppskattningarna är stora. Nedan diskuteras möjliga anledningar.

För Linköping gjorde Sandberg en uppskattning med den modell som användes 1987 för att få fram förändringen mellan olika år och för att uppskatta den framtida bullerexponeringen. Skillnaderna mellan Sandbergs modellberäkning och TBUs uppskattning var mycket stor. Enligt Sandberg kan en viss del av skillnaden mellan hans resultat och TBUs bero på att Linköping faktiskt har en bättre trafikbullersituation än andra orter av den storleken. Sandberg antar också att andelen boende som missar markdämpning i Linköping skulle vara något underskattad. Sandberg påpekar också att det mellan åren 1965 till 1985 tillkommit bostadsområden som fått en ur trafikbullersynvinkel bättre placering än "medelbostaden". Detta har dock ej tagits hänsyn till i den slutliga uppskrivningen av TBUs siffror. Det är dock klart att Sandbergs modellberäkningar är betydligt trovärdigare än TBU-uppskattningen. Sandbergs modellberäkning stämmer också ganska bra överens med Wittmark, 92 förutom i intervallet 55 - 60 dB(A) där Wittmark, 92 antagligen underskattat antalet bullerexponerade. Sandbergs andel på 10% är troligtvis mera rimlig.

I Wittmark, 92 diskuteras tillkomsten av småhusområden. Ca 550 000 småhus byggdes mellan åren 1970 - 1990 och i dessa bor ca 1 450 000 människor. Många av de nya villaområdena placerades med tanke på trafiksäkerhet och buller. Genomfartstrafik har till stor del undvikits och endast en yttre rand av bostäder (en eller två hus djup) kan förmodas vara utsatta för trafikbuller över 55 dB(A). Om man tar

Linköpings kommun som ett exempel har utveckling på de senaste tjugo åren skett på följande sätt.

	1970	1990	Skillnad
småhus boende:	35%	47%	+ 34%
lgh boende	65%	49%	- 25%
kollektivt boende	0%	4%	+ 4%

Från tabellen är det tydligt att en markant förändring i boendet har skett (Se även Bilaga 2.)

I Linköpingsfallet har tätortsbefolkningen varit ganska konstant mellan 1970 och 1990 däremot har själva kommunen ökat sin befolkning. Tillväxten har skett i ytterområdena i stället och då till stor del i form av villabebyggelse.

De olika bullerintervallen

55 - 60 dB(A)
Även om en relativt noggrann genomgång gjordes av Wittmark tillsammans med Stadsbyggnadskontoret kan vissa gator där nivåerna ligger omkring 55 dB(A) vid fasad (frifältsvärde) ha utelämnats. Vidare kan hus som ligger en eller två rader bakom husen utefter vissa gator också ha utelämnats i några fall. Det är därför lämpligt att anta Sandbergs modellberäkning för intervallet. Ca 10% av befolkningen antas ha bullernivåer mellan 55 och 50 dB(A) vid fasad (ca 8 000 boende). Samma andel bör användas för landet som helhet.

60 - 65 dB(A)
I den här gruppen bedömer jag att de allra flesta berörda bostäder har ingått i Wittmark, 92. Skillnaderna mellan de olika studierna kan till viss del förklaras med den förändrade boendestrukturen.

65 - 70 dB(A) och < 70 dB(A)
I bägge intervallen är uppskattningen i Wittmark, 92 lägre än TBUs men högre än Sandbergs uppskattning om man använder samma värde för antal pers/lgh. Eftersom Sandbergs undersökning var mer detaljerad än TBU-beräkningen är det lämpligast att jämföra Wittmark, 92 med den. Ökningen av antalet boende i intervallet som skulle ha skett om boendetätheten per lägenhet ej förändrats beror troligtvis på trafiktillväxten samt den förtätning som skett i staden utefter större gator med mycket trafik och höga bullernivåer. Dessa nya bostäder har i de flesta fall givits god fasadisolering och därmed acceptabla

inomhusnivåer. Att antalet människor i verkligheten i det närmaste varit konstant kan förklaras med att antalet personer per lägenhet sjunkit.

Sedan 1970 har trafiken ökat och enligt Sandbergs bedömning borde antalet bullerexponerade ha ökat med ca 15%. Samtidigt har dock, som i Borlänge-fallet, boendetätheten förändrats kraftigt särskilt då de centrala delarna av Linköping. De centrala delarna är också de mest bullerutsatta. Den ändrade befolkningstätheten har enligt mina uppskattningar lett till att antalet bullerexponerade i Linköping inte ökat mellan 1970 och 1990. Nya bostadsområden har också blivit byggda där bullerstörningar minimerats från början.

Man bör också nämna att TBU-uppskattningen antog 10% tung trafik över lag. Där inte genomfartstrafik finns är andelen tung trafik troligtvis närmare 5% eller lägre. Sandberg använde faktiska siffror för tung trafik i sin modellberäkning vilket naturligtvis ger ett korrektare resultat.

Slutsats:
Lägg till 65 000 boende till Wittmark, 92 i intervallet 55 - 60 dB(A).

Storstäderna.

I TBU ingår samma städer som i Wittmark, 92 nämligen Stockholm, Göteborg och Malmö.

TBU har redovisat sitt material i form av trafikmängdsklasser mot lägenhetstyp + avstånd till gata. Denna information kan införlivas i Wittmarks indelning; Innerstad och Förort, på följande sätt:

Wittmark, 92 *TBU, 73*

INNERSTAD: Sluten bebyggelse (alla trafikmängder) samt
Öppen flerfamiljshus 0 - 15 m (alla trafikmängder)

FÖRORTER: Öppen flerfamiljshus 15 - 40, 40 - 100, 100 - 200 m
Öppen småhus 0 - 15 m, 15 - 40 m, 40 - 100 m, 100 - 200 m

Befolkningsutveckling

I Stockholm har befolkningen i det närmaste varit konstant, 1 035 557 inv. 1970 och 1 040 010 inv. 1990. I Göteborg och Malmö har befolkningen minskat.
Göteborg: (1970 505 458 inv. och 465 474 inv. 1990, - 8%)
Malmö: (1970 264 588 inv. och 223 555 inv. 1990, - 15%).

Innerstadsområden

Ändrad befolkningstäthet

Den största förändring som skett sen 1970 är att befolkningstätheten både i innerstads- och ytterområden sjunkit. TBU räknade med en boendetäthet på 2.3 pers/lgh medan Wittmark, 92 utgick ifrån den verkliga boendetätheten 1990 (källa: Stockholms kommun) på 1.5 till 2 pers/lgh beroende på stadsdel. I tabellen nedan visas vilka effekter en ändrad befolkningstäthet får på antalet bullerexponerade i storstäderna. Den verkliga befolkningstätheten 1970 varierade mellan 1,72 för inneområdena och 2,46 för ytterområdena (t ex Söder- och Västerort).

TABELL 6. Antal bullerexponerade boende i innerstadsområden i Storstäderna

Område	55-60	60-65	65-70	>70	Totalt
TBU, 73					
Inner flerfam.					
sluten bebyggelse	180 000	300 000	170 000	190 000	840 000
x 2,3 pers/lgh					
x 1,5 pers/lgh	120 000	195 000	110 000	120 000	550 000
Skillnad	*60 000*	*100 000*	*60 000*	*70 000*	*290 000*
Wittmark 1992	105 000	70 000	50 000	50 000	275 000
x 1,5 - 2 pers/lgh					

Det är kanske allra intressantast att jämföra bedömningen i Wittmark, 92 med TBUs bedömning och Sandbergs uppräkning av TBU för storstäderna. Enligt Hans Söderström, MoH, Stockholms kommun, är man nu säker på antalet exponerade över 65 dB(A) i Stockholms kommun är ca 65 000 boende. TBUs uppskattning av antalet bullerexponerade för samma intervall och Sandbergs uppskrivning av TBUs siffror 1987 är mer än tre gånger så många.

TABELL 7. Jämförelse av de olika inventeringarna

Studie	65-70 dB(A)	>70 dB(A)	Totalt
TBU 1973	320 000	220 000	540 000
orter > 50 000 inv			
- innerstadsomr.	**170 000**	**190 000**	
- ytterområden	40 000	4 000	
- 50 - 100000 inv	110 000	26 000	540 000
Sandberg, 1987	360 000	250 000	610 000
orter > 50 000 inv			
- innerstadsomr.	**190 000**	**215 000**	
- ytterområden	45 000	5 000	
- 50 - 100 000 inv.	125 000	30 000	610 000
Wittmark, 92			
- innerstadsomr.			
Stockholm	**45 000**	**40 000**	
Göteborg	20 000	5 000	
Malmö	20 000	2 000	**130 000**
- ytterområden	20 000	1 000	21 000
orter 50 - 110 000	55 000	10 000	65 000
Totalt			220 000
MoH, Stockholm			
innerstad Sthlm			**65 000**

TBUs uppskattning och Sandbergs uppräkning av TBUs siffror visar sig därmed vara alldeles för höga för de intervall som kommunen inventerat noggrant. Det är därmed bättre att utgå från Wittmark, 92 även när 1970 års bullersituation skall bedömas. Nedan diskuteras vilka ändringar som bör göras till Wittmark, 92.

55 - 65 dB(A)
Eftersom uppskattningen i Wittmark, 92 endast baserades på preliminära siffror från Malmö (30 000) och sedan antog att förhållandena är desamma i Stockholm och Göteborg kan uppskattning endast betraktas som preliminär.
(Göteborg = Malmö x 1,87, och Stockholm = Malmö x 3)

Flera som arbetar med bullerfrågor i Stockholm (Erik Risberg, MoH Stockholm och Tomas Holmström, Vägverket) har också framfört att bakgrundsnivåerna är så höga att det på många håll i inneområdena är svårt att komma under 55 dBA. Inga mätningar eller beräkningar har dock redovisats.

Det är svårt att få fram data för de lägre bullerintervallerna eftersom kommunerna ej prioriterar dessa bullergrupper. När det gäller intervallet under 50 dB(A) visar Stockholms bullerinventering på ett

mycket stort antal gator. De flesta är s k lokalgator i de yttre stadsdelarna. För dessa kan man anta mycket låg andel tung trafik. Vidare kan man räkna med att trafikplaneringen för dessa områden syftat till att minska genomfartstrafiken.

Jag utgår dock ifrån att min uppskattning i Wittmark, 92 är alldeles för låg. För 1990 antas att antalet bullerexponerade i intervallet i stället ligger runt 20% av befolkningen.

I Stockholms kommun har man mätt upp längden gata med bullernivåer på 60 - 65 dB(A) till ca 175 km. Gatorna återfinns i innerstaden samt som "matargator" i stadsdelarna lite längre ut. Om man antar dessa gator har samma boendetäthet som gatorna med högre bullernivåer motsvarar de 175 km gata ca 36 000 boende.

Lägg därför till ca 160 000 boende till Wittmark, 92 för intervallen 55 - 65 dB(A).

65 - 70 dBA
Uppskattningen för Stockholm skiljer sig markant. I TBUs studie är Stockholm utgångspunkten för bedömningen. Därefter har hela gruppen, inklusive Stockholm, Göteborg och Malmö beräknats. I Wittmark, 92 användes information från respektive stad. I uppskattningen skiljde sig förhållandena i Stockholm och de andra bägge städerna åt genom att för Stockholm redovisades ett mycket mindre antal exponerade i intervallet 65 - 70.

Stockholm	8 000
Göteborg	20 000
Malmö	19 000

Uppgifterna som användes kom från den fönsterinventering som gjorts av Stockholms kommun. Enligt senaste uppgifter från MoH, Stockholm (Erik Risberg) ingick inte alla gator i intervallet 66 - 70 i uppskattningen som gjordes. Gatorna inventerades ej eftersom man räknade med att trafikplanen för Stockholm när genomförd skulle medföra sådana trafikminskningar på de berörda gatorna så att de hamnade under bullermålet 65 dBA. Längden km gata för de olika intervallen finns dock redovisat.

66 - 70 dB(A) *Gul*	204 km
71 - 75 dB(A) *Röd*	170 km
>75 dB(A) *Svart*	83 km

Om man antar samma boendetäthet på gula som på röda gator får man följande resultat:

Bullerklass	*längd gata*	*pers / km*	*exponerade*	*Wittmark 92*
66-70 dBA	204 km	208*	42 430	8 000
>70 dBA	170 km	208*	35 360	35 360

Dessa nya siffror överensstämmer bättre med uppskattningen från Göteborg och Malmö.

Göteborg: 20 000 exponerade
Stockholm har 1,5 gånger större befolkning vilket skulle innebära 30 000
Malmö: 19 000 exponerade
Stockholm har 2,9 gånger större befolkning vilket skulle innebära 55 000

För klassen 65 - 70 dBA har därför en underskattning med ca 25 - 35 000 boende gjorts i Wittmark, 92. MoH Förvaltningen i Stockholms kommun har redovisat 65 000 boende i intervallen över 65 dB(A). Dessa siffror stämmer väl överens med mina siffror om man till min uppskattning lägger till ca 25 000 boende.

Över 70 dB(A)
Inventeringarna som använts i Wittmark, 1992 bör stämma eftersom de värst utsatta gatorna är kända av kommunerna. Ingen ändring behöver göras. I Göteborg har kontorisering av innerstadsområden varit mycket vanlig under 1980-talet. Befolkningen har därmed minskat kraftigt i de centrala delarna. Antalet bullerstörda har därför också minskat (pers kom. B. Wassenius).

Slutsatser:
55 - 65 dB(A) - Lägg till ca 160 000 boende till Wittmark, 92
65 - 70 dB(A) - Lägg till 25 000 boende till Wittmark, 92

Förorter

I Wittmark, 92 användes en enkel schablon för att dela in förorterna i homogenare grupper. Tanken var att kommunerna skilde sig åt beroende på närhet till innerstaden och om stora genomfartsleder finns. Denna indelning är antagligen giltigast för de högre bullerintervallen medan osäkerheten ökar vid lägre nivåer. Resultat från

heltäckande bullerinventeringar av Solna, Huddinge och Nacka kommuner av DNV Ingemansson AB visar att skillnader råder mellan förorterna i alla bullerintervall och att en gruppindelning är rimlig.

Kommun	*55-60 dB(A)*	*60-65 dB(A)*	*65-70 dB(A)*	*>70 dB(A)*
Solna	12,0%	11,3%	5,1%	0,3%
Huddinge	6,6%	4,6%	0,37%	0,03%
Nacka	5,0%	2,5%	1,3%	0,07%

Det kan dock vara lämpligt att modifiera systemet i Wittmark, 92 och enbart dela in gruppen i två klasser. Återigen är det svårt att testa om antagandet är rätt eftersom kommunerna ej prioriterar undersökningar i dessa intervall.

Wittmark, 1992 kan ha underskattat antalet exponerade i de lägre bullerklasserna. Bullerinventeringarna från Huddinge och Solna ingick dock i materialet som användes. Vidare visar Nacka-undersökningen att mitt antagande att ytterkommunerna har en bättre bullermiljö är rimligt. Eftersom bostadsbyggandet även i storstadsområdenas förorter haft en kraftig småhusandel och dessa antagligen planerats på liknande sätt som på andra orter i Sverige (områden med matargator och lokalgator där de flesta småhus ligger utefter lågtrafikerade lokalgator) bör andelen boende i intervallen 55 - 60 och 60 - 65 också vara i samma storleksordning som andra tätorter (t ex Borlänge) eller lägre. Detta tyder också resultaten från inventeringarna i Huddinge och Nacka på. För Sundbyberg som ingick i förorter klass 1, kan man anta att 55 - 60-intervallet underskattats och borde ligga närmare 10% eftersom kommunen ligger centralt till.

I de högre intervallen är undersökningarna grundligt gjorda och resultaten i Wittmark, 92 borde ligga ganska nära verkligheten. Resultat från Vägverkets nyligen avslutade inventering för de vägar i Stockholms län där man är väghållare visar också att antalet är lägre än vad man tidigare trott.

Med två förortsklasser och justerade siffror för Sundbyberg får man följande resultat:

TABELL 8. Uppskattning av antalet bullerexponerade i förorter (2 pers/lgh)

Klass 1.	*55-60*	*60-65*	*65-70*	*>70*	*Totalt*
Solna, Sundbyberg och Huddinge	14 140	10 810	5 260	330	30 540
Klass 2. Övriga kommuner	30 000	20 000	9 000	650	60 650
Totalt Wittmark, 92 rev.	**45 000**	**31 000**	**14 000**	**1 000**	**91 000**
TBU 1973	*120 000*	*85 000*	*40 000*	*4 000*	*250000*

Min reviderade uppskattning skiljer sig markant från TBUs uppskattning.

Slutsats:
55 - 60 dB(A) Lägg till 4 000 boende till Wittmark, 92
65 - 70 dB(A) Dra ifrån 2 000 boende från Wittmark, 92

TABELL 9. Sammanställning av förändringar till Wittmark, 92

	Wittmark, 92	**Wittmark, 92+**	**Kommentar**
Utgångsvärde antal exponerade boende	1 300 000		
Korrektioner			
Landsbygd			ingen ändring
Tätorter 500 - 10 000			ingen ändring
Tätorter 10 - 50 000		+ 45 000	underskatt 55-60
Tätorter 50 - 110 000		+ 70 000	underskatt 55-60
Storstäder			
- innerstäder		+150 000	underskatt 55-60
		+ 15 000	underskatt 60-65
		+ 25 000	underskatt 65-70
		- 10 000	överskatt > 70
- förorterna			
55-60 dB(A)		+ 4 000	ny gruppindelning
65-70 dB(A)		- 2 000	ny "
Korrigerade uppskattning:		**Ca 1. 6 miljoner**	

TABELL 10. Antalet bullerexponerade 1990

Reviderad uppskattning av antalet bullerexponerade boende som har ekvivalentnivåer (frifältsvärde i db(A) vid fasad lika med eller över 55 dB(A). Wittmark, 92-12-01.

Grupp	55-60	60-65	65-70	>70	Totalt
			1000-tal		
Landsbygd	70	40	10	2	122
500 - 10 000	210	85	45	5	345
10 - 50 000	140	95	70	7	312
50 - 110 000	120	65	55	9	249
Storstad - Förorter	45	35	16	1	91
Storstad -Inneromr.	255	85	75	40	455
Totalt	**840**	**405**	**271**	**65**	**1570**
					1.6 milj.

2. Hur var situationen 1970?

Genomgången av de kommunala inventeringarna som gjorts av mig och som använts i min rapport till Naturvårdsverket (Wittmark 92), Tomas Odebrants genomgång för Bullerutredningens räkning (1992-11-25) samt Ulf Sandbergs modellberäkning för olika år (Sandberg, 1987) tyder på att TBUs uppskattning 1973 var för hög. Nedan har jag gjort ett försök att, utifrån Sandbergs modellberäkningar för landsbygd, Kisa och Linköping samt de uppgifter jag har rörande befolkningstäthet, beräkna antalet bullerexponerade 1970. Jag har också givit några siffror för effekterna av förbifarter och trafikregleringar, dessa är dock mycket osäkra men man bör ändå på något vis värdera deras effekt.

Landsbygd:

Uppskattning 1990: 122 000 boende

Vi antar att befolkningstätheten har sjunkit med 15% och trafiktillväxten varit sådan som Sandberg beräknat och att antalet bullerexponerade därmed ökat med 47% vid oförändrad befolkningstäthet.

122 000
1,47 x 0,85 ger 100 000 bullerexponerade 1970

Uppskattning för 19709: 100 000

500 - 10 000 inv.

Uppskattning 1990: 335 000

Vi antar att befolkningstätheten sjunkit med 20% och att trafiken och bullerstörningarna har ökat enl. Sandbergs modell (+ 35%). Gruppen har även ökat sin befolkning med ca 200 000 människor vilket motsvarar en ökning med ca 9%. Man bör kunna anta att de flesta av de nya husen byggts i god "bullermiljö" och jag antar därför att endast 5% av de nytillkomna boende är utsatta för buller över 55 dB(A) (ca 10 000 boende).

335 000 - 10 000= 325 000
1,35 x 0,8 ger 300 000 bullerexponerade 1970

Förbifarter har byggts på vissa orter. Antag att 25 000 bullerexponerade försvunnit.

Uppskattning för 1970: 325 000

10 - 50 000 inv.

Uppskattning 1990: 312 000 boende

Vi antar att befolkningstätheten sjunkit ifrån 2.7 till 2.14 (siffror från Borlänge). Vidare har befolkningen totalt i gruppen sjunkit med ca 160 000 invånare (-10%). Vi antar att andelen bullerexponerade är densamma, vilket medfört en minskning med ca 30 000 bullerexponerade. Vi antar också att trafiktillväxten ökat bullerexponeringen med ca 15% enligt Sandbergs beräkning för Linköping.

312 000 + 30 000= 340 000
1,15 x 0,80 ger ca 370 000 bullerexponerade 1970.

Förbifarter har byggts vid ett flertal orter, en grov uppskattning av antalet invånare i dessa orter är ca 500 000. Antalet bullerexponerade bör ha minskat med åtminstone 25 000 människor.

Uppskattning för 1970: 395 000

50 - 110 000 invånare

Uppskattning för 1990: 250 000

Vi antar att befolkningstätheten i alla berörda tätorter sjunkit på samma sätt som i Linköping, dvs med 25% för lägenheter och med 5% för villor. Antag 20% för gruppen som helhet. Totalt har gruppen ökat med ca 160 000 (+15%). De nya bostäderna bör ha en bättre bullermiljö än den äldre bebyggelsen. Antag att 10% har bullernivåer över 55 dB(A) vilket skulle motsvara ca 15 000 boende. Trafiktillväxten antas ha ökat bullerexponeringen med 15%.

250 000 - 15 000= 235 000
1,15 x 0,8 ger ca 255 000 bullerexponerade för 1970

Trafikregleringar bör ha medfört förbättringar i flera städer. Antag en minskning med 10 000 boende.

Uppskattning för 1970: 265 000

Förorter

Uppskattning 1990: 91 000

Befolkningen har ökat med ca 140 000 i Stockholmsområdet. Antag att 5% av de nya bostäderna är exponerade till buller över 55 dB(A) (7 000 boende). Befolkningstätheten bör ha ändrats som på andra håll, antag - 20%. Trafiktillväxten beräknas som för Linköping.

91 000 - 7 000= 84 000
1,15 x 0,8 ger ca 91 000 bullerexponerade 1970

Bullerskyddsåtgärder har genomförts på vissa håll. Antag en minskning med ca 10 000 boende.

Uppskattning för 1970: 100 000

Innerstadsområden

Uppskattning 1990: 455 000

Befolkningen i gruppen har minskat med ca 80 000. Av dessa antar jag att 35% är bullerexponerade (>55 dB(A)), ca 30 000. Bullerexponeringen på grund av trafiktillväxten antas vara +15%. Befolkningstätheten antas ha minskat med ca 30%.

455 000 - 30 000= 415 000
1,15 x 0,8 ger ca 450 000 bullerexponerade 1970.

Trafikregleringar har också genomförts. Antag att antalet exponerade minskat med 25 000.

Uppskattning för 1970: 475 000

TABELL 11. Ett försök till uppskattning av antalet bullerexponerade 1990 och 1970

Område	Befolknings-förändring	1990	1970	Förändring
Landsbygd	oförändrad	122 000	100 000	+ 22 000
500 - 10 000	+ 200 000	335 000	325 000	+ 10 000
10 - 50 000	- 160 000	312 000	395 000	- 83 000
50 - 110 000	+ 160 000	250 000	265 000	- 15 000
Storstad - förorter	+ 140 000	97 000	110 000	- 13 000
Storstad-inneområden	- 80 000	455 000	475 000	- 20 000
Resterande	+300 000		- 15 000	+ 15 000
Totalt	**560 000**	**1 571 000**	**1 655 000**	**- 85 000**

Slutsatser

Enligt Sandbergs modellberäkning har trafiktillväxten mellan 1970 och 1990 medfört att antalet bullerexponerade skulle ha ökat med ca 25%. Enligt min uppskattning har antalet människor exponerade till

vägtrafikbuller över 55 dB(A) frifältsvärde vid sin bostadsfasad i själva verket minskat något även om befolkningen ökat med ca 1/2 miljon människor. Orsakerna till detta är enligt min mening framför allt den ändrade boendetätheten i hela landet. Antalet exponerade lägenheter/småhus har dock inte minskat utom i de fall där lägenheterna försvunnit, t ex genom kontorisering. Direkta åtgärder som förbifarter, trafikregleringar och bullerskyddsåtgärder har däremot bidragit till att minska både antalet exponerade människor och antalet exponerade lägenheter.

3. Framtiden

Bullerskyddsåtgärder - Några Exempel

Stockholm:
Om Trafikplan 90 genomförs räknar man med att ca 400 Mkr kommer att användas till bullerskyddsåtgärder. Den större andelen av denna summa kommer att läggas på fasadisolering, men även bullervallar/ skärmar kommer att ingå, då framförallt utefter infartsleder.

Genomförs Trafikplanen samt en allmän sänkning av bullret från fordonen (ca 3 dB(A) beräknar man i Stockholm att ett stort antal s k "gula gator", bullerintervallet 65 - 70 dB(A), kommer att hamna under 65 dB(A). Det rör sig om ca 30 000 boende som på så sätt skulle få sänkta utomhusnivåer. Nivåerna kommer dock inte att sänkas till under 55 dB(A). Vidare kommer Dennis-uppgörelsen med sina planerade vägtunnelprojekt att leda till minskade bullerstörningar. Det är framförallt på söder (Södra länken - Årstalänken) samt utefter Valhallavägen (Värtalänken) som förbättringarna kommer att ske. Totalt beräknas ca 1 100 boende få minskat utomhusbuller.

Borlänge
I Borlänge har man sedan början på 80-talet drivit kraven på låga inomhusnivåer. Man har valt att inte enbart driva 55 dB(A)- riktvärdet utan försökt att medverka till en så bra boendemiljö som möjligt även om utomhusnivåerna ej uppfyller kravet på god miljökvalite. Istället har man ställt krav på hur husen utformas:

- endast genomgående lägenheter. Om man vill ha lägenheter som enbart har fönster mot bullrig gata får dess användas till andra ändamål, t ex handel, kontor

- styrd ventilation, friskluftsintag lokaliseras till sidan från gatan

- fasadisolering.

Kommunfullmäktige har nu fattat beslut att de värst utsatta (över 65 dB(A)) skall åtgärdas med hjälp av ett bullerprogram. Programmet beräknas kosta 5 Mkr och skall genomföras över en 5-årsperiod. Ca 85% av de värst utsatta kommer att få förbättrade inomhusmiljöer. En del fastigheter i intervallet 60 - 65 dB(A) kommer också att ingå.

Den framtida utvecklingen

Den kraftiga satsningen på småhus som skedde under 1970- och 80-talet ledde till en ökning av tätortsytan. Utflyttning från innerstadsområden och en allmän utglesning av boendet har lett till att den ökning av antalet bullerexponerade människor som förutsades av Sandberg 1987 har kunnat hållas tillbaka och till och med enligt min mening vänts till en minskning. Däremot har inte antalet bullerexponerade lägenheter minskat. Under 90-talet är det inte troligt att ytterligare minskningar av antalet bullerexponerade boende kommer att ske när det gäller utomhusnivåer. Istället för att framförallt exploatera nya villaområden är det nu vanligare med förtätning inom den befintliga tätorten. Kontoriseringen av innerstadsområden kan också komma att brytas. Detta i sin tur kommer att leda till ett ökat antal bostäder med bullernivåer över 55 dB(A). Det kan också tänkas att vissa områden i mer eller mindre bullriga miljöer med en låg befolkningstäthet (barnen har flyttat ut) återigen kommer att ha barnfamiljer om några år. Högre hyror i innerstadsområden kan också tvinga fram mindre och flera lägenheter. Därmed skulle antalet bullerexponerade öka igen. Från åtgärdssynpunkt har utglesningen av boendet inte löst några problem eftersom lägenheterna och husen till allra största del finns kvar och till och med ökat i antal på grund av trafiktillväxten och det glesare boendet.

Från miljösynpunkt är det flera fördelar med att en förtätning sker av våra tätorter. Småhusområdena är mycket svåra att kollektivtrafikförsörja och bilberoendet blir därför stort. Detta i sin tur leder till ökat behov av vägar, ökat intrång och ökade utsläpp av koldioxid och luftföroreningar. Det nya förslaget till planeringshandledningen, TRÅD, som är under utarbetande på Boverket framhåller också att planeringen bl a skall leda till en effektiv kollektivtrafik och minskade luftföroreningsutsläpp.

De flesta bullerskyddsprogram som är antagna inriktar sig på de värst utsatta. Till mycket stor del betyder det att inomhusnivåerna kommer att förbättras genom fasadisolering och fönsteråtgärder medan utomhusnivåerna i de flesta fall är omöjliga att åtgärda. Förbifarter kommer också att minska bullerstörningarna och för en del av de utsatta fastigheterna kommer bullernivåerna att kunna reduceras till under 55 dB(A). Det är dock troligast att förbifartsprojekt kommer att ha störst positiv effekt på maximalnivåer och störningar i samband med dessa eftersom en del av den tunga trafiken lyfts bort. Alla bullerproblem löses därför inte med förbifarter.

Om man i framtida redovisningar av bullerexponerande bortser ifrån de förändringar som troligtvis kommer att ske genom planeringsåtgärder och bullerskyddsprogram för inomhusnivåer och enbart diskuterar utomhusnivåer kommer man enligt min mening att ge en mycket missvisande bild av bullersituationen. Görs en ny uppskattning om tre år är det ganska troligt att antalet bullerexponerade har ökat vad gäller utomhusnivåer medan antalet störda i själva verket har minskat genom att inomhusnivåerna har förbättrats. Det kan också leda till att fel signaler ges till beslutsfattare och att den politiska vilja som finns för att genomföra åtgärdsprogram försvinner eftersom man inte fått något erkännande för de resurser som lagts på förbättringar av inomhusnivåer.

Det kan också vara lämpligt att osäkerhetsanalyser görs och redovisas i samband med bullerinventeringar. Sådana skulle göra det möjligt att bättre kunna jämföra resultaten från olika inventeringar. Det borde också vara bra för den enskilda kommunen eller vägförvaltningen att veta noggrannheten på sin inventering.

Referenser

Wittmark B. (1992): Antalet boende exponerade för olika bullernivåer från vägtrafik - Beräkningar. Naturvårdsverket Rapport 4036

Sandberg U. och Steward A. C. (1987): Vägtrafikbuller 1965 - 2015 Scenarier och åtgärder. I "Trafik, luftföroreningar och buller". Ds K 1987:5

Odebrant T. Information till bullerutredningen 921125

Bilaga 1. Exempel Borlänge

Borlänge kommun har gjort en grundlig bullerinventering av sin tätort och omkring 80 gator har ingått i undersökningen. Man valde att enbart inventera gator med trafikflöden från 2 000 f/åmd. Hastigheten antogs ligga på 50 km/h och andelen tung trafik på 10%. Dessa parametrar ger en bullernivå på 60 dB(A) ekviv. nivå (frifältsvärde) 10 m från gatan.

En första reaktion är att det måste finnas många gator med trafikflöden mellan 800 och 2 000 f/åmd som har bullernivåer över 55 dB(A). En genomgång visar dock att så inte är fallet. De återstående gatorna är antingen lokalgator inne i de centrala delarna med låga trafikmängder eller villagator längre ut. Dessa villagator har i de flesta fall låg andel tung trafik. Vidare ligger husen inte alltid alldeles inpå gatan.

Ligger husen 18 m från beräkningspunkten krävs det 1 500 f/åmd för att komma över 55 dB()A) om marken är mjuk och andelen tung trafik 10%. Ändras andelen tung trafik till en mer rimlig nivå för denna typ av miljö och vi sätter 5% istället för 10% blir resultatet att avståndet kan krympa med ytterligare 2 m till 16 m.

Vid 1 000 f/åmd, 5% tung trafik är avståndet 12 m.
Vid 1 000 f/åmd, 2% tung trafik är avståndet 10 m.

Enligt Leif Olsén, Gatukontoret omfattar bilhuvudnätet även vissa gator med trafikflöden under 2 000 f/åmd. Dessa kan ha ca 10% tung trafik. Det är dock endast ett fåtal gator som är berörda. Lokalnätet har i huvudsak trafikflöden runt 500 f/åmd och i stort sett ingen tung trafik (räkna med 2%). Enligt Olsén är det endast ett fåtal lokalgator som har trafikflöden mellan 1 000 - 2 000 f/åmd.

Bullernivån 55 dB(A) vid 500 f/åmd, 2% tung trafik, uppnås 6 m från vägmitt.

En vanlig situation kan antas se ut så här:

Vägbredd 7m,
Avstånd till fasad 9 m (betyder trädgård på framsida som är 5,5 m)
2% tung trafik
mjuk mark (trädgård)
900 f/åmd= 55 dB(A)

Slutsats: lokalgator upp till 900 f/åmd har inga bullerproblem.

Ett bra exempel på de "tysta" bostadsområden som byggts från slutet av 1970-talet är områdena Skräddarbacken, Nygårdsdalen och Jakobsgårdarna i Borlänge. Områdena är planerade för ca 10 000 människor och idag bor 5 600 människor där. Enligt Miljöförvaltningen är ingen av dessa utsatta för bullernivåer orsakade av trafiken överstigande 55 dB(A).

Centrumområdet i Borlänge har en befolkning på ca 6 200 personer (17% av tätortsbefolkningen). De områden som jag inkluderat är Hagalund, Centrum och Östermalm. Kännetecknande för dessa stadsdelar är att bostäderna till största delen är flerfamiljshus, gatorna är i rutnät och att ett flertal gator har ganska stora trafikflöden. Enligt de kartor som visas i kommunens bullerutredningsrapport har man ej inventerat de lägenheter som har bullernivåer under 60 dB(A). Man kan därför anta att ett flertal lägenheter i de fastigheter som ligger i husraden bakom gaturaden har bullernivåer i intervallet 55 - 60 dB(A). I flera fall skärmar dock gaturaden lägenheterna bakom och många av de bakomliggande husen är också byggda med kortsidan mot gatan. Vinkelområdet mot gatan är därför i många fall ganska litet. I det aktuella området har kommunen inventerat 6 gator. Nedan redovisas gatorna och antalet inventerade exponerade boende:

Hagavägen	800 personer	8 000 - 13 000 f/ÅMD
Bygatan	330 personer	7 500 - 9 000 f/ÅMD
Tunagatan	200 personer	5 500 - 7 500 f/ÅMD
Grådarvägen	ca 100 personer (ena sidan)	17 000 f/ÅMD
Rödavägen	300 personer	7 000 - 8 500 f/ÅMD
Stationsgatan	60 personer	8 300 f/ÅMD
Totalt:	ca: 1 800 personer	

Av de boende i området är det alltså ca 30% som enligt inventeringen har bullernivåer över 55 dB(A) frifältsvärde vid fasad. Från den kartinformation som finns tillgänglig är det klart att alla exponerade ej är medräknade i kommunens inventering. Kommunens stapeldiagram (bifogat) över de inventerade gatorna visar också att intervallet

55 - 60 dB(A) är klart underrepresenterat (endast 130 personer). I vissa situationer kan det vara rimligt med ett lågt antal i intervallet eftersom gatufasaden ger en kraftig skärmning av bullret. I Borlänge-

exemplet är dock många av fastigheterna exponerade till visst buller. Jag har därför ökat antalet exponerade med 1 000 personer vilket medför att ca 45% av centrumbefolkningen antas ha bullernivåer vid fasad (frifältsvärde) över 55 dB(A).

Utanför centrumområdet är avståndet till bebyggelsen ofta längre och marken mellan vägen och mottagaren kan antas vara mjuk i de flesta fall. Detta syns också i kommunens redovisning genom att flera av de exponerade som bor utefter dessa gator har bullernivåer i intervallet 55 - 60 dB(A). Husraden bakom kan därför antagas ha bullernivåer under 55 dB(A).

Området utanför centrum har en befolkning på 33 000 (83% av tätortsbefolkningen). Nedan redovisas fördelningen på olika buller-intervall enligt kommunens inventering.

Intervall	**antal exponerade**	**del av befolkn (33 000)**
55 - 60 dB(A)	2 450 personer	7,5%
60 - 65 dB(A)	1 314 personer	4%
65 - 70 dB(A)	316 personer	1%
> 70 dB(A)	32 personer	0,1%
Totalt:	4 112 personer	12,5%

Om man antar att en viss underskattning har skett i intervallet 55 - 60 dB(A) och därför lägger till ett antal exponerade i intervallet 55 -60 dB(A) så att man kommer upp till 9% av befolkningen ökar antalet till ca 3 000. 9% motsvarar ungefär Sandbergs siffror för modellberäkning för Kisa och Linköping*. För Borlänges del innebär tilläggen i centrum + ytterområden att orten totalt får en högre andel exponerade än t ex Linköping. Borlänge hamnar på 10,5% exponerade för intervallet 55 - 60 dB(A).

* Räknade med högre befolkningstäthet än Wittmark, 92, men ansåg att Linköping totalt sett var annorlunda jämfört med andra städer (hög andel cyklister samt bra kollektivtrafik).

För hela Borlänge tätort skulle den reviderade uppskattningen då bli:

För hela Borlänge tätort skulle den reviderade uppskattningen då bli:

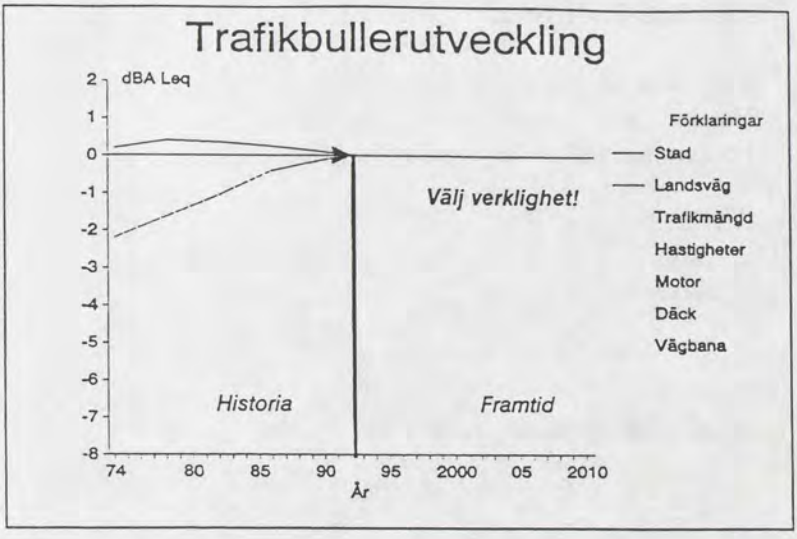
Intervall	Inneområden	Ytteområden	Totalt
55-60 dB(A)	1 130	3 000	4 130
60-65 dB(A)	920	1 320	2 240
65-70 dB(A)	760	320	1 080
> 70 dB(A)	0	30	30
Totalt	2 810	4 670	7 480

Bilaga 2. Hur bostadstyperna förändrats i Linköping mellan 1970 och 1990

Typ av lgh/bostad	1970 lgh	Boendetäthet per/lgh	boende	1990 lgh	boendetäthet Pers/lgh	boende
småhus						
- enfamilj	10 601	2,9	30 750		2,8	
- tvåfamilj	1 884	2,9	5 460			
totalt	12 485		36 000			57 370
flerfam hus lägenheter	29 271	2,3	67 000		1,7	59 800
kollektivboende (inkl. student-korridor)						5 000
Totalt i kommunen			103 000			122 000
Tätorten Linköping			77 000			82 500

Trafikbullerutveckling 1974 - 2010 historia och tekniska möjligheter

Utgåva 92.11.04.



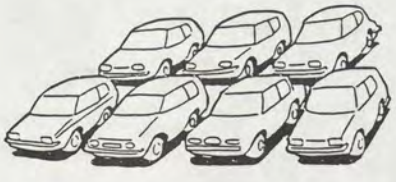
TRAFIKBULLERUTVECKLING 1974 - 2010 HISTORIA OCH TEKNISKA MÖJLIGHETER

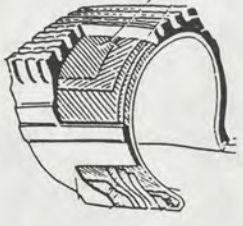
Av Lars Avellán



Tystare motorer
men...
Fler bilar
Högre landsvägsfart
Bredare däck
Ökad däcksbullerdominans







Ecotraffic AB
Gamla Brogatan 29 • S-111 20 STOCKHOLM • Tel + 46-8-796 99 95 • Fax + 46-8-796 93 94
Branch: Odinsgatan 9 • S-411 03 GOTEBORG • Tel + 46-31-80 52 90 • Fax + 46-31-80 26 20

INNEHÅLL

Sammanfattning 3
Rapportunderlag 7
Nollåtgärdsscenario 7
Lågbullerscenario 9
Lämpliga följdarbeten 10

Trafikmängd 11
Hastigheter 13
Fördelning mellan fordonsslag 15

Drivlinebuller 16
a. Lastbil 20
b. Personbil 23

Däck: 24
Historia 25
Frirullning kontra drivning 26

Vägyta 30

Övrigt buller 31
Maximalnivåer 31

Referenser 33

Diagram 35

SAMMANFATTNING

Denna rapport kartlägger hur vägtrafikbuller**emissionen** i Sverige har förändrats sedan 1974, och skulle kunna förändras fram till år 2010. Två scenarios beskrivs, ett nollåtgärdsscenario där myndigheterna inte ingriper mot trafikbullret, och ett lågbullerscenario där kraftfulla åtgärder mot trafikbullret högprioriteras.

Rapporten är primärt framtagen som en underlagsrapport till den av Regeringen beställda handlingsplanen mot buller, men bör kunna användas i andra sammanhang nationellt såväl som internationellt.

Utredningen tar hänsyn till **emissions**-påverkande faktorer såsom utvecklingen av fordonens drivlinebuller (motor + växellåda + avgas + insug + kylfläkt), utvecklingen av däcken och vägbanan samt förändringar i trafikmängd och hastighet.

Utredningen ger däremot **ej svar** på hur **immissions**relaterade faktorer har påverkats, såsom kringfartsleder, trafikplanering, kontorisering i stadskärnor, utflyttning till lugna villaområden, bebyggelseplanering, bullervallar och fasadisolering. Det går därmed inte från denna utredning att ge ett svar på hur antalet bullerstörda har eller kommer att förändras.

Utredningen ger ej heller svar på vad olika åtgärder kostar, och än mindre på vad som är kostnadsoptimalt eller hur mycket en bullerreduktion är värd i kronor.

Tyngdpunkten i rapporten har lagts på att utvärdera vad som hänt medelnivåerna (L_{eq}). Om bullernivån varierar starkt, så är bullrets maximalnivå mer störningsrelevant. Ett avsnitt har därför ägnats åt detta.

Sedan 1974 har biltillverkarna lagt ner mycket kraftfulla åtgärder på att sänka fordonsbullret. Certifierade bullervärden har sänkts 5 till 10 dBA beroende på fordonstyp. Under samma period har ändock medelnivåerna i trafiken varit ungefär oförändrade. Detta till synes motsatsförhållande motiverar en rapport av detta slag. Går man på detaljnivå igenom vad som har hänt, så stämmer ekvationen helt, och hade kunnat förutsägas. Först med den kunskapen som bas, och med samma detaljanalys av framtidsscenariot, så går det att försäkra sig om att inte framtiden blir lika dyster.

Utvecklingen av maximalnivåerna i städerna har dock varit mycket gynnsam.

Slutsatser i koncentrat:
* I städerna väger i dag drivlinebuller och däcksbuller ungefär jämt, kanske med en lätt övervikt för drivlinebullret. När fordonsparken blivit utbytt mot fordon som klarar dagens nyproduktionskrav, så kommer däcksbullret att dominera även i städerna.

* I nollåtgärdsscenariot förväntas trafikbullernivån i städerna ligga på dagens nivå år 2010. På landsvägen förväntas en höjning med ca 3 dBA. Nollåtgärdsscenariot förutsätter dock att 1996 års EG-kravskärpning på fordonsbuller träder i kraft.

* Även om kraftfulla åtgärder sätts in mot däcksbullret, så kommer detta troligen vara den dominerande bullerkällan i städerna mot slutet av detta decennium och fram till år 2010.

* Om kraftfulla åtgärder sätts in, så kan L_{eq} sänkas med 9 dBA i städerna och 6 dBA på landsväg till år 2010. Detta skulle upplevas som en mycket stor skillnad.

* Drivlinebullret vid certifiering är svår att fastställa eftersom det alltmer drunknar i däcksljudet.

* Drivlinebullret från de tunga lastbilarna är visserligen inte dominerande på landsväg, men dock betydande, om man tar hänsyn till att även uppförsbackar förekommer. Detta problem går inte med säkerhet att komma till rätta med genom hårdare krav med dagens mätmetod på grund av för låg korrelation mellan driftsfallen vid bullercertifiering respektive i verklig trafik.

* Däckens **drivljud**, d.v.s. däckbullerökningen på grund av att däcken överför en framdrivningskraft mot vägbanan, är:
- vid certifieringskörning mycket hög, och är en av de dominerande bullerkällorna.
- vid de flesta vanliga körfall måttlig, men ofta ej försumbar.
- tillräckligt stor för att det skall vara "otillåtet" att beräkna drivlinebullret såsom skillnaden mellan totalbullret och däckens frirullningsljud (vilket ofta sker)
- Därtill varierar drivljudet starkare mellan olika däckstyper än vad rulljudet gör.

* En teori och beräkningsmetodik för drivljudet ställs upp.

* "Övrigt buller" dvs. slammer, defekta fordon m.m. är en delbullerkälla som sammanslagen är betydelsefull i städerna. Kunskaperna om hur stort detta buller är dock små.

* Ökad trafikmängd har ökat bullret med ca 1 -2 dBA. Ökad fart, trots oförändrad skyltning, på 90/110-vägar har därtill ökat bullret en knapp dBA.

* Det starkt minskade drivlinebullret har gett en viss bullerreduktion i städerna. Effekten begränsas av det kamouflerande däcksbullret, och för lastbilen av att de tidigare kraven gav full effekt endast för en mindre del extra motorstarka (=bullriga) fordon, och att det ännu finns mycket få fordon på vägarna från 1990 års kravskärpning.

* Den successiva övergången från motor till däcksbullerdominans innebär att:
- bullerkällan flyttats nedåt närmare vägbanan, vilket i sin tur ökar effekten av låga bullerskärmar. Även för en väg som ligger högt jämfört med omgivningen ger vägrenen en hörbar skärmning.
- bullret är mer hastighetsberoende än tidigare, dvs hastighetssänkningar har en större bullermiljöeffekt.
- ett eventuellt införande av elbilar med samma prestanda och däcksutrustning som en bensinbil ger vid normala driftsfall en alltmer blygsam bullerreduktion, allteftersom förbränningsmotorn blir tystare. Det bör dock påpekas att elbilen kanske får lägre prestanda, smalare däck och att bensinbilen är mer bullerkänslig för "tufft" körsätt.
- snart är det bara vid tuffa körsätt som personbilen ger dominerande drivlinebuller. Personbilen är med sitt stora effekt/viktförhållande och varvtalsområde extra bullerkänslig för tuffa körsätt. En möjlig väg är därför att direkt begränsa möjligheten att använda höga motorvarv och gaspådrag i låga farter. En väg att nå detta är att sänka farten vid bullercertifiering från nuvarande 50 - 60 km/h till en fart som bättre motsvarar grönljusacceleration.

Dagens Situation:
* I städerna väger i dag drivlinebuller och däcksbuller ungefär jämt, kanske med en lätt övervikt för drivlinebullret. Tillfälliga maxbullernivåer i städerna orsakas dock vanligtvis av drivlinebuller. När fordonsparken blivit utbytt mot fordon som klarar dagens

nyproduktionskrav, så kommer däcksbullret att dominera även i städerna. Se figur sid 28 och 32.

* Nyproducerade lastbilar i städerna bör avge ungefär lika mycket däck som drivlinebuller. Se figur sid 28. Av samma figur framgår att nyproducerade personbilar avger betydligt mindre drivlinebuller än däcksbuller.

* Maxbullernivåer har extra stor störande effekt. Vid omslag till grönt ljus åstadkommes sådana maxbullernivåer. Vid detta körsätt dominerar drivlinebullret för nyproducerade lastbilar i städerna.

* Personbilar ger starkt ökat buller vid höga motorvarv liksom vid hård acceleration. Vid hårt körsätt kan därför motorbullret dominera även för nyproducerade personbilar.

* På landsväg dominerar däcksbullret starkt. Se figur sid 34.

Framtid:
Om verkligheten utvecklas enligt nollåtgärdsscenariot, så får vi (se fig sid 31 och 33) en oförändrad bullernivå i städerna, och en 3 dBA bullerhöjning på landsväg.

Om verkligheten utvecklas enligt det kraftfulla lågbullerscenario som beskrivs i denna rapport, så bör en bullerreduktion i städerna på 9 dBA nås enligt nedan:

Trafikmängdsökning	+ 1 ½
Däck och fordonskrav	- 6
Hastighetssänkningar	- 3
Dränasfalt	- 2
Totalt	- 9 ½ dBA

Av däck och fordonskraven är det huvudsakligen däckskrav som har en möjlighet att göra effekt framöver.

På landsväg bör på motsvarande sätt 6 dBA reduktion kunna erhållas.

Lågbullerscenariot bygger dock på att kraftfulla åtgärder på gränsen mot vad som är realistiskt sätts in.

Diagrammen i rapporten ger även en god sammanfattning.

RAPPORTUNDERLAG
Rapporten bygger på en kombination av litteraturstudier, beräkningar, mätningar, muntlig och skriftlig kommunikation och egna kunskaper.

Hänsyn har tagits till Trafikmängd, Hastigheter, att för fordon i stad både acceleration och konstantfart förekommer, att för fordon på landsväg både plan väg och uppförsbacke förekommer, fördelning mellan fordonsslag, drivlinebullerutveckling vid verkliga körsätt, däckbullerutveckling vid verkliga körsätt uppdelat på frirullningsljud och däckets drivljud, att inte hela fordonsparken påverkats fullt ut av en kravskärpning och olika vägytor och dess förändring i tiden.

NOLLÅTGÄRDS-SCENARIO
Nollåtgärds-scenariot är avsett att visa vad som händer om myndigheterna inte fattar några nya beslut i avsikt att sänka trafikbullret. EG's förslag till fordonsbullerkravskärpningar 1996 (COM(91) 51 final - SYN 337, Brussels, 25 June 1991) antages dock gå igenom.

Största osäkerheten gäller här för vad som kommer att hända med däcksbullret. Samtal med företrädare för däcksindustri, fordonsindustri och tyska trafikministeriet har gett följande ganska samstämmiga bild:

Däcksfabrikanterna prioriterar idag främst låg ljudnivå vid ISO-acceleration, lång livslängd och lågt rullmotstånd. Strävan efter låg ljudnivå orsakas av fordonsfabrikanternas behov av däck som är tysta vid bullercertifiering av helt fordon. Däcksbullret vid denna typ av certifieringsacceleration är inte representativt för däcksbullret vid normal körning, i synnerhet inte vid landsvägskörning.

Personbil:
* I de flesta europeiska länder (dock inte Sverige) krävs att däcken skall ge fordonet goda vägegenskaper vid dess maxfart. Hög maxfart ger breda och därmed bullriga däck. Av betydelse är här att Tyskland förväntas även i fortsättningen tillåta fri fart på ett mindre antal motorvägar. Ökad aerodynamik hos nya fordon leder till högre maxfart vid oförändrade accelerationsprestanda. Ökade komfortkrav och ekonomiska begränsningar bromsar förändringen mot bredare däck.

* De mest exklusiva fordonen har vanligtvis de starkaste motorerna, den högsta toppfarten och därmed de bredaste däcken. Idealet för den designkänslige köparen förblir därmed även fortsättningsvis en bil med breda däck.

Lastbil:
* Volymtransportbilar, med små hjul för att ge ökat lastutrymme, har i Sverige en liten men växande marknad. I Mellaneuropa är dessa fordon vanligare.

* Ökat axeltryck (8 ton) blir allt vanligare, och kräver bredare däck.

* Breda singeldäck som ersättning för dubbelmonterade däck blir allt vanligare.

De flesta av drivkrafterna för en fortsatt utveckling mot bullrigare däck tycks finnas kvar. En viktig skillnad mot tidigare är dock däckfabrikanternas starka strävan efter att sänka däcksbullret vid ISO-acceleration. En viss del av dessa förbättringar kommer att visa sig vid normala körfall. Allt eftersom kunskaperna ökar kommer, i nollåtgärds-scenariot, bullerreduktionsåtgärderna bli allt mer snävt inriktade mot fordonscertifieringsmetoden, och reduktionen vid normala körsätt att avta.

Mot bakgrund av detta antages i nollåtgärds-scenariot ett oförändrat däcksbuller, vid given hastighet och från varje enskilt fordon, fram till år 1998, och därefter en ökning i samma takt som under 70- och 80-talen.

LÅGBULLERSCENARIO

Lågbullercenariot är avsett att visa **gränsen för vad som kan anses som rimligt**, och hur åtgärder tidsmässigt bör kombineras. Allt efter vilka prioriteringar som görs, kommer bullersänkningen bli mer eller mindre begränsad.

* EG's förslag till fordonsbullerkravskärpningar 1996 (COM(91) 51 final - SYN 337, Brussels, 25 June 1991) antages gå igenom.
* Personbilarna antas inte få några ytterligare skärpningar utöver 1996-års skärpningar.
* Lastbilarna antas få en kravskärpning år 2002 grundad på en ny mätmetod med 3 dBA drivlinebullerskärpning givande 2.7 dBA drivlinebullerreduktion i verklig trafik (stad som landsväg).
* Däcksbullerkrav antas införas år 1998 med skärpningar år 2002 och 2006. Kravet 1998 antas ge 1 dBA **genomsnittlig** reduktion, och innebära att ungefär hälften av alla däck måste omkonstrueras. Kravskärpningarna antas vara på 2 dBA per gång, men endast ge 1.5 i verklig trafik.
* Från och med 1994 antas årligen 4% av det bullerstörda vägnätet i städerna få hastighetsbegränsningen sänkt från 50 till 30 km/h. Genomsnittsfarten antas sjunka med 15 km/h.
* Från och med 1994 antas årligen 4% av det bullerstörda vägnätet på landsväg få hastighetsgränsen sänkt med 10 km/h. Genomsnittsfarten på berörda vägar antas sjunka med 6 km/h.
* Scenariet kräver att större insatser sätts in på att forcera den internationella forskningen kring dränasfalt resulterande i att man 1996 kan börja belägga 15% av det bullerstörda vägnätet per år med dränasfalt upp till max 75% av detta vägnät. Detta antas ge en genomsnittlig effekt under brukstiden på 2 dBA på berörda vägar. Från och med år 2001 antas effekten kunna höjas till 3 dBA, med en omläggningstakt på 5 år.
* Kartläggning, gärna med subjektiv responsanalys, och därefter kraftfulla åtgärder förutsätts sättas in mot "övrigt buller" i intensiva stadsområden.

Som exempel på hur detta scenario förhåller sig till vad som är rimligt kan nämnas:

* Prof. Manfred Heckl vid Institut fur Technische Akustik i Berlin, som arbetat med att finna metoder för att reducera däcksbullret sedan 1974, uttryckte nyligen vid en konferens i Petersbourgh en pessimism inför möjligheten att åstadkomma en större däcksbullerreduktion i framtiden. Manfred Heckl vågar inte bedöma realismen i ovanstående scenario.
* Nivis Tyre AB (ett företag i Continental-koncernen) anger flera möjligheter att åstadkomma små bullersänkningar. Inte heller Nivis vågar bedöma vad som kan åstadkommas till år 2006.
* De första 1 á 2 bullerreduktionsstegen för däcken motsvarar ett återställande av däcksbullret till 1974-års nivå. Dessa däck hade dock sämre vägegenskaper m.m. än dagens däck.
* Ett företag i Finspång har utvecklat ett prototyphjul med 10dBA bullerreduktion jämfört med ett konventionellt hjul. Det finns dock stor osäkerhet om huruvida produkten är utvecklingsbar till ett hjul som motsvarar rimliga krav på hållbarhet m.m.
* 1996 års fordonsbullerkravskärpningar innebär att massiva insatser måste sättas in för de tunga fordonen. Många konstruktionsförändringar måste ske. Det handlar inte längre om bara motor, avgasbuller och däcksbuller, utan även om växellådans buller. Arbetet är såväl omfattande som högteknologiskt och svårt. Möjligheterna att kunna åstadkomma en ytterligare bullerreduktion även för de starkaste motorerna kan inte helt överblickas förrän 1996 års fordon är färdigutvecklade.
* Den goda akustiska effekten av dränasfalt har begränsad livslängd (2-3 år) på grund av att porositeten i asfalten sätts igen. Ännu är resultaten från försök med att öka livslängden i huvudsak nedslående.

LÄMPLIGA FÖLJDARBETEN

* Bättre underlag krävs kring vad som i rapporten kallats "övrigt buller" i städerna.

* Bättre underlag krävs kring personbilens buller vid olika vanligen förekommande körsätt.

* Experimentell verifiering av i rapporten uppställd teori för däckens drivbuller. Provet görs billigast och bäst med superkapslad personbil.

* Bättre underlag behövs kring bullret i uppförsbacke, med uppdelning på olika delbullerkällor och lutningar.

* Underlaget i denna rapport bör kompletteras med en kostnadskalkyl.

* Beräkningsmodellen i denna rapport skulle med fördel kunna läggas in i dataprogram, varvid konsekvenserna av olika handlingssätt omgående och enkelt kan analyseras.

* Underlaget i denna rapport bör kopplas ihop med motsvarande analys av **immissionsåtgärder**.

* Och mest av allt krävs ett omfattande internationellt consencusarbete.

TRAFIKMÄNGD

Lastbil:
Enligt ref 1 "Bilismen i Sverige 1991" ökade antalet diesellastbilar med 22% mellan 1982 och 1990 detta motsvarar en ökning med 2.5%/år. extrapolerat till 1974-1990 erhålles 48% ökning.

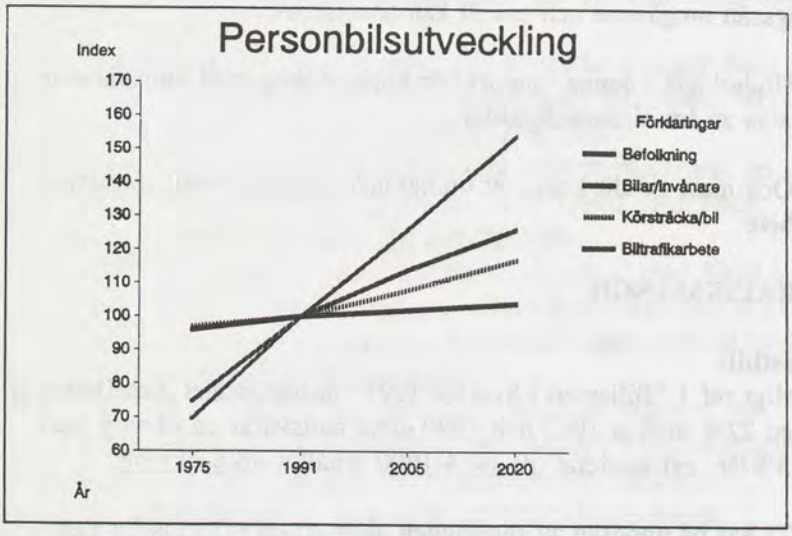
VTI har på uppdrag av regeringen gjort ett en prognos för den framtida trafikutvecklingen för de olika trafikslagen. Arbetet har bedrivits i samverkan med företrädare för banverket, luftfartsverket, sjöfartsverket, vägverket och kommunikationsdepartementet. Resultatet finns presenterat i ref 2 "VTI, notat nr T 117, Framtida transporter i Sverige". Prognosen bygger på tre alternativa scenarier för den framtida ekonomiska utvecklingen, och tre alternativa scenarier för den framtida trafikpolitiken. I denna rapport används scenario "medel" för bägge variablerna.

VTI:s rapport anger en ökning med 32% till år 2005, och 74% till 2020. Interpolerat fås en ökning med 42% till år 2010. Siffrorna avser transportarbete i tonkm. En förskjutning mot tyngre fordon skulle ge en mindre ökning. Just in time verkar åt motsatt håll.

Ovanstående ger följande trafikmängdsökning:

	1974	1990	2010
Tung lastbil	ref.	+ 48%	+110%

Personbil:
Samma källa och scenario har använts för personbil som för lastbil. Denna anger utvecklingen till:



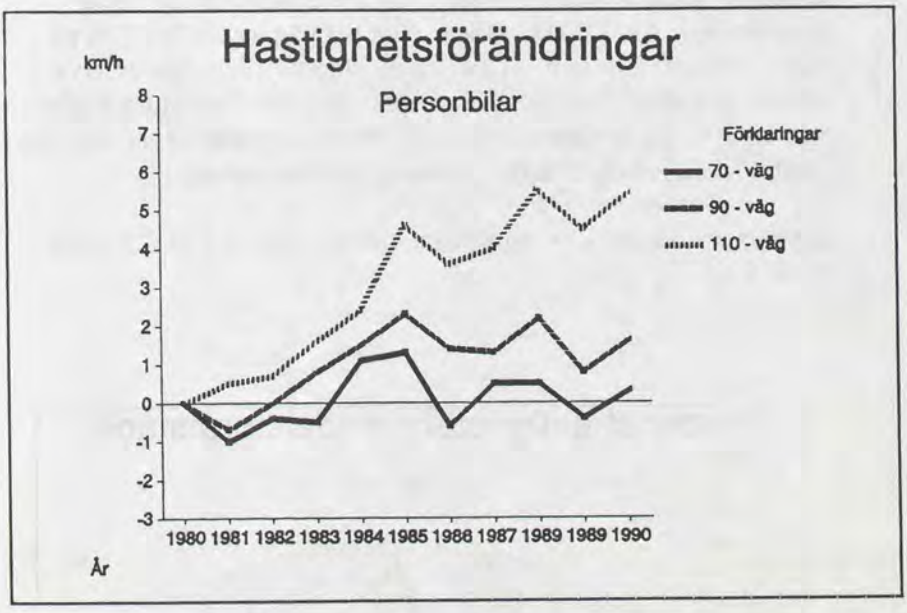
Biltrafikarbetet definieras som produkten av Befolkning * Bilar/inv * Körsträcka/bil. Med 1974 som referens erhålles:

	1974	1990	2010
Personbil	ref.	+ 43%	+ 90%

Sammanslaget ger trafikmängdsökningarna för last och personbil en bullerökning på 1½ dBA vardera för perioden 1974-1990 som 1990-2010.

HASTIGHETER
Hastighetsutvecklingen är olika på landsväg, medelstor stad respektive storstad. I nedanstående beskrivning av hastighetsutvecklingen avses förändringarna på vägar där skyltad hastighetsbegränsning varit oförändrad.

Landsväg:
VTI ger ut årliga rapporter över hastighetsutvecklingen på landsväg. I skrivande stund utgörs den senaste av meddelande nr 675 (ref 3).



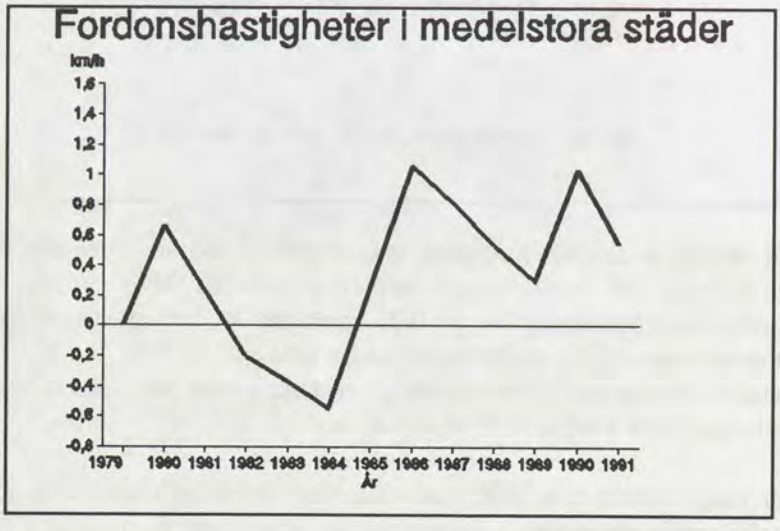
För 70-väg är sålunda hastigheterna enligt VTI oförändrade. För 90 och 110-väg har hastigheterna medelvärdesbildats till en genomsnittlig hastighetsutveckling på 0.35 km/h per år. I rapporten antas att denna utveckling pågått/pågår under hela perioden 1974 - 2010. Detta motsvarar en bullerhöjning på en knapp dBA för vardera perioden 1974-1990 och 1990-2010.

För tunga fordonen är bakgrundsmaterialet betydligt sämre, och kvalificerade gissningar måste tillgripas. Mätningar på tunga fordon började 1980, men av diverse tekniska skäl kan endast materialet för perioden 1987-1990 användas. Under denna period skedde ingen hastighetsökning för de tunga fordonen. Påståendet stämmer väl med att det under 80-talet skedde effektiva kampanjer från fordonstillverkarna för bränsleekonomiskt körsätt. I rapporten antas därför

att hela 80-talet hade oförändrade hastigheter. Mot mitten av 90-talet förväntas obligatoriska fartbegränsare införas på de tunga fordonen. Nolltillväxten i fart har därför utsträckts till att gälla hela perioden 1980-2010.
Mellan 1974 och 1980 antas de tunga fordonen ha ökat såsom personbilarna. Under perioden skedde stor effektökning av motorerna, och lastbilarna fick lättare att hänga med i trafikrytmen.

Medelstor stad:
VTI ger ut årliga notat om hastighetsutvecklingen i tätorter. I skrivande stund är senaste notat "VTI notat, Resultat av hastighetsmätningar 1991". Mätningar görs två gånger om året, en på våren, och en på hösten. Mätningarna började 1979. Sju av elva mätplatser kvarstår sedan 1979. Dessa omfattar medelstora städer med ca 100.000 invånare. Från 1987 finns även mätningar från lite mindre städer såsom Nässjö, Varberg och Falkenberg.

Rapporten visar en **icke** signifikant hastighetsökning på 0.5 km/h sedan 1979



Storstad:
Från flera världsstäder med flera miljoner invånare såsom Paris och London rapporteras sjunkande medelhastigheter för trafiken. Det kan inte uteslutas att detsamma gäller "mindre storstäder" såsom Stockholm och Göteborg. Detta stöds av att Munchen med drygt 1 miljon invånare visar sjunkande medelhastigheter. Lägre farter betyder större relativ andel drivlinebuller. Det ligger dock utanför ramen för detta arbete att dela upp informationen på olika stadsmiljöer. Rapporten utgår därför i beräkningar och diagram från att hastigheterna i svenska städer är konstant.

Justering av hastighetsvärden:

Omräkning av bullervärden som funktion av små hastighetsändringar har gjorts i några fall rapporten. Då det rör sig om små ändringar, så är känsligheten för låg för eventuella brister i de matematiska sambanden.

För lastbilen har korrigeringar gjorts genom interpellation av data i ref. 22.

För personbil har däcksbullret antagits följa (ref 4)

$$L = 10.66 + 34.21 * \log v$$

Totalbullret för personbil har i Nordiska beräkningsmodellen angetts följa **30*log v**
(ref 5,14). Vilket har använts i denna rapport. Det har diskuterats att ändra korrigeringen till 25*log v. Med ökad andel däcksbuller borde korrigeringen snarare närma sig formeln för däckets hastighetsberoende. Här råder således ett visst motsatsförhållande.

Totalt kan hastighetsutvecklingen antas ha lett till/leda till en bullerutveckling på landsväg med 1 dBA vardera för perioden 1974-1990 som 1990-2010, och en oförändrad nivå i svenska städer.

FÖRDELNING MELLAN FORDONSSLAG
I denna utredning har verkligheten förenklats i så måtto att trafiken enbart anses bestå av personbilar och tunga lastbilar i den tyngsta klassen över 12 ton och 150 kW. Med "lastbil" menas i denna rapport denna typ av tung lastbil.

Ref 2 anger andel dieselfordon till

	1979	1984	1990	2010
Infart/genomfart	9.8%	10%	10.2%	11%
Huvudgata	5.9%	6%	6.2%	6.75%

Interpolerat, extrapolerat och fritt tolkat erhålles:

	1974	1990	2010
stadstrafik	5.9%	6.2%	6.7%
70 - 110 väg	9.8%	10.2%	11%

I beräkningarna har de bägge fordonsslagen viktats med dessa siffror, för att motsvara inverkan på L_{eq}. Därför har lastbilens buller i diagrammen hamnat ungefär i nivå med personbilen.

DRIVLINEBULLER

Med drivlinebuller i denna rapport menas summan av motorbuller, avgasbuller, insugsbuller, fläktbuller och växellådsbuller. Drivlinebullret har beräknats som totalbuller minus däckens frirullningsbuller minus däckens drivbuller. Hur den senare har beräknats anges i avsnittet "däck".

Åtgärder på fordonen

Massiva åtgärder har satts in för bekämpning av drivlinebullret från såväl tunga som lätta fordon. Åtgärder som har tillgripits i olika omfattning är:

Optimering av förbränningsförlopp
Optimering av motorns styvhet
Avisolering av vissa bulleravstrålande motordetaljer
Inkapsling av vissa bulleravstrålande motordetaljer
Användning av strukturljudsdämpande material
Termostatreglering av kylfläkt
Övergång till turboladdade motorer
Optimering av avgasljuddämpare såväl vad avser mynningsljud som mantelljud och ökning av dämparvolymen
Införande av flera avgasljuddämpare
Optimering av rörsystemen kring avgasljuddämparen
Dämpning av insugsljudet
Inkapsling av motor
Luftljudsabsorbenter i motorrum
Val eller bortval av vissa däckskvaliteter
Åtgärder mot växellådsljud
Ljuddämpare för tryckluftspysljud

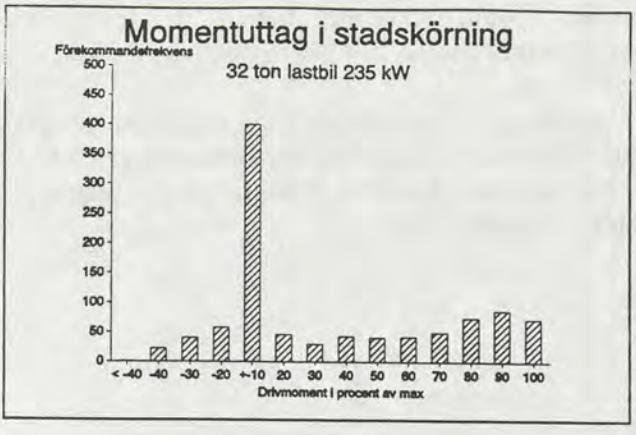
Åtgärder mot avgasbromsljud
Åtgärder mot bromsgnissel
Minskning av vindbrus genom bättre aerodynamik

En kommande teknik är avgasljuddämpning med utsläckning av ljudet med motfaskompensation s.k. aktiv bullerreglering. Minst en tillverkare i världen har börjat använda tekniken i serieproducerade fordon. Tekniken medger ökade möjligheter att komma tillrätta med lågfrekvent ljud, dock tillsvidare till en hög kostnad.

Tunga fordon:
Som sifferunderlag för de tunga fordonen har huvudsakligen ref. 22 använts. I denna undersökning som är utförd av VTI och bekostat av TFB, SNV, Volvo och Scania mäts bullret från fyra tunga lastbilar, varav två tyngre distributionsbilar, och två lastbilar med släp, vardera i såväl 80 dBA som 84 dBA utförande. I undersökningen har bullret från ett flertal verkligt förekommande körsätt jämförts med bullret från certifieringsmätning.

En rundfrågning i branschen visade ganska samstämmiga bedömningar att medellasten på en distributionsbil är ca 60%. Att en såpass hög medellast erhålls beror på att bilarna oftast tar last med sig tillbaka, och att fordonen ofta är ganska väloptimerade så att fullt volymutnyttjande någorlunda motsvarar fullt viktutnyttjande.

Mätningar av fordons relativa momentuttag vid normal stadskörning har gjort 1980 av CCMC (Committee of Common Market Automobiles Constructors, dvs EG's bilindustris samarbetsorgan, sedemera ersatt av ACEA) . Materialet visar en något spridd bild av olika fordons momentuttag. Nedan visas ett exempel från en 32 tons lastbil med 235 kW motoreffekt i central storstadskörning.



Momentuttaget är ganska jämt spritt mellan 20% och maxmoment, medan momentuttag under 20% förekommer mer frekvent. Som jämförelse kan nämnas att 21 tons singelbil med 265 kW motor utnyttjar 20% av maxeffekt vid 50 km/h när den är fullastad, och kanske hälften när den går tom.

Om man med acceleration menar minst 30% moment, så kan man från ovanstående basmaterial anta att detta 1980 förekom under ca 35% av tiden.

Som drivlinebuller för lastbil i stad har ansatts:
65% av drivlinebullret vid 50 km/h konstantfart, fullastad bil (värden från tom bil saknas).
35% av drivlinebullret vid fullgasacceleration vid 25 km/h
Accelerationsbullret delas upp på 60% lastad bil, och 40% tom bil. För fullgasacceleration korrigeras med minus ½ dBA för lastad, och minus 1½ dBA för tom bil med hänsyn till att fordonen vanligtvis ej accelererar med fullmoment.
Korrigeringarna för icke fullt gaspådrag är författarens grova uppskattningar. Bättre underlag är här önskvärt.

På landsväg stiger bullret i uppförsbackar. En genomgång av VTI typvägar som skall vara representativa för riket (ref 23, VTI notat T27, metod för generering av typvägar) visar att andelen vägavsnitt med mer än 2% lutning är 30% för 70-vägar med 7.8 till 12.8 meters bredd, och 35% för motsvarande 90-vägar. Hälften av dessa vägavsnitt motsvarar uppförsbackar och hälften nedförsbackar. Mängden uppförsbackar varierar starkt i landet. I Norrland, där befolkningstätheten är låg, förekommer det frekventare, och i syd/mellan Sverige mindre frekvent. För regioner med bullerstörning kan därför 15% uppförsbackar antas vara en hög skattning. Vid diskussioner med VTI och vägverket har man subjektivt uppskattat andelen uppförsbackar med mer än 2% lutning i bullerstörningsrelevanta områden till 10-15% respektive 10-25%.

Som en summering av ovanstående har i rapporten antagits att andelen uppförsbackar i bullerrelevanta områden är 15%. Bullret på landsväg har beräknats som 85% * bullret på plan väg + 15% gånger bullret i uppförsbacke.

Hur mycket bullrar det då i uppförsbacke?
För detta finns det ett antal olika beräkningsmodeller. I referens 15," Bundesministerium f. Bauten u. Technik, strassenforschung Das Geräuschverhalten des Strassenverkehrs an Steigungs und Gefällestrecken" jämförs deras beräkningsmodell med modeller från åtta olika länder. Se figuren nedan:

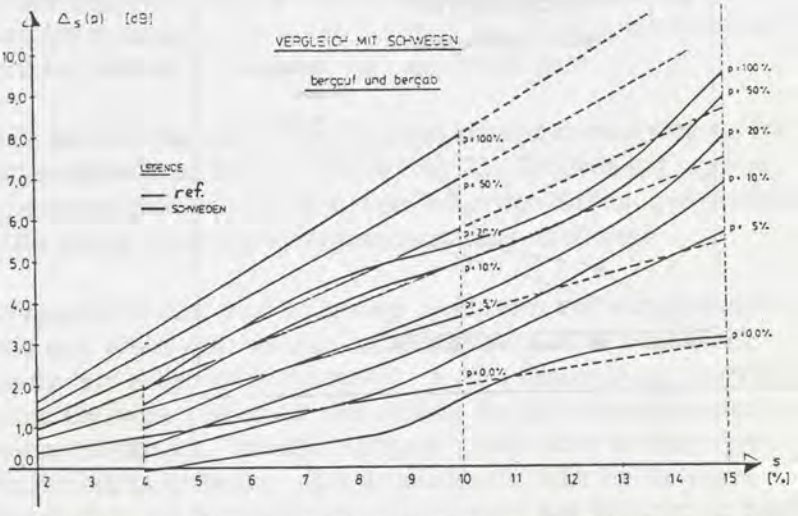
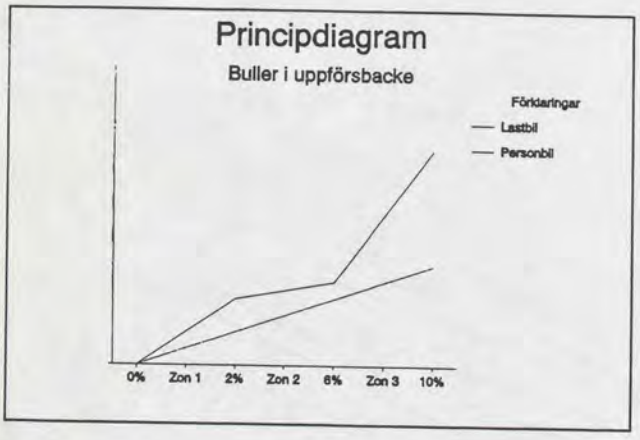


Abb. 33: Vergleich der im schwedischen Rechenmodell verwendeten Längsneigungskorrekturen mit den ermittelten Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens für LKW-Anteile p = 0%, 5%, 10%, 20%, 50% und 100%

Kurvorna visar bullertillskottet i uppförsbacke som funktion av väglutningen för olika andel tunga fordon (p). Ju större andel tunga fordon ju större bullertillskott i uppförsbacke.

Bortsett från att överensstämmelsen mellan beräkningsmodellerna inte är helt fullgod, så finns det ingen anledning att betvivla att de visar korrekta resultat för dagens fordonspark. Det är känt från fordonstillverkarnas laboratorier att motorblockets ljudutstrålning i **dBA** förändras obetydligt mellan 10% och 100% momentuttag. Avgasljudet å andra sidan förändras **ofta** (det är stor skillnad mellan olika konstruktioner) starkt med ökat momentuttag. Avgasljudets andel av totalbullret har avtagit markant för nyare fordonsmodeller. Beräkningsmodellerna kan därför knappast användas för att bedöma inverkan på dagens nyproduktion eller för lågbullerscenariot.

Gemensamt för beräkningsmodellerna är att de utgår från rent empiriska resultat från "historiska" fordon utan försök att förklara orsakssammanhangen med uppdelning av ljudet på delkällor. Logiskt bör bulleröknigen i uppförsbacke kunna delas in i tre zoner. Principiellt åskådliggjort i figuren nedan:



För lastbilen bör då gälla:
I zon 1 ökar momentuttaget, och därmed avgasbullret, medan motorbullret enligt ovan huvudsakligen är konstant. Fordonen orkar fortfarande hålla full fart. Bulleröknigen med ökad stigning bör vara låg i synnerhet för moderna fordon med bra avgasljuddämpare.

I zon 2 utvecklar fordonen full effekt, varför avgas och motorljud är oförändrade.
Lägre fart betyder att de bullerstörda längre tid är utsatta för bullerstörningen, och därmed ett högre L_{eq}. Eftersom lyftarbetet (mg*sin) för fordonen dominerar, så bör en dubbling av stigningen ge knappt 3 dBA höjning av L_{eq}. Lägre fart innebär dock också lägre däcksbuller. Denna effekt bör vara starkare, varför en bullersänkning med ökad stigning kan vara rimlig inom åtminstone tidiga delen av zonen.

I zon 3 är farten och växelläget så lågt att däckens drivbuller bör börja göra sig gällande, och totalbullret bör stiga snabbare än i zon 2.

En kurvform liknande den som Bundesministerium presenterar är därför rimlig.

Personbilen tappar normalt inte fart med ökad stigning, utan bör i hela området ge ökat avgas och kanske motorbuller på grund av ökat moment.

Beräkningsmodellerna är för onyanserade, och sprider sig för mycket sinsemellan för att kunna användas till att kvantifiera hur de olika delbullerkällorna beter sig i uppförsbacke.

För lastbilen har därför uppförsbacke simulerats med värdena från acceleration med fullastat fordon i ref 22. Till detta har lagts en korrektion med +1 dBA för avgasbuller från fordon uppfyllande 88 dBA kravet eller högre enligt nedanstående utredning:

Avgasbullret ökar med belastning. Skillnaden mellan avgasbuller vid max effekt och vid ISO - acceleration (ca 60% belastning) motsvarar enligt Volvo normalt 0 - 6 dBA beroende på konstruktion. De högre värdena är mer typiska för äldre konstruktioner, och eventuellt för s.k. "piratljuddämpare". Skillnaden mellan avgasbuller och motorbuller i dBA är mindre för äldre än för yngre konstruktioner. Nedanstående sifferexempel kan illustrera en typisk situation:

	Ljudkälla	ISO 362	Max effekt
Modern konstruktion	Motor	80 dBA	80 dBA
	Avgas	73 dBA	75 dBA
	Summa	80,8 dBA	81,2 dBA
Äldre konstruktion	Motor	86 dBA	86 dBA
	Avgas	82 dBA	86 dBA
	Summa	87,5 dBA	89 dBA

Ovanstående beräkning gör inga anspråk på att exakt representativ i varje enskild siffra, men avser att påvisa en trend, och visa rimligheten i att äldre fordon har storleksordningen 1 dBA mer avgasbuller i uppförsbacke än vad man kan förvänta från max- effektbullermätningar på moderna fordon plus justerade värden från kravskärpningarna. Sifferexercisen visar också att avgasbullret i uppförsbacke kan tänkas ha minskat sin relativa andel av totalbullret ganska drastiskt, samt att det kan finnas anledning att ha bullerkrav

för uppförsbackefallet för att garantera att alla ljuddämpare uppförs sig väl vid detta driftsfall.

Truls Berge visar i ref 18 att personbilarnas buller, vid prov enligt ISO 362, avtagit snabbare än kravgränserna, och att **den genomsnittliga** personbilen legat ett helt kravsteg före i sin bullerutveckling. För den tunga lastbilen gäller däremot motsatsen, avståndet till kravgränsen har krympt och helt försvunnit. De två fordonen i Ecotraffics test Jetta 88 och Volvo 940 90 låg bägge under det 74 DBA krav som föreslagits till 1996. Se figur nedan:

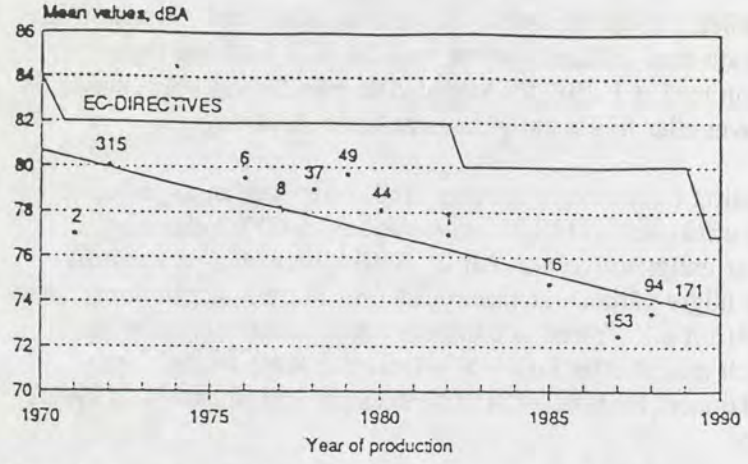


Figure 1. Passenger cars. Noise emission levels (mean values) measured according to ISO 362 as a function of production year. Numbers above points are total number of measured cars.

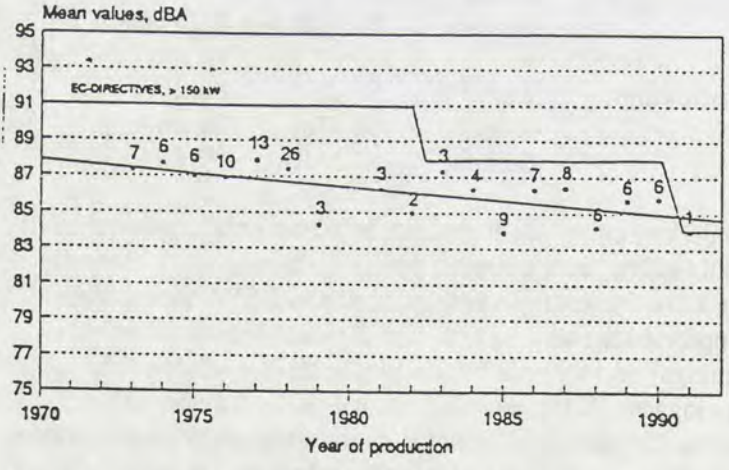


Figure 2. Heavy vehicles. Noise emission levels (mean values) measured according to ISO 362 as a function of production year. Numbers above points are total number of measured vehicles.

För lastbilen gäller att det i början av perioden endast var en mindre andel av fordonen som behövde åtgärdas för att klara kraven. De övriga fordonen fick dock ofta av bland annat standardiseringsskäl en del bulleråtgärder, men i mindre omfattning, och kanske inte alla gånger i så stor omfattning att det kompenserade för den bullerhöjning som strävan efter högre verkningsgrad och effekt i kombination med lägre vikt och mindre emissioner för med sig. Som totalmått på den genomsnittliga bullerutvecklingen fram till kravskärpningen 1990 (EEC 84/424) har Truls Berges kurvor använts. Detta ger en genomsnittlig sänkning vid ISO-mätning mellan 1974-1990 på 2.2 dBA.

Lastbilarna har analyserats vid 25/50, 70 och 90 km/h, och personbilarna vid 25/50 , 70 och 100km/h för att markera att personbilar ofta håller en högre fart på högfartsvägar.

Hänsyn har tagits till fördelningen mellan last och personbilar, för att se deras inverkan på L_{eq}.

Personbil:
Även för personbil har Truls Berges siffror använts. Relationen mellan buller från olika driftsfall har tagits fram från ett prov liknande det för de tunga fordonen men i miniskala.

För en personbil är fullgas-acceleration (såsom mätnormen föreskriver) ett mycket ovanligt driftsfall. I Ecotraffics lilla mätserie har grönljusacceleration respektive gaspådrag för måttlig uppförsbacke direkt simulerats. Eftersom en fullgod repeterbarhet erhölls med detta något grova angreppssätt, så kan metoden anses acceptabel. Kompletterande prov av samma omfattning som för de tunga fordonen rekommenderas dock.

Stadstrafiken antas bestå av:
70% konstantfart vid 50 km/h
30% acceleration (ej gasen i botten) vid 25km/h
Bedömningen grundar sig inte på en djupare analys än att accelerationer bör vara marginellt mindre förekommande än för de tunga fordonen.

Landsvägstrafiken antas liksom för lastbilen bestå av 15% uppförsbacke.

Korrelation till certifieringsprov
Bullret från ett fordon är olika i olika driftsfall. En bulleråtgärd som är effektiv i ett driftsfall behöver inte vara effektiv i ett annat, beroende t.ex. på om kylfläkten går eller ej, andelen avgasljud, temperaturen i förbränningsrummet o.s.v.. När det gäller avgasemissioner från fordon, så har man ett certifieringsförfarande som väger samman många vanliga körsätt. Så långt har man inte kommit när det gäller bulleremissionen. Driftsfallet vid bullercertifiering representerar i själva verket ett mycket ovanligt körsätt. Utöver separering av däck och drivlinebuller, så har hänsyn tagits till korrelationen mellan drivlinebullerreduktionen vid certifieringskörning respektive vid verkliga driftsfall. Denna korrelation kallas nedan för "certifieringskorrelationen".

De två testfordonen, Scania och Volvo, i ref 22 var 3 dBA tystare i 80 dBA utförande än i 84 dBA utförande, vilket motsvarar 4.1 dBA sänkning av drivlinebullret. Genomsnittligt från de mer verklighetsnära driftsfallen erhålls dock endast 2.8 DBA drivlinebullerreduktion, motsvarande 68% certifieringskorrelation. Värdet antages representativt för sänkningssteget 84 - 80 dBA. För historiska data antas av olika skäl 80% korrelation föreligga.

Livslängderna har antagits vara:
Lastbil 10 år, personbil 16 år, Lastbilsdäck 1 år, Personbilsdäck 4 år. P.g.a. att nya fordon används mer än gamla, har dock kalkyllivslängden satts till: lastbil 8 år, personbil 13 år. Detta må inte vara vetenskapligt korrekt, men underlättar väsentligt beräkningarna.

Samtal med representanter för personbilsfabrikanterna visar att det för personbilen historiskt har funnits ett större samband mellan interiört buller och externbuller, än vad det har gjort för den tunga lastbilen. Det är alltså rimligt att anta att det till stor/största delen varit kundens cupébullerkrav som styrt yttre bullret för en personbil. Personbilar är en mer heterogen grupp än godsfordonen vad avser effekt - vikt förhållandet. Att genomsnitts personbilen ligger bra till innebär inte nödvändigtvis att det är lätt att reducera bullret från de fordon som inte klarar de framtida kraven.

DÄCK

Denna rapport behandlar endast driftsfallet torr asfalt och frånvaro av dubbar.

Skälen till detta är dels brist på rapportunderlag och tid, och dels att klagomål på buller är vanligare på sommaren än vintern (ref. Tor Kihlman, Chalmers), och att färre personer är utomhus eller har öppet fönster i regnväder.

Detta innebär dock att däcksbullret är underskattat i rapporten.

HISTORIA

Personbil

Personbilsdäckens bullerförändring sedan 1974 uppskattas till en höjning med 2 dBA. Uppskattningen bygger på ett medelvärde av tre analyser:

1.
En analys av en däcktillverkares försäljningsstatestik visar att bredden har ökat ca 20 mm vilket enligt:
ref 7 ger 1.8 dBA bullerhöjning
ref 8 ger 0.9 dBA bullerhöjning
ref 9 ger 2.4 dBA bullerhöjning
ref 10 ger 1.6 dBA bullerhöjning
medelvärde 1.6 dBA bullerhöjning

Enligt en däckstillverkare har typiska fälgdiametern ökat 1/2 tum sedan 1974. Ecotraffic avstår från att försöka analysera bullerinverkan av detta. Däckens ytterdiameter har samstämmigt mellan en däckstillverkare och VTI minskat med 1/2 tum, vilket enligt Ullrich (ref 8) ger 1/2 dBA bullerhöjning.

1974 hade ett fåtal tillverkare upphört med tillverkning av diagonaldäck. De fordon som rullade på väg 1974 kan antas ha däck som huvudsakligen tillverkats mellan 1969 och 1970. I rapporten samtolkas detta som att radialdäcksanvändningen ökat från 75% till 100% under perioden. Olika remissinstanser har bedömt siffran 75% som för låg respektive för hög. Enligt Leasure, ref 11, ger detta 1/4 dBA bullersänkning. Det är dock mycket svårt att fastställa denna skillnad exakt eftersom en övergång från diagonal till radialdäck innebär en total nykonstruktion av däcket, där många parametrar påverkas.

Totalt 2.3 dBA bullerhöjning.

2.
VTI har jämfört två typiska däck från vardera 70-tal och 80-tal. Alla fyra däcken har varit typiska storsäljare under sin tidsperiod såväl vad avser mönster som dimension.
Resultat 3 dBA bullrigare under 80-talet

3.
Mätningar av totalt personbilsbuller på autobahn i 120 km/h (mycket klar däcksbullerdominans). Resultat oförändrat buller

Medelvärde av 1, 2 och 3 och avrundat ger 2 dBA bullerhöjning från personbilsdäcken

Lastbil
En sammanräkning av olika däckdimensioners andel av försäljningen 1974 respektive 1991 ger en bullerhöjning på 1.4 dBA på grund av dimensionsförändringar.

Övergång från minst 75% diagonaldäck 1974 till 100% radialdäck 1990 antages ge en sänkning på 0.7 dBA.

Antages 15% fler däck per fordon vilket ger +0.6 dBA
Antages 15% högre last per däck vilket (ref, Pirelli) ger +0.6 dBA
Antages ökat däckstryck från 7 till 8.5 bar vilket (ref. Pirelli) ger +0.5 dBA.

Sammanräknat och avrundat erhålles 2 1/2 dBA bullerhöjning för lastbilsdäcken.

FRIRULLNING KONTRA DRIVNING
Däcksbullret i denna rapport delas upp i två separata komponenter:
1. Däcksbullret vid frirullning.
2. Däcksbulleröknigen från tangentialkraften mellan däck och vägbana (bilens drivkraft). Detta buller kallas nedan för däckens drivljud, eller kortare drivljudet.

Vid en certifieringskörning där fullt moment överförs vid låg fart blir drivljudet ett av de klart dominerande delbullerkällorna. Vid normal landsvägskörning i hög fart, är kraften mindre, och däckets frirullningsljud högre, varför ljudet blir mera kamouflerat.

Däckens drivljud är kostsamt (men inte svårt) att mäta på ett tillfredsställande sätt, eftersom såväl motorbullret som däcksbullret påverkas av förändrat motorpådrag. Det finns därför vare sig i litteraturen eller hos många experter en tillfredsställande kunskap om detta buller, och bland de som anser sig ha kunskaper förekommer skilda uppfattningar. Denna kunskap är dock nödvändig för att såväl ställa rätt bullerkrav, som att se konsekvenserna av dem.

Analysmetod 1:
Det finns ett driftsfall från vilket däckens drivbuller är **mycket** väl kartlagt, och det är vid acceleration enligt certifieringsförfarandet. Grunden för en lyckad bullerreduktionsoptimering av ett fordon är nämligen en god kartläggning av delkällornas buller. Alla normala bilfabrikanter har därför omsorgsfulla kartläggningar av detta ljud.

Bullret ifråga kan antingen antas vara någorlunda proportionellt mot fordonets drivkraft F eller mot drivkraften F dividerad med vertikala lasten F_v. Det senare vore troligt om slip var orsaken till bullerhöjningen. Om så vore fallet, så borde däcksbullret avta med ökad vertikal last, och tillskottsbullret ha ett frekvensspektra med många högfrekventa singulära toner. Ingetdera av detta är fallet. Däcksbullret ökar med lasten på ett sätt som "känns rätt" (ungefär 3 dBA per lastfördubbling. Se t.ex. ref 21). Ref 20 visar att däckens drivljud har ungefär samma frekvensspektra som övrigt däcksbuller, och utan singulära högfrekventa toner. Fenomenet antas därför bero på ökad tangentiell kraft på profilmönstret, och därmed ökade däcksvibrationer när vägkontakten släpper, dvs. ett rent kraftberoende fenomen.

Det är därför rimligt att anta att däckens drivbuller är direkt kraftberoende. Fordonets framdrivningskraft i olika driftsfall kan beräknas enligt den fordonsdynamiska formeln:

$$F = m\ddot{x} + mg*\sin + A + B*v + C*v^2$$

där F = framdrivningskraften i N
m = fordonsmassan i kg
x = tillryggalagd sträcka i meter
v = hastighet i m/s
g = tyngdaccelerationen
= vägens lutning
A = konstant som beror av rullmotståndet
B = konstant som beror av rullmotståndet
C = konstant som beror av luftmotståndet

Vid fulleffektkörning vid olika hastigheter (t.ex. uppförsbacke) avtar däckens drivljud med ökad fart eftersom fordonets effekt

$$P = F * v$$

Vid körning på plan väg ökar däckens frirullningsljud med tredjepotensen av hastigheten, men drivkraften, och därmed däckens drivljud med mindre än kvadraten på hastigheten. Med ökad fart kommer därmed däckens drivljud att bli alltmer kamouflerat. Allt under förutsättning att den uppställda teorin, att drivljudet är proportionellt mot kraften, är riktig.

Fordonets dynamiska formel kan, genom kurvanpassning, beräknas ur ett enkelt utrullningsprov. För en 21 tons lastbil utan släp har den fastställts till:

$$F = m\ddot{x} + mg*\sin + 1513 + 76*v + 3*v2$$

För en normal personbil kan den sättas till:

$$F = m\ddot{x} + mg*\sin + 120 + 2.5*v + 0.66*v^2$$

Vid en myndighetscertifiering där ett relativt tyst däck används på en relativt tyst vägbana t.ex. ISO's standardiserade vägbana för ändamålet (ISO/TC 43/sc 1/WG 27) kan totala däcksbullret för lastbilen sättas till 75 dBA. Ref 20 anger bullret till 76 dBA som ett genomsnitt mellan 17 däckstyper på ISO-yta. Med 1 dBA kompensation för extra tyst vägyta erhålles 77 dBA (Högre om regummerade däck inkluderas. 2/3 av alla lastbilsdäck ute i trafiken är regummerade). Hastigheten vid en certifieringsmätning för tunga fordon är runt

30 km/h givande ett frirullningsljud (ref 22) på 68.7 dBA för singelbil. Däckets drivbuller blir då 76.3 dBA.
Beräkningarna har utförts för en lastbil med 265 kW motoreffekt. Vid certifieringsaccelerationen hinner dock inte full effekt utveckla sig, varför 60% av effekten eller 160 kW har använts för detta driftsfall.

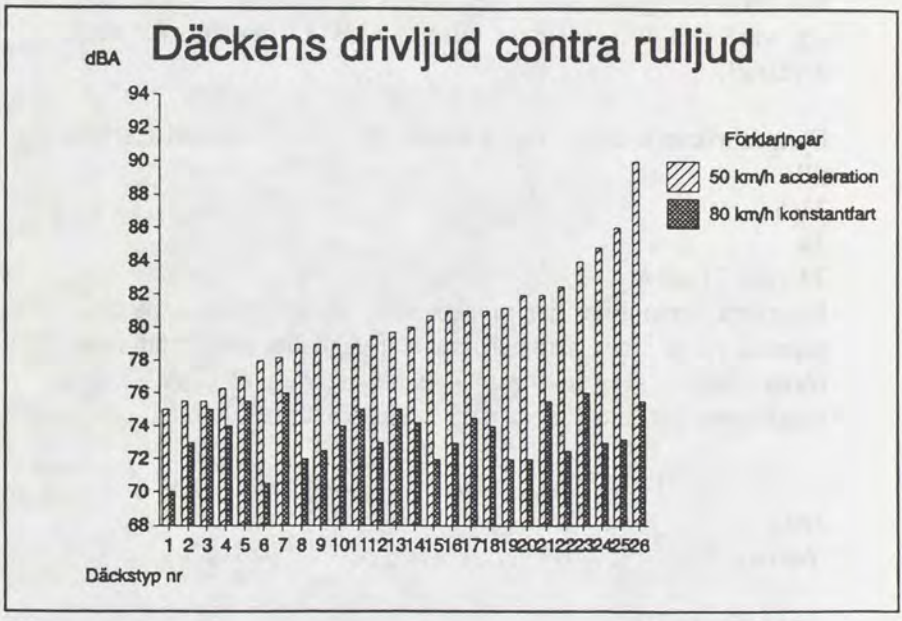
Fyra fabrikanter anger totala däcksbullret vid personbilscertifiering till:
71.5
74
73 resp 71 dBA
Eftersom personbilar har mycket olika effekt kan uppgifterna stämma t.o.m. med samma däck och vägbana. För Jettan med förhållandevis svag motor antages bullret vara 71 dBA. Certifieringsfarten har antagits vara 55 km/h. Detta resulterar i:

	Totalt däcksbuller	Däckets drivljud
Jetta	71	67.7
Volvo	72.4	70.1

Analysmetod 2:
Volvo har utfört prov med lastbilar som är extra hårt bullerkapslade i experimentsyfte. Resultaten finns redovisade i ref. 20, och medger via passningsräkning en beräkning av drivljudet. Volvo kommer fram till att totala däcksbullret är 1.5 dBA högre vid konstantfartskörning än vid frirullning. Ecotraffic har provat Volvos modell genom att anta en olinjäritet i form av att däckens totalljud aldrig är mindre än rulljudet + 1.5 dBA. Detta antagande leder dock i beräkningarna till **negativt** drivlinebuller för vissa maxeffektdriftsfall. Genom att minska siffran till 0.5 dBA, så **ökar** å andra sidan realismen i beräkningarna, varför denna korrektion har införts.
Det bör observeras att den officiellt tillgängliga kunskapen om drivljudet är mycket bristfällig. Ovanstående utgör endast ett sätt att försöka strukturera, kvantifiera och förklara fenomenet på dagens kunskapsnivå. Teorierna i analysmetod 1 är ej bevisade med praktiska prov. Främst kan fordonslasten tänkas ha en annan inverkan än den antagna, och kraft-ljud beroendet behöver inte vara linjärt. Om så skulle vara fallet, så är troligen bullerbidraget från däckens drivljud större än vad som antagits.

I referens 24 visar MAN att drivljudet varierar mycket mer än rulljudet mellan olika däckstyper. För 26 olika däckstyper jämför

man rulljudet vid 80 km/h med drivljudet vid fullgasacceleration vid 50 km/h.



Vägyta

Vägytan påverkar däck/vägbanebullret. Oljegrus och väg med s.k. ytbehandling ger speciellt i nyskick ett ökat buller med någon dBA. Dränasfalt ger när det är nytt en bullersänkning på 3-6 dBA, typiskt 3 dBA. Dränasfalt är emellertid så ovanlig i Sverige att dess inverkan på medelnivåerna försummas.

Data har hämtats från Vägverkets vägdatabank. Andelen vägar med olika beläggning framgår nedan:

1. Europaväg + Riksväg + Primärlänsväg

	1977	1992
Bitumenväg	16.973 km	21.034 km
Oljegrus + ytbelagd	4.192 km	4.688 km
Andel oljegrus+ytbel.	25%	22%

2. Sekundärlänsväg + Tertiärlänsväg

	1977	1992
Bitumenväg	13.610 km	25.043 km
Oljegrus + ytbel + grus	58.610 km	46.620 km
Andel bullrig yta	431%	186%

På de hårdtrafikerade vägarna där bullerstörningar kan antas vara vanligare har således ingen väsentlig förändring skett, varför ingen korrektion för vägytan har lagts in i historiska data.
Tiden har inte medgett att göra samma kontroll av vägyteutvecklingen hos kommunerna, vilken därför, utan grund, antas vara lika.

ÖVRIGT BULLER

Bullermiljön i de större städerna består av betydligt mer än fordonens drivline och däcksbuller.
Till begreppet "övrigt buller" inkluderas här:
Slammer
Signalhorn
Bromsskrik
Störande människor
Defekta fordon
Tjuvlarm
Avgasbroms
Arbetsfordons tillsatsaggregat
Buskörning och annan extra hård körning

Någon seriös kartläggning av ovanstående har inte utförts så vitt bekant. Rapportförfattarens personliga bedömning efter att ha gjort en "mikroundersökning" en halv dag i Stockholm är att effekten av ett åtgärdspaket som inte tar hänsyn till en stor del av ovanstående störkällor kommer att bli starkt begränsad. Forskningsbehovet är här stort.

MAXIMALNIVÅER

Huvuddelen av denna rapport behandlar utvecklingen av den s.k. ekvivalenta ljudnivån, dvs medelnivån. Ljudnivåfluktuationer i tid och rum har medelvärdesbildats. Forskningen visar dock att människor störs mer av maximalnivåer än ett högt monotont ljud. Som ett komplement är det därför intressant att studera hur maximalnivåer

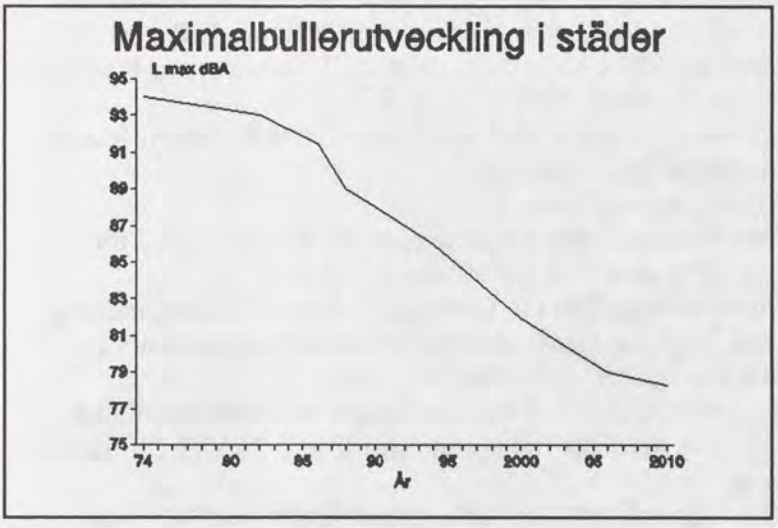
från tillfälliga bullertoppar har utvecklats genom åren, och kan förväntas utvecklas i framtiden.

Maximalnivåer kan åstadkommas av såväl personbilen, lastbilen som vad som ovan kallats "övrigt buller". Det är sannolikt att övrigt buller till stor del svarar för maximalnivåerna, men då kunskapsläget här är för dåligt behandlas detta inte vidare i denna rapport.

Personbilen har jämfört med lastbilen en större effekt per ton, och ett större varvtalsområde på motorn. Drivlinebullret från personbilen ökar snabbt med ökat varvtal. Detta sammanslaget gör att det är lätt att åstadkomma maximalbullernivåer med personbilen genom ett "tufft" körsätt. Detta inkluderas dock i "övrigt buller" som behöver kartläggas bättre. Vid normala körsätt är det med god marginal lastbilen som svarar för maxbullernivåerna.

I denna analys studeras därför endast lastbilen. I städer åstadkommes maxbullernivåer vid omslag till grönt ljus. På landsvägen åstadkommes maxnivåer i uppförsbackarna. Det förra driftsfallet motsvarar ganska väl en acceleration enligt bullercertifieringsförfarandet ISO 362. Vidare är det rimligtvis de bullrigaste lastbilarna som ger de högsta maxnivåerna, och de bullrigaste lastbilarna kan antas ha en nivå som nära överensstämmer med certifieringsvärdet. Resultatet blir en beskrivning av hur gränsvärdet för tunga fordon har skärpts genom åren, men omräknat med hänsyn till utbytestakten av gamla fordon i trafiken. Detta visas i diagrammet nedan. Kurvan gäller för extremfallet att den bullerstörde befinner sig nära ljussignalen vid omslag till grönt ljus, och att bakgrundsnivån från andra fordon är låg.

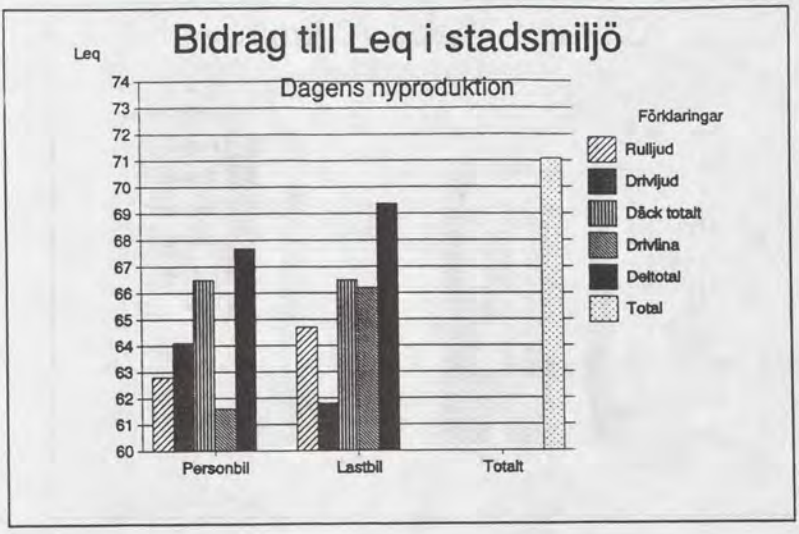
Att göra en specifik kurva enbart för uppförsbacke är tveksamt med dagens kunskapsläge. Enligt en utredning på annat ställe i rapporten kan olika delbullerkällor antas dominera i olika lutningar, och bullerutvecklingen blir därmed också olika för olika lutningar.



REFERENSER

1. Bilismen i Sverige 1991
2. VTI framtida transporter i Sverige 1992
3. VTI meddelande 675, Hastighetsuppföljning på landsväg
4. Heinrich Steven, Fige Investigation on a measuring method for the tyre/road noise of passenger cars. Proc. of Introc 90 Göteborg.
5. Naturvårdsverkets informerarserie. Beräkningsmodell för vägtrafikbuller. Del 2 Bakgrundsmaterial.
6. Heinrich Steven, Fige Recent German experience with open-pored surfacings. Proc of Introc 90 Göteborg.
7. Naters, P.E: Commercial Vehicle Exterior Noise. Proc. 14th International Automobile Technical Congress of FISITA, Lonon 25-30 Juni 1972
8. Ullrich.S.: Rollgeräuschmessungen der Bundesanstalt fur Strassenwesen an Stassen mit. unterschiedlichen Decken und einem Innentrommelprufstand. Proc. Internationales Seminar Mitteilung Nr 57, ETH, Zurich, Schwitzerland 9-10 febr 1984.
9. Ejsmont J.A.: Tire/Road Noise. Comparision of Road and Laboratory Measurements and Influence of some Tire Parameters on the generation of Sound. Report 244A, VTI 1982
10. Sandberg et.al. Vehicle related parameters affecting tire/road noise. Proc. Introc 90 Göteborg.

11. Leasure W.A. Jr et.al. "Automobile Tire Noise: Result of a Pilot study and Review of the open Litterature", Report No. DOT-TST-76-4 U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 20590 (1975).
12. VTI notat TF52-09 1987.03.10 Korrektion för vägyta vid beräkning av vägtrafikbuller.
13. Vägverkets vägdatabank
14. Naturvårdsverkets informerarserie. Beräkningsmodell för vägtrafikbuller. Del 1 Beräkningsmodell.
15. Bundesministerium fur Bauten u. Technik Strassenforschung Heft 241 "Das Geräuschverhalten des Strassenverkehrs an Steigungs und Gefällestrecken"
16. Vägbeläggningar i de Nordiska länderna. Sammanställning utförd åt Nordiska Bullergruppen 1985-10-24 VTI Ulf Sandberg
17. "Die Entwicklung der Geräuschemissionen von PKW und LKW im Zeitraum von 1970 bis 1990" S. Ullrich, Bundesanstalt fur Strassenwesen, Strasse + Autobahn 11/91.
18. "How more stringent vehicle noise emission limits in the future will influence precent traffic noise prediction models" Truls Berge, Acoustics Research Center, SINTEF DELAB, Trondheim. Proc. Internoise Toronto 1992.
19. Lydteknisk Institut, Danmark. Rapport nr LI 972/91 Nordisk beregningsmetode for vejtrafikstöj. Nye basisvaerdier efter skaerpelse af stöjgaenserne for biler? Delrapport 1, Jörgen Kragh.
20. The influence of tyre/road noise on heavy vehicle noise during type approval testing. Leif Åhsberg Volvo Truck Corporation, Proc of Introc 90 Aug 90 Sweden
21. Ejsmont J.H. "Tire/Road noise and rolling resistance - is there a trade off?" Technical Univ. of GDansk proc. Introc 90 Sweden
22. Sandberg U "Noise emission from heavy trucks meeting the 84 and 80 dBA limits" Proc. 1992 International Congress of noise control engineering Toronto Canada.
23. VTI notat T27. Metod för generering av typvägar.
24. H.P. Fingerhut, MAN Nutzfahrzeuge AG, Germany "On problems with tyre/road noise on trucks of high engine rating."

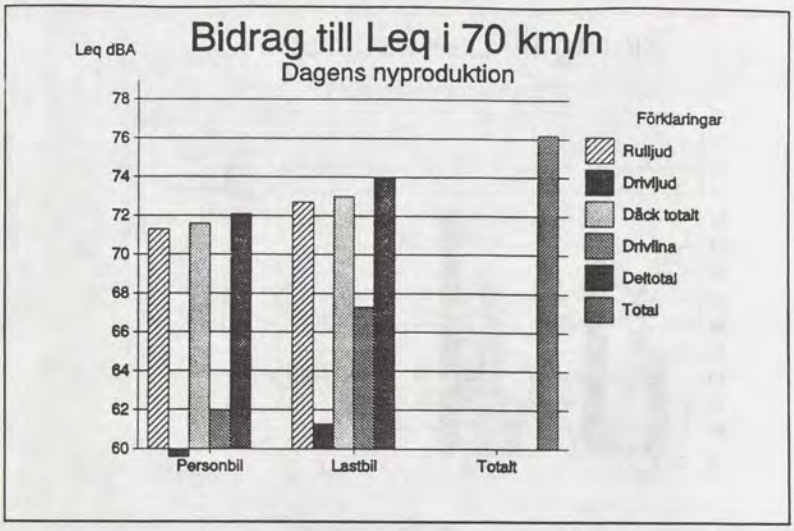


Tolkning av diagram
Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

Lastbilens och personbilens buller har viktats efter deras förekomst i trafiken (L_{eq}-påverkan), därav att lastbilen inte är angiven som markant bullrigare än personbilen. Önskas en jämförelse av **en** lastbil kontra **en** personbil, så skall 12 dBA adderas till lastbilens buller. Lastbilarna har således en betydligt större inverkan på maximalbullernivåer än personbilarna.

Diagrammet avser en teoretisk situation där alla fordon motsvarar dagens nyproduktion, är felfria och i originalskick, och där buskörning och liknande inte förekommer. Personbilens drivlinebuller liksom däckens drivljud ökar mycket starkt vid buskörning. Avgasljudet kan bli helt dominerande i defekta system. Ett måttligt inslag av äldre fordon kan påtagligt påverka det subjektiva intrycket.

Ju lägre stapelhöjd, ju större mät/beräkningsosäkerhet. Staplar som ligger mer än 5 dBA under deltotal bör därför ses som indikativa.

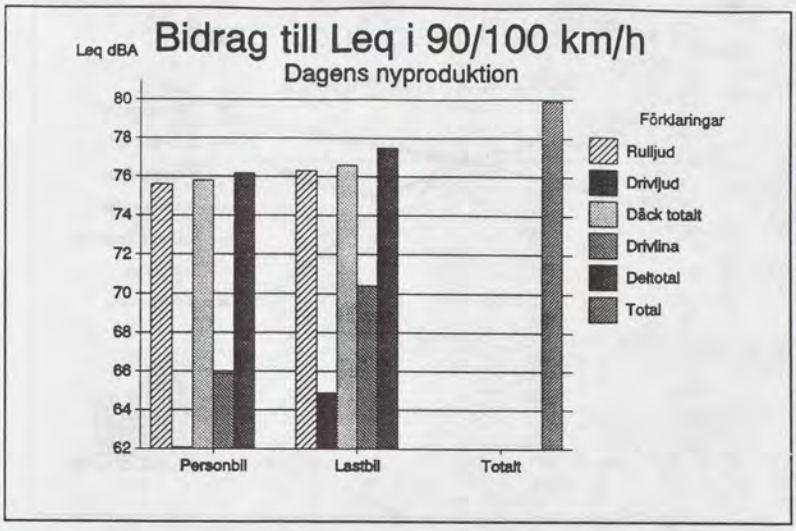


Tolkning av diagram
Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

Lastbilens och personbilens buller har viktats efter deras förekomst i trafiken (L_{eq}-påverkan), därav att lastbilen inte är angiven som markant bullrigare än personbilen. Önskas en jämförelse av **en** lastbil kontra **en** personbil, så skall 10 dBA adderas till lastbilens buller. Lastbilarna har således en betydligt större inverkan på maximalbullernivåer än personbilarna.

Diagrammet avser en teoretisk situation där alla fordon motsvarar dagens nyproduktion, är felfria och i originalskick. Avgasljudet kan bli helt dominerande i defekta system.

Ju lägre stapelhöjd, ju större mät/beräkningsosäkerhet. Staplar som ligger mer än 5 dBA under deltotal bör därför ses som indikativa.

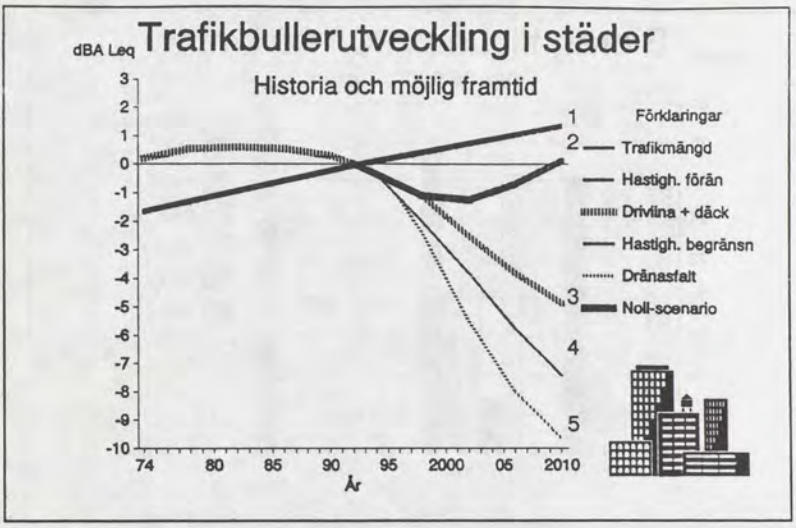


Tolkning av diagram
Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

Lastbilens och personbilens buller har viktats efter deras förekomst i trafiken (L_{eq}-påverkan), därav att lastbilen inte är angiven som markant bullrigare än personbilen. Önskas en jämförelse av **en** lastbil kontra **en** personbil, så skall 10 dBA adderas till lastbilens buller. Lastbilarna har således en betydligt större inverkan på maximalbullernivåer än personbilarna.

Diagrammet avser en teoretisk situation där alla fordon motsvarar dagens nyproduktion, är felfria och i originalskick. Avgasljudet kan bli helt dominerande i defekta system.

Ju lägre stapelhöjd, ju större mät/beräkningsosäkerhet. Staplar som ligger mer än 5 dBA under deltotal bör därför ses som indikativa.

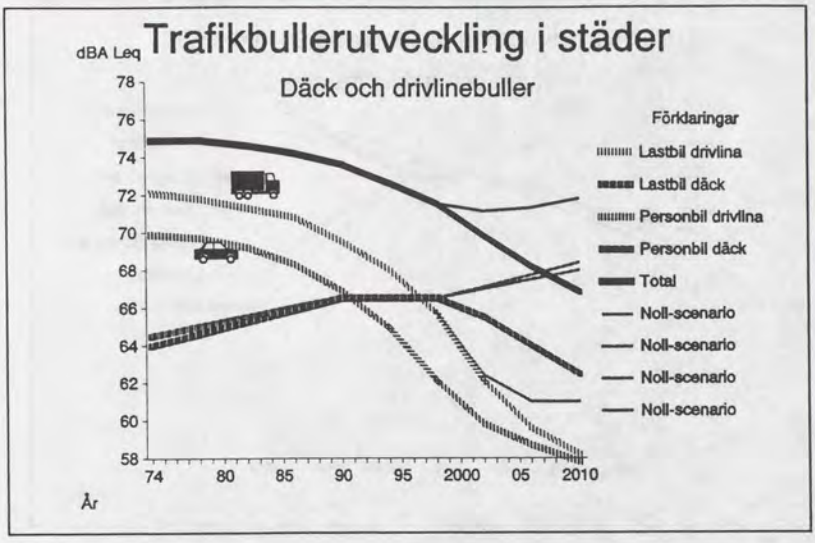


Tolkning av diagram
Kurvan för nollåtgärdsscenariot visar absoluta förändringen. Övriga kurvor visar successivt summerade effekter. Exempelvis är inte effekten av kurva 5 "dränasfalt" 6 dBA år 2010 utan drygt 2 dBA.

Hänsyn har tagits till att trafiken består av såväl nya som gamla fordon. Hänsyn har ej tagits till defekta fordon, fordon som ej är i originalskick, eller till buskörning slammer och liknande tillskotts-buller.

Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

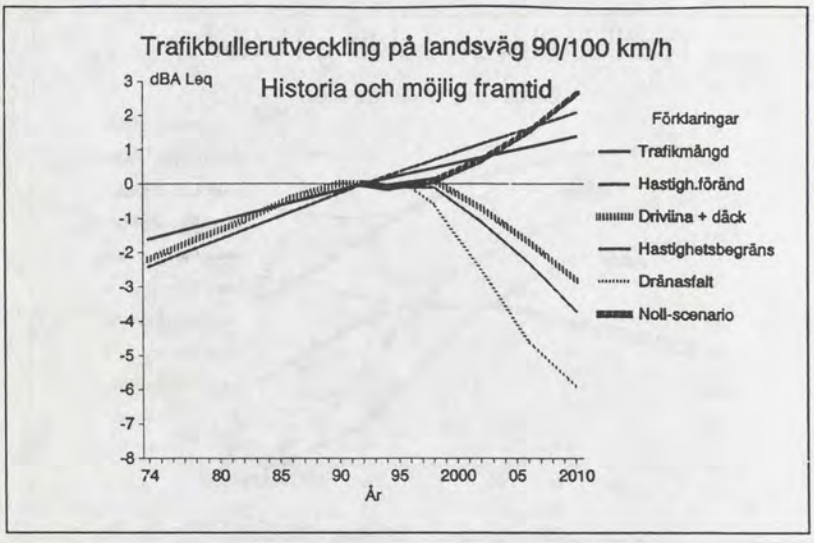
Bullerreduktionen från drivlina och däck beror av varandra såtillvida att inverkan av ett däckbullerkrav är större om drivlina är tyst och vice versa. Relationen mellan däck och drivlinebuller utreds istället på nästa sida.



Tolkning av diagram
Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer. De tunnare kurvorna avser nollåtgärdsscenariot, och de tjockare lågbullerscenariot.

Lastbilens och personbilens buller har viktats efter deras förekomst i trafiken (L_{eq}-påverkan), därav att lastbilen inte är angiven som markant bullrigare än personbilen. Önskas en jämförelse av **en** lastbil kontra **en** personbil, så skall 12 dBA adderas till lastbilens buller. Lastbilarna har således en betydligt större inverkan på maximalbullernivåer än personbilarna.

Hänsyn har tagits till att trafiken består av såväl nya som gamla fordon. Hänsyn har ej tagits till defekta fordon, fordon som ej är i originalskick, eller till buskörning slammer och liknande tillskottsbuller.

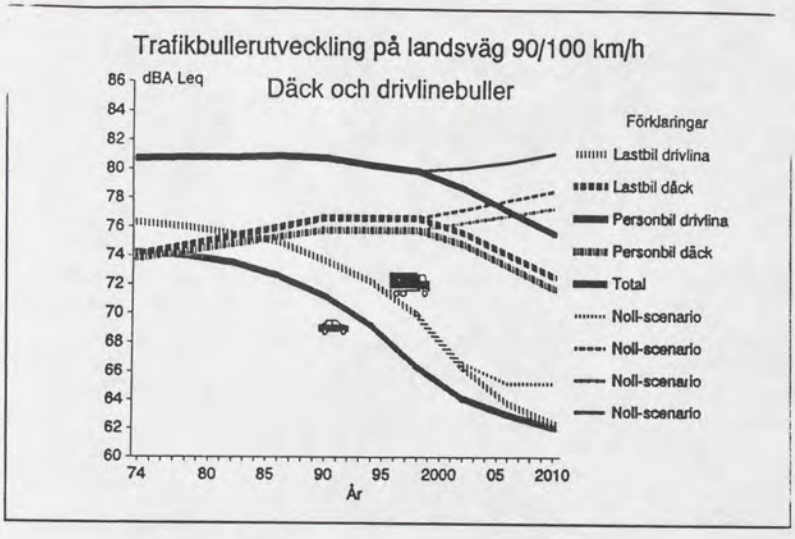


Tolkning av diagram
Kurvan för nollåtgärdsscenariot avser absoluta förändringar. Övriga kurvor visar successivt summerade effekter. Exempelvis är inte effekten av kurva 5 "dränasfalt" 6 dBA år 2010 utan drygt 2 dBA.

Hänsyn har tagits till att trafiken består av såväl nya som gamla fordon. Hänsyn har ej tagits till defekta fordon eller fordon som ej är i originalskick.

Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

Bullerreduktionen från drivlina och däck beror av varandra såtillvida att inverkan av ett däckbullerkrav är större om drivlina är tyst och vice versa. Relationen mellan däck och drivlinebuller utreds istället på nästa sida.



Tolkning av diagram
Absolutnivån på L_{eq} är inte avsedd att ha någon innebörd, utan endast relativa nivåer.

Lastbilens och personbilens buller har viktats efter deras förekomst i trafiken (L_{eq}-påverkan), därav att lastbilen inte är angiven som markant bullrigare än personbilen. Önskas en jämförelse av en lastbil kontra en personbil, så skall 10 dBA adderas till lastbilens buller. Lastbilarna har således en betydligt större inverkan på maximalbullernivåer än personbilarna.

Hänsyn har tagits till att trafiken består av såväl nya som gamla fordon. Hänsyn har ej tagits till defekta fordon, fordon som ej är i originalskick, eller till buskörning slammer och liknande tillskottsbuller.

ÅTGÄRDER MOT DÄCK/VÄGBANEBULLLER

Av Ulf Sandberg

Statens väg- och trafikinstitut
581 95 Linköping

Utredning genomförd på uppdrag av:
Saab-Scania AB
Statens naturvårdsverk
"Handlingsplan mot buller"

1993-04-30

FÖRORD

Denna rapport är utförd på uppdrag av den statliga utredningen "Handlingsplan mot buller" (dir. 1992:20, Miljö- och naturresursdepartementet) och har finansierats av följande:

Saab-Scania AB
Statens naturvårdsverk
"Handlingsplan mot buller"

Rapporten utgör en aktuell "state-of-the-art"-redovisning vilken bygger på material framtaget i andra projekt kompletterat med information eller bearbetningar som ej tidigare redovisats. God hjälp vid bearbetningar av resultat samt figursammanställningar har varit Meiying Dong, VTI. En stor del av skrivarbetet samt viss översättning från engelska till svenska har utförts av Karin Nilsson, VTI. Väsentliga delar av det bakomliggande materialet har framtagits i forskningsprojekt där samarbete har ägt rum med Dr. Jerzy A. Ejsmont vid Tekniska Högskolan i Gdansk. Många av de projekt som ligger till grund för arbetet har genomförts under ledning av den s k Fordonsbullergruppen (se kapitel 4.5 i rapporten) samt stötts finansiellt av dess medlemmar. Mycket har också genom åren utförts inom ramen för VTI:s egen forskningsbudget. Författaren är tacksam mot samtliga nämnda medarbetare och finansiärer för deras stöd.

Det har varit en strävan att utforma de olika kapitlen tämligen självständigt från varandra. Därmed borde det underlättas för läsaren att använda rapporten som ett aktuellt "uppslagsverk" inom ämnet och att koncentrera sig på det mest intressanta för sammanhanget.

Det förutsättes att läsaren har elementära förkunskaper i akustik av den arten att de vanligaste måtten är förståeliga. Därutöver skall inga nämnvärda förkunskaper behövas.

Författaren ensam ansvarar för innehållet i rapporten.

Ulf Sandberg
Statens väg- och trafikinstitut (VTI)

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		sida
SAMMANFATTNING		7
1.	BAKGRUND	11
2.	UPPDRAG	14
3.	PROBLEMET DÄCK/VÄGBANEBULLER	15
3.1	Allmänt	15
3.2	Problemanalys	16
3.3	Föreslagna lösningar	17
3.4	Gäller problemet personbilsdäck eller lastbilsdäck?	18
4.	HISTORIK	21
4.1	Allmänt	21
4.2	Mätmetoder	25
4.3	80-dB(A)-målet	27
4.4	Har fordon och bildäck blivit tystare?	29
4.5	Svensk forskning inom området	36
4.6	Informationsutbyte: Internationella konferenser	38
4.7	Informationsutbyte: Litteratur	39
5.	DÄCK/VÄGBANEBULLRETS ANDEL AV FORDONSBULLRET	41
5.1	Inledning	41
5.2	Personbilar	43
5.3	Lastbilar	45
6.	ANSVARSFÖRDELNING	47
7.	GENERERINGSMEKANISMER	51
8.	MÄTMETODER	55
8.1	Inledning	55
8.2	ISO 362 och motsvarande	55
8.3	Förbirullningsmetoden	57
8.4	Trummetoden	58
8.5	Mätvagnsmetoden	58
8.6	Förbifartsmetoden med mätvagn	59

8.7 Statistiska förbifartsmetoden 60
8.8 Kontrollerade förbifartsmetoden 60
8.9 Ljudabsorptionsmetoden 61
8.10 Referensvägytor 64
8.11 Referensdäck 65

9 INTERNATIONELLT SAMARBETE SAMT INTERNATIONELLA STÄLLNINGSTAGANDEN 68
9.1 Internationellt samarbete 68
9.2 Viktigare internationella ställningstaganden 69

10 FRAMTIDSUTSIKTER 72
10.1 Förmodad utveckling 72
10.2 Gemensam nordisk ståndpunkt rörande emissionens förändring 74

11 OBJEKTIVA OCH SUBJEKTIVA MÅTT FÖR DÄCK/VÄGBANEBULLER 78

12 HÄNSYN TILL VÅT VÄGYTA SAMT DUBBANVÄNDNING 82

13 ÖNSKVÄRDA MÅLNIVÅER 82

14 ÅTGÄRDER MOT DÄCK/VÄGBANEBULLER 84
14.1 Allmänt 84
14.2 Körsätt (förarberoende åtgärder) 84
14.2.1 Lägre hastighet 84
14.2.2 Lugnare körsätt 86
14.2.3 Minskad körsträcka 87
14.3 Fordon 87
14.3.1 Hjulinställning 87
14.3.2 Bulleroptimerad automatisk växellåda 87
14.3.3 Extern styrning av körsätt och hastighet 88
14.3.4 Lättare fordon 88
14.3.5 Inbyggnad av hjulen 89
14.4 Däck 89
14.4.1 Dimensioner 89
14.4.2 Hårdhet och topphastighet 90
14.4.3 Slitbanemönster 91
14.4.4 Stomme 93
14.4.5 Kompositthjulet 93
14.4.6 Andra okonventionella däck 95

14.5 Väg 96
14.5.1 Vägens allmänna utformning 96
14.5.2 Dränerande vägbeläggning 96
14.5.3 Poroelastisk vägbeläggning 98
14.5.4 Vägbeläggning, optimering av textur 99
14.5.5 Vägunderhåll 101
14.5.6 Brunnar och andra ojämnheter 101
14.6 Spridningsbegränsande åtgärder 102
14.7 Diskussion om vikten av standardisering 104
14.8 Gränsvärdesfrågor 107
14.8.1 Inledning 107
14.8.2 Fordon 108
14.8.3 Däck 109
14.8.4 Väg 114
14.8.5 Förare och inköpare 115
14.9 Åtgärder vid väta på vägbanan 116
14.10 Åtgärder för dubbade vinterdäck 117
14.11 Informationsutbyte 117
14.12 Begränsningar 118

15 FoU-BEHOV 119

16 PRIORITERING AV ÅTGÄRDER SAMT AKTIONSPLAN 124
16.1 Lista med åtgärder 124
16.2 Aktionsplan 127
16.3 Diskussion 128

17 SLUTSATSER 131

18 REFERENSER 135

BILAGA 1:
UTDRAG UR TIDSKRIFTEN DÄCK DEBATT, NR 2 1993 140

Åtgärder mot däck/vägbanebuller

av
Ulf Sandberg
Statens väg- och trafikinstitut
581 95 Linköping

SAMMANFATTNING

Denna rapport utgör ett bidrag till en av regeringen tillsatt utredning kallad "Handlingsplan mot buller" vilken har som en av sina uppgifter att föreslå åtgärder för att minska bulleremissionen från vägtrafiken. Det är nämligen vägtrafiken som är den i samhället helt dominerande källan till bullerstörningar. Vägtrafikbullret, som uppkommer i ett samspel mellan förare, fordon, bildäck och vägbeläggning, kan indelas i två huvudkomponenter: Drivenhetsbuller och däck/vägbanebuller. Det förra kommer från bl a motor, avgas och transmission och det senare från däckens rullning mot vägytan. Båda delkomponenterna utgör idag avgörande delar av vägtrafikbullret och måste reduceras om bullerexponeringen i samhället skall sänkas. Drivenhetsbullret var det värsta problemet för något decennium sedan medan däck/vägbanebullret förefaller att bli relativt sett viktigare med tiden.

Problemet med däck/vägbanebuller kan struktureras i två huvuddelar:

(1) Ett mätmetodproblem vilket innebär att bullret från bildäcken (oavsiktligt) inverkar på de resultat som erhålls vid provning av fordonsbuller enligt lagkrav och där man i första hand önskar reglera drivenhetsbullret. Detta begränsar möjligheterna att kontrollera drivenhetsbullret.

(2) Ett miljöproblem som består i att för de modernaste fordonen bullret från bildäcken vid frirullning eller normal drivning dominerar över drivenhetsbuller vid i stort sett alla förhållanden då fordonen kör med konstant hastighet.

Det förstnämnda problemet behöver lösas för att kunna reglera drivenhetsbullret på ett lämplig sätt och det andra behöver lösas för att reducera den direkta exponeringen för däck/vägbanebuller i samhället.

För de fordon som konstrueras för de nya EG-normer som avses gälla från och med 1996 kommer däck/vägbanebullret att dominera över drivenhetsbullret vid i stort sett alla "normala" körsätt utom de där

fordonen accelererar från en låg hastighet upp till 40-50 km/h (eller motorbromsar från en sådan hastighet) samt på tomgång vid stillastående. I de senare fallen gäller det motsatta, dvs att drivenhetsbullret dominerar. Av de nya fordon som produceras idag uppfyller de flesta personbilar och vissa bussar och lastbilar redan kommande normer. På grund av att äldre fordon, som inte hade så höga krav på sig vad gäller drivenhetsbuller, finns kvar i trafik under ytterligare en tid har däck/vägbanebullret dock inte ännu nått en fullt så dominerande roll i vägtrafikbullret som ovan skisserades, men problemen är redan tillräckligt besvärande.

Vad gäller bulleremissionen från bildäck i samhället gäller problemet i lika hög grad däck för lätta som för tunga fordon.

När de nya EG-kraven är i kraft om ett par år har kraven på fordonen i realiteten skärpts med 10-15 dB(A) under en tidsrymd av 25 år, beroende på typ av fordon. Förutsägelser som gjordes för ett tiotal år sedan om att däck/vägbanebullret skulle begränsa effektiviteten hos de nya gränsvärden för fordonsbuller som planerades (ett uppfyllande av det s k 80-dB(A)-målet för tunga fordon m m) har visat sig slå in. För fritt flytande trafik tycks således inga nämnvärda nominella bullerreduktioner ha erhållits under de senaste 15 åren trots kravskärpningarna på fordonen.

Trots detta är det uppenbart att fordonens drivenheter har blivit tystare genom åren. Däremot förefaller det som om de moderna däcken ger minst lika höga bullernivåer som de som användes för 30-70 år sedan. Det finns en rad indikationer på att de senaste decennierna har inneburit starkare buller från bildäcken, vilket kan förklaras av att däcksutvecklingen har gått mot bredare däck, med annorlunda mönster för att trots den ökade bredden ge god dräneringsförmåga vid höga hastigheter, samt annorlunda material för att klara allt högre topphastigheter. Utvecklingen mot s k högprestandabilar och högprestandadäck dimensionerade för hastigheter upp till 300 km/h synes ha inneburit en från bullersynpunkt olycklig optimering. Trenderna i extremfallen återspeglas även allmänt.

Sverige har alltsedan mitten av 70-talet deltagit tämligen aktivt i utvecklingen inom ämnesområdet. Bl a har detta manifesterats i anordnandet av två uppskattade internationella konferenser om däck/vägbanebuller.

Ansvaret för emissionen av däck/vägbanebuller delas av fordonsindustrin, däckindustrin, däckregummerarna, väghållarna och fordonsförarna, samt i någon mån även av inköpare/beställare av fordon och trafiktjänster eftersom dessa kan påverka marknaden. Åtgärder för en effektiv bullerreduktion måste riktas mot samtliga dessa ansvariga.

Det internationella samfundet har uttryckt en medvetenhet om problemen i princip. Detta har manifesterats t ex genom att det f n pågår arbete med standardisering och informationsspridning inom ett stort antal arbetsgrupper och organisationer. I rapporten påpekas emellertid att man måste vara uppmärksam på behoven av en harmonisering av metoder och en samordning av arbetsinsatserna, annars kan problemen i värsta fall t o m förvärras.

Standardiserade mätmetoder för däck/vägbanebuller finns i dagsläget ej. Detta omöjliggör alla typer av regleringar såvida de inte bygger på att endast föreskriva vissa typer av däck eller vägbeläggningar. Emellertid pågår utveckling av mätmetoder för klassificering av bulleregenskaper för såväl däck som vägyta (separat) inom ISO. Särskilda problem är t ex att bestämma referensytor för att klassificera däck samt referensdäck för att klassificera vägytor.

En analys av framtidsutsikterna visar att radikala åtgärder snabbt behöver vidtas mot däck/vägbanebullret. Optimismen bland experterna vad gäller utvecklingen fram till år 2010 är dock inte påfallande. I rapporten föreslås som ett långsiktigt, behovsanpassat mål att däck/vägbanebullret genom en kombination av åtgärder skall reduceras fram till år 2015 med 15 dB(A). Detta kräver i så fall samfällda insatser fördelade på samtliga ansvariga enligt ovan. Det bedöms t ex att gränsvärden för buller från däcken behöver fastställas och att de sedan stegvis behöver skärpas med totalt ca 10 dB(A) under en 20-årsperiod. Likaså måste åtgärder vidtas för en användning i stor skala av "lågbullrande" vägbeläggningar, där man så småningom kanske behöver sikta på en bullerreduktion på upp till 8 dB(A) i nytillstånd som följd av byte till högeffektivt dränerande vägbeläggning. Även för fordonen krävs vissa åtgärder för att sänka däck/vägbanebullret. I samtliga fall krävs en hel del utvecklingsarbete för att klara sådana mål. Slutligen måste åtgärder riktade mot förarna vidtas för att i bullerkänsliga vägavsnitt åstadkomma ett lugnare körsätt.

I rapporten diskuteras en mängd olika åtgärder. Inte minst diskuteras möjligheter och problem med att sätta gränsvärden för däck/väg-

banebuller. En av de viktigaste och mest akuta åtgärderna bedöms vara att omrikta fordons- och däckoptimeringen till topphastigheter som från miljö-, ekonomi- och säkerhetssynpunkt är rimliga. Man måste vara beredd att välja mellan en miljöriktig optimering eller en fortsatt trend mot extremt snabba bilar och till dem optimerade däck.

Vägverket har i samråd med Naturvårdsverket använt planeringsansatsen att däck/vägbanebullret skall reduceras till år 2015 med 7 dB(A) uttryckt som ekvivalentnivå och 10 dB(A) som maximalnivå. Denna ansats bedöms som rimlig, men kräver att huvuddelen av de åtgärder som föreslås i rapporten genomförs och blir lyckosamma. För att detta skall inträffa krävs ett aktivt arbete på alla fronter.

I rapporten föreslås en aktionsplan för att uppnå det angivna bullerreduktionsmålet. En sådan plan behöver antas för att man skall kunna samordna insatserna och för att man skall ha något att fortlöpande avstämma utvecklingen mot. Det föreslås att Sverige skall ta initiativ för att en sådan aktionsplan skall antas på en internationell nivå eftersom Sverige inte ensamt kan väntas uppnå särskilt påtagliga resultat.

Författaren bedömer att det långsiktiga målet är uppnåeligt, möjligen med ett frågetecken för däcken för tunga fordon. Det kräver dock att tämligen radikala åtgärder snabbt vidtas över ett brett spektrum och inriktade på samtliga delansvariga för att "få stopp" på den nuvarande utvecklingen och för att vända den till en bullerreduktion. Möjligheterna att uppnå målet med 15 dB(A) total bullerreduktion kräver att man för en tid lägger en mycket hög prioritet vid just extern bullerreduktion. Det kan inte uteslutas att detta kan sakta ner utvecklingen mot förbättringar av andra egenskaper, men målet är att bullerförbättringarna skall uppnås utan att några andra egenskaper i vart fall skall bli sämre. Kan man på kort tid utveckla bildäck med goda egenskaper för nästan ofattbart höga farter vore det egendomligt om man inte kan utveckla tystare däck för lagliga farter; om viljan finns och resurserna tillsätts. Man måste också vara beredd på att bullerreduktion inte alltid kan erhållas "gratis". Samhällets huvuduppgift är nu att skapa incitament för att utvecklingen skall gå i önskvärd riktning. Sådana incitament har hittills varit mycket rudimentära.

1. BAKGRUND

Regeringen har tillsatt en utredning kallad "Handlingsplan mot buller" vilken har som en av sina uppgifter att föreslå åtgärder för att minska bulleremissionen från vägtrafiken. Det är nämligen vägtrafiken som är den i samhället helt dominerande källan till bullerstörningar. Vägtrafikbullret uppkommer i ett samspel mellan förare, fordon, bildäck och vägbeläggning. I dagsläget utgörs en väsentlig del av vägtrafikbullret av det som brukar sammanfattas såsom "drivenhetsbuller" (från huvudsakligen motor, transmission, luftinsug och avgas). Den andra väsentliga delen utgörs av det som alstras vid bildäckens rullning mot vägbanan - det s k däck/vägbanebullret.

I motsats till vad som gäller för det buller som alstras av fordonens drivenheter finns idag inga gränser uppställda för hur däck/vägbanebullret skall begränsas. Emellertid har sedan ungefär 20 år gränsvärden för drivenhetsbuller funnits i de flesta industrialiserade länder. Dessa gränsvärden bygger på en mätning av totala fordonsbullret (inkl däck/vägbanebuller) vid ett körsätt som innebär att fordonen olastade accelereras med fullgas på en låg växel från en ingångshastighet på mellan 20 och 50 km/h förbi en mikrofon vid sidan av vägen eller provbanan (7.5 m från körfältets mitt). Körsättet är avsiktligt valt så att drivenhetsbullret skall dominera och däck/vägbanebullret skall vara försumbart.

Mätmetoden har historiska orsaker. Den härrör från ett standardiseringsarbete som påbörjades redan i slutet av 50-talet, då det med fog kunde antas att man vid det angivna körsättet erhöll i stort sett endast drivenhetsbuller. Syftet var att erhålla ett mått på bulleremissionen som representerade det maximala buller som ett fordon kunde avge. Sedan har körsättet ändrats i sina detaljer men bevarandet av huvudprincipen innebär att förändringarna är tämligen marginella. Mätmetoden standardiserades såsom "ISO 362" och är förebild för alla reglementen som byggts upp kring fordonsbulleremission för fordon i rörelse. Se vidare kapitel 8.2.

När mätmetoden väl var accepterad uppsattes gränsvärden för hur mycket olika fordonskategorier tillåts bullra. Vid typprovning av fordonen fick således vissa bullernivåer ej överskridas. Det första direktivet inom EG kom år 1970, vilket innebar tämligen liberala gränsvärden som egentligen inte krävde några större insatser av fordonstillverkarna. Fr o m 1974 års fordonsmodeller infördes motsvarande gränsvärden i Sverige. Sedan dess har gränsvärdena

successivt skärpts till en nivå som idag innebär att drivenhetsbullret har måst sänkas avsevärt.

Nominellt ligger dagens gränsvärden i Sverige 7-8 dB(A) under de som först introducerades. Fr o m år 1996 kommer en ytterligare skärpning inom EG som innebär en nominell skärpning från 1974 på 10 dB(A) för personbilar och 12 dB(A) för de tyngsta lastbilarna förutsatt att Sverige då ingår i EG eller beslutar att anta dessa bestämmelser. Det innebär att ljudenergin har reducerats till ca 10 % av den "ursprungliga" och att det subjektiva störintrycket bör ha reducerats till mindre än hälften. Dessutom har ändringar i mätmetoden i praktiken inneburit en kravskärpning för de tunga fordonen på ytterligare 2-4 dB(A).

Denna skärpning av gränsvärdena har fått tre viktiga konsekvenser: För det första har fordonens drivenheter blivit så mycket tystare att denna bullerkälla idag - och än mer när de nya EG-gränsvärdena träder i kraft - är av väsentligt mindre betydelse än för ett 20-tal år sedan. Detta medför givetvis lägre specifik bullernivå (per fordon) än tidigare. Emellertid är problemet att däck/vägbanebullret inte har åtgärdats i motsvarande utsträckning och därför idag kraftigt reducerar nettoeffekten av det lägre drivenhetsbullret.

För det andra har reduktionen av drivenhetsbullret i kombination med utvecklingen mot allt accelerationsstarkare motorer medfört att den ursprungliga filosofin bakom ISO 362 inte längre håller - dvs däck/vägbanebullret kan inte längre försummas vid typprovningen av fordonen. I praktiken slirar bildäcken mer eller mindre vid den kraftiga accelerationen vilket bidrar starkt till att extremt och inte på något sätt typiskt däck/vägbanebuller uppstår.

De ovannämnda problemen behandlas mer utförligt och systematiskt i kapitel 3 nedan.

För det tredje gäller inte heller den ursprungliga filosofin bakom ISO 362 längre - att man skulle mäta det maximala buller ett fordon kan avge - eftersom däck/vägbanebullret vid vanliga landsvägshastigheter numera utgör det maximala buller som avges från fordonen.

Åtgärder mot fordonsbuller såsom det uppmäts vid acceleration enligt ISO 362 har alltså vidtagits i hög grad. Dessa åtgärder omfattar reduktionsmetoder såsom att utforma effektivare ljuddämpare, skärma av vissa bullerkällor (eller t o m hela motorn), effektivisera för-

bränningen, gå ner till lägre motorvarvtal, använda "ljudstummare" material eller lägga på stomljudsdämpande material, m m. Inför den kravskärpning som sker 1996 blir det i många fall nödvändigt att konstruera om motorerna. Teknikerna är dock konventionella och kända sedan länge och avvägningarna mellan önskemål och effekter är i grunden en praktisk/ekonomisk fråga liksom en fråga om hur snabbt åtgärderna kan genomföras. I praktiken har därför bulleremissionskraven varit resultatet av avvägningar som gjorts via olika former av "förhandlingar" mellan fordonstillverkare och myndigheter, främst inom ramarna för EG eller FN:s ekonomiska europakommission (ECE).

Vad gäller däck/vägbanebuller har inga lagkrav uppställts och inte ens standardiserade mätmetoder varit tillgängliga. Utvecklingen har dikterats av andra villkor än de akustiska. I stort sett finns ingen dokumenterad och aktuell överblick över vilka åtgärder för däck/vägbanebullerreduktion som står till buds. Denna utredning avser att redovisa problemets karaktär och omfattning, men framförallt vilka åtgärder som kan och bör vidtas framöver för att reducera emissionen från denna bullerkälla.

2. UPPDRAG

I den förfrågan som drog upp riktlinjer för uppdraget fanns bl a följande anvisningar vilka har bestämt inriktningen av denna rapport:

* En underlagsrapport såvitt avser problemet med däck/vägbanebullret skall tas fram. De frågeställningar som behöver belysas är hittills vunna erfarenheter inom området och dagens möjligheter att reducera däck/vägbanebuller.

* Rapporten skall belysa nu kända och framtida möjligheter att reducera buller från såväl däck som vägbeläggning.

* I detta sammanhang är det även angeläget att precisera de krav som behöver ställas för att uppnå målen med hjälp av tystare däck och användning av vägbeläggning som dämpar bullret från fordonen.

Det förutsättes att uppdraget avser utvändigt däck/vägbanebuller, dvs det som sprids till vägens omgivning. Invändigt däck/vägbanebuller stör de som färdas i fordonen och är en viktig marknadsfaktor som därmed ej behöver något särskilt studium i detta sammanhang.

3. PROBLEMET DÄCK/VÄGBANEBULLER

3.1 Allmänt

En internationell ad-hoc-grupp inom OECD för "Noise Abatement Policies" kom i en rapport år 1986, "Fighting Noise", till slutsatsen att nuvarande policy för bullerbekämpning kommer att medföra att några bullerproblem förblir olösta och är särskilt angelägna att behandla. Dessa redovisades som:

* Ökningen av de "grå zonerna", dvs områden där ljudnivån ligger inom 55-65 dBA.

* Exponering för flera bullerkällor. Idag behandlas varje källa för sig.

* Däck/vägbanebullret. Nuvarande regler för fordon tar inte hänsyn till detta.

Nedanstående analys är ett försök att strukturera det sistnämnda problemet i sina huvudbeståndsdelar. Såsom där poängteras är det viktigt att skilja på problemen som uppstår p g a besvärligheter vid mätning av fordonsbuller enligt ISO 362 eller motsvarande metoder och det problem som mest berör allmänheten, dvs bullret från fordon vid i huvudsak konstant hastighet.

Därutöver finns det en hel del problem som är mer av detaljkaraktär, av vilka några bör särskilt omnämnas:

* Är de konventionella bullermåtten adekvata för att beskriva däck/vägbanebullret representativt gentemot annat vägtrafikbuller?

* Hur åstadkomma mätmetoder som förenar enkelhet med precision och relevans? Hur undvika att misstagen som gjorts med ISO 362 eller motsvarande inte upprepas?

* Hur skall man bedöma/åtgärda däck/vägbanebuller då vägytorna är våta eller då dubbdäck används? Hittillsvarande forskning, modellarbete och åtgärder har varit starkt inriktade mot det "ideala" fallet med sommardäck på torra vägar.

3.2 Problemanalys

Huvudproblemet idag kan struktureras i tre delar med ganska olika innebörd:

1. "Mätmetodproblemet". Det finns en okontrollerad påverkan av däck/vägbanebuller på mätningar med accelererande fordon enligt EG-direktivet 70/157/EEC (som snart ersätts av 92/97/EEC), ECE-reglementet 51, ISO 362 och andra motsvarande mätmetoder. I dessa mätprocedurer, där egentligen däck/vägbanebullret avses vara försumbart, läggs ett extremt drivmoment på däcken samtidigt som fordonen körs olastade. Detta resulterar i ett mycket extremt driftsätt som medför i att däcken "slirar" i olika grad[1] vilket vanligtvis påverkar däck/vägbanebullret avsevärt. Eftersom nämnda tillstånd uppstår ganska sällan i verklig trafik och, om så sker, samtidigt resulterar i maximalt drivenhetsbuller, är denna typ av däck/vägbanebuller inget allvarligt problem för miljön. Eftersom det emellertid allvarligt påverkar uppmätta värden och förhindrar att drivenhetsbullret kan dominera, är det ett besvärligt mätmetodproblem. Det måste understrykas att eventuella regler baserade på sådant otypiskt däck/vägbanebuller är olämpliga för att reducera bullret från bildäck vid normala driftsätt, eftersom andra alstringsmekanismer kommer att dominera under sådana trafikförhållanden. Se vidare kapitel 8.2.

2. "Miljöproblemet": Störningar uppkommer av vägtrafikbuller där en viktig beståndsdel är däck/vägbanebuller. Det senare orsakas huvudsakligen av däck som är frirullande eller körs vid medel- eller höga hastigheter. En del av däcken är då drivande, vilket alltid medför en viss slirning. Emellertid är drivmomenten oftast inte större än att det totala bullret från däcken i stort sett är lika med frirullningsbullret. Detta är det viktigaste problemet som direkt berör allmänheten.

3. "Kombinerat provnings- och miljöproblem": Det har föreslagits vid diskussioner att när lastbilar kör i motlut eller av annan anledning utnyttjar maximal drivkraft är det inte bara drivenhets-

[1] För att kunna överföra driv- och bromskrafter måste däck alltid "slira" (eng. "slip") i någon grad. Vid normal drivning rör det sig dock enbart om delar av procent som ett däck slirar.

bullret utan även däck/vägbanebullret som ökar i förhållande till det vid förbirullning. Om så är fallet är däck/vägbanebullret under enbart frirullning inte representativt under sådana förhållanden.

3.3 Föreslagna lösningar

Principiella lösningar till de tre typerna av problem skisseras nedan. Beträffande nedan nämnda internationella arbetsgrupper, se tabell 3 i avsnitt 9.1.

Mätmetodproblemet - Mätmetodproblemet föreslås hanteras på två sätt:

1a. Utveckling av en mätmetod för däck/vägbanebuller vid acceleration (dvs med drivmoment på däcken). Detta kommer att göra det möjligt att bestämma påverkan av däck/vägbanebuller på det totala bullret. Det kommer också att möjliggöra för biltillverkarna att välja ut de lämpligaste däcken med hänsyn tagen även till bullret vid provning. Arbete av denna typ är på gång: EG har uppdragit ett sådant arbete rörande lastbilsdäck åt akustikkonsultfirman FIGE GmbH i Tyskland och en rapport skall bli tillgänglig senare under 1993.

1b. Val av däck. Däck som är särskilt tysta när drivmomentet är högt bör tillåtas eller t o m erfordras vid provningar enligt nuvarande reglementen och mätprocedurer, dvs med accelererande fordon. F n krävs att bilarna vid bullerprovningar måste vara utrustade med "normala" däck. Om "otypiska" däck tillåts, inte nödvändigtvis för att tillfredsställa ekonomiska eller säkerhetskrav i aktuell trafik utan tillräckliga för provningsändamål, skulle det vara möjligt att minska däck/vägbanebullret under själva bullerprovningen. Detta problem har nyligen den internationella arbetsgruppen ISO/TC 43/SC 1/WG 27 (för vilken författaren är ordförande) fått i uppdrag att lösa och sådant arbete skall påbörjas under 1993.

"Miljöproblemet" - Miljöproblemet kräver åtskilliga aktiviteter:

2a. Utveckling av en mätmetod för däck/vägbanebuller (frirullande däck) för klassificering av däck. Arbete med detta pågår; dels i en amerikansk standardiseringsgrupp, dels inom den internationella gruppen ISO/TC 31/WG 3.

2b. Utveckling av en mätmetod som gör det möjligt att klassificera vägytor. Detta är redan på gång inom en grupp benämnd ISO/TC 43/SC 1/WG 33.

2c. Upprättande av gränsvärden för buller från bildäck. Detta är beroende av 2a ovan. EG har tillkännagett i direktivet 92/97/EEC att sådana gränser skall fastställas.

2d. Upprättande av någon typ av begränsning vad gäller "bullriga" vägytor. Detta är beroende av 2b ovan. Arbete av denna typ är planerat av den europeiska standardiseringsorganisationen (CEN) inom CEN/TC 227/WG 5.

2e. Gynnande (t ex skattelättnader) av lågbullrande produkter (däck och vägytor)

"Det kombinerade provnings/miljöproblemet" - Detta torde vara ett mindre viktigt problem och den tillfälliga lösningen skulle vara:

3. Att noggrant undersöka problemen ang däck/vägbanebuller under acceleration med normallastade fordon vid ganska hög hastighet (dvs med relativt högt drivmoment på däcken). Det har emellertid visat sig att drivmomentet på däcken under sådana villkor inte ökar det frirullande däckbullret nämnvärt [Sandberg, 1992-II]. Därför kan detta problem lämnas därhän för tillfället.

De åtgärder som står till buds redovisas i kapitel 14 och 17.

3.4 Gäller problemet personbilsdäck eller lastbilsdäck?

EG har i sina uppdrag hittills koncentrerat sig på däck för tunga fordon (vilka av bekvämlighetsskäl kallas lastbilsdäck i det följande). Det antyder att man betraktar detta som huvudproblemet. Är detta korrekt?

Om man enbart beaktar det s k mätmetodproblemet ovan är det möjligen korrekt, eftersom det har visat sig att det är lastbilsfabrikanterna som har störst problem med bullret från slirande drivaxelsdäck då helt olastade lastbilar på ibland 400 kW accelererar för fullt på en låg växel. Detta speciella problem är i vart fall just nu något mindre för personbilar. Som ovan angivits är detta dock inte ett stort

miljöproblem utan en följd av ett alldeles extremt och otypiskt körsätt vid provningen.

Vad gäller det stora miljöproblemet bör man ta hänsyn till hur däckbullerbidragen till det totala vägtrafikbullret från olika huvudtyper av fordon ser ut. Här följer ett resonemang kring detta.

Låt oss anta att vi har en trafiksituation med 10 % tunga fordon och 90 % lätta (detta anses ofta vara det mest vanliga fallet i Sverige). Låt oss vidare anta att de lätta fordonen kör med 90 km/h och de tunga med 80 km/h (vilket någorlunda kan representera hastighetsförhållandet på 90- och 110-vägar). På 7,5 m avstånd från körfältets mitt är då ljudnivån från personbilar typiskt ca 81 dB(A) enligt [Sandberg, 1987]. Detta kan anses vara enbart däck/vägbanebuller. För samma typ av vägyta, men vid 80 km/h, är totalt fordonsbuller från tunga fordon typiskt ca 87 dB(A). Däckbullerbidraget torde då utgöra ca 86 dB(A), se t ex tabell 11 i [Sandberg, 1992-II].

Detta gäller då maximalnivåer. Det skiljer således i däck/vägbanebuller endast ca 5 dB(A) mellan de lätta och tunga fordonen och med hänsyn till dels att de lätta är 5-10 gånger fler, dels till naturliga spridningar mellan däck och i hastigheter, är det klart att de lätta fordonen torde bidra nästan lika mycket till de särskilt bullrande passagerna som de tunga. Ljudnivåpercentilen för 1 % för lätta fordon är bara ett par dB lägre än percentilen för 10 % för tunga fordon. Vid lägre hastigheter är förhållandena inte särskilt annorlunda. Hastighetsberoendet hos däck/vägbanebuller är i huvudsak likadant för såväl lätta som tunga fordon. Hastigheterna hos de lätta fordonen är dock knappast högre än för de tunga vid hastighetsgränsen 50 km/h. Ett maximalnivåresonemang visar således att det är nästan lika viktigt att ta hänsyn till personbils- som lastbilsdäcken.

Hur blir det då vad beträffar ekvivalentnivån[2]? Tyvärr finns här knappt några publicerade data beträffande ekvivalentnivåer från enstaka fordon eller däck. De mest relevanta data som synes vara tillgängliga kommer från [Kragh & Jessen, 1992]. För två täta vägbeläggningar (två år gamla) erhölls vid 80 km/h 79 dB(A) (SEL(3)[3] normerat till 1 s) för lätta fordon och 87,5 dB(A) för tunga.

[2] Den s k ekvivalentnivån är ett mått som representerar en form av medelljudnivå under en viss tidsperiod.

[3] SEL = "Single Event Leq" = ekvivalentnivån beräknad för hel fordonspassage.

Med uppräkning av de lätta fordonen till 90 km/h och med frånräkning av uppskattat drivenhetsbidrag för de tunga fordonen får man 80,5 dB(A) för de lätta fordonen och 86,5 dB(A) för de tunga. Det skiljer alltså ca 6 dB(A) mellan däckbullret hos lätta och tunga fordon. Om man antar att andelen tunga fordon är 10 % kommer då bidragen från fordonsslagen att bli följande:

Lätta fordon:	Tunga fordon:
90 km/h 80,5 dB(A) från varje fordon, ger för 9 fordon (90 %), ett totalt bidrag på 90,0 dB(A)	80 km/h 86,5 dB(A) från varje fordon, ger för 1 fordon (10 %), ett totalt bidrag på 86,5 dB(A)
50 km/h 74,5 dB(A) från varje fordon, ger för 9 fordon (90 %), ett totalt bidrag på 84,0 dB(A)	50 km/h 82,0 dB(A) från varje fordon, ger för 1 fordon (10 %), ett totalt bidrag på 82,0 dB(A)

(I ovanstående har hastighetsberoendet för ekvivalentnivån beskrivits av $23 \cdot \log {}^{v}/_{v_{ref}}$ enligt [Kragh, 1991]).

Skillnaden i bullernivå mellan enskilda tunga och lätta fordon är således enligt ovanstående 6 dB(A) för ekvivalentnivå och 5 dB(A) för maximalnivå vid 90/80 km/h. Att den är något större för ekvivalentnivån förklaras av att varaktigheten hos bullret blir längre vid lägre hastighet (för de tunga som antas köra i 80 km/h relativt 90 km/h för de lätta) vilket ökar ekvivalentnivån med ca 0,5 dB samt att de tunga fordonen har en bulleremission från flera axlar vilka sitter kanske 10-15 m åtskilda och därmed dessa fordon inte kan anses vara akustiska punktkällor. Vid passagen av mikrofonen får därmed de höga bullernivåerna en längre varaktighet. Denna inverkan har dock enligt [Kragh, 1993] uppmätts till mindre än 0,5 dB(A). I praktiken spelar här också ljudets direktivitet i utstrålningen in, dvs ljudet från däcken brukar i allmänhet stråla något starkare i fram- och bakriktningarna än åt sidan.

Totala bidraget till ekvivalentnivån från vägtrafiken blir enligt exemplen ovan några dB större från lätta än från tunga fordon. Sammantaget kan man alltså säga att vad beträffar ekvivalentnivån är personbilsdäcken något viktigare att åtgärda än lastbilsdäcken. Andelen tunga fordon måste upp i ca 20 % för att lastbilsdäcken skall ge lika stort eller högre bidrag till totalbullret.

Ovanstående resonemang visar att problemet inte är begränsat till endera av personbilsdäck eller lastbilsdäck utan gäller båda typerna av bildäck. Den koncentration som, åtminstone hittills, synes ha skett inom EG på lastbilsdäck är således olycklig från miljösynpunkt.

4. HISTORIK

4.1 Allmänt

Vägtrafikbuller är ingalunda ett problem som endast är förknippat med modern massbilism. Redan de gamla romarna klagade över vägtrafikbuller och därav följande bullerstörningar som uppstod då deras kärror rullade fram över de stenlagda gatorna [Embleton, 1977]. Bl a beskrev den berömde författaren Martialis (första århundradet e.Kr.) hur han störds svårt av dylikt buller. Detta är möjligen den äldsta dokumenterade indikationen på störande däck/vägbanebuller som vi har. Problemet syntes inte mindre för drygt 100 år sedan i de större europeiska städerna. Enligt [Crocker, 1984] skrev t ex den brittiske läkaren Sir Norman Moore år 1869:

> *"Most of the streets were paved with granite sets and on them the wagons with iron-tyred wheels made a din that prevented conversation while they passed by. The roar of London by day was almost terrible - a never varying deep rumble that made a background to all other sounds."*

En tidigt tillämpad form av bullerreduktion var att ersätta kullerstens- eller annan gatstensbeläggning med träkubb impregnerad med kreosotolja. Se Fig. 1. Detta gav en jämnare yta men den blev även mjukare vilket i kombination resulterade i lägre ljudnivå från hästhovar och stålskodda vagnshjul. Emellertid var detta en vinst man gjorde på bekostnad av hållbarhet och kostnad. Man kan vidare läsa i [Crocker, 1984]:

> *"In the late nineteenth century the cobblestones in the streets of London were replaced with creosoted wood blocks or asphalt. This development occurred later in the big cities of North America so that cab and wagon noise was reduced."*

De ibland olidliga bullerförhållandena i storstäder illustreras i Fig. 2. Där beskrivs Stockholms första förbränningsmotordrivna buss. Den gick i trafik år 1899 och fick snart namnet "Bullerbussen". Att döma av de illustrationer som finns torde bullret ha uppkommit såväl från motorn som från rullningen på gatorna. P g a bullerstörningarna togs bussen ur trafik endast efter kort tid.

Någon väsentligare bullerreduktion var inte praktiskt genomförbar förrän luftgummihjulet kom till användning i början av seklet. Fastän det första patentet på ett luftgummihjul erhölls redan 1845 av en engelsman som hette Thomson, härrör det första kommersiellt framgångsrika försöket med luftgummihjul från ett patent år 1888 av den irländske veterinären J.B. Dunlop. Idén fick denne då hans son klagade på att dennes trehjuliga cykel gick för trögt att styra och Dunlop senior som sann amatör började experimentera med gummislangar för att hjälpa sonen. Dunlop kunde snart lämna veterinärsysslan och så småningom grunda däckföretaget Dunlop (år 1900). I och med luftgummihjulets tillkomst och gradvisa insteg på marknaden blev bullret från kontakten däck/vägbana alltmer försumbart - inte minst i jämförelse med bullret från de motorer som utvecklingen också förde med sig.



Fig. 1 Utläggning av träkubb på gata i Oslo omkring år 1914. Foto från Vägverkets väghistoriska utställning. Liknande beläggning lades bl a 1906 på S:t Eriksbron i Stockholm.



Fig. 2 Den s k "Bullerbussen" som gick i trafik i Stockholm 1899.

Kombinationen av bullerstörningar p g a den mycket snabbt ökande motorfordonstrafiken efter andra världskriget och kraven på god åkkomfort i bilarna, tvingade fordonstillverkarna att producera fordon med lägre bulleremission från drivenheterna. Redan på 30-talet var man medveten om att slitbanemönstret på däcken skulle randomiseras så att man undvek att få tydliga toner i däckljudet vilka störde förare och passagerare mer än ett brusartat ljud av samma nivå. Från ungefär mitten av 50-talet och ett tiotal år framåt ser man i tidskriftsartiklar m m en alltmer ökad oro för att bullret från bildäcken får betydelse även utanför fordonen. Detta accentuerades av att medelhastigheterna blev allt högre på vägarna och att däck/vägbanebullret tilltar starkare med ökande hastighet än t ex motorbullret.

Forskning inom området kom till stånd i högre utsträckning först i slutet av 60-talet. Arbetet hos däckfabrikanterna koncentrerades dock oftast på att förbättra slitbanemönstret från akustisk synpunkt, dvs i första hand att randomisera mönstret. Randomiseringen innebär att mönsterblockens storlek, längd och periodicitet varieras på ett (i någon mån) slumpmässigt sätt. Därigenom sprids mönsterblockfrekvenserna som uppstår då mönsterblocken träffar vägytan till ett bredare frekvensområde.

Det första egentliga forskningsprogrammet inom ämnet genomfördes i mitten av 70-talet i USA. Detta var en utomordentligt stor satsning som tyvärr idag inte kan utnyttjas fullt ut eftersom man dels använde diagonal- eller diagonalbältdäck, dels använde cementbetongytor och andra vägbeläggningar som inte är typiska för Sverige.

Ett antal tidstrender har medfört att däck/vägbanebullret har fått ändrad betydelse under de senaste 30 åren. De viktigaste är:

* Medelhastigheterna har ökat. Detta medför ökad relativ och absolut betydelse för däck/vägbanebullret. (Se figur 10).

* Man har övergått från diagonaldäck till radialdäck. Detta har medfört en liten bullerreduktion.

* Bildäcken har, för samma lastförmåga, dimensionerats med allt större bredd. Detta ökar bullret, eftersom det finns ett tydligt samband mellan buller och däckbredd.

* Däckmönstrena har förändrats radikalt. Det är svårt att säga om detta har medfört lägre eller högre bullernivå. Sannolikt har i vart fall störningsgraden minskat.

* Dubbar har kommit till allt större användning (i Sverige). Detta har ökat bullernivån.

* Vinterdäcken har alltmer kommit att likna sommardäcken i sina mönster och de har dessutom fått mjukare material. Det gör att (odubbade) vinterdäck inte längre brukar vara bullrigare än sommardäck. Det är ibland t o m tvärtom.

* I avsikt att reducera riskerna för vattenplaning har cementbetongvägar utförts med tvärsgående räffling. Detta ger ofta en starkt ökad bullerstörning (gäller dock ej Sverige där denna typ av beläggning inte används).

* Av delvis samma anledning, men kanske i än högre grad av ekonomiska skäl, har man övergått från släta asfaltbetongytor till skrovliga ytbehandlingar på landsvägsnätet och på sina håll även i tätorter. Detta har ofta (men inte alltid) medfört ökad bullernivå, främst inomhus. Se vidare "frekvensviktning" (sista stycket) i kapitel 11.

* Dränasfalt har kommit till användning som en vägyta för bl a bullerreduktion.

Fördelen i form av bullerreduktion hos s k dränasfalt påpekades för 15-20 år sedan i engelska och amerikanska försök. Dränasfalt har samma uppbyggnad som en vanlig tät asfaltbetongyta med det undantaget att en stor del av det finare stenmaterialet och en del av sanden ej tas med. Detta medför att istället för en tät massa mellan de stora stenarna får man en mängd porer mellan dessa. Det ger än yta som dränerar bort vatten såväl som luft från kontakten däck/väg.

Under åren 1981-83 anlades ett antal provsträckor i Sverige med dränasfalt i avsikt att åstadkomma bullerreduktion. Försöken var begränsat lyckosamma. P g a slarv vid anläggningen misslyckades en del redan från början, medan de som lyckades fick en häpnadsväckande hög bullerreduktion. Det rörde sig om 5-8 dB(A) i nytillstånd relativt konventionell tät och några år gammal asfaltbetong. Tyvärr visade det sig även att denna bullerreduktion sedan avtog tämligen snabbt med tiden.

Emellertid fick dränasfalten som bullerreduktionsåtgärd inget genombrott förrän för 5-10 år sedan. Parallellt med att experimenten fortsatte i allt högre omfattning genomfördes då en del större projekt som gick utöver experimentstadiet. Omfattande provnings- och utvecklingsprogram har under slutet av 80-talet och början av 90-talet pågått i Norden (särskilt Norge), Nederländerna, Tyskland och Frankrike.

4.2 Mätmetoder

De första akustiska mätningarna på däck som författaren är medveten om presenterades för nästan 70 år sedan av [Lemon, 1925]. De gällde däck/vägbanebuller i en öppen bil, så det är svårt att säga om invändigt eller utvändigt buller uppmättes. Vid den tiden mättes "luftvibrationer", som bullret benämndes av en författare, i fordonsapplikationer vanligen med en "listening rod" eller med ett stetoskop. Lemon använde emellertid en "audiometer" som i grund och botten var en signalgenerator samt en högtalare som frambringade en komplex "summerton" vars amplitud justerades tills däck/vägbanebullret maskerades av summertonen vilken noterades av lyssnaren som satt i den provade bilen. Signalamplituden som var nödvändig för maskeringen användes som audiometeravläsning.

Avsevärda ansträngningar gjordes för att minska det interna däck/vägbanebullret i fordonet redan på 1930-talet och senare, men det var inte förrän 1955 som den första experimentella undersökningen som är känd av författaren angående utvändigt buller rapporterades [Luetgebrune, 1955]. Denne presenterade en ganska avancerad undersökning där han använde en laboratorieanläggning med slät trumma. Han presenterade också frekvensspektra som en funktion av hastighet för olika däck.

Vägmätningar av externt däck/vägbanebuller på olika vägar rapporterades av Wiener som använde en kondensatormikrofon med ett tygklätt vindskydd placerad utanför stänkskärmen på en bil [Wiener, 1960].

En ovanlig variant av samma metod användes av Dunlop före 1963 då man lät ett provfordon rulla nära och parallellt med en tegelstensmur som reflekterade det yttre däck/vägbanebullret tillbaka genom den öppna sidorutan till "listening instrument" i bilen [Anon., 1963].

Samma dokument rapporterar också om den första användningen av trummetoden för däck/vägbanebuller då man rullade däcket mot en trumma utrustad med en vägyteimitation. Men den förste som rapporterade vetenskapligt fortfarande användbara resultat från trummätningar var Grigg i Australien [Grigg, 1964].

Efter det att föregångaren till ISO 362 hade utvecklats omkring 1960 (de första förslagen kom 1959) började några forskare att använda dess grundläggande principer även på däck/vägbanebuller, dvs förbirullningsmetoden som vi känner den idag utvecklades gradvis. Metoden som innebär att bilar passerar förbi en mikrofon vid vägkanten användes redan på 30-talet i Storbritannien och Tyskland, men de första förbirullningsmätningarna (dvs endast däck/vägbanebuller) som författaren har funnit rapporterades inte förrän av [Rathe, 1966], även om t ex Dunlop lär ha använt metoden före dess.

The Japanese Automobile Standards Organization gav redan 1973 ut en standard för mätning av däck/vägbanebuller vilken reviderades 1981. Denna standard specificerar förbirullnings- samt trummetoderna.

1973 utfärdade Society of Automotive Engineers (SAE) en "Recommended Practice" för mätning av buller från lastbilsdäck: SAE J57. Denna metod är mest lik förbirullningsmetoden. Den skiljer sig i att styraxeln är utrustad med "tysta" däck så att provdäcken på bakaxeln

antas producera den bullernivå som uppmäts i mikrofonen vid förbirullning. I praktiken är det emellertid svårt att få bort däckbullerpåverkan från framaxeln.

Lippman och Reid på Uniroyal föreslog 1976 en laboratorietrummetod [Lippman & Reid, 1976] som ett alternativ till SAE J57. I Sverige såväl som i USA föreslogs förbirullningsmetoder, dock utan internationellt genomslag, och 1982 förslog den östtyske representanten i Group of Rapporteurs of Brakes and Running Gear (GRRF) från United Nations Economic Commission for Europe (ECE) en standardisering av en trummetod. Det senare ledde till upprättandet av en ad-hoc-grupp inom ECE/GRRF med syfte att utveckla tre metoder: Förbirullnings-, släpvagns- och trummetoderna. Detta uppdrag som leddes av författaren slutfördes 1986 och resultatet diskuterades vid ett möte i Geneve 1987 där representanter från GRB (Group of Rapporteurs on Noise) och GRRF deltog. Ämnet är fortfarande på GRB:s agenda.

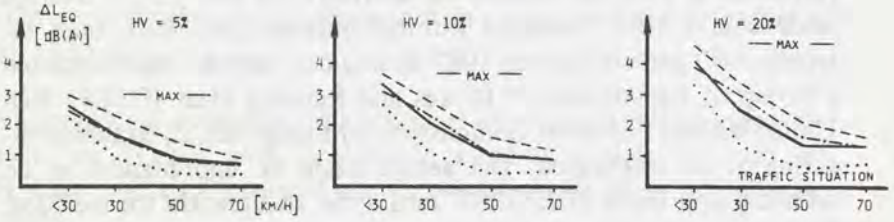
4.3 80-dB(A)-målet

Ett begrepp av vikt i detta sammanhang är det s k "80-dB(A)-målet". Detta innebär en målsättning att inga fordon skall tillåtas bullra mer än 80 dB(A). Därvidlag har man förutsatt att mätmetoden är i enlighet med ISO 362 som traditionellt har antagits ge ett mått på maximalbullret från fordon (vilket numera inte är sant eftersom däck/vägbanebullret oftast är starkare än buller enligt ISO 362 för alla hastigheter över ca 60 km/h). Detta mål uppsattes redan av Trafikbullerutredningen 1974 (SoU 1974:60). ECE:s rapportörgrupp för buller (GRB) enades 1976 om att detta mål borde uppnås omkring 1985. Därefter har man i olika sammanhang utgått från att detta är ett eftersträvansvärt mål - inte minst har svenska och andra nordiska representanter i internationella organ drivit på i denna riktning. Målet kommer att uppnås fr o m 1996 då EG:s nya fordonsbullergränsvärden kommer att gälla[4].

80-dB(A)-målet har indirekt betydelse för däck/vägbanebullret. Visserligen kan man inte vänta sig att denna bullerkomponent reduceras då målet uppfylls, men i och med att övrigt fordonsbuller

[4] Då skall man emellertid veta att ändringar i mätmetoderna under tiden har medfört att för att uppnå det nominella målet har man i praktiken måst reducera bullret mer än ursprunglingen avsett.

tvingas ner på en låg nivå blir däck/vägbanebullret alltmer dominerande och det blir till slut ohållbart att inte begränsa även detta.



Däck- och vägförhållanden:

_____ Ekvivalentnivå för helt år (torr/våt, dubb/icke dubb)
- - - - - - Torr vägyta (varma halvåret)
- . - . - . Dubbdäckssäsong (torr väg)
..... Våt väg (intensivt regn)

Fig. 3 Förutsagd effektiv reduktion av ekvivalenta ljudnivån i verklig trafik utgående från förhållandena 1980 jämförda med en framtid då 80-dB(A)-målet är uppfyllt. Tre olika andelar tung trafik (HV). "Max" = beräknad reduktion om däck/vägbanebullret vore försumbart. Från [Sandberg, 1982].

För drygt 10 år sedan beräknade författaren utifrån ett antal teoretiska förutsättningar vilken effekt som ett uppnående av 80-dB(A)-målet förväntades ha på ekvivalentnivån i verklig trafik, under hänsynstagande till däck/vägbanebullret. Gränsvärdena skulle då skärpas t ex 3 dB(A) för personbilar och 8 dB(A) för de tyngsta lastbilarna. Fig. 3 återger den viktigaste figuren i denna uppsats [Sandberg, 1982]. De tre viktigaste slutsatserna var följande (citat):

* *"Future tightening of emission limits will be inefficient for mixed traffic at speeds $\geq$ 50 km/h and have slightly reduced efficiency even for congested traffic with 30 km/h average speed, if tire/road noise is not reduced. Noise from motorway traffic will not be affected at all.*

* *The trends indicate that tire/road noise will increase its importance in the future if no forceful and fast action is taken.*

* *Measurements by the ISO standard methods for vehicle noise, i.e. 362 and 7188, will be affected in the future by both tires and road surfaces".*

Syftet med uppsatsen var att påpeka för beslutsfattarna det orimliga i att inget gjordes åt däck/vägbanebullret samtidigt som man formellt uppfyllde det i och för sig angelägna 80-dB(A)-målet. Utvecklingen har visat att förutsägelserna för drygt 10 år sedan inte behöver revideras idag.

Som följd bl a av att Österrike 1989 införde en särbestämmelse om att alla tunga fordon i transittrafik nattetid skulle uppfylla 80-dB(A)-målet finns redan idag ett rätt stort antal fordon som uppfyller målet. Reduktionsåtgärderna som då vidtagits har p g a den korta ledtiden emellertid inte alltid varit de bästa från underhållssynpunkt.

4.4 Har fordon och bildäck blivit tystare?

Genom att studera hur bulleremissionen har förändrats under de senaste decennierna kan man få bättre underlag för framtidsbedömningar. I det följande delas redovisningen upp i två tidsperspektiv: 1920-1980, resp. 1970-1992.

Vad gäller den förstnämnda perioden finns egentligen endast en undersökning. Den presenterades i [Sandberg, 1984]. Ett antal fordon i nyskick av årsmodeller från 1920 till 1982, utrustade med tidsenliga bildäck, provades vid några olika körsätt varav ett avsåg att ge endast däck/vägbanebuller. Fig. 4-5 summerar resultaten.

Det framgår av figurerna att drivenhetsbullret har reducerats kraftigt under tidsperioden (10-20 dB(A) efter ca 1950) medan däck/vägbanebullret inte tycks ha reducerats alls. Det förstnämnda är knappast överraskande. Däremot är det högst anmärkningsvärt att bildäcken inte har blivit tystare trots 60 år av utveckling och trots att däcken till såväl sitt yttre som inre har förändrats så radikalt.

Under tiden 1970-75 infördes de första gränsvärdena för fordonsbulleremission vilka sedan har skärpts ordentligt. Det är intressant att undersöka vilken effekt detta har haft på vägtrafikbullret. En undersökning gjordes för några år sedan då bulleremissionen från enstaka förbipasserande fordon uppmätt under åren 1982-1988 jämfördes med motsvarande mätningar 1974. Vägbeläggningarna var i huvudsak likadana. Det var således ungefär ett decennium emellan mätningarna - en tid under vilken bullergränsvärden hade införts och skärpts något.

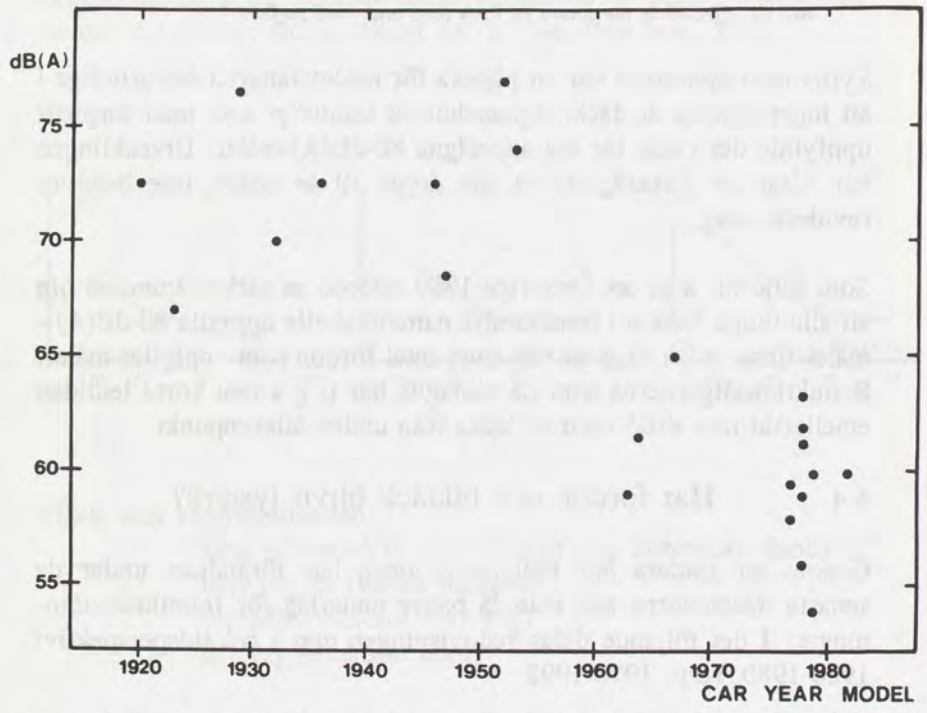


Fig. 4 Buller från fordonens drivenheter, vid 40 km/h konstant fart, som funktion av fordonens årsmodell. Fordonens totalbuller har först uppmätts vid 40 km/h konstant fart på näst högsta växeln och sedan har däck/vägbanebullret som uppmätts vid samma hastighet men vid frirullning bortdragits. Från [Sandberg, 1984].

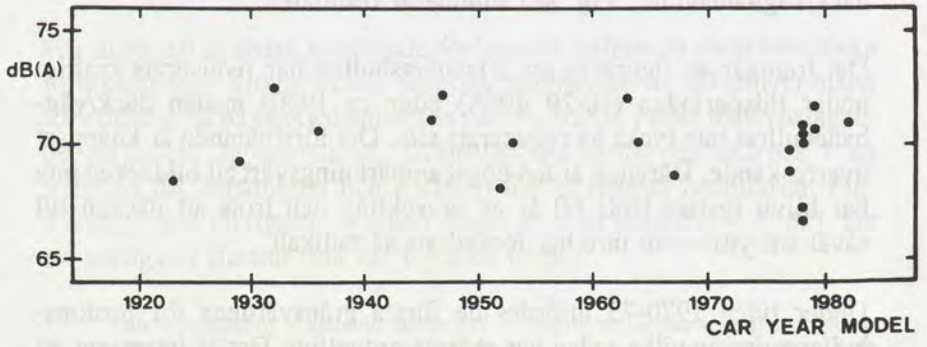


Fig. 5 Däck/vägbanebuller vid 50 km/h som funktion av fordonens årsmodell. Fordonen var utrustade med tidstypiska bildäck. Observera den i relation till Fig. 4 beskurna skalan.

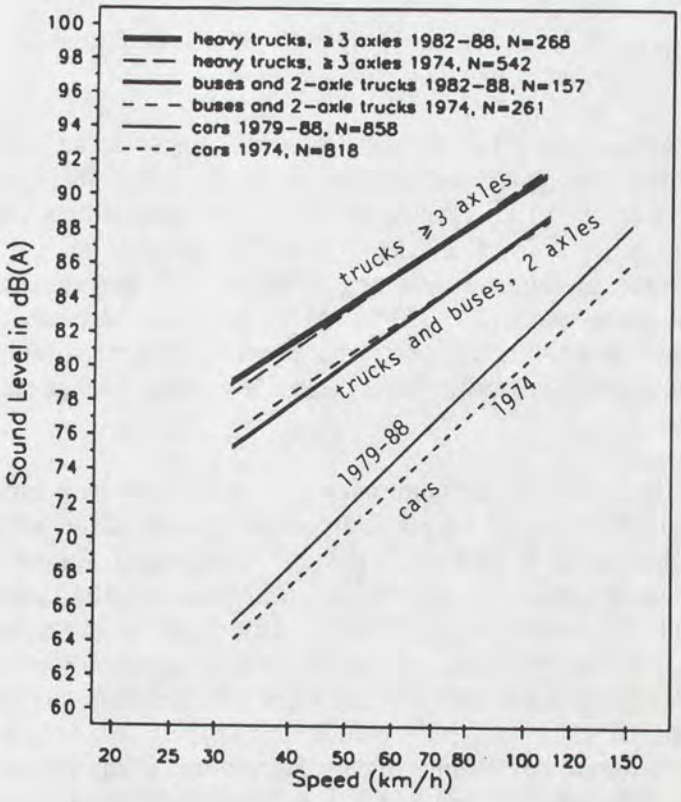


Fig. 6 Maximalbullernivå från förbipasserande fordon uppmätt dels 1974 (brutna linjer), dels 1979-1988 (heldragna linjer). De senare mätningarna gjordes i huvudsak 1982-88. Fritt flytande trafik. Antalet fordon = N.

Fig. 6 summerar resultaten. Fordonen har uppdelats i tre kategorier. Det framgår av figuren att de båda kategorierna tunga fordon uppvisar i stort sett samma bulleremission oavsett tiden. Personbilarna har däremot blivit en aning bullrigare - i vart fall vid höga hastigheter. Observera att resultaten gäller fritt flytande trafik med konstant hastighet.

Ytterligare mätningar utförda i Norden kan komplettera bilden. Fig. 7 är hämtad från [Kragh et al, 1991] och har kompletterats med senare data erhållna från [Kragh, 1993]. Varje punkt motsvarar en mätserie på ett stort antal fordon enligt ovan.

Resultaten i Fig. 7, vilka inkluderar de som redovisas mer utförligt i Fig. 6 (nr 1 & 3), antyder att bulleremissionen från de tyngsta

fordonen har reducerats med möjligen ett par dB. De lättare fordonens bulleremission tycks inte ha påverkats.

Huvudanledningen till den obetydliga förbättringen är att däck/vägbanebullret hela tiden har utgjort en undre gräns för uppnåelig bullerreduktion. I fritt flytande trafik låg man förmodligen nära den gränsen redan 1974. Detta kan emellertid knappast ha varit hela förklaringen beträffande de tunga fordonen. Där kan det ha förekommit kompensatoriska effekter - t ex att tystare drivenheter har kompenserats av att drivenheterna har blivit starkare, att fordonen har blivit allt större och har fler däck, däcken är bredare, däcken tar större last, etc.

Resultaten är ju inte uppmuntrande. Om detta vore hela sanningen skulle alltså införandet av gränsvärden inte ha haft någon nämnvärd effekt ännu ca 20 år efter att så skedde första gången. En del av den fördolda sanningen är troligen att om inte begränsningarna hade införts hade bullret kanske ökat väsentligt som en följd av att andra parametrar har ökat, t ex motorstyrka, accelerationsförmåga och fordonsstorlek. Framförallt torde dock förhållandena vara betydligt mer positiva vid trafik vid lägre hastigheter och där trafikrytmen inte är jämn. Här finns emellertid inte många undersökningar att stödja sig på. F n känner författaren till endast två som behandlar ämnet på ett tillfredsställande sätt.

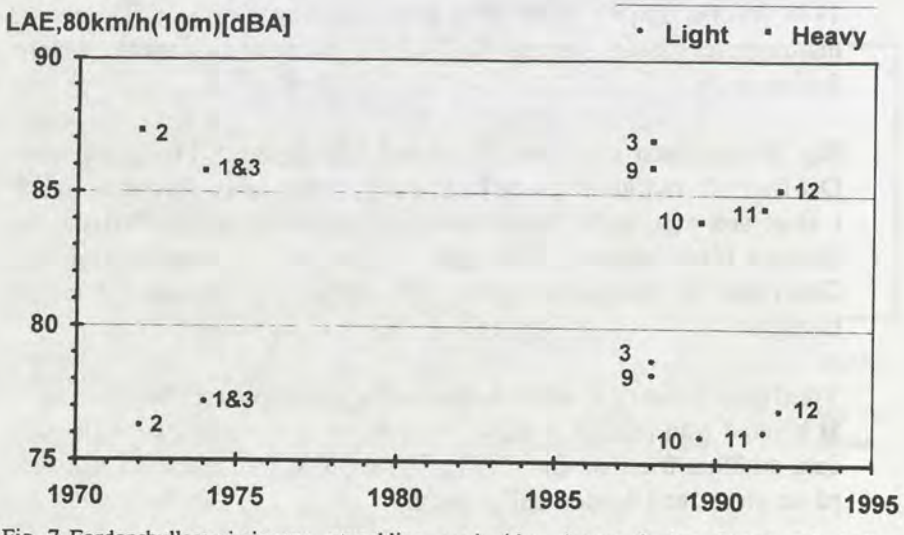


Fig. 7 Fordonsbulleremissionens utveckling med tiden (tunga fordon överst och lätta underst). Data enligt [Kragh et al, 1991] kompletterade med mätvärden för 1992 från Kragh (personlig kommunikation). Siffrorna vid symbolerna anger mätningens nr.

Den första undersökningen är [Anon., 1986] vilken behandlar omfattande tyska mätningar under 1978 och 1983 som visade att bulleremission från lätta fordon i stadstrafik hade minskat under dessa fem år med omkring 1 dB(A), medan bulleremissionen från bussar hade minskat med 1-2.5 dB(A). Lastbilsbuller var mellan 1 dB(A) lägre och 1 dB(A) högre under 1983 i förhållande till 1978 beroende på lastbilsstorlek. En fördjupad undersökning av bullernivå uppmätt 1978/83 kontra bilarnas registreringsår visar att det skedde en sänkning på 3 dB(A) under registreringsåren 1965-1980.

Den andra undersökningen är [de Veer & Ullrich, 1991]. Denna undersökning förlitade sig på mätningar med fordon som körde uppför en backe på ett sådant sätt att det skulle kunna simulera drivenhetsbuller vid acceleration. För trafik där bilarna körde med en hastighet av 40-50 km/h och lastbilarna körde med 25-70 km/h, tungt lastade, visade det sig att från 1975 till 1990 hade tyska bilar blivit 2 dB(A) mindre bullriga medan lastbilar hade blivit 1 dB(A) tystare. Om man jämför resultaten med emissionsgränserna 1982-1990, visar det sig att bullerreduktionerna ungefärligen motsvarar gränsvärdesskärpningarna (2-3 dB(A)).

Det kan även nämnas att the International Institute of Noise Control Engineers (I-INCE) på initiativ av prof. Tor Kihlman har tillsatt en utredning som under 1993-94 skall utvärdera effekten på vägtrafikbulleremissionen av bullergränsvärdena för fordon. Därvidlag kommer förmodligen däck/vägbanebullret att vara en väsentlig parameter i diskussionerna om gränsvärdenas effektivitet. I en första lägesrapport konstateras att effekten av gränsvärdena uppmätt i verklig trafik har varit mycket blygsam [Sandberg, 1993-II]. En stor undersökning i Tyskland som är inne i slutfasen av arbetet tycks visa att mellan 1983 och 1993 har bullret från accelererande stadstrafik minskat med endast 0,6 dB(A) medan bullret har ökat med 0,7 dB(A) vid konstant hög hastighet.

I det föregående har utvecklingen i relationerna mellan drivenhetsbuller och däck/vägbanebuller behandlats, men vad som har hänt inom området buller från bildäck har inte berörts. Här finns emellertid anledning att studera trenderna. Det finns inga systematiska studier av hur bullret från bildäck har förändrats under de senaste åren, men Fig. 8 ger i vart fall en liten illustration till ämnet. I denna figur jämförs bulleremissionen hos några bildäck som i mitten av 70-talet utvaldes som provdäck för att de då ansågs vara tidstypiska. Dessa jämförs med några bildäck som är tidstypiska för slutet av 80-talet,

dvs det finns ca ett decennium av utveckling mellan dem. Därutöver finns även att par specialdäck medtagna - ett som har en helt omönstrad slitbana (däck P) och ett som är ett referensdäck för bl a fordonsprovningar (ASTM). Det senare har en mönsterutformning som gör däcket till en s k "All-weather Design", dvs däcket skall vara användbart även vintertid i snö.

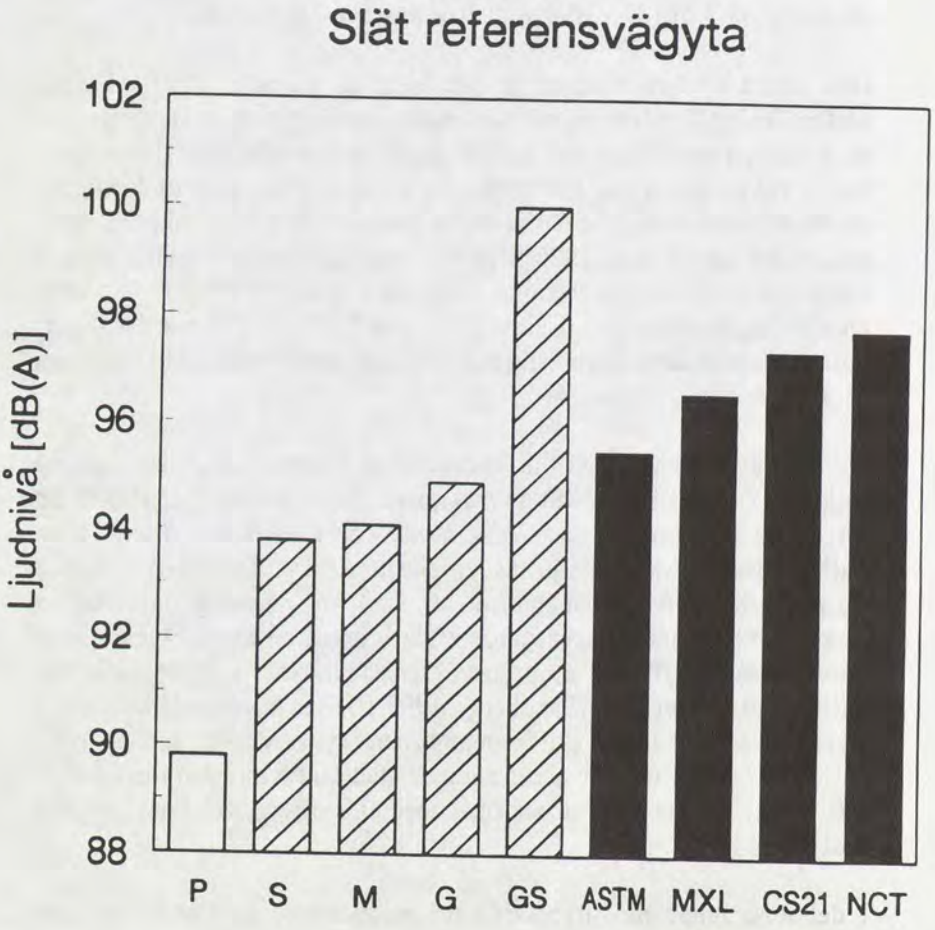


Fig. 8 Exempel på bulleremission från fyra personbilsdäck från slutet av 70-talet (S, M, G, GS) jämförda med fyra däck från slutet av 80-talet (ASTM, MXL, CS21, NCT). Däck P är mönsterlöst. Däck G är ett vinterdäck och däck GS är samma däck utrustat med dubbar. Däcken är av olika tidstypiska dimensioner men bär samma belastning. Slät referensvägyta enligt [ECE/GRB, 1990].

Dessa begränsade mätningar kan naturligtvis inte göra anspråk på att vara representativa i vetenskaplig mening. Emellertid skall man känna till att det anses att skillnaden i bullernivå mellan olika personbilsdäck av samma dimension är mycket liten för båda tidsepokerna (separat). Detta i kombination med att andra som gjort liknande (opublicerade) jämförelser uppger sig ha samma erfarenhet, indikerar att det faktiskt pågår en tidstrend som innebär att däck/vägbanebullret ökar rätt avsevärt med tiden.

Påståendet är mindre trovärdigt om det inte vore så att det finns logiska anledningar till detta:

* Alltsedan 60-talet har bildäcken utformats med allt lägre profilförhållande, dvs däckhöjd/däckbredd. Anledningar till detta är bl a att höga topphastigheter på torr väg av fordonsdynamiska skäl har fördel av detta samt att "sportigare" utseende är ett viktigt säljargument. I 60-talets början var vanligast förekommande profil 88-95 %, i slutet av 70-talet var den 82 % och i dagsläget är den ca 65 % (gäller personbilar). Detta har inneburit främst att däckbredden har ökat. Såsom visas i [Storeheier & Sandberg, 1990] finns det ett starkt samband mellan bulleremission och däckbredd. En ökning av däckbredden från 150 till 200 mm skulle enligt detta samband öka bullret med ca 5 dB(A). En ökning från 165 till 185 mm, vilket någorlunda kan representera de senaste 15 årens utveckling, skulle innebära nära 2 dB(A) i bullerökning.

  För lastbilsdäck var för något decennium sedan profilförhållandet vanligen 100 %. Idag är det vanligast med 80 eller 70 %. Trenden är att däcken går mot 60- eller 55 %-profil. Utvecklingen här styrs i huvudsak av att lastförmågan hos tunga fordon ökar om däcken kan göras lägre och därmed lastutrymmet kan få ett lägre liggande golv. Inom EG tillåter man maximalt 4 m höga fordon och därmed har man för ökat lastutrymme i stort sett endast lastytans golv att "spela med".

* Övergången till bredare däck har medfört nya krav på däckmönster vilka trots längre dräneringsvägar skall kunna dränera bort vattnet från kontaktytan minst lika bra som de äldre däcken. Dessa nya mönsterkrav kan möjligen ha medfört någon smärre bullerökning. Här har dock kraven på god körkomfort varit återhållande.

* Däcken dimensioneras för allt högre maximalhastigheter, dvs de optimeras för situationer som alltmer fjärmar sig lagliga körsätt (i Sverige och de flesta andra länder). Däck som dimensioneras för höga hastigheter måste oftast ha en hårdare gummiblandning. Hårdare gummi innebär högre bulleremission. Det finns inga publicerade undersökningar som kvantifierar denna effekt, men en uppskattning är att detta kan ha ökat bullernivån under senaste decennierna med 1-2 dB(A).

Det är oroande för bulleremissionen att utvecklingen enligt ovan inte tycks avmattas i nämnvärd grad.

4.5 Svensk forskning inom området

Problemet med externt däck/vägbanebuller uppmärksammades för första gången i Sverige i den s k Trafikbullerutredningen (TBU) som arbetade 1969-1974, men redan tidigare fanns en viss medvetenhet om att här fanns ett framtida problem. TBU:s betänkande publicerades i SoU 1974:60. Betänkandet påpekade att "ett viktigt forskningsområde är det som rör däcksbuller" med vissa preciseringar därefter.

Utredningen föreslog bl a skärpta fordonsbullergränsvärden till t ex 73 dB(A) för personbilar och 80 dB(A) för tunga lastbilar. Dessa skulle införas senast 1984 tänkte man sig. I efterhand kan man säga att det i verkligheten kommer att ta ca dubbelt så lång tid att nominellt få sådana gränsvärden införda än vad man planerade eftersom EG kräver 74 resp 80 dB(A) fr o m 1996.

Parallellt med detta arbete genomförde Göran Gadefelt och Kjell Lundin vid Teknisk Akustik, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) en analys av forskningsbehovet för externt fordonsbuller som publicerades 1973. Denna påvisade att ämnet "däcksbuller" skulle komma att kräva stora insatser i framtiden. När Styrelsen för Teknisk Utveckling, STU, 1974 diskuterade program för fortsatt miljövårdsforskning, avsedd att stödjas av STU, prioriterade STUs nämnd för miljövårdsteknik fordonsbullerbekämpningen högt. STU gav med anledning av detta Göran Gadefelt, KTH, i uppdrag att presentera en detaljerad plan för området externt däckbuller och att försöka engagera industrin att delta i planerat utvecklingsarbete. Göran Gadefelts arbete gav till resultat en projektkatalog med nio projekt, FoU-planen 1974. Planen innehöll nio projekt av vilka sex kan sägas ha genomförts 1975-1992.

STU beslutade år 1975 att tillsätta en ledningsgrupp vilken kom att kallas Ledningsgruppen för STUs däckbullerprojekt, LSDB. Till ordförande för denna utsågs dåvarande överdirektören för Statens väg- och trafikinstitut, Bertil Ström. År 1979 utsågs en "oberoende" ordförande för gruppen: Akustikkonsulten och "radiomannen" Sten Wahlström. Sedan har LSDB efter upprepade ombildningar fått efterföljare vilka framgår av sammanställningen i Tabell 1. Gruppen har vid varje ombildning breddats i sin förankring bland myndigheter och inte minst industrin.

För att dels beskriva och sammanfatta resultat från forskningen om däck/vägbana, dels rikta uppmärksamheten på däck/vägbanebullret, utarbetades på initiativ av referensgruppen en informationsskrift [Nilsson & Sandberg, 1981]. I denna behandlades bl a däck/vägbanebullrets uppkomst och möjligheter att åtgärda detta.

Fr o m 1988 breddades ämnet till att omfatta "fordonsbuller" i allmänhet men tonvikten på däck/vägbanebuller kvarstår.

Den svenska forskningen inom ämnet har till stor del initierats och genomförts inom ramen för ovan nämnda styrgrupper. Utanför dessa ramar har dock också viss forskning och utveckling rörande däck/vägbanebuller bedrivits, huvudsakligen av följande (beträffande förkortningar, se tabell 1):

* VTI (diverse uppdragsgivare, främst VTI, VV, TSV och NKTF)
* 3K Akustikbyrån AB (bl a på uppdrag av VV)
* Vägverket (VV)
* Göteborgs stad (huvudsakligen rörande bullerreducerande dränasfalt)
* Chalmers Tekniska Högskola (examensarbeten)
* Gislaved Däck/Nivis Tyre AB
* Volvo personvagnar
* Volvo lastvagnar
* Scania
* Saab Automobile

Tabell 1 De svenska grupper som har samordnat forskningen om däck/vägbanebuller

År	Grupp	Deltagande organisationer
1975-1979	Ledningsgruppen för STU:s däckbullerprojekt	Styrelsen för teknisk utveckling (STU), Vägverket (VV), Trafiksäkerhetsverket (TSV), Statens Planverk, Statens naturvårdsverk (SNV), Scandinavian Tire and Rim Organization (STRO), Statens väg- och trafikinstitut (VTI), Sveriges Bilindustri- och Bilgrossistförening, IFM Akustikbyrån AB
1979-1983	Referensgruppen för STU:s däckbullerprojekt	Sten Wahlström (ordf.), STU, VV, TSV, SNV, Gislaved AB, Håll Sverige Rent, Saab-Scania AB, Kungl. Tekn. Högskolan (KTH), IFM, VTI
1983-1988	Styrgruppen för däck/väg-banebullerforskning	Sten Wahlström (ordf.), STU, SNV, Transportforsk-ningsberedningen, Statens råd för byggnadsforskning, Svenska kommunförbundet, TSV, VV, Volvo Lastvagnar AB, Gislaved Däck AB, Håll Sverige Rent, Saab-Scania AB, 3K Akustikbyrån AB, VTI
1988-1993	Fordonsbullergruppen	Som ovan, men även Volvo Personvagnar och Saab Automobile AB

4.6 Informationsutbyte: Internationella konferenser

Däck/vägbanebuller har varit huvudsakliga ämnet vid följande mer betydande konferenser:

1976 San Francisco "Highway Tire Noise Symposium", arrangerat av Society of Automotive Engineers (USA)

1979 Stockholm "International Tire Noise Conference 1979", arrangerad av Styrelsen för Teknisk Utveckling

1984 Zürich "International Seminar on Tire Noise and Road Construction", arrangerat av ETH, Zürich, Schweiz

1986	Paris	"La Recherche sur le Bruit du Contact Pneu-Chaussée". Seminarium arrangerat av LCPC, Frankrike
1987	Bergisch-Gladbach	"Seminar on Noise Reducing Pavement Surfacings", arrangerat av BASt, Tyskland
1989	Berlin	"A workshop on Rolling Noise Generation", arrangerad av Tekniska Universitetet i Berlin.
1990	Göteborg	"International Tire/Road Noise Conference 1990", arrangerad av den svenska "Fordons-bullergruppen"

De arrangemang som markerats med fet stil har varit mycket omfattande och välbesökta flerdagskonferenser (med minst ett hundratal deltagare varav de flesta forskare) och de kan betraktas som milstolpar i däck/vägbanebullerhistorien. Resultatet av dessa konferenser har varit ett markant ökat informationsutbyte och i vissa fall har internationellt forskarsamarbete etablerats som en följd av kontakterna.

4.7 Informationsutbyte: Litteratur

Litteraturen inom området har blivit utomordentligt omfattande, i verkligheten så omfattande att ingen forskare kan ha en rimlig överblick över all litteratur. F n uppskattas antalet dokument av värde för däck/vägbanebullerforskningen till minst 1000 st. Det finns nämligen tillgängligt en PC-baserad databas "Tire/Road Noise Bibliography" vilken i mitten av 1992 omfattade så många dokument. I denna databas kan man automatiskt söka efter författare, ordsträngar i dokumenttitel, kommentarord, årtal, sidantal, typ av dokument, samt med 83 för ämnet specialiserade sökord. Databasen är utvecklad i samarbete mellan J. Ejsmont, Tekniska högskolan i Gdansk och författaren.

Figur 1 kan illustrera hur intresset för och aktiviteterna inom ämnet har utvecklat sig. Det framgår att antalet dokument har skjutit i farten kolossalt under de allra senaste åren, men att detta gäller vägytor, ej däck. Toppen vid 1990 kan delvis förklaras av den internationella konferensen som anordnades i Göteborg detta år.

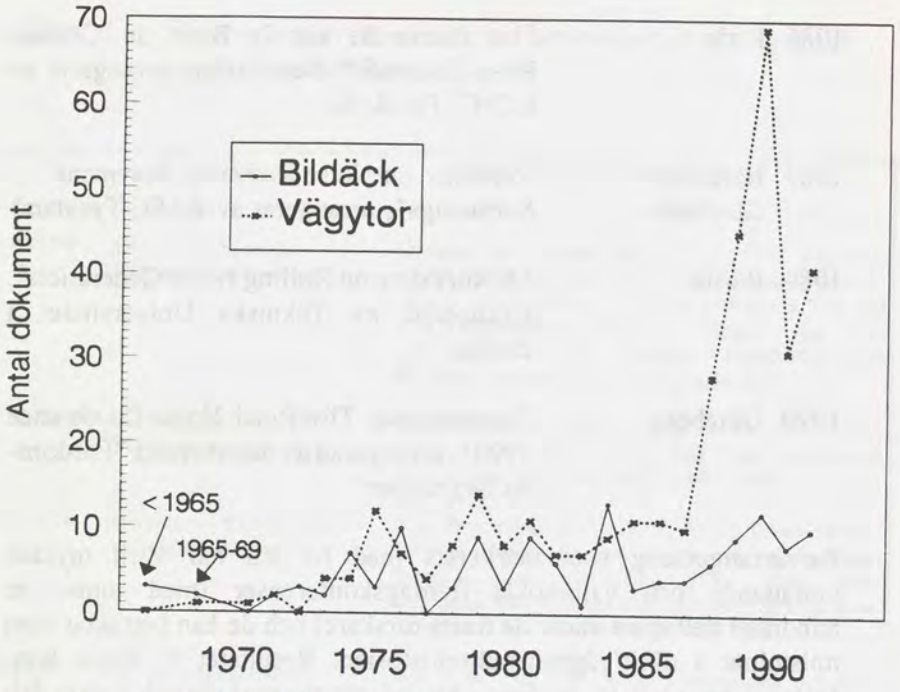


Fig. 9 Antal dokument som handlar om däck/vägbanebuller som funktion av publiceringsår. Heldragna kurvan gäller dokument som har *däck* eller *däckparametrar* som *primära* sökord, brutna kurvan gäller dokument som har *vägyta* eller *vägyteparametrar* som *primära* sökord. Data erhållna från "Tire/Road Noise Bibliography, Version 3.0". (Observera att dokument från endast första halvan av 1992 har kunnat medtagas).

5. DÄCK/VÄGBANEBULLRETS ANDEL AV FORDONSBULLRET

5.1 Inledning

Hur stor del av vägtrafikbullret som utgörs av buller från däck/väginteraktionen varierar med en mängd faktorer, såsom typ av fordon, körsätt, hastighet, typ av däck, väglag och tid. Den senare variabeln beror bl a på att drivenhetsbullret har sänkts i takt med att gränsvärdena har skärpts, vilket gör att en översikt måste bygga på aktuella data. Författaren bedömer att de två mest aktuella och relevanta undersökningarna är de av [Enz & Steven, 1991] beträffande personbilar och [Sandberg, 1982] beträffande lastbilar. Dessa sammanfattas i följande avsnitt.

Först dock lite mer allmänt om relationerna mellan däck/vägbanebuller och drivenhetsbuller som funktion av hastigheten. Båda dessa komponenter av totalbullret beror starkt av denna. Däck/vägbanebullret hänger samman med hastigheten ungefär som:

$$\text{Ljudnivå} = A + B.\log(\text{hast.})$$

Konstanten B är, om med ljudnivå avses maximalnivå vid förbipassage, normalt ca 33 (när ekvivalentnivån avses blir B = ca 23 istället). Det innebär att en hastighetsfördubbling medför en ökning av maximala ljudnivån med ca 10 dB. Detta gäller i stort sett över hela hastighetsområdet.

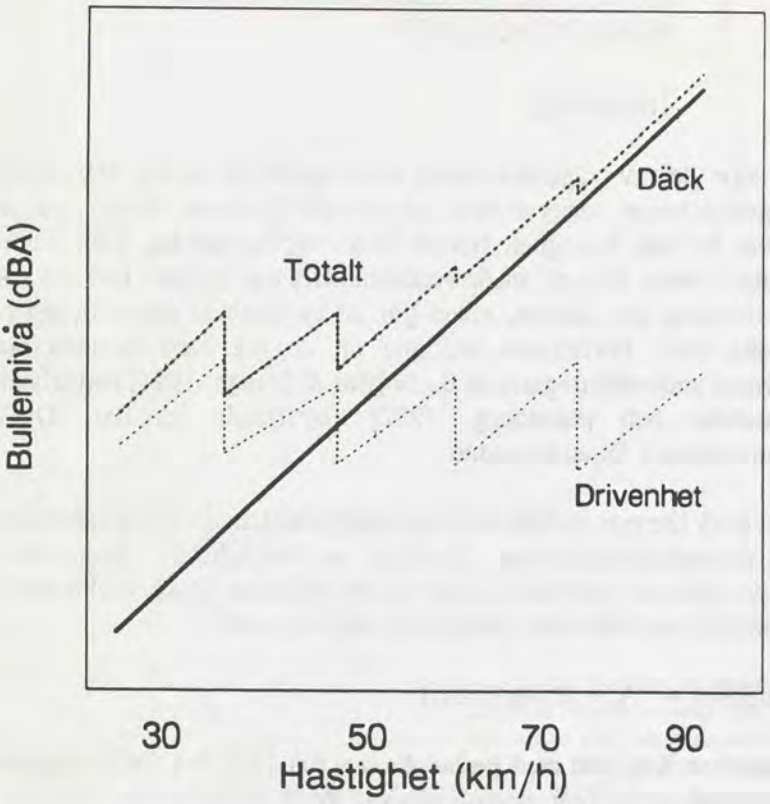
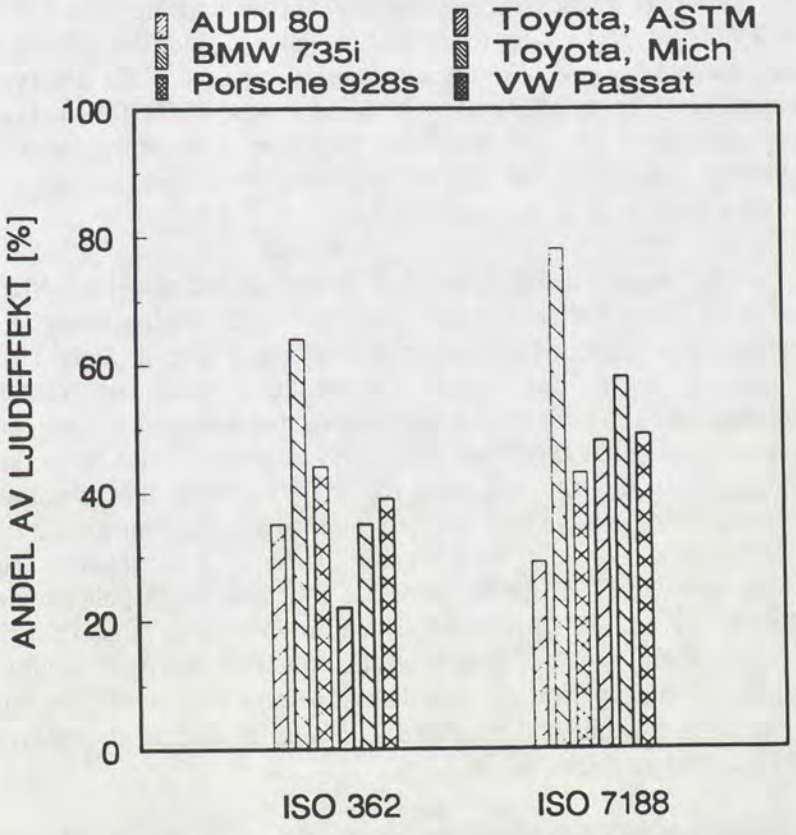


Fig. 10 Principiellt förhållande mellan drivenhetsbuller, däck/vägbanebuller och fordonets hastighet. Den taggiga kurvan härrör från de olika växellägena.

Även drivenhetsbullret beror av hastigheten - och med ungefär likadan konstant B [Nelson, 1987]. Den hastighet som är mest relevant i sammanhanget är dock motorvarvtalet och inte fordonets rörelsehastighet. Med olika växlar anpassas ju motorvarvtal till körhastighet så att motorvarvtalet sett över hela hastighetsregistret inte varierar särskilt mycket. Det innebär att drivenhetsbullret inte varierar så mycket med körhastigheten och att det därmed finns en "gränshastighet" ovanför vilken däck/vägbanebullret dominerar. Se Fig. 10, vilken visar det principiella förhållandet och ej nödvändigtvis ett kvantitativt korrekt förhållande.

5.2 Personbilar

Inom ramen för ett arbete med utveckling av en standardvägyta för fordonsbullermätning genomfördes år 1990 en s k Round Robin Test - dvs mätningar avsedda att validera den nya standardvägytan genom att sända runt ett antal fordon på olika vägytor som producerats på det avsedda sättet och mäta upp hur lika bulleremissionen blev på dem. För ändamålet utvaldes 5 st personbilar som så väl som möjligt skulle representera den modernaste fordonsparken (olika storlekar, bränsle, växellåda m m).



Figur 11 nedan visar den i detta experiment erhållna andelen av däck/vägbanebuller av det totala fordonsbullret. Man skall då veta att däck/vägbanebullret i verklig trafik har en högre andel i det totala bullret, beroende på följande två faktorer:

* Mätningarna utfördes på 7 st provbanor som avsiktligt hade erhållit en tystare vägyta än "normalt". När man jämför med en tät, slät asfaltbetongbeläggning på en trafikerad väg bör man till däck/vägbanebullret lägga ca 2 dB(A) för att få ett "typiskt" däck/vägbanebuller.

* Värdena för däck/vägbanebuller är framräknade från mätningar som gjordes med frirullande hjul. Emellertid vet man att bullret vid accelererande fordon, såsom körsättet är i figur 11, innebär att däck/vägbanebullret ökar med några dB.

Fig.11 Andel av däck/vägbanebuller vid provning enligt ISO 362 och ISO 7188 uttryckt i % av totala fordonsbullrets ljudeffekt. Värden för fem personbilar (av vilka en var utrustad med två olika däcktyper) uppmätta på en provbana som uppfyller kraven i ISO 10844. Däck/vägbanebullret har uppmätts vid frirullning och interpolerats till aktuella hastigheter vid ISO-körningarna. Se vidare texten. Data bearbetade från [Enz & Steven, 1991].

I figur 11 anges andelen (i effekt) av däck/vägbanebuller i förhållande till totalt buller vid acceleration enligt ISO 362. Ingångshastighet är där 50 km/h och hastigheten då maximalnivån avläses är 55-60 km/h. Därutöver har ett medelvärde för totalbuller beräknats från den körning med acceleration och den körning med konstant fart som görs vid mätning enligt ISO 7188. ISO 7188 är en mätmetod för personbilar som liknar ISO 362 men där man använder lite annorlunda körsätt, vilka avses vara mer representativa för innerstadstrafik. Hastigheterna var där 34-47 km/h. Data är från diagram som producerats av FIGE GmbH utgående från mätvärden publicerade i [Enz & Steven, 1991]. Härvid har den provbana som fanns i Sverige (Volvo) 1990 utvalts. Ursprungsdata omfattar även de andra 6 provbanorna i experimentet men data från dessa är likartade. De valda bilarna gav maximalbuller enligt ISO 362 som visar att de uppfyllde EG:s kommande krav på 74 dB(A).

Slutsatsen är att däck/vägbanebuller står för ca 50 % av ljudeffekten vid körning enligt ISO 7188 och ca 35 % av ljudeffekten vid körning enligt ISO 362. Då skall noteras att detta således är en underskattning av däck/vägbanebullrets andel. Rätteligen borde däck/vägbanebullret ha ökats med 2-5 dB(A) för de två faktorer som redovisats ovan innan ljudandelen hade beräknats. Det kan visas att om så hade skett skulle däck/vägbanebullret ha utgjort klart dominerande bullerkomponent

(dvs ljudeffektandelen > 50 %) vid körning enligt ISO 7188 samt varit åtminstone svagt dominerande även vid körning enligt ISO 362. Eftersom de körsätt som användes vid ovan relaterade experiment är avsedda att framkalla maximalt drivenhetsbuller kan man därmed våga påstå att för de moderna personbilar som uppfyller kommande EG-krav (74 dB(A)) är däck/vägbanebullret dominerande för alla "normala" körsätt (undantaget accelerationer i området 0-30 km/h).

5.3 Lastbilar

En nyligen genomförd undersökning av hur däck/vägbanebullret förhåller sig till totalt fordonsbuller för lastbilar finns tillgänglig [Sandberg, 1992-II]. Fig. 12 sammanfattar resultaten, vilka gäller normat lastade fordon av dels en mindre typ ungefär representativ för lastbilar för regional distribution (Scania), dels en större typ representativ för långväga transporter (Volvo). I vänstra delen av figuren jämförs totalt fordonsbuller vid körning med acceleration vid olika hastigheter ("drive-by") med däck/vägbanebuller ("coast-by"). I högra delen av figuren jämförs totalt fordonsbuller vid körning med konstant hastighet ("cruise-by") med däck/vägbanebuller.

Resultaten visar att däck/vägbanebullret är mindre än 3 dB(A) under totalbullret, vilket innebär att det är den dominerande komponenten, vid 70 och 90 km/h för alla fordonen. Vid 30 km/h gäller motsatta förhållandet - dvs däck/vägbanebullret är inte dominerande ens för de "tysta" fordonen. För 50 km/h ligger däck/vägbanebullret inom 3 dB(A) från totalbullret för 80-dB(A)-fordonen, varför denna bullerkomponent dominerar där. För 84-dB(A)-fordonen är vid 50 km/h däck/vägbanebullret ungefär eller nästan lika starkt som övrigt buller tillsammans. Ovanstående gäller för s k "standard-däck". Det finns såväl tystare som bullrigare däck vilka påverkar resultaten något i olika riktningar.

Även vid denna undersökning har däck/vägbanebullret underskattats. Det beror på att såsom "däck/vägbanebuller" används mätningar vid frirullning, medan drivdäcken vid körning av typ "cruise-by" och "drive-by" i verkligheten utsätts för ett drivmoment som torde öka bullret något. Det går dock inte att kvantifiera detta.

Skillnaden mellan Volvo- och Scania-ekipagen vad gäller däck/vägbanebuller är trots samma däcktyp 2-4 dB(A). Denna skillnad beror med stor sannolikhet på att Volvo-ekipaget har dubbelt så många däck som Scanian (vilket motsvaras av dubbelt så hög totallast) och att varje

fördubbling av antal däck, med bibehållen last per däck, borde medföra en bulleröknin med 3 dB(A).

Man kan alltså dra slutsatsen att för nya lastbilar idag börjar däck/vägbanebullret dominera vid ca 50 km/h - oavsett körsätt - och dominerar tämligen ordentligt vid 70-90 km/h. För de fordon som kommer efter 1995 börjar dominansen för däck/vägbana redan någonstans under 50 km/h. När de nya fordonen har ersatt de gamla på marknaden kommer således däck/vägbanebullret att dominera för alla körsätt och hastigheter utom de som innebär att man står stilla (tomgång) eller är under acceleration, alternativt inbromsning, till eller från ett stationärt körsätt kring 50 km/h.

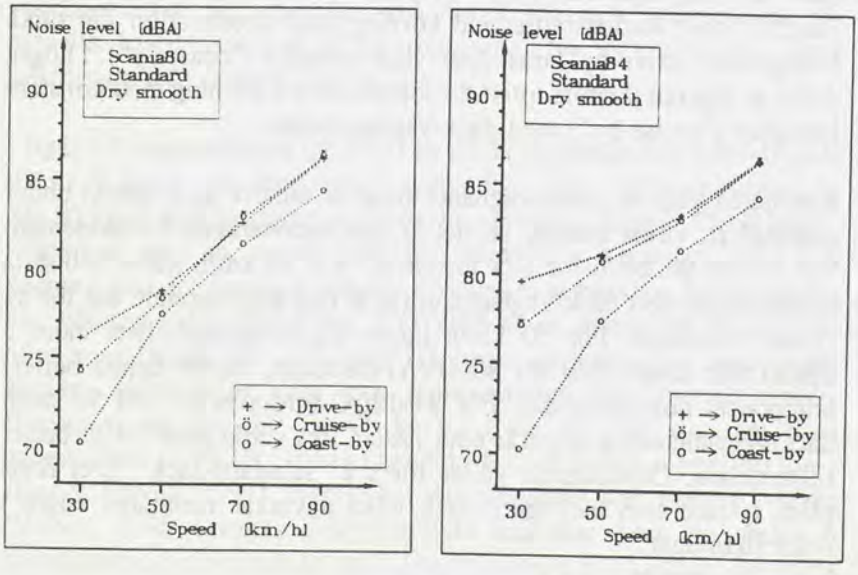


Fig.12 Jämförelse av däck/vägbanebuller (coast-by) med totalt fordonsbuller under acceleration (drive-by) resp. konstant fart (cruise-by). Två lastade lastbilar var provobjekt, där vardera typen fanns i två versioner, en som uppfyllde dagens bullergränsvärde 84 dB(A) (fordon: Scania 84, Volvo 84) och en som uppfyllde morgondagens krav på 80 dB(A) (fordon: Scania 80, Volvo 80).

6. ANSVARSFÖRDELNING

Det brukar föreligga stor enighet om att bästa sättet att reducera vägtrafikbuller är genom åtgärder vid källan. Redan Trafikbullerutredningen 1974 var noga med att påpeka detta. Trots det har troligen större positiva effekter åstadkommits genom de samlade insatserna i form av stadsplanering, omläggning av trafik, uppsättning av skärmar samt förbättrad ljudisolering. Vad gäller åtgärder riktade mot källan, har under drygt 20 års tid arbetet med att reducera vägtrafikbuller koncentrerats på åtgärder mot bulleremission från fordonen. Genom att bullergränsvärden har införts för fordon, reduceras såsom tidigare påpekats det maximala fordonsbullret, åtminstone nominellt, med drygt 10 dB(A) under perioden 1970-1996. Denna bullerreduktion motsvarar en faktor > 10 i akustisk uteffekt.

Att reducera vägtrafikbullret genom åtgärder på fordonen, främst inriktat mot åtgärder på motorer, luftinsug, fläktar, transmission och avgassystem, var en logisk och bra första ansats. Fordonsindustrin har ställt upp på detta på ett konstruktivt och samarbetsvilligt sätt, inte minst i Sverige, under förutsättning att man får en internationell harmonisering och lämplig tidsmarginal på sig för förändringarna.

Vad man emellertid har missat är helhetssynen på fordonsbullerproblemet. Huvudorsaken till de begränsade framgångarna med fordonsbullergränsvärdena anses vara att bullret från däcken sätter en nedre gräns för den totala fordonsbullerreduktionen åstadkommen genom de traditionella åtgärderna. Däck/vägbanebullret uppkommer genom en interaktion mellan däck och vägbana. Därvid är det uppenbart att både däcket och vägbanan påverkar bullergenereringen.

Man kan alltså till att börja med peka ut tre uppenbart ansvariga "komponenter" i sammanhanget:

* Fordonen (exkl. däcken)
* Bildäcken
* Vägytorna

Till dessa bör läggas även fordonsförarna. Dessa påverkar i hög grad bullernivåerna genom sitt körsätt. Undersökningar som gjorts har indikerat att samtliga dessa komponenter är ungefär jämbördiga; dvs alla fyra kan inom ramarna för dagens trafiksystem påverka det totala vägtrafikbullret ungefär lika mycket.

Slutligen bör man inte heller negligera beställarnas eller inköparnas ansvar. Dessa kan genom att beställa/inköpa miljövänliga fordon påverka marknaden samt sörja för att åtminstone några fordon i trafiken är särskilt lågbullrande.

Ett försök till att kvantifiera ansvarsfördelningen görs i Tabell 2 nedan. Där anges vilka påverkansmöjligheter i form av bullernivå-intervall som finns för de primärt berörda aktörerna. I tabellen har även medtagits "väder". Ansvaret för vädret har väl Vår Herre, men trots att vi inte kan "kräva" något ansvar därvidlag är denna parameter medtagen eftersom den som synes påverkar bullernivåerna i hög grad.

Tabell 2 Inverkan på trafikbullrets ekvivalentnivå som orsakas av "normal" variation hos respektive parameter. Endast variationer som sker inom det direkta vägområdet (t o m vägrenarna) beaktas. För produkter som uppfyller dagens krav.

Parameter:		Intermittent trafik: (0-50 km/h) dB(A)	Trafik med konst. hast.: (40-140 km/h) dB(A)
Fordon (exkl. däck)	Lätta	7 (1)	0-1
	Tunga	5?	1-2
Däck/vägyta	Däck	0-2	5-7 (2)
	Vägyta	3 (3)	7 (3)
Förare	Körsätt	4 (1)	0
	Hastighet	3 (5)	3-5 (5)
Väder/väglag	Väta	1-4 (3)	2-5 (3)
	Temperatur	3 (4)	3 (4)
	Snö	3-5?	5-10?
Totalt		9-19	7-24

Angivna bullernivåintervall anger hur stor påverkan som det bedöms att parametern ifråga kan associeras med genom att man väljer produkt eller körsätt inom idag praktiska gränser. Därvid har bortsetts från extrema variationer, t ex genom att beträffande fordon, däck och vägbeläggningar bortse från de ungefär 5 % av produkterna som är extremt bullriga eller tysta. Beträffande däck innebär det t ex att off-road-däck, reservdäck samt vissa andra extrema däck inte medtagits. Beträffande vägytor innebär det att t ex cementbetongytor och gatstensbeläggningar ej medtagits.

Åtgärder som påverkar bullerspridningen utanför vägen, dvs mjuk mark, snötäcke, skärm eller dränerande parkeringsyta har ej medtagits. Betr. "snö" avser värdena effekten av snö på vägytan och snövall på vägrenen.

Beträffande hastigheter omfattar påverkansintervallet endast en avsevärd men "rimlig" hastighetsanpassning, vilket här har satts såsom en medelhastighetssänkning från 110 till 70 km/h, 70 till 50 km/h eller 50 till 30 km/h.

Värdena är ej additiva inom en cell (inramad) men är additiva för ett värde per vertikal cell. Undantag är värdena för temperatur och väta, vilka torde vara additiva. Värden för körsätt och hastighet torde vara delvis additiva. Även värdena för däck och väg torde delvis vara additiva, dock endast i ringa grad.

(1) Från [Berge, 1993]
(2) Från [Sandberg & Ejsmont, 1992-II]
(3) Från [Sandberg, 1993-I]. Avser svenska förhållanden
(4) Temperaturberoende på -1dB/10° C antaget
(5) Hastighetsberoende antaget: $Leq = 23 \cdot \log {}^{v/v}{}_{ref}$, se t ex [Kragh et al, 1991]

Rent "kvantitativt" kan man alltså säga att påverkansmöjligheterna är ungefär lika fördelade mellan "parametrarna" fordon, däck, väg och förare. Negligerar man en av dessa fyra frånhänder man sig en ganska stor påverkansmöjlighet. Det bör vara samhällets uppgift att se till att balans råder mellan kraven på bullerreduktionsåtgärder för dessa.

Hur fördelar man då idag i praktiken krav och ansvar? Följande söker belysa detta:

* Fordonen: Här finns det relativt hårda krav betr gränsvärden, vilka 1996 kommer att bli ännu hårdare. Detta är fullt befogat, åtminstone i ett mellan de "medskyldiga" balanserat åtgärdssystem. Ansvarig näringsgren är här fordonsindustrin.

* Bildäcken: Här saknas idag helt och hållet relevanta krav. Sedan ca 1920 har bildäckens bullernivå i stort sett inte förbättrats, snarare tvärtom. Däremot har däcken ur de flesta andra synvinklar fått oerhörda prestandaförbättringar. Den mot bullret trots allt återhållande kraften är att det är ett försäljningsargument att däck/vägbanebullret är lågt inuti fordonen. En avsevärd del av bildäcken som rullar på vägarna utgörs av regummerade däck. Regummeringar görs av andra industrier än däcktillverkarna. Ansvarig näringsgren är här därför däckindustrin i kombination med däckregummerarna.

  Ett exempel på ansvarsproblemet är att när forskare eller utvecklingsansvariga hos däckfabrikanterna skriver artiklar för tid-

skrifter och konferenser, koncentreras oftast redovisningen till hur mycket man kan reducera bullret medelst lämplig vägbeläggning (n.b. dränasfalt) och hur oerhört svårt det är att åstadkomma effekter med åtgärder på däcken.

* Vägytorna: Även här saknas i regel krav. Lokalt kan det dock i vissa fall finnas riktlinjer som kräver en viss typ av vägbeläggning. Inom branschen pågår dock ett målmedvetet utvecklingsarbete för att åstadkomma vägbeläggningar som medför lägre trafikbuller. Detta har haft viss framgång, även om det just nu finns en utbredd besvikelse över att de s k dränerande beläggningarna inte kan bibehålla sin bullerreduktion under så lång tid som önskas. Det har även, med stöd från bl a Vägverket, startats ett arbete med att utarbeta en internationell mätstandard för bullerpåverkan från vägbeläggningar. Från svensk sida har vi drivit på denna utveckling och har ordförandeskapet i den ISO-grupp som utför arbetet. Detta är första steget mot begränsning av den del av vägtrafikbullret för vilket vägbranschen är ansvarig. Nästa steg blir att utnyttja mätstandarden till att ställa bullerkrav på vägbeläggningarna vilket är aktualiserat bl a inom CEN (europeiska standardiseringsorganisationen). För övrigt planeras ett stort projekt med gummivägbeläggning för bullerdämpning. Ansvariga är här väghållarna och vägentreprenörerna.

* Fordonsförarna: Några egentliga krav vad gäller buller finns här inte. Undantag är att det i vissa länder lokalt förekommer hastighetsbegränsningar med bullerkänslighet hos omgivningen som huvudmotiv. Provkartan av åtgärder omfattar här hastighetsbegränsning, varvtalsbegränsning och automatväxling. I viss mån har en förbättring ägt rum i och med att bränslebesparingsskäl har medfört att motorvarvtalen i trafiken har gått ner. Utvecklingen mot att kunna fjärrövervaka/styra fordonen ger möjligheter att i framtiden sätta gränser vad gäller hastighet och varvtal och att automatiskt övervaka dessa. Förutsatt att det är politiskt gångbart kommer det alltså inom en inte alltför avlägsen framtid att finnas möjligheter att tvinga fordonsförarna att ta bullerhänsyn längs med vägavsnitt där detta är påkallat.

Fordonsförarna - eller egentligen bilägarna - har vidare ansvar för att fordonen hålls i acceptabelt skick och att utbytesdelar såsom ljuddämpare och däck uppfyller de bullerkrav man kan ställa.

* Beställarna/inköparna: Exempel på att dessa kan åläggas och leva upp till ett ansvar är att de större lokaltrafikbolagen i Sverige sedan ca 15 år sätter som krav vid inköp av stadsbussar att dessa skall uppfylla 80-dB(A)-målet. Detta har medfört att såväl Scania-Bussar AB som Volvo Bussar AB alltsedan slutet av 70-talet har kunnat leverera sådana fordon till bolagen. Ansvariga är här trafikbolagen, taxibolagen, åkerierna samt de statliga eller kommunala beställarna av transporttjänster.

Resonemanget ovan syftar till att komma fram till att idag bärs i praktiken ansvaret för bullerdämpning vid källan av i huvudsak fordonsfabrikanterna. I andra hand tar vägbranschen/väghållarna och lokaltrafikbolagen sitt ansvar och bidrar till utvecklingen. Fordonsförarna kommer sannolikt att i ökad grad få bidra. Balansen sätts dock totalt ur spel på grund av däcken. Här saknas idag relevanta krav från samhället på det externa bullret.

Däck/vägbanebullerfrågan har hamnat i en något oklar ansvarsposition. Fordonstillverkarna påverkar genom sin inköpsroll marknaden och de har helhetsansvaret för fordonen. Däcktillverkarna har ansvar för sin produkt. Regummerarna har ansvar för sin produkt. Väghållarna har ansvar för vägbeläggningarnas egenskaper vilka påverkar bullret lika mycket som däcken. Samhället har huvudansvaret för att se till att befolkningen skyddas mot oacceptabel bullerexponering. Redan i tidigare nämnda utredning av Gadefelt 1974 insågs att ansvarsproblemet skulle medföra att inget hände om inte samhället tog sitt ansvar. Detta var huvudmotiv till att just STU inledningsvis skulle gå in som finansiär och att sammansätta en ledningsgrupp med bred samhällsförankring.

7. GENERERINGSMEKANISMER

Däckbullret är ett resultat av interaktionen däck/vägbeläggning. Ljudutstrålningen sker i huvudsak genom rörelser i däcket eller i dess mönsterkaviteter. Det finns inga undersökningar som pekar på nämnvärd ljudutstrålning från vägbeläggningen även om vissa misstankar finns i några fall.

Det har visat sig att däck/vägbanebuller kan uppkomma på flera sätt. Två frekvensområden med helt olika mekanismer kan urskiljas.

* Däckbuller *under* 800 Hz:

Bullret inom detta frekvensområde är huvudsakligen orsakat av däck/vägsystemets "skrovlighet". Skrovligheten utgörs dels av mönstret i gummit i däckets slitbana, som är avsett att dränera bort eventuellt vatten, dels av texturen hos vägytan. Är texturen slät blir mönstereffekten framträdande och är slitbanan slät blir textureffekten framträdande. När däcket rullar över vägbeläggningen, och mönsterblocken med vissa mellanrum träffar vägytan, eller stenarna i vägytan träffar däckgummit, alstras vibrationer i däckstommen som strålar ut till omgivningen i form av buller.

* Däckbuller *över* 800 Hz:

Inom detta frekvensområde spelar den omgivande luften kring däcket en betydelsefull roll i genereringsprocessen. Det finns i princip tre möjligheter:

a) *"Tangentiellt sprätt"*. För det högfrekventa däckbullret är det tänkbart att man genom alternerande vidhäftnings-glid-förlopp ("stick-slip") alstrar tangentiella svängningsrörelser längs vägbeläggningen hos däckets mönsterblock. Speciellt tydliga blir dessa svängningsrörelser när mönsterblocken lämnar vägbeläggningen då dessa "sprätter till".

b) *"Luftpumpning"*. Luftpumpning innebär att luft pumpas ut, när en mönsterkavitet rullar in i "kontakt" med vägytan, respektive sugs in vid dekompressionen när mönsterkaviteten lyfter från beläggningen vid utgången ur kontaktytan. Ju snabbare volymförändring desto mera buller.

c) *"Luftresonant avstrålning"*. När man drar en kork ur en flaska kan ibland höras ett karaktäristiskt "plopp". Det beror på att korken drar med sig luft ut ur flaskan. När luften skall in i flaskan igen startas en svängningsrörelse där luften i halsen blir en svängande "luftpropp" och luftvolymen i flaskan en "fjäder".

   På liknande sätt kan buller från ett bildäck alstras. När ett mönsterblock lyfter från beläggningen "sprätter" det till. Det medför att luft nu rusar in mellan mönsterblocken för att neutralisera det undertryck som uppstått. Därmed startar en svängningsrörelse på liknande sätt som i flaskan. Det medför att buller strålar ut till omgivningen vid de resonansfrekvenser de

halvöppna luftvolymerna svänger med. På fackspråk kallas mekanismen "luftresonant avstrålning".

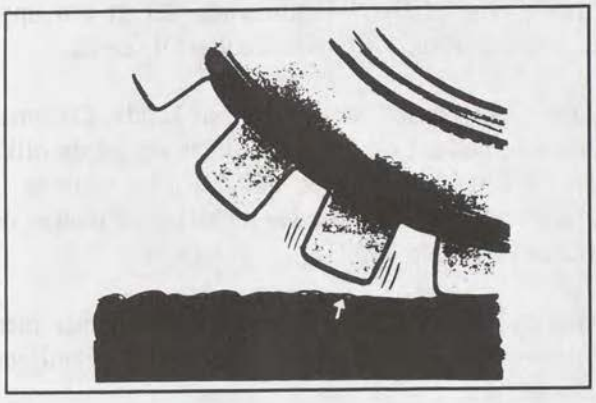


Fig. 13
Ljudalstring genom "tangentiellt sprätt"



Fig. 14
Ljudalstring genom luftpumpning

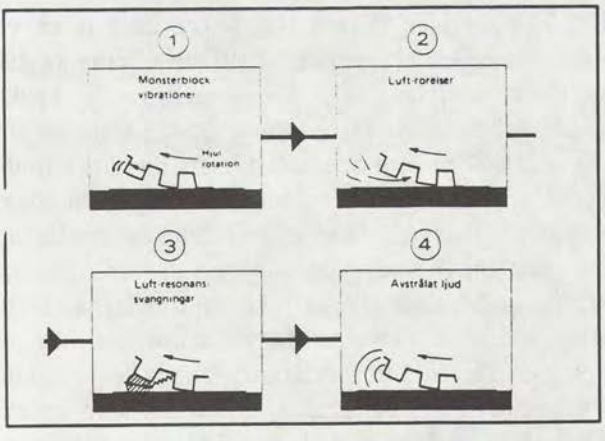


Fig. 15
Ljudalstring genom luftresonant avstrålning

Observera att mekanismerna luftpumpning och tangentiellt sprätt kan ses som igångsättare av svängningsrörelser av typen "luftresonant avstrålning". Det är därför inte otänkbart att denna kan vara en "enande faktor" i den tidvis relativt inflammerade debatt om uppkomstmekanismerna som har förts mellan däckbullerforskarna.

Genereringsmekanismerna kan anses vara i stort sett kända. Däremot finns inte kunskap om hur ljudet kvantitativt fördelar sig på de olika mekanismerna, eftersom detta beror på en mängd olika faktorer. I synnerhet råder det osäkerhet om det inbördes förhållandet mellan de tre möjliga mekanismerna ovanför 800 Hz.

Ytterligare två saker som inte direkt är genereringsmekanismer men väl spridningsmekanismer med stor inverkan skall nämnas, nämligen ljudabsorption och horneffekt.

* Ljudabsorption:

Porositet i vägytan medför att ljudet delvis absorberas i vägytan under sin utbredning mellan källa och mottagare. Eventuella reflexer mot ytan dämpas även. S k dränerande vägytor konstrueras för att åstadkomma en hög porositet. Om mer än ca 10 % av volymen i slitlagret utgörs av öppen porositet (luft) påverkas ljudet. En ljudabsorptionskoefficient på ca 0,2 är tillräcklig för att ge en mätbar effekt på ljudutbredningen. En annan effekt som porositeten kan ha är att förhindra luftpumpning genom att tryckgradienterna i kontaktranden reduceras.

* Horneffekt:

Ljudet som alstras i kontaktytans främre och bakre kant (t ex via luftpumpning) kommer att delvis "begränsas" i sin utbredning av dels den underliggande plana vägytan dels den överliggande krökta däckslitbanan. Området däremellan får en form som påminner om exponentialhorn och andra horn som används för att förstärka ljudet från en högtalare eller en människoröst. Sådana horn ger en bättre akustisk impedansanpassning och ger då en effektivare ljudutstrålning. Samma har visat sig gälla för den nämnda volymen mellan däck och väg. Därmed förstärks ljudet som alstras i kontaktranderna. Detta fordar dock att däcken har en viss bredd eftersom det blir ett "läckage" vid sidorna, och därmed blir förstärkningen via horneffekten bättre ju bredare däcken är. För "gammaldags" bildäck som kanske var endast 100 mm breda i kontaktytan var horneffekten inte påtaglig.

Om den ena begränsningsytan är porös (såsom vid dränerande vägyta) försvinner horneffekten.

8. MÄTMETODER

8.1 Inledning

För att möjliggöra nationella och internationella jämförelser av däcks och vägytors egenskaper måste en enhetlig mätmetodik användas. I detta kapitel beskrivs de huvudsakliga mätmetoder som är aktuella. Dessa är följande:

1. Förbirullningsmetoden
2. Trummetoden
3. Mätvagnsmetoden
4. Förbifartsmetoden med mätvagn
5. Statistiska förbifartsmetoden
6. Kontrollerade förbifartsmetoden
7. Ljudabsorptionsmätmetoden

Därutöver förekommer i diskussionerna en allmänt använd metod för fordonsbullermätning: ISO 362. Även denna beskrivs nedan.

En tämligen utförlig genomgång och diskussion av mätmetoder lämpliga för att klassificera bildäck med avseende på buller har nyligen presenterats i [Sandberg & Ejsmont, 1993].

8.2 ISO 362 och motsvarande

Denna metod är avsedd för att mäta maximalt buller som kan avges från ett fordon. Ursprungligen utarbetades metoden av ISO (och har senare även reviderats) men den har i smärre variationer anammats av ECE (i ECE-reglementet R51) och av EG (i EG-direktivet 70/157/E-EC, vilket skall ersättas av nya 92/97/EEC). Trots att t ex den sistnämnda varianten kräver ett något annorlunda körsätt för tunga fordon brukar man tala om "ISO 362" även för varianterna.

I metoden har man en mätplats enligt figur 16. Provfordonet skall köra fram emot linjen A-A med konstant hastighet på en växel som bestäms av växellådans konstruktion och fordonets typ och effekt. För en personbil med manuell 5-växlad växellåda skall man t ex normalt

prova på både 2:a och 3:e växlarna. Lastbilar skall provas på ett antal olika växlar. Ingångshastigheten vid linjen A-A skall motsvara den hastighet man får på aktuell växel då motorvarvtalet är 75 % av det vid vilket motorn utvecklar maximal effekt, dock högst det motorvarvtal som ger hastigheten 50 km/h. I praktiken brukar detta innebära att personbilarna får ingångshastigheten 50 km/h och att tunga fordon provas med ingångshastigheter mellan ca 25 och 50 km/h (med nya EG-direktivet ner till ca 20 km/h).

Mikrofonerna skall vara två st och placerade symmetriskt 7,5 m på båda sidor om körlinjen C-C, mittemellan linjerna A-A och B-B. Mikrofonernas höjd över marken skall vara 1,2 m. Den akustiska omgivningen skall vara sådan att inga väsentliga ljudreflekterande föremål skall finnas inom 50 m från mikrofonerna.

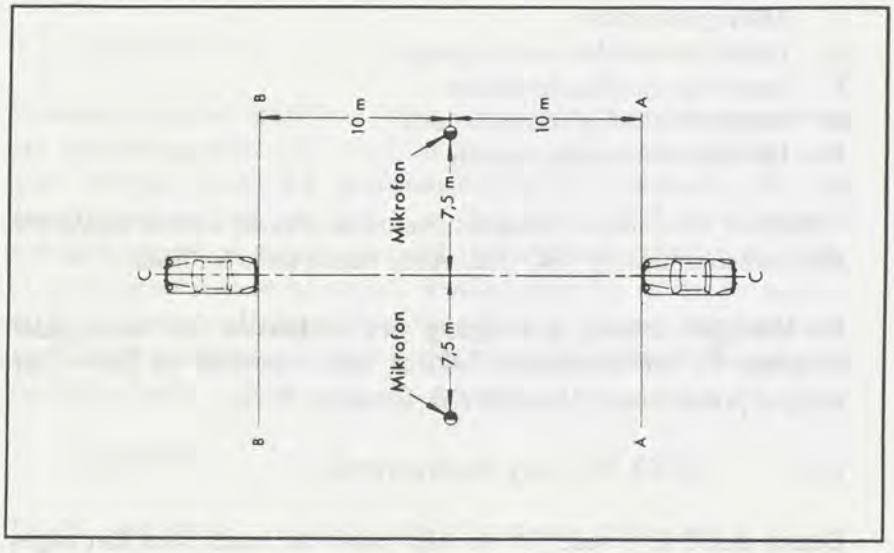


Fig. 16 Mätplats för mätning enligt ISO 362 och motsvarande.

Då fordonet kommer fram till linjen A-A skall det accelereras maximalt förbi mikrofonen ("gaspedalen i botten") vilket fortgår tills en varvtalsbegränsare sätter in (tunga fordon) eller senast tills fordonets bakända når linjen B-B då man släpper gaspedalen.

Provfordonet skall vara olastat vid provningen. Detta medför t ex att de starkaste tunga fordonen som normalt har en släpvagn eller påhängsvagn - oftast tungt lastad - vid denna provning då de körs helt

olastade får alldeles exceptionella accelerationsegenskaper vilka i praktiken aldrig utnyttjas på detta sätt. Däcken utsätts i vissa fall för enorma vridmoment utan att vara normalt lastade, vilket gör att de lättare slirar än vad som är normalt.

Metoden har knappt några fördelar längre. Det skulle i så fall vara att den är "traditionell" samt billig och snabb att utföra vid certifieringar mot lagkrav. Nackdelarna är att metoden inte längre representerar det sätt vid vilket fordonen normalt framförs i trafiken. Man har ingen rimlig garanti för att ett fordon som ger lågt buller enligt denna metod även ger lågt buller i verklig trafik. Vidare är den känslig för körsätt samt meteorologiska förhållanden vilket bl a gör den onoggrann, dyrbar och långsam vid utvecklingsprovningar då man har stora noggrannhetskrav.

ISO 362 kommer att revideras under närmaste året så att man kräver mätning på en referensyta av det slag som numera specificeras i ISO 10844. Det senaste EG-direktivet har redan inskrivet detta krav. Denna vägyta har framtagits speciellt för att erhålla låg däck/vägbanebullernivå så att metoden helst skiljer ut drivenhetsbullret och att däck/vägbanebullret därmed ger minsta möjliga påverkan.

8.3 Förbirullningsmetoden

Förbirullningsmetoden är den mest representativa mätmetoden i fält och för klassificering av bildäck med avseende på buller. Den är egentligen en anpassning av ISO 362 till att mäta med frirullande fordon. Metoden är specificerad i [ECE/GRB, 1990].

Den maximala ljudnivån mäts när ett fordon utrustat med provdäck rullar förbi en mikrofon på en mätplats med avslagen motor och urkopplad transmission. Se figur 17. Mikrofonen placeras 1,2 m ovanför marken och 7,5 m från mätplatsens centrum. Mätningarna skall genomföras på någon eller några väl specificerade vägytor och bakgrundsljudnivån måste åtminstone vara minst 10 dB lägre än uppmätta värden. Det senare är ett gemensamt krav i alla metoderna.

Metoden kan användas för typprovning av däck och vägytor (se vidare 8.5 nedan).

8.4 Trummetoden

Ett provdäck monteras så att det kan rullas mot en trumma i ett laboratorium. Se figur 21. Speciell hänsyn måste tas till trummans akustiska omgivning. Metoden är oberoende av vädret, kräver litet utrymme och behöver enbart ett däck per test. Se vidare [ECE/GRB, 1990].

Mikrofonen placeras lämpligen på ett horisontellt avstånd från däckets sida av 0,2 m för lätta fordon och 0,4 m för tunga fordon och med en vinkel till mitten på däcksidan på 135° relativt däckets rullningsriktning. Helst skall man ha en andra mikrofon symmetriskt på andra sidan av däcket. Emellertid förekommer en mängd varianter i mikrofonposition.

Mätningarna skall göras på ytor som imiterar verkliga vägtexturer. Trummans yta täcks därför lämpligen av en (avgjuten) kopia av en verklig vägyta.

Metoden är framför allt användbar för forskning och utveckling för att upptäcka mindre ändringar i bulleremissionen från olika däck. Ett stort antal däck kan jämföras under relativt kort tid. Vidare kan den användas för att klassificera däck (dock ej vägytor).

De två huvudsakliga nackdelarna är att (1) trumman har en viss krökning vilket kan påverka bullret något, samt (2) olika placeringar av mikrofonen kan ge olika resultat. Vilken som är den mest representativa positionen är omstritt.

8.5 Mätvagnsmetoden

Ett provdäck monteras på en enkel- eller tvåhjulig mätvagn som bogseras av ett dragfordon. Se figur 18-20. Mikrofonen eller mikrofonerna monteras på motsvarande sätt som i trummetoden. För att öka signal/brusförhållandet och minska vädrets inflytande kan man innesluta provdäcket och mikrofonen i en ljudisolerande huv med ett ljudabsorberande material på insidan. Metoden är specificerad i [ECE/GRB, 1990].

Också dessa mätningar skall göras på väl specificerade vägytor och bakgrundsnivån skall åtminstone vara 10 dB lägre än uppmätt nivå. Sistnämnda villkor kan vara utomordentligt svårt att uppnå om inte en

huv används. Metoden har samma för- och nackdelar som redovisades betr trummetoden (med undantag av väderinverkan).

Metoden är utmärkt för rationell och snabb mätning av ett större antal däck och vägytor samt för forskning. Den är särskilt användbar för mätning i svårt bullerstörda miljöer, t ex på högtrafikerade vägar. Metoden är lämplig huvudsakligen för att klassificera vägytor med avseende på bulleremissionen och då endast under förutsättning av att man på något sätt separat kan ta hänsyn till eventuell ljudabsorption hos vägytan, se 8.9.

Klassificering av vägytor kan vara problematisk eftersom det förutsätter tillgång till referensdäck vars bulleremission är oföränderlig över tiden. Sådana däck finns egentligen inte (veterligt); se 8.11.

8.6 Förbifartsmetoden med mätvagn

Denna är en hybrid mellan förbirullningsmetoden och mätvagnsmetoden. Se figur 22. Mätuppställningen är som i förbirullningsmetoden men provfordonet utgörs av en dragbil med en mätvagn. Då ekipaget rullar (eller kör) förbi registrerar man den högsta ljudnivån i mikrofonen. Det antas att denna inträffar då mätvagnens axel är närmast mikrofonen. Då kan emellertid dragbilens ljud störa något, fastän den är längre ifrån mikrofonen, varför man måste utforma dragbilen för allra lägsta uppnåeliga ljudnivå, t ex genom att använda släta däck och sätta huvar över däcken. En separat mätning förutsättes ske med enbart dragfordonet för att fastställa dess bullernivå. Se vidare [Sandberg & Ejsmont, 1992-I].

Fördelen med metoden är att man får ett mer enhetligt mätfordon (mätvagnen) vilket borde minska inverkan av själva provfordonet på bulleremissionen från provdäcket. Nackdelarna är att man måste anskaffa mer och dyrbarare utrustning, man måste göra fler mätningar samt att man får bekymmer med att eventuellt korrigera bort inverkan av dragfordonets buller.

Metoden är lämplig endast för att klassificera däck med avseende på bulleremissionen.

8.7 Statistiska förbifartsmetoden

I denna metod använder man såsom mätfordon de fordon som trafikerar vägarna men bibehåller i stort sett mikrofonuppställning och mätplats i enlighet med förbirullningsmetoden. Mätplatsen förutsättes vara på en trafikerad väg eller gata och fordonen förutsätts passera på "normalt" sätt, dvs med konstant fart. Mätning av buller och fordonshastighet görs för varje fordon som passerar mätplatsen enskilt. Fordonen klassificeras i tre fordonsklasser (eventuellt finare indelning). Bullernivå för fordonen inom klassen anges som funktion av hastighet och när ett tillräckligt antal fordon registrerats (t ex minst 100 personbilar) görs en regressionsberäkning. Utgående från denna bestäms bullernivån vid en eller flera referenshastigheter. Detta utgör sedan bullermått som representerar vägbeläggningen.

Metoden förutsätter att ett ur statistisk synvinkel tillräckligt antal fordon har uppmätts så att urvalet av fordon inom varje fordonsklass är "likadant" på varje väg, i varje land och vid varje mättillfälle. Med vissa osäkerhetsmarginaler är detta fallet.

Huvudproblemet med metoden är föränderligheten i fordonssammansättningen i trafiken, dvs hur stora fel man kan få p g a fordonsurvalet. Möjligheterna att kalibrera detta är under diskussion. I vart fall torde metodens generella användbarhet vara begränsad till länder med likartad trafikstruktur.

Metoden är lämplig endast för att klassificera vägytor med avseende på bulleremissionen.

8.8 Kontrollerade förbifartsmetoden

Denna metod liknar den föregående i allt utom provfordonen. Med denna metod används egna, särskilt utvalda provfordon vilka är utrustade med bildäck enligt vissa önskemål. Provfordonen körs av "egna" förare förbi mikrofonen och bullret registreras. I detta fall kontrolleras således såväl urvalet av fordon och bildäck som körsättet.

Metoden är lämplig endast för att klassificera vägytor med avseende på bulleremissionen.

En nackdel med metoden är att den är praktisk endast vid provning med personbilar. Eftersom vägytor ofta klassificeras annorlunda för

tunga fordon än för lätta har metoden brister i allmängiltigheten. Ett annat problem är föränderligheten i fråga om fordon och bildäck. Detta är ett i det närmaste lika stort problem som i den statistiska förbifartsmetoden, såvida man inte bestämmer sig för att "i evig tid" spara ett antal fordon och däckuppsättningar såsom referenser och förvarar dem så att de inte ändrar sina egenskaper. Detta tycks vara en mycket svår uppgift.

8.9 Ljudabsorptionsmetoden

När man mäter med en mätvagn då mikrofonen sitter nära provdäcket får man inte med hela den eventuella ljudabsorberande effekten hos vägytan. Då behövs en kompletterande metod för att mäta ljudabsorption. En färdig metod för att mäta vägytors ljudabsorption finns inte än men är under utveckling (ISO/TC43/SC1/WG38).



Fig. 17 Mätningar med förbirullningsmetoden på trafikerad väg (mikrofon vid 7,5 m från körfältets mitt)

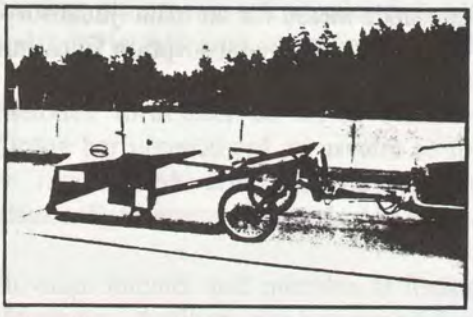


Fig. 18 Mätvagn för personbilsdäck vid Tekniska Högskolan i Gdansk. Mätdäcket och mikrofonerna skyddas av en huv

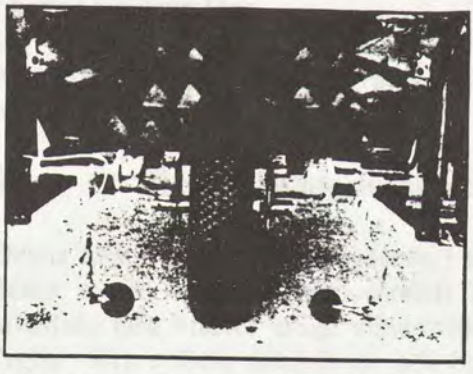


Fig. 19 Insidan av den polska mätvagnen, med användande av symmetrisk mikrofonplacering (135° och 225° i relation till körriktningen = 0°)

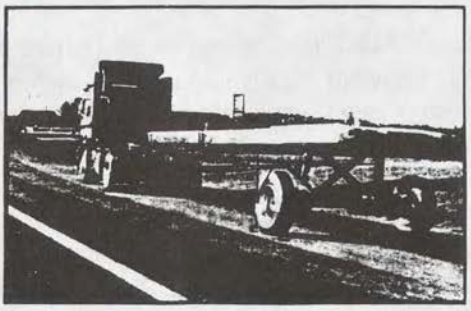


Fig. 20 Mätvagn för lastbilsdäck vid Statens väg- och trafikinstitut. Skyddande huv används ej, p g a utrymmesproblem.

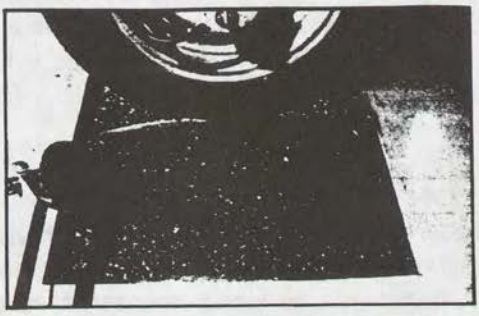


Fig. 21 Illustration av laboratorietrummetoden. Anläggning vid Tekniska Högskolan i Gdansk

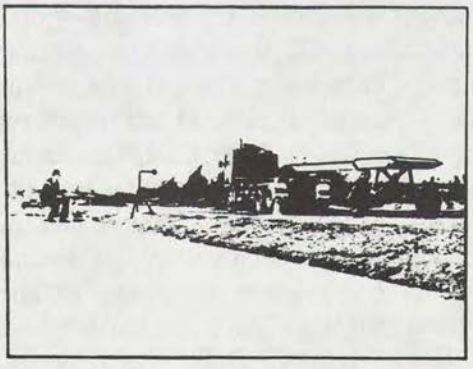


Fig. 22 Illustration av förbirullningsmetoden med mätvagn. Mätvagn vid Statens väg- och trafikinstitut med 10 m dragstång (skärmhuvar över dragbilshjulen ej monterade)

8.10 Referensvägytor

Om man önskar gradera bildäck med avseende på bulleremission är det alldeles nödvändigt att utföra provningarna på någon form av enhetlig och reproducerbar referensyta. Vägytan påverkar ju bullernivån ungefär lika mycket som däcken själva.

Den enda internationellt standardiserade vägytan som är avsedd att användas för bullermätning är en yta som utvecklats inom ISO för användning vid fordonsbullermätning enligt ISO 362 och ISO 7188, se [ISO 10844, 1993]. Denna är avsedd att ge så lågt däck/vägbanebuller som möjligt utan att absorbera ljudet. Ytan realiseras i form av en tät, slät asfaltbetong med maximalt 8 mm stenstorlek. Gränser finns för högsta tillåtna porositet och ljudabsorptionskoefficient samt för minsta tillåtna textur. Trots att denna yta inte alls har varit avsedd för mätning av representativt däck/vägbanebuller pågår nu diskussioner om att använda den även i en standard för sådan mätning.

I övrigt finns förslag om att använda två vägytor som referensytor för (representativ) däck/vägbanebullermätning [ECE/GRB, 1990]. Det rör sig här om en slät, tät asfaltbetongyta med 11-13 mm max stenstorlek såsom en "slät" referensyta, och en starkt texturerad enkel ytbehandling typ Y1B med maximal stenstorlek 12-15 mm såsom en "skrovlig" referensyta (se exempel på sådan skrovlig yta i figur 21). Ytorna avses kontrolleras genom att deras texturprofil uppmätes och s k texturspektrum beräknas. Valet av de två ytorna är gjort i avsikt att den släta varianten skall så väl som möjligt representera en "normal" vägbeläggning för en starkt trafikerad väg, framförallt i tätorter. Den skrovliga varianten är avsedd att representera en "normal" vägbeläggning på en landsväg där hastigheterna är relativt höga men trafikintensiteten inte är så särskilt stor. Genom att ytornas textur har valts så att den släta ytan exciterar främst mekanismerna över 800 Hz och den skrovliga ytan exciterar främst mekanismerna under 800 Hz så anses en kombination av ytorna ge en ganska komplett bild av ett bildäcks "förmåga" att alstra buller.

Några andra försök att specificera referensytor för däckbullermätning är inte kända. Emellertid skall i sammanhanget nämnas att ytorna ovan är avsedda att antingen finnas på en (lågt) trafikerad väg eller på en särskild provbana. Samtliga ytor är nämligen valda så att de skall uppfylla även krav på säkerhet, ekonomi och livslängd. Ett problem kan då vara att den skrovliga ytan inte tål alltför hög ackumulerad

trafik innan den slits ner till en för referensändamålet alltför låg textur.

I de fall man vill använda trummetoden är det nödvändigt att på trumman montera en yta med en textur som imiterar referensytorna. Teknik för detta finns utvecklad. Det bästa sättet anses vara att använda en på väg eller provbana lagd referensyta som original, göra en avgjutning av denna i polyuretan e d, reproducera denna yta på kurvformade segment med utnyttjande av något slitstarkt, hårt syntetiskt material, samt skruva fast dessa segment på trummans periferi. Se figur 23 som visar ett exempel från en trumanläggning där tekniken har tillämpats med utnyttjande av avgjutningar utförda på trafikerade vägytor.

8.11 Referensdäck

Likväl som referensytor är nödvändiga för klassificering av bildäck är referensdäck nödvändiga för klassificering av vägytor. Följande däck har använts såsom referenser för bullermätningar:

* *PIARC, slätt.* Detta är ett stålradialdäck specificerat av the Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) avsett för bl a friktionsmätning. Denna variant har en normal slitbana som dock inte har något utskuret mönster. Dimension 165R15 i en äldre version och 175SR14 i den senaste versionen. Bullernivån från detta däck är mycket låg på en slät yta men mycket hög på en skrovlig yta.

* *PIARC, ribbat.* Detta är likadant som ovanstående, utom att det finns fyra längsgående spår i mönstret ("ribbor" på svenskanpassad engelska). Bullernivån från detta däck har ett mer komplicerat förhållande till vägtexturen än ovanstående.

* *ASTM, äldre diagonaldäck.* American Society for Testing and Materials (ASTM) har referensdäck motsvarande PIARC:s ovan (både slätt och ribbat). Dessa har emellertid inte använts särskilt mycket för bullermätningar och dimensionen är avpassad för äldre, tunga amerikanska personbilar.

* *ASTM E1136.* Detta är ett modernt radialdäck som specificeras av ASTM. Dimension 195/75R14. Mönstret är ett mellanting mellan typiska sommar- och vintermönster - s k "all-weather

design". Däcket är bl a avsett för fordonsdynamiska mätningar samt friktionsmätningar. Däckgummit är ganska mjukt. Bullernivån från detta däck är relativt låg.

* *"VTI urval"*. VTI:s mätningar med mätvagnsmetoden i avsikt att jämföra vägbeläggningar har i åratal utnyttjat ett urval av stålradialdäck med vitt skilda mönster. Därmed avses alla "normala" varianter av däckmönster vara representerade i urvalet så att klassificering av vägytorna inte blir gjord endast för en däcktyp. Fyra av däcken är kommersiella däck medan ett av däcken är det släta PIARC-däcket ovan. Urvalet omfattar även ett dubbat vinterdäck. Samtliga kan ses i figur 24.

* *"Tyskt urval"*. I Tyskland har man (Umweltbundesamt) nyligen bestämt sig för att använda ett urval som omfattar fyra kommersiella bildäck:

  - Michelin MXT, 155/70 SR13
  - Goodyear Vector, 175/70 SR13
  - Continental CH90, 195/65 HR15
  - Pirelli P600, 205/60 VR15

Ett problem med samtliga däck är att det inte går att garantera deras oföränderlighet. Särskilt gäller detta de kommersiella däcken. I ett långsiktigt perspektiv kan deras representativitet diskuteras eftersom däcken på marknaden ständigt förändras. Vidare är det ett problem att det inte finns några referensdäck för tunga fordon; samtliga ovanstående är ju personbilsdäck.

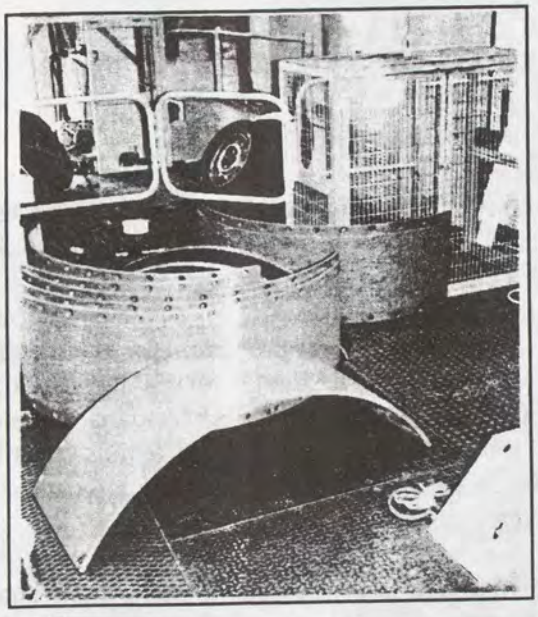


Fig. 23 Segment avsedda att fästas runt en trumma, vilka medelst avgjutningar och reproduktioner har givits en yta som motsvarar en verklig vägyta. Foto av förf. från SP Tyres UK Ltd. i Birmingham, England (f d Dunlop).

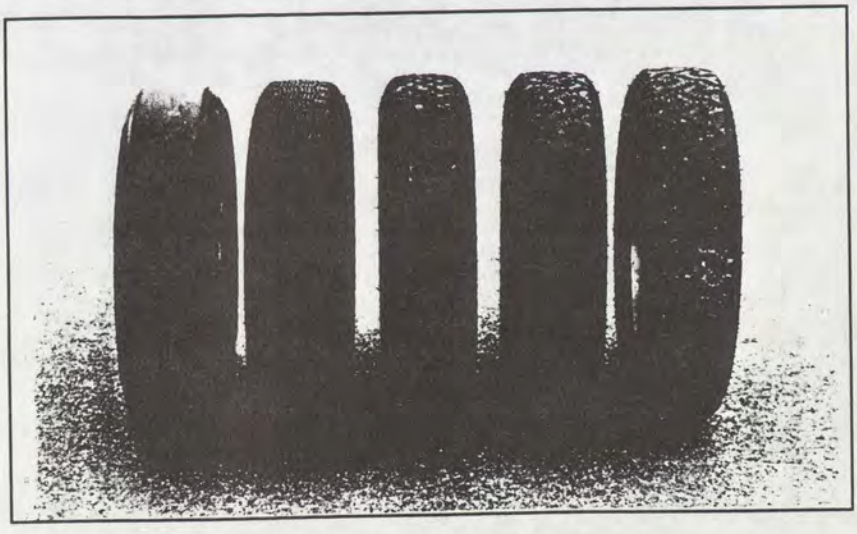


Fig. 24 Urval av bildäck som användes vid VTI:s bullerjämförelser mellan olika vägbeläggningar. Dimension 165R15. PIARC:s däck till vänster.

9 INTERNATIONELLT SAMARBETE SAMT INTERNATIONELLA STÄLLNINGSTAGANDEN

9.1 Internationellt samarbete

Ett stort antal internationella grupper arbetar f n med däck/vägbanebuller eller närbesläktade frågor. En redovisning finns i tabell 3.

Några kommentarer till tabellen är befogade. Det stora antalet grupper är en indikation på hur svårt och angeläget problemet anses vara för närvarande och visar på hög aktivitet, men det kan också ligga en fara i att alltför många arbetar med näraliggande eller likadana ämnen. Grupperna kan komma fram till olika resultat eller åtminstone till metoder och åtgärder som inte är samstämmiga. Det är viktigt att här verka för en harmonisering.

Det vore därför bra om det funnes ett sekretariat någonstans som kunde åta sig att sända ut ett nyhetsblad en gång per månad till alla som är engagerade i någon grupp med information om hur alla dessa grupper arbetar och deras underhandsresultat.

Tabell 3 Olika internationella arbetsgrupper med anknytning till däck/vägbanebuller, vars arbete pågår

Grupp, benämning	Huvudinriktning	Syfte
ERGA-Noise III Rådgiv. bullerarb.grupp inom EG	Däck, fordon	Föreslå EG metoder och gränsvärden vad gäller buller från fordon och däck (osäkert f n, ny grupp)
ECE/WP29/GRB FN:s europakommissions bullergrp	Däck, fordon	Förbereda ECE-reglementen om buller från fordon och däck
ECE/WP29/GRRF FN:s europakommissions däckgrp	Däck	Förbereda ECE-reglementen om däck, bromsar och hjulställ
ISO/TC43/SC1/WG27 ISO = Intern. stand.organisationen Tekn kom. akustik/buller, arbgrp	Däck, fordon	Föreslå åtgärder vad gäller temperaturinverkan på däck- och fordonsbuller samt event. medge särskilt lågbullrande däck vid provn. enl. ISO 362+7188
ISO/TC43/SC1/WG33 Tekn kom. akustik/buller, arbgrp	Vägyta	Utarbeta internationell standard för mätning av bulleregenskaper hos vägbeläggningar
ISO/TC43/SC1/WG38 Tekn kom. däck/arbgrp buller	Vägyta	Utarbeta internationell standard för mätning på väg av ljudabsorptionskoefficient hos vägbeläggning
ISO/TC31/WG3 Tekn kom. akustik/buller, arbgrp	Däck	Utarbeta internationell standard för mätning av bulleregenskaper hos vägbeläggningar
CEN/TC 227 Europ standorg, tekn.kom ytkarakt	Vägyta	Utarbeta europ. stdrd för mätn. & klassif. av vägytekarakt. Särsk. arbgrp med delsyfte ≈ISO/WG33
I-INCE WP Vehicle Noise Intrn Inst of Noise Ctrl Eng arbgrp	Fordon	Utvärdera effekten på vägtrafikbullret av fordonsbullergränsvärden 1970-1993
OECD Scientif. Expert Grp E2 OECD = Org Econ Coop & Dvlpm	Vägyta	Informera om lågbullrande vägbeläggningar och bullerreduktion av åtgärder vid sidan av vägen
Nordisk grupp "Lågbullrande vägbeläggningar" (under NKTF) NKTF = Nord kom f transp.forskn	Vägyta	Samordna experimentella projekt ang. konstr. av dränasfalt i de nord. länderna samt informera om användning av lågbullrande vägbeläggningar
PIARC/TC1/WG C Perm Intrn Assoc Road Congresses tekn kom ytkarakt., arbgrp buller	Vägyta	Att informera om samband mellan vägytekarakt. och buller. Förbereda dok. för PIARC-kongress. Formulera PIARC-åsikt om bullerfrågan
IRF Roads/Tires/Vehicles Internat. Road Federation, arbgrp	Fordon/däck/väg	Arb.grp för studium av vad som kan göras åt (??) interaktionen fordon/däck/väg vad betr buller
ETRTO Europ. däckfabr. tekn. organisat.	Däck	Formulera europeiska däckindustrins åsikter om tekniska frågor, bl a buller
ACEA Europ. fordonskonstr.:s förening	Fordon	Formulera europeiska fordonsindustrins åsikter om fordonskonstruktionsfrågor, diskussionsforum
OICA Intern. fordonskonstr.:s förening	Fordon	Som ovan, men ej endast begränsat till Europa

9.2 Viktigare internationella ställningstaganden

ECMT: Till att börja med skall några ställningstaganden gjorda vid den europeiska ministerrådskonferensen (ECMT) i november 1989 under svenskt värdskap redovisas. Denna behandlade särskilt miljö- och transportfrågor och med relevans för här behandlat ämne kan följande citeras:

"(ECMT) STATES

* *That the impacts of transport on human health and the environment must be limited to levels which human beings and nature can cope with in the long run;*

.....

* *That the responsibility for an environmentally acceptable transport system is shared by the vehicle and fuel industries as well as national and subnational authorities and transport users;"*

.....

"(ECMT) RECOMMENDS

Vehicle Emission Controls:

* *That best available technology to reduce noise and air pollution emissions and improve energy efficiency should be applied to the maximum extent that is practically possible at an acceptable cost;*

* *That vehicle manufacturers take practical steps to develop vehicles that are less performance oriented, and which are cleaner, quieter, safer and more energy efficient .....*

* *That research on environmentally friendly technologies should be encouraged and intensified; results should be shared internationally on a regular basis";*

.....

* *"Information should be exchanged internationally on environmental aspects of infrastructure design and construction (e.g. developments in noise-absorbing road surfaces)".*

OECD: Såsom redovisades under 3.1 ovan har OECD identifierat tre angelägna insatsområden, varav ett är däck/vägbanebuller.

EG: EG:s ministerråd (ej att förväxla med ECMT ovan) fattade i november 1992 beslut om ett nytt direktiv (92/97/EEC) för buller från fordon. Se [European Communities, 1992]. I beslutet sägs beträffande däck/vägbanebuller följande:

"Whereas, given the many different types of tyre and road surface which exist and which correspond to the different geographical and atmospheric conditions, it is necessary to continue studies and research so as to be able to establish criteria to be met by tyres and to define a numerical value for the type-approval of motor vehicles; whereas the results of such studies and research will permit the introduction, at a second stage, of further requirements, in addition to measures covering noise of mechanical source.

.....

Subsequent measures intended, in particular, to reconcile safety requirements with the need to limit the noise arising from contact between tyres and the road surface shall be decided upon before 1 October 1995 by the Council acting by a qualified majority on the basis of a proposal from the Commission, which shall take account of the studies and research to be performed on this source of noise, and shall be presented by 31 March 1994".

ECE/WP29/GRB: Sverige står givetvis såsom icke-medlem utanför EG:s beslut utan måste istället verka inom ramen för ECE (se dock "EFTA" nedan). ECE:s rapportörgrupp för buller, GRB, har behandlat frågan vid de flesta av sina möten under senare år. Det senaste ställningstagandet av vikt synes vara det som togs i augusti 1990 (som senare har bekräftats) och som är formulerat så här:

"The Meeting of Experts recognized the need for a harmonized development of a new Regulation on tyre/road noise measurement, in line with the recent proposal for a corresponding draft EEC Directive which should also ensure a safe friction coefficient of tyre/road contact. The Meeting of Experts therefore decided to postpone its decision on the development of a test method and a new tyre/road noise Regulation until the results of that work were available".

Man avvaktar alltså i princip vad EG kommer fram till. Därutöver har det talats om att en särskild expertgrupp skall tillsättas av GRB men detta har inte skett ännu såvitt känt. Sverige har dock verkat aktivt inom GRB för att få till stånd ett däckreglemente. Detta har berörts tidigare men här kan Sveriges ståndpunkt sammanfattas genom följande utdrag ur protokollet från mötet i april 1992:

"The expert from Sweden suggested that a step-by-step approach should be taken to decide first on the method of measurement, the test track, and later on the tyre rolling--noise limitation - or if this would not be needed - on tyres rating according to their rolling noise. He also noted that the test track specified by ISO/DIS 10844 has been shown as suitable to this purpose due to its low noise absorption".

Detta är också enligt författarens åsikt det rätta angreppssättet.

ETRTO: Förutom att Sverige 1990 har lagt fram ett förslag till GRB om ett reglemente för däckbuller (se tidigare avsnitt) har ETRTO 1992 lagt fram ett motsvarande förslag. Detta måste tolkas som att ETRTO också förespråkar att ett sådant reglemente kommer till.

EFTA: EFTA och EG underhandlar om anpassning av normer, bl a för motorfordon. I dessa förhandlingar har man från EFTA:s sida sagt att EG-direktivet 92/97/EEC som antogs av EG i november 1992 accepteras även av EFTA. För tillfället är man dock tveksam till vissa detaljer beträffande skattelättnader i EG-direktivet, vilka inte berör däck/vägbanebuller. Man kan alltså utgå från att vad som skrivs i nämnda EG-direktiv med anknytning till däck/vägbanebuller även kommer att gälla Sverige.

10 FRAMTIDSUTSIKTER

10.1 Förmodad utveckling

Utvecklingen beträffande befintliga bullernormer för fordon är redan fastlagd av EG:s ministerråd för åtminstone de närmaste 5-7 åren. Emellertid finns det redan önskemål inom Europaparlamentet om ytterligare gränsvärdesskärpningar. Behovet finns helt klart; för inte ens en allmän fordonsbullerreduktion på 5 dB(A) skulle lösa Europas vägtrafikbullerproblem. Egentligen kan en icke oväsentlig del av förväntad bullerreduktion komma att "ätas upp" av likaså förväntad trafikökning. Det är därför inte osannolikt att det ungefär vid sekelskiftet eller åren närmast därefter kan införas något strängare gränser. Mot bakgrund av vad som skrivits ovan kan man dock ifrågasätta effektiviteten hos detta, såvida inte samtidigt däck/vägbanebullret åtgärdas.

Det har bland fordonsakustiker i Sverige under lång tid diskuterats möjligheten att ersätta den smått förlegade mätmetoden ISO 362 med en bättre metod. En sådan skulle kunna vara en laboratoriemätning där fordonet belastas på lämpligt sätt i ett akustiskt mätrum och får genomgå en körcykel som avses representera en "normal" körning i trafik. Körcykeln skulle t ex kunna harmoniseras med den som används för avgasemissionsmätning. Medelljudnivå och maximalljudnivå uppmätes under körcykeln. Troligen skulle det vara bättre för samhället att ägna krafterna några år åt detta än att fortsätta att än mer ljudoptimera fordonen för ett körsätt som uppenbarligen inte är särskilt representativt. Genom att bibehålla mätmetoden kommer man att av

fordonsindustrin till icke-försumbara kostnader tvinga fram sub-optimeringar som inte har önskvärd effekt på vägtrafikbullret. Man bör vad gäller framtidsbedömningarna ha detta i åtanke.

Som redovisades ovan avser EG att införa någon form av begränsning av däck/vägbanebuller. Här måste man dock vara medveten om att rätt mycket lobbying kan förekomma och att inte nödvändigtvis resultatet blir logiskt och helt effektivt. En indikation på att man inte tidigare inom EG har förstått problemets art är t ex att man tycks ha satsat mycket av resurserna på att mäta däck/vägbanebullret under acceleration. Vidare tycks en koncentration på buller från lastbilsdäck ha skett. Såsom har påpekats i avsnitt 3.4 är detta en prioritering som tillfredsställer den befintliga mätmetodiken enligt (i huvudsak) ISO 362, men är inte en prioritering som stämmer med vad som vore bäst för samhällsbullret som helhet.

Innan gränsvärden kan fastställas måste en vedertagen mätmetod finnas. I bästa fall kan en mätmetod vara framtagen i slutet av 1994. Därefter måste man med metoden som grund fastställa vilka gränsvärden som är lämpliga. Det är därför knappast sannolikt att gränsvärden kan införas förrän tidigast 1996-97 och det kräver förmodligen även en stor enighet så att frågan inte blir fördröjd. Det är vidare troligt att de första gränsvärdena blir satta så liberalt att så gott som alla däck som redan finns på marknaden blir godkända. Så var ju fallet beträffande fordonsbuller på 70-talet. Slutsatsen är att det inte är så sannolikt att gränsvärden för däck/vägbanebuller kan få nämnvärd effekt före år 2000 även om utbytesfrekvensen för bildäck är så hög att man inte som för fordon behöver vänta i 5-15 år innan någon signifikant effekt erhålls.

Så länge man inte sätter någon typ av gräns för däck/vägbanebullret kan utvecklingen gå i två olika riktningar eller i enlighet med en kombination av dessa:

1. Nuvarande trend med allt bredare däck, dimensionerade för allt högre hastigheter, fortsätter och medför förmodligen en något ökat bullernivå från bildäcken i vägtrafiken.

2. Oavsett ovanstående trend förekommer hos däckindustrin en frivillig bullerbekämpning som ger marknaden däck med något lägre bullernivå. Detta skulle ske av ren självbeva^_relsedrift, bl a för att fordonsfabrikanterna i någon mån skulle börja efterfråga tystare däck (vad gäller invändigt buller har denna efterfrågan

varit stark genom åren). Dessutom finns det nu en klar efterfrågan för tystare däck under acceleration enligt ISO 362 och det kan inte uteslutas att detta kan "spilla ifrån sig" lite bullerreduktion även vid normal drift.

Vid det seminarium som sammanfattas i nästa avsnitt fanns båda ovanstående möjligheter med i bedömningarna.

Vad gäller vägbeläggningsåtgärder kan man snabbare nå effekter om man så önskar. Väghållare kan ju lokalt bestämma att vissa vägbeläggningar skall användas eller inte användas. Då uppställer man i så fall en dimensioneringsstandard. På sikt är det emellertid bättre med en funktionsstandard, dvs att man sätter någon form av bullergräns och lämnar valet av vägyta fritt. I det fallet måste man emellertid avvakta pågående standardiseringsarbete.

10.2 Gemensam nordisk ståndpunkt rörande emissionens förändring

Miljökonsekvenserna av nya eller ombyggda vägar utvärderas bl a med hjälp av den nordiska beräkningsmetoden för vägtrafikbuller. Metoden förutsätter samma bulleremission från bilarna som i mitten av 1970 då metoden kom till. Sedan dess har bullergränserna för bilar skärpts väsentligt och det har förvånat många varför man då inte räknar med lägre bullernivåer för framtidens trafik.

Frågan dryftades i november 1992 på ett möte i revisionsgruppen för den nordiska trafikbullerberäkningsmodellen. Förutom att beräkningsmodellen kan behöva revideras har den förväntade utvecklingen fram till år 2010 ofta stor betydelse för trafikplanerare och det har därför beslutats att ett seminarium skulle hållas med deltagande av nordiska experter för att utvärdera den framtida utvecklingen.

Seminariet hölls 1993-03-12 där konsekvenserna av tre scenarier utvärderades av nio nordiska experter för perioden 1990-2010. De tre scenarierna som man enades om var följande:

Scenario 0: EG:s regler för 1996 införs, dvs bl a 74 dBA för personbilar och 80 dBA för de största lastbilarna. I övrigt ingen förändring gentemot nuläget, dvs effektiva gränsvärden mot däck/vägbanebuller införs t ex inte under perioden.

Nuvarande utveckling på däcksidan fortsätter (högre maxhastighet, lägre profil).

Scenario 1: EG:s regler för 1996 (74/80 dBA). Gränsvärde för däck införs 1997, men då bortfaller endast de 10 % bullrigaste och ersätts med 2 dBA tystare däck.

Utvecklingen mot däck som är allt bredare och konstruerade för allt högre hastighetsklasser bryts (åtgärd som ger denna effekt specificeras ej här).

År 2005 skärps gränsvärdet för däck, så att de idag bullrigaste 50 % av populationen då bortfaller och ersätts med 3 dBA tystare däck (relativt idag). Strängare regler (2 dBA) för fordon införs år 2005 (mätning enligt ISO 362).

Scenario 2: Som Scenario 1 ovan, men med följande skärpningar:

Ny labmätmetod för fordonsbuller år 2002 med krav på körcykel. Innebär i princip ingen skärpning av bullerkraven vid körning enligt ISO 362, men innebär att fordonen optimeras för flera och mer representativa körsätt, vilket för verklig trafik innebär lägre bullernivå (1 dBA i medelljudnivå för drivenhetsbuller?). År 2007 skärps kravet (baserat på körcykel) med 2 dBA.

Gränsvärdet för däck år 1997 sätts så att 25 % av nuvarande däck bortfaller och ersätts av i medeltal 2 dB(A) tystare däck.

Gränsvärdet för däck år 2005 skärps så att de idag bullrigaste 70 % av populationen bortfaller och ersätts av 4 dBA tystare.

De nio deltagarna i seminariet kom från Sverige, Danmark, Norge och Finland samt representerade expertkompetenser inom vägteknik, transportmiljö, trafikbullerprediktering, fordonsakustik och däck/väginteraktion. De flesta besatt ingående akustiska kunskaper. Innan bedömningarna gjordes hade ett brett bakgrundsunderlag genomgåtts och en diskussion ägt rum. Medelbedömningen av seminariedeltagarna framgår av figur 25. Bedömningarna avsåg tre olika körsätt/hastig-

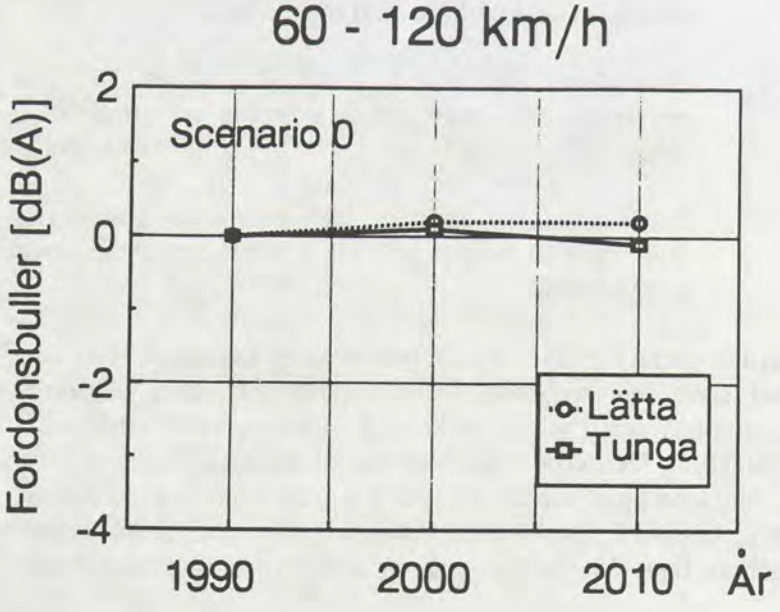
hetsområden men det som redovisas i figur 25 är endast det vid vilket däck/vägbanebullret är viktigast, nämligen 60-120 km/h.

Förbättringar på grund av effektivare vägbeläggningar och förarinriktade åtgärder tillkommer. Dessa ger endast lokala effekter och är dessutom beroende av nationella förhållanden varför expertpanelen valde att utelämna dem.

Det framgår av figur 25 att endast i det mest ambitiösa scenariet väntas man få en väsentlig reduktion av däck/vägbanebullret fram till år 2010.

Det är författarens uppfattning att Scenario 1 ungefär motsvarar vad som kan göras med nu känd teknik och nu befintliga eller under utveckling varande metoder. I övrigt krävs i stort sett endast uppföljande kraftfulla internationella beslut; några av dem av politisk natur.

Scenario 2 motsvarar enligt författarens bedömning ungefär vad som kan och bör göras men där en hel del utvecklingsarbete måste genomföras. Detta gäller såväl mätmetoder som metoder att optimera bildäck med större hänsyn till utvändigt buller. Se vidare kapitel 16 där dock utvecklingen skisseras fram till år 2015, dvs 5 år längre än vad Scenario 2 förutsätter.



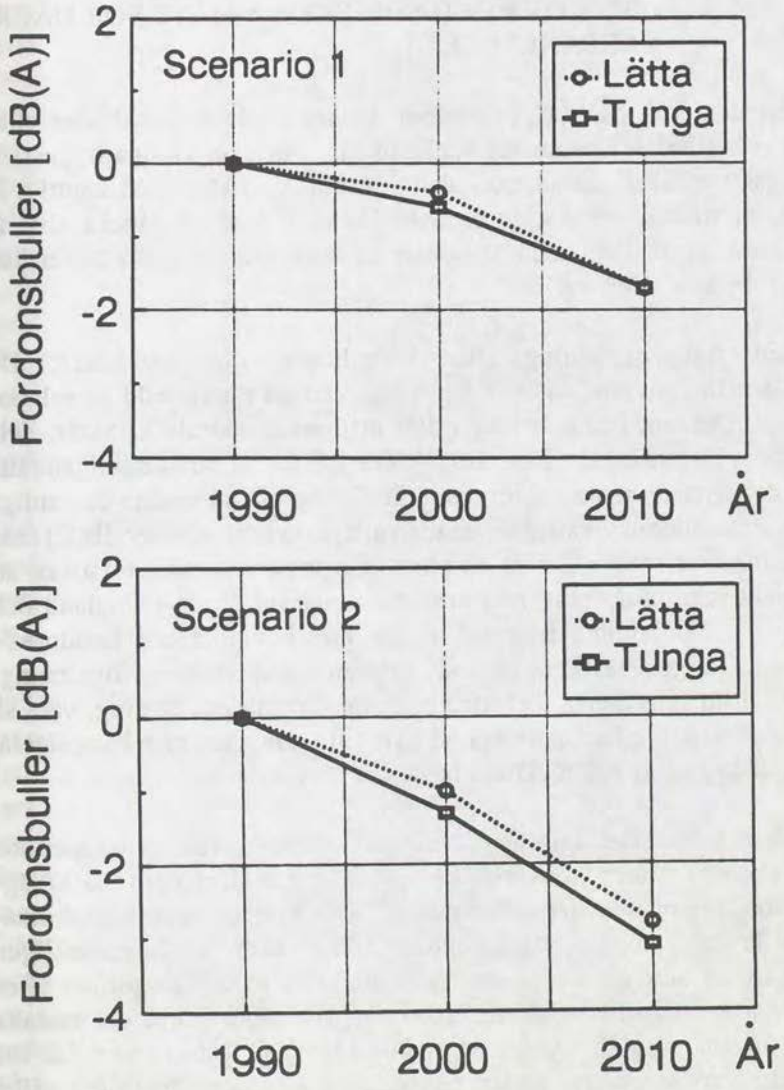


Fig. 25 Bedömning av framtida fordonsbullernivå (ekvivalentnivå) gjord av en nordisk expertpanel i mars 1993. Tre olika scenarier förutsågs. Resultaten avser medelvärde av bedömningarna i dB(A) och gäller hastighetsområdet 60-120 km/h.

11 OBJEKTIVA OCH SUBJEKTIVA MÅTT FÖR DÄCK/ VÄGBANEBULLER

I debatten om däck/vägbanebuller kontra totalt fordonsbuller eller drivenhetsbuller försummas vanligen några mycket viktiga frågeställningar som skall diskuteras i detta avsnitt. Avsikten med kapitlet är inte en strikt vetenskaplig redovisning utan mer att påpeka alla de osäkerheter som finns då det gäller att översätta objektiva bullermått till subjektiv störning.

Enkel frekvensviktning eller komplicerat Loudness-mått?: De bullermått som används ger inte garanterat en rättvis bild av relationerna. Det kan finnas brister i dels måttens temporala karaktär, dels deras spektrala karaktär (se nedan). Det har för att huvudsakligen rätta till det senare problemet förekommit förslag om att ersätta de vanliga maximal- eller ekvivalentnivåmåtten uttryckta i dB(A) eller dB(C) med Loudness uttryckt i Zwickers phon. De mest relevanta försöken att subjektivt testa de objektiva måtten har därvid gjorts i England och man har där kommit fram till att det mer komplicerade Loudness-måttet enligt Zwickers metod ger en liten mätbar förbättring. Emellertid syns denna förbättring, enligt författarens mening, vara så liten att den inte kan motivera ett byte till ett mycket mer komplicerat och pedagogiskt svårförklarat mått.

Tonkänslighet: Det finns en del tekniskt svårbeskrivna egenskaper hos de aktuella ljuden som riskerar att något övervärdera däck/vägbanebuller gentemot drivenhetsbuller. Den viktigaste egenskapsskillnaden är att emedan däck/vägbanebullret idag är huvudsakligen icke-tonalt och vid immission från ett antal samtidiga fordon låter "brusartat", innehåller drivenhetsbullret till något större del enstaka identifierbara toner. Lyssnaren kan då i blandad trafik, i vart fall för accelererande fordon, under huvuddelen av tiden identifiera olika fordons drivenhetsbuller genom dessa toner, vilka dessutom är mer svårpredikterbara och föränderliga än det brusartade däck/vägbanebullret. Tyvärr förekommer en hel del toner från däckmönster på tunga fordons drivhjul som bryter detta mönster, men faktum kvarstår att i huvudsak torde drivenhetsbullret ha vissa egenskaper som gör att det borde vara mer störande än däck/vägbanebullret - trots samma ljudnivå.

Tidsviktning: Man tycker att en maximalnivå mätt med den standardiserade tidkonstanten F vid 7,5 m från vägen skulle ha begränsad korrelation med en ekvivalentnivå mätt under en hel fordonspassage.

T ex borde det innebära att bullerkällor som är mer utsträckta i rummet, såsom de 14-26 däcken på en långtradare, skulle undervärderas av den konventionella maximalnivån. De långa lastfordonen borde underskattas relativt de korta personbilarna.

Detta är i praktiken inte fallet. Simuleringar vid VTI liksom mätningar i Danmark och Nederländerna har visat att korrelationen mellan maximalnivåer och ekvivalentnivåer för enskilda fordon är så nära 1,000 som man kan begära. Samma undersökningar visar även att den systematiska undervärdering som man gör av de tunga, långa fordonen rör sig endast om delar av en dB.

Man kan alltså lugnt fortsätta att använda maximalnivå för enskilda fordon såsom ett bra mått.

Frekvensviktning: Den s k A-kurvan har använts regelmässigt. I Trafikbullerutredningen 1974 argumenteras för att man bör införa även en C-viktning och i [Sandberg, 1992-II] stöds detta av senare data. Anledningen är följande.

Buller som uppmäts utomhus och som skall representera en utomhusexponering beskrivs korrekt av en A-viktning. När emellertid samma ljud har gått igenom en byggnadsfasad har det fått en ändrad frekvenskarakteristik (låga frekvenser har dämpats mindre än höga) så att när det utvändiga bullret skall representera en inomhusexponering är inte längre A-kurvan den bästa. Fasadens frekvenspåverkan motsvarar ungefär skillnaden mellan C-kurvan och A-kurvan. Om därför C-kurvan används för att utomhus vikta vägtrafikbuller borde detta motsvaras av om en A-viktning görs inomhus [Sandberg, 1992-II]. Ett ensidigt användande av A-viktning medför att man inte optimerar fordonen för en av de viktigaste störningssituationerna, dvs att man störs inomhus av vägtrafikbullret, t ex vid sömn. Bullernivåer som mäts utomhus och som uttrycks i dB(A) skulle därför väl motsvara bullerexponering utomhus, medan om de uttrycks i dB(C) skulle de motsvara bullerexponering inomhus.

Däck/vägbanebuller har i allmänhet inte så starka frekvenskomponenter vid låga frekvenser som drivenhetsbuller. Till detta tas vederbörlig hänsyn i utomhusfallet vid användning av A-kurvan. När man emellertid önskar uppskatta ljudintrycket inomhus, när ljudet har fått ett delvis annorlunda frekvensinnehåll p g a fasadens frekvensberoende dämpning, bör drivenhetsbullret relativt däck/vägbanebullret ha blivit mer störande p g a dess större lågfrekvensinnehåll. En

kompletterande C-viktning av ljudet som mäts utomhus bör rätta till detta missförhållande.

Detta är även betydelsefullt vid klassning av olika vägbeläggningar. T ex ger en skrovlig ytbehandling ett större bullerbidrag vid låga frekvenser som dämpas dåligt av fasader än en slät asfaltbetong som accentuerer högre frekvenser. Även dränasfalt kan "gynnas" av att man ej tar hänsyn till fasadtransmissionen.

Markdämpning: Ljudets dämpning vid transmission över längre avstånd (säg över ca 25 m) är olika för olika frekvenser. Detta har ansetts dämpa däck/vägbanebuller mer än drivenhetsbuller. T ex har man trott att en mätning av en viss bullerdämpning p g a dränasfalt nära vägen skulle ge något högre dämpningsmått än om mätningen gjordes efter transmission av ljudet över t ex 50 m mjuk mark. Anledningen skulle vara att drivenhetsbuller skulle reduceras mindre av markdämpningen. Detta provades för några år sedan vid ett experiment i Timrå, men hypotesen kunde inte verifieras.

En annan observation (av författaren) är att på landsbygden förefaller ljud från bilar långt ifrån mottagaren att ha större dominans för däck/vägbana än motsvarande ljud då bilen är nära lyssnaren. Markdämpningseffekter borde egentligen leda till motsatsen. En förklaring kan vara tröskeleffekten, dvs att den väsentligt lägre av bullerkomponenterna blir allt svårare att uppfatta om den kommer nära den tröskelnivå som bestäms av det allmänna bakgrundsljudet.

Kan fordonen bli för tysta?: En observation som författaren har gjort för tysta stadsbussar och för elfordon är att i vissa fall kan fordonsbullret bli så lågt att det kan vara en säkerhetsfara. Om det finns fordon som vid låg hastighet är "alltför" tysta kommer de i en hög bakgrundsnivå orsakad av annan trafik inte att höras förrän de är alldeles intill en person. Detta är en situation som kan orsaka misstag från gångare och cyklister som är vana att använda hörseln för att bedöma risker i trafiken. Problemet löses genom att man strävar efter att fordon inte avger alltför olika bullernivåer vid låga hastigheter. Framförallt elbilar skulle därvidlag kunna bli ett säkerhetsproblem.

Subjektivt upplevd dämpning av däck/vägbanebuller: Det förefaller som om de som utför experiment med att reducera bullret med hjälp av dränasfalt ofta upplever att den erhållna bullerdämpningen subjektivt överstiger det man kan vänta sig av den objektivt uppmätta skillnaden. Det finns en australiensisk undersökning som tyvärr inte

har publicerats, vilken enligt projektledaren Karl Mezgailis visade att effekten subjektivt av ett byte till dränasfalt översteg vad man kunde vänta av den uppmätta bullerreduktionen.

För några år sedan undersöktes problemet av författaren och Prof. Zwicker i Munchen genom att den senare fick tillgång till VTI:s uppmätta bullerdata som jämförde vägtrafikbuller på en konventionell tät asfaltbeläggning med motsvarande från en dränasfalt. Resultaten, som tyvärr inte publicerades, visade på att Loudness-effekten blev ungefär som man kunde vänta sig av enbart en jämförelse av A--viktade ljudnivåer och alltså inte kunde förklara den som det tycktes större subjektiva effekten. Mer forskning behövs om detta.

Effekten av tidsderivatan: Ytterligare en effekt skall nämnas. En bullerförändring som uppkommer plötsligt är lätt för människor att uppfatta. Om däremot samma förändring av bullernivån sprids ut över en betydligt längre tid, blir reaktionen mindre. Detta borde vara en fördel för en bullerreduktionsåtgärd av typ byte till dränasfalt. Då dränasfalten just har lagts är bullerreduktionen högst påtaglig och leder till tacksamma reaktioner från de boende. När sedan bullret gradvis och långsamt återgår till sin tidigare nivå p g a tilltäppningen i ytan blir de negativa reaktionerna sannolikt mindre än de positiva då den plötsliga förbättringen kom.

Slutsatsen är att det finns ett behov av att studera subjektiva effekter av förändringar av däck/vägbanebuller och då särskilt av att införa dränasfalt som bullerreduktionsmedel. Vidare bör man försöka få accepterat att C-viktning införs som ett komplement till A-viktning vid bedömning av fordons- och däck/vägbanebuller.

12 HÄNSYN TILL VÅT VÄGYTA SAMT DUBBANVÄNDNING

Inverkan av våt vägbana och dubbdäcksanvändning (i senare fallet egentligen ett säsongsberoende) kan vara väl så stora som inverkan av t ex vägbeläggningstypen. Därmed finns det mycket goda argument för att ta speciella hänsyn till våt väg samt dubbdäcksanvändning/ säsongsberoende. Emellertid finns det även argument som talar emot sådana särskilda hänsyn. Dessa är följande:

- Våta vägbanor är förknippade antingen med regnväder eller vägsaltning. I sådana fall är behoven och önskemålen om att ha öppna fönster minimala. Likaså är människor då knappast störda utomhus av bullret i så hög grad som under bättre väder- och klimatförhållanden. Man kan således räkna med att då vägbanorna är våta kommer ljudet som stör människorna att oftast ha transmitterats genom en vägg eller ett fönster. Därvid kommer de höga frekvenser som speciellt uppkommer på våta vägar eller p g a dubbdäcksanvändning att dämpas till en nivå som sannolikt gör denna typ av buller störningsmässigt jämförbar med vägtrafikbullret under "normala" förhållanden.

Som följd av ovanstående argument föreslås f n ingen särbehandling av våta vägbanor eller användning av dubbade vinterdäck. Däremot bör åtgärder givetvis vidtagas för att minska bullergenereringen även då vägarna är våta och då dubbdäck används.

13 ÖNSKVÄRDA MÅLNIVÅER

Hur mycket behöver däck/vägbanebullret reduceras? Det förefaller troligt att de värsta situationerna idag då däck/vägbanebuller dominerar förekommer vid omkring 70 dB(A) ekvivalentnivå intill fasad. En sådan nivå uppkommer ca 80 m från mitten av en vanlig svensk motorväg vid en årsmedeldygnstrafik på 24000 fordon (markdämpning och fasadreflex försummas). Man kan utan vidare tänka sig fall där nivån t o m kan uppgå till 73 dB(A). Vanligen brukar man anse att man måste ner till ca 55 dB(A) för att få en acceptabel nivå. Från detta synsätt är det således önskvärt med en reduktion på minst 15 dB(A). De värsta maximalnivåerna från däck/vägbanebuller idag kan röra sig om 85-90 dB(A) 10 m från vägmitt, vilket vid de närmaste bostäderna kan motsvara ca 80-85 dB(A). Med en normal fasadisolering på 25 dB(A) får man maximalnivåer inomhus på drygt 55-60

dB(A). Detta borde ner till lägre än 45 dB(A), varför även detta synsätt visar på en behövlig reduktion av ca 15 dB(A). Detta tar då inte hänsyn till att trafiken kan komma att öka, vilket i så fall ökar reduktionsbehovet ytterligare några dB.

En reduktion på 10-15 dB(A) är ungefär vad fordonsfabrikanterna har varit och blir tvungna att reducera drivenhetsbullret med (nominellt) under perioden 1970-1996.

Att man som långsiktigt mål sätter upp en motsvarande reduktion av däck/vägbanebullret är således inte orimligt. Hur skall då en "börda" på 15 dB(A) fördelas? Författaren föreslår följande, uttryckt som såväl ekvivalentnivå som maximalnivå på platser där bullerstörningar är ett problem:

Däckåtgärder	7	dB(A)
Vägbeläggningsåtgärder	4	dB(A)
Fordonsåtgärder	2	dB(A)
Föråtgärder	2	dB(A)
Totalt	15	dB(A)

Observera att för åtgärder vars effekt avtar med tiden kan detta kräva betydligt högre initial reduktion; t ex om dränasfalt används måste man kanske sikta på en reduktion av 8 dB(A) i nytillstånd för att få en livscykeleffekt av 4 dB(A). Observera även att med "fordon" ovan avses reduktion av däck/vägbanebuller genom fordonsinriktade åtgärder. Det kan då avse t ex viss inbyggnad av hjul och lättare fordon; varav det senare i stor utsträckning är en efterfrågesak.

Tidsskalan kan förslagsvis röra sig om ca 20 år från och med 1995, dvs perioden 1995-2015.

Vägverket har i samråd med Naturvårdsverket ställt upp som planeringsansats att till år 2015 skall däck/vägbanebullret reduceras med 7 dB(A) för ekvivalentnivå och 10 dB(A) för maximalnivå [Vägverket, 1993]. (Författaren är osäker på om detta inkluderar en väntad trafikökning eller om en sådan effekt ökar reduktionsbehovet?). Resten av reduktionsbehovet räknar man med att klara genom i huvudsak ny- eller ombyggnad av vägar, skärmning eller fasadisolering. Planeringsansatsen är mot bakgrund av förslaget till mål ovan rimligt men den kräver att målet nås till ca 2/3. Uppenbarligen kommer detta att kräva att man har en hög ambitionsnivå enligt ovan på alla de föreslagna åtgärdsområdena däck/väg/fordon/förare.

Olika sätt att åstadkomma sådana effekter diskuteras i följande kapitel. Då skall observeras att om man uppställer gränsvärde t ex för däck, måste ett sådant gränsvärde för att ge en ekvivalentnivåreduktion på 7 dB(A) sannolikt motsvaras av en gränsvärdesskärpning på nominellt minst 10 dB(A) från en första ansats till gränsvärde som troligen blir ganska liberal.

Om man jämför med bedömningarna i kapitel 10.2 framstår det som klart att Scenario nr 2 i 10.2 blir aktuellt som ett absolut minimum.

14 ÅTGÄRDER MOT DÄCK/VÄGBANEBULLER

14.1 Allmänt

I detta kapitel redovisas åtgärder som kan vidtas för att reducera däck/vägbanebuller. Häri innefattas därför inte åtgärder som sänker vägtrafikbullret i allmänhet utan att ha särskild effekt på däck/vägbanebullret.

14.2 Körsätt (förarberoende åtgärder)

14.2.1 Lägre hastighet

Däck/vägbanebullret har ungefär följande samband med hastigheten (v):

$$\text{Maximal ljudnivå} = A + 33 \cdot \log \frac{v}{v_{ref}}$$

$$\text{Ekvivalent ljudnivå} = A + 23 \cdot \log \frac{v}{v_{ref}}$$

Skillnaden i konstant framför logaritmuttrycket (den s k hastighetsexponenten) beror på den ökade varaktigheten hos ljudet vid lägre hastighet. Ovanstående innebär följande reduktioner av däck/vägbanebuller vid generella hastighetssänkningar:

Från:	till:	Ekvivalent ljudnivå:	Maximal ljudnivå:
110 km/h	90 km/h	2,0 dB	2,9 dB
90	70	2,5	3,6
70	50	3,4	4,8
50	30	5,1	7,3

Observera att reduktionerna blir lägre vad gäller totalt vägtrafikbuller eftersom drivenhetsbullret i synnerhet vid de lägsta hastigheterna inte sänks i motsvarande grad (se figur 10 ovan). Vidare förekommer individuella variationer hos hastighetsberoendet på ca 30 % av ovanstående.

Kommentarer:

Effekten på vägtrafikbullret blir betydligt mindre vid den lägre hastigheten eftersom drivenhetsbullret blir mindre. Försök i Tyskland med att införa "Tempo 30" istället för 50 km/h har visat att totala effekten är ca 3-4 dB(A). Detta kräver då en hög grad av laglydnad och att inga nämnvärda bullerhöjande åtgärder införs såsom serpentinfiler, gupp eller "bullerremsor" på vägytan.

Eftersom såväl maximalnivåer som ekvivalentnivåer i trafiken i hög grad påverkas av de bullrigaste fordonen, begränsas alltid teoretiska effekter enligt ovan om inte alla sänker sin hastighet i motsvarande grad.

På grund av ovan nämnda effektivitetsbegränsande problem (laglydnad och drivenhetsbuller) är det enligt författarens bedömning bäst att i normalfallet räkna med ungefär halva effekten på totala vägtrafikbullret av bullerreduktionerna i tabellen ovan. De värden som då fås stämmer bra med diagram 2 i den tyska vägtrafikbullermodellen [RLS-90, 1990], vilken enligt [Jäcker, 1993] är grundad på verkliga mätningar.

Åtgärder av detta slag, dvs att på vissa platser sänka hastigheterna för enbart bullerreduktion, förekommer på vägar i Tyskland. Se exempel i figur 26. Enligt [Jäcker, 1993] tror man att dessa hastighetsskyltningar har samma effektivitet som "konventionella" hastighetsbestämmelser.



Fig. 26 Hastighetsbegränsing enkom för att åstadkomma bullerreduktion. Väg 49 nära Cochem-Koblenz i Moseldalen, Tyskland.

14.2.2 Lugnare körsätt

Ett körsätt som innebär en jämnare hastighet, lägre accelerationer och lugnare inbromsningar, ger förutom lägre drivenhetsbuller även lägre däck/vägbanebuller. Detta beror på att driv- och bromsmomenten på däcken blir lägre vilket medför att bulleremissionen blir mer lik den vid frirullning. I samma riktning verkar lägre hastighet i rondeller och vid annan kurvtagning, eftersom även sidkrafter verkar bullerhöjande. Att korrekt kvantifiera dessa effekter är i dagsläget omöjligt. Emellertid anses det att en kraftig acceleration enligt drivsättet i ISO 362 ökar däck/vägbanebullret med 2-5 dB(A) för normala personbilar. Liknande effekter av starka sidkrafter på däcken har uppmätts. Med ett lugnt körsätt kan man inte helt ta bort dessa effekter. Man måste även ta hänsyn till att ett lägre maximalt drivmoment måste uppvägas av att varaktigheten hos accelerationen ökar. Därför bör man kunna räkna med att det på ett lugnare körsätt går att "tjäna" (maximalt) storleksordningen 1-3 dB(A) i reducerat däck/vägbanebuller i de fall då stoppsituationer uppstår eller då kurvkörning förekommer.

En annan sak är sedan att åstadkomma detta lugnare körsätt hos fordonsförarna. Se vidare avsnitt 14.3.

14.2.3 Minskad körsträcka

En allmän trafikminskning reducerar däck/vägbanebullret liksom totalt vägtrafikbuller med ca 3 dB(A) per halverad trafik, dvs i stort sett per halverad körsträcka. En trafikreduktion med 20 % ger ca 1 dB(A). Det fordras således utomordentligt radikala trafikreducerande åtgärder för att åstadkomma en stor effekt.

14.3 Fordon

14.3.1 Hjulinställning

För att ge ett fordon en säker väghållning är det nödvändigt att förinställa i vart fall de styrande hjulen så att de inte rullar helt rakt. Man ger dem s k "toe-in" eller "toe-out". Detta ger avsiktligt vissa sidkrafter på däcken vilket (oavsiktligt) ökar däck/vägbanebullret. Effekten har inte studerats direkt men mätningar av sidkrafters inverkan på bullret antyder att en "överdriven", felaktig hjulinställning kan ge effekter som är klart mätbara, dvs av storleksordningen 1-2 dB(A). Det är således viktigt att kontrollera periodvis att bilarnas hjulinställning är korrekt. Önskvärt vore dessutom att fordonen kunde konstrueras med minimalt toe-in eller toe-out, men här måste givetvis säkerheten ha företräde (den har mycket att förlora men miljön har lite att vinna i detta fall).

14.3.2 Bulleroptimerad automatisk växellåda

Effekten av att använda ett lugnare körsätt beskrevs ovan. Ett sätt att åstadkomma detta är att fordonen utrustas med automatiska växellådor vilka är optimerade för att ge ett sådant körsätt. En sådan optimering kan troligen koordineras med en energioptimering.

En bulleroptimerad automatisk växellåda ger i synnerhet lägre drivenhetsbuller, men även däck/vägbanebullret kan påräknas en reduktion genom att drivmomentet sjunker. Säkert påverkas föraren av ett sådant fordon utöver detta även så att inbromsningar och kurvkörning kan bli lugnare.

14.3.3 Extern styrning av körsätt och hastighet

Det pågår redan projekt med att överföra signaler från vägen eller dess omgivning till fordonsförarna för att påverka deras beteende. Man kan i framtiden tänka sig att man på vissa platser längs vägar och gator, eller i vissa områden där bullerstörningar är särskilt besvärande, överför signaler till fordonen som begränsar eller ställer om fordonens funktion. Experiment av detta slag har redan förekommit i Tyskland och i Norge. T ex kan man därmed åstadkomma påtvingad maximal hastighet, maximalt motorvarvtal eller maximal acceleration. Detta kan av vissa uppfattas som ett ingrepp i den personliga friheten, vilket dock måste accepteras av hänsyn till samhällsintresset.

Framtidens trafiksystem förutsätts ta ovanstående möjligheter i beaktande.

14.3.4 Lättare fordon

Lättare fordon kräver mindre eller färre däck. Däck som skall bära mindre maximal last kan utformas smalare. Enligt [Storeheier & Sandberg, 1990] har däckbredden en avsevärd inverkan på bullernivån. En av orsakerna till däckbreddsvariationen är fordonsmassan. Antag att man kunde reducera ett fordons massa från 1300 kg till 1000 kg. Givet samma fordonsstorlek och ^^konstruktion har man idag knappast någon "överflödig" massa men med okonventionella lösningar samt påverkan av köpvanor bör det gå att åstadkomma förändringar. Därmed skulle man kanske kunna välja ett däck med 175 mm bredd istället för 195 mm (profilförhållande konstant). Enligt ovannämnda uppsats skulle detta resultera i ca 2,0 dB(A) lägre bullernivå.

Om de svenska fordonsägarna "överkonsumerar" i form av onödigt stora bilar med ca 25 % i "överstorlek" skulle detta således medföra ca 2 dB(A) i onödigt hög däckbullernivå. Effekter av detta slag erhålls i högre grad av att påverka marknaden, dvs folks efterfrågan av överstorlek, och endast i mindre grad av åtgärder hos fordonsindustrin eftersom man redan av energiskäl försöker reducera fordonsmassan till minsta möjliga. De främsta verktygen här är lämpligt utformade miljörelaterade avgifter eller skatter.

14.3.5 Inbyggnad av hjulen

Inbyggnad av hjulen i huvar har prövats i ett tidigare svenskt projekt. Man fann då att effekter på 3-4 dB(A) kunde uppnås med en inbyggnad som inte medförde oöverkomliga problem [Sandberg & Bennerhult, 1978]. Emellertid fann idén inte tillräckligt behag hos industri och användare eftersom det trots allt förekom problem med ökad däck- och bromstemperatur samt att huvarna kan förstöras vid körning i terräng eller mot höga trottoarkanter. Det har inte heller blivit "tvunget" att vidta så långtgående bulleråtgärder. Detta har inte hindrat att flera "framtidsfordon" som presenterats vid fordonsutställningar sedan dess har haft inbyggda hjul (i första hand för att minska luftmotståndet). Idén är värd att pröva på fordon som ej behöver köra i terräng eller på byggarbetsplatser, om man eftersträvar en mer långtgående bullerreduktion än vad som krävs idag.



Fig. 27 Inkapsling av hjul enligt försök vid VTI i mitten av 70-talet

14.4 Däck

14.4.1 Dimensioner

Som tidigare har redovisats påverkar däckbredden ljudet i hög grad [Storeheier & Sandberg, 1990]. När ett däck väljes till ett fordon är däckets storlek en variabel i likhet med däckfabrikat och -typ. Givetvis

finns det begränsningar i däckets storlek, främst kanske dess lastförmåga, men en viss frihet finns i att välja profilförhållande, diameter och bredd.

En ökning från 140 till 200 mm kan öka bullret med ca 5 dB(A). Emellertid är utrymmet för variation av däckbredden för en och samma fordonsstorlek inte så stor i praktiken. Det rör sig här om ca halva det variationsområdet, dvs 2-3 dB(A) som man kan "spela med" för en och samma lastförmåga. Då kan givetvis vissa högfartsprestanda komma att påverkas menligt.

Även i ett annat avseende kan en viss konflikt uppstå om man hindrar däckbredden att öka ytterligare eller rentav minskar den. Detta gäller lastbilar där man vill ha så låga däck som möjligt för att få högsta lastutrymme (golv-tak). Här finns således en konflikt mellan buller och ekonomi. T ex ger övergång från 80- till 70-profil en ökad lastvolym på nästan 7 m3 i en 13,6 m lång påhängsvagn.

14.4.2 Hårdhet och topphastighet

Hårdheten hos däckets "gummi" påverkar bulleremissionen betydligt. Skillnaden mellan ett mycket mjukt och ett mycket hårt material (t ex typiskt för ett mjukt vinterdäck för relativt låg maximalhastighet och ett sommardäck för hög maximalhastighet) kan uppgå till ca 3 dB(A). Då förutsätts mönster och annan konstruktion vara oförändrad. Detta kan vara en av orsakerna till att dagens vinterdäck i allmänhet inte ger högre bullernivå än sommardäck, eftersom de förra i regel har ett mjukare gummi än de senare. Man kan dock av framförallt kraven på livslängd inte använda alltför mjukt material. Här finns alltså en konflikt mellan krav på lågt buller och hög körsträcka, dvs ekonomi.

Det finns ett samband mellan bulleremission och temperatur. Man brukar oftast anse att bullret minskar med ca 1 dB(A) per 10° C temperaturökning. Det är troligt att merparten av detta temperaturberoende kommer av att materialet blir mjukare vid högre temperatur. Man kan således spekulera i att det vore bra för bulleremissionen om däcken kunde köras med något högre temperatur. Kunde man generellt tillåta däcktemperaturen att öka med i medeltal 20° skulle man förmodligen "tjäna" ett par dB. Detta är dock, återigen, en konflikt med slitage och ekonomi. I extrema fall kan det även bli en konflikt med säkerhet. Man borde dock inleda en diskussion med däckindustrin för att klarlägga vilka möjligheterna och konsekvenserna är av att dimensionera åtminstone vissa däck för något högre driftstemperatur.

Bildäck måste dimensioneras för att klara en viss maximalhastighet vilken hänger samman med fordonets höghastighetsprestanda. Högre maximalhastighet innebär i regel högre hårdhet hos däcket och därmed högre bullernivå. Två fordon som är lika stora och kör med samma hastighet och med samma typ av däck ger således olika starkt däck/vägbanebuller beroende på vilken hastighetsklass som däcken är tillverkade för. För svenska förhållanden behöver egentligen fordon och däck inte dimensioneras för högre maximalhastigheter än (säg) 130 km/h. På grund av bl a de fria hastigheterna på motorvägarna i Tyskland dimensioneras emellertid en mängd fordon för topphastigheter över 200 km/h. Vissa "sportdäck" (dock avsedda för bilar för vägtrafik) dimensioneras t o m för farter kring 300 km/h! Det innebär att helt andra optimeringar måste göras än vad som vore bäst för miljön. Om fordon och däck dimensionerades för realistiska och lagliga topphastigheter (med viss rimlig marginal) skulle däcken kunna få för bullret bättre egenskaper. Det kan här röra sig om en förbättringspotential på åtminstone 1-2 dB(A).

Förhållandena illustreras ganska väl av ett aktuellt reportage i tidskriften Däck Debatt, nr 2 1993, se bilaga 1.

14.4.3 Slitbanemönster

Av tradition har man ansett det självklart att slitbanans mönsterutformning påverkar bullret i hög omfattning. Uppfattningen är både sann och falsk. Den är sann såtillvida att mönstrets utformning påverkar periodiciteten i mönstret och därmed graden av tonalitet i ljudet. Mönsterblock och andra -element som alltid är lika stora och/eller som återkommer regelbundet ger upphov till rena toner i ljudet och sådana stör mer än motsvarande ljud där energin har spritts till ett brett frekvensband. Det senare åstadkoms genom att randomisera mönstret - dvs att variera mönsterelementens längd på ett i huvudsak slumpmässigt sätt.

Randomisering har förekommit i årtionden och är sedan lång tid regel även om det är vanligt att företagen i annonser framställer det som om man nu har kommit på något nytt. Den påverkar dock knappast bullrets nivå, endast dess karaktär.

Mönstret kan dock göras bättre för att även åstadkomma en lägre totalnivå. T ex bör man undvika att slutna "pipor" eller andra kaviteter uppstår vilka kan orsaka luftpumpningsbuller eller genom stående-våg-fenomen åstadkomma förstärkningar av ljudet. Vidare bör

mönstrets laterala profil, dvs hur "kanaler" lägges tvärs över slitbanan, anpassas till kontaktytans främre och bakre kontaktrander så att islagen och släppningarna mot vägytan vid rullningen görs gradvis och inte "plötslig". Man kan se på de flesta mönster att sådana åtgärder redan genomförs idag och det är troligt att så mycket mer inte finns att vinna på dessa åtgärder, utan att göra avkall på något annat.

Emellertid har kraven på bredare däck och högre topphastigheter medfört att mönstrena har fått modifieras för att vattenbortforslingen inte skall bli sämre. Det förefaller som om man har lyckats väl med detta men det är sannolikt att det samtidigt har hindrat en från *bullersynpunkt* bättre mönsteroptimering. Se även vad som skrevs om den ökade hårdheten för höghastighetsdäcken ovan.

> Vid den internationella däck/vägbanebullerkonferensen 1990 i Göteborg yttrade en av de främsta däckskonstruktörerna (från ett av de ledande däckföretagen i världen) ungefär följande: "Om inte fordonsindustrin 'tvingade' oss att konstruera däcken för så extremt höga hastigheter skulle vi kunna erbjuda tystare däck än idag".

En allmänt utbredd uppfattning är att det allra bästa mönstret för lågt buller är inget mönster alls. Detta är en sanning med modifikation. Som visas i [Sandberg & Ejsmont, 1986] kan ett helt slätt däck faktiskt vara bullrigare än konventionella däck på en skrovlig yta. På en slät yta är de dock tystare. Undantag är endast om vägytan innehåller slutna håligheter såsom efter stensläpp i en tät yta. Jämfört med kommersiella däck av typ som ger låg bullernivå ger ett slätt däck en förbättring på 3-4 dB(A) för personbilsdäck och ca 2 dB(A) för lastbilsdäck. För personbilsdäck, se [Sandberg & Ejsmont, 1992-II] och [Ronneberger & Schewe, 1985]; för lastbilsdäck se [Åhsberg, 1992].

Observera då att jämförelsen för personbilsdäck avser däck som var vanliga för 10-15 år sedan och inte dagens aktuella däckmönster. Såsom antyds i figur 8 är det troligt att skillnaden är större relativt dagens däck, men det är omöjligt att säga om skillnaden beror huvudsakligen på dimensionsförändringar eller mönsterförändringar.

I praktiken måste man av våtfriktionsskäl alltid ha ett visst däckmönster (eller porositet) varför det nog är tryggt att påstå att de bästa

däckmönstren som förekom för 10-15 år sedan knappast går att förbättra mer än att de kan ge 1-2 dB(A) ytterligare bullerreduktion. Detta gäller troligen inte för de mönster som förekommer på dagens högprestandadäck, där förbättringspotentialen kan vara större.

14.4.4 Stomme

En mycket stor förändring i bildäckets stomme ägde rum då man övergick från diagonaldäck till radialdäck. Detta anses ha medfört ca ett par dB bullerminskning. En liknande förändring är inte aktuell, såvitt bekant. Emellertid finns det inget som säger att den typ av stomme som används i dagens radialdäck är den för bullret optimala utan ytterligare förbättringar kan inte uteslutas.

De intressantaste och mest ambitiösa försöken som publicerats där man försökt variera däckets stomme är måhända de som utförts av [Ronneberger & Schewe, 1985] i ett stort tyskt forskningsprogram i början av 80-talet. De redovisar försök med specialdäck där man varierade stommens konstruktion och även slitbanemönstret. Det bästa däcket var en variant på det kommersiella Conti TS 771 där man gjorde vissa interna förändringar i stommen men lät mönstret förbli det kommersiella. Med detta däck erhölls en bullerreduktion på 2-4 dB(A) beroende på hastighet och vägyta. Man drog ändock slutsatsen att förbättringspotentialen genom däckåtgärder var relativt liten. Författaren misstänker att denna slutsats var grundad på ursprungligen ganska stora förväntningar och att i dagsläget den erhållna förbättringen ändå inte är försumbar.

Vidare skall nämnas att med fyllning av hela däckets innanmäte med polyuretan erhöll [Nilsson, 1982] en bullerreduktion på 5 dB(A). En sådan åtgärd är dock inte aktuell för kommersiella seriedäck bl a eftersom däckvikten då ökar radikalt.

14.4.5 Komposithjulet

En svensk uppfinnare har konstruerat ett hjul som i sig integrerar såväl däck som fälg. Hjulet saknar luftinneslutning och är självbärande. Eftersom det är uppbyggt i sina väsentligaste delar av kompositmaterial kallas det för komposithjulet. Figur 28 visar dess principiella uppbyggnad och figur 29 visar en prototyp.

Provningar av bulleremissionen har visat att hjulet kan ge en bullerreduktion på 8-10 dB(A) jämfört med ett kommersiellt däck med

liknande mönster [Sandberg, 1992-IV]. Bland orsakerna till bullerreduktionen kan nämnas att det genom slitbanan går hål som effektivt eliminerar såväl luftpumpning som den s k horneffekten.

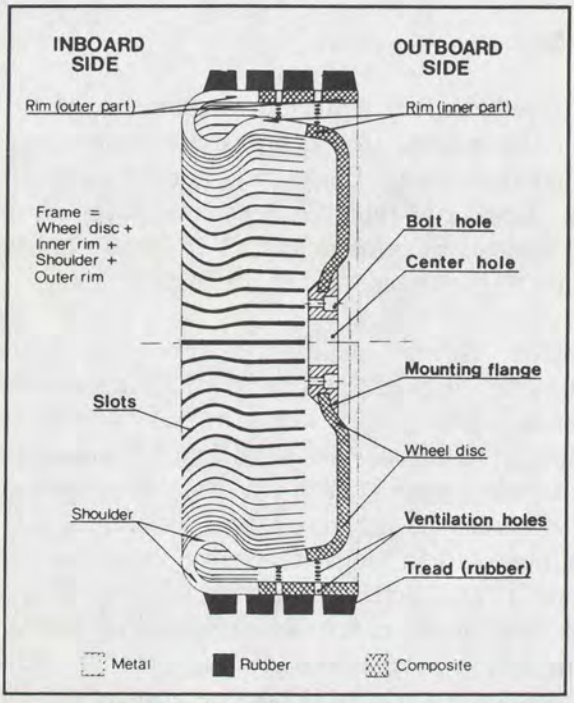


Fig. 28 Tvärsnitt genom det s k kompositHjulet

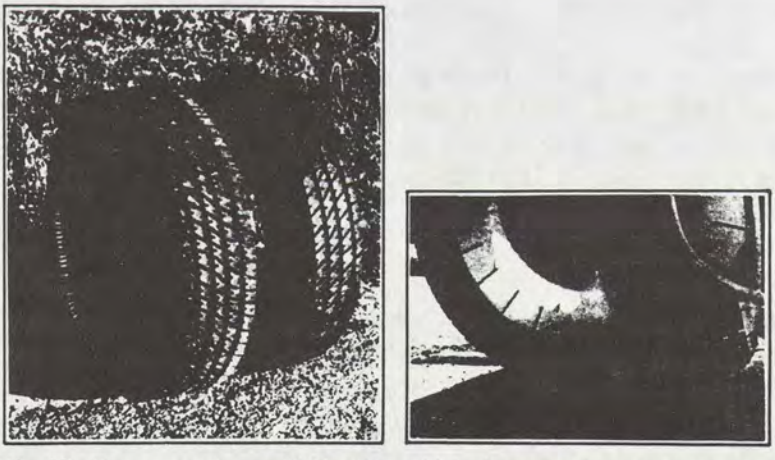


Fig. 29 Prototyp av kompositHjulet (högra hjulet i vänstra bilden är ett konventionellt däck med samma typ av slitbanemönster)

Hjulet är inte på något sätt utvecklat till en användbar produkt. Det stora problemet idag är att ge det en hållbarhet som medger en rimlig körsträcka. Kompositmaterialet tål f n inte de belastningar som är aktuella utan sprickor har uppkommit efter ca 250 km körning. Materialexperter tror dock att man med en lämpligare konstruktion och ett bättre materialval kan få en hållbar produkt.

Värdet med komposithjulet i dag ligger i att det har visat att det finns en mycket stor förbättringspotential för däcken om okonventionella lösningar kan accepteras. Kan man få det att hålla bara lite längre än hittills finns det även en marknad för provningsändamål där extremt lågbullrande däck efterfrågas. På sikt finns även möjligheten att det kan vara ett alternativ till de konventionella luftgummihjulen, till att börja med åtminstone i vissa specialtillämpningar.

14.4.6 Andra okonventionella däck

Bland andra okonventionella däck som framkommit under senare år kan nämnas Continentals "Integral Tire" där fälgen sitter på motsatta sidan av däckfoten mot vad som är normalt och där slitbanan vid en punktering stöder mot fälgen. Vidare kan nämnas Michelins och Goodyears däck med en (skenbar) uppdelning i två "parallelldäck" på samma fälg. I åtminstone de senare varianterna kan det finnas en viss bullerreduktionspotential, men för ingendera av de nya konstruktionerna har bullerprovningar publicerats.

Vidare har Dunlop (numera SP Tyres U.K. Ltd.) patenterat att däck med en porös slitbana där inget mönster behövs eftersom vatten dräneras genom porositeten. Slitbanan består av gummigranulat mellan vilka ett avsevärt hålrum finns. Däcket ger en icke oväsentlig bullerreduktion och har även goda våtfriktionsegenskaper. Det har dock inte utvecklats kommersiellt. Det kan kanske finnas problem med fordonsdynamik och slitage som varit återhållande.

En porös slitbana enligt Dunlops idé är en av de viktigaste bullerreduktionsåtgärderna som vidtagits på ett särskilt lågbullrande bildäck som provats av [Zetterling, 1986] och som gav totalt 5-6 dB(A) i minskat buller. I tidigare försök med liknande radikala idéer erhöll [Nilsson, 1982] t o m 9 dB(A) i vissa fall. Nilsson experimenterade även med "riktiga" parallelldäck (patentsökt), dvs med flera "partialdäck" på samma fälg.

Den som önskar ytterligare tips på hur man genom däckåtgärder kan reducera bullret bör i första hand studera de arbeten som publicerades av Nilsson under perioden 1978-82. En sammanfattning och listning av underlagsrapporter finns i [Nilsson, 1982]. Många av de idéer som testades är svåra att genomföra utan att man förlorar väsentliga andra fördelar, men det har knappast sedan dess publicerats andra arbeten rörande bullerreduktion på däck som i sin helhet är mer omfattande, nyskapande och innovativa.

14.5 Väg

14.5.1 Vägens allmänna utformning

För att reducera däck/vägbanebullret bör man vid dragning av nya vägsträckningar och ombyggnad av befintliga tänka på att kurvtagning alltid betyder en viss ökning av däck/vägbanebullret på grund av ökade sidkrafter.

Sidkrafter på däck uppstår inte endast vid kurvtagning. För att åstadkomma en rak kurs på en rak väg, vilken alltid har en visst tvärfall för att åstadkomma vattendränering, måste man ha ett visst rattutslag. Dessa sidkrafter kan vid normalt tvärfall (ca 2 %) bedömas öka däck/vägbanebullret marginellt (kanske 1 dB(A) ?). Det är dock viktigt att man inte använder sig av större tvärfall än nödvändigt.

14.5.2 Dränerande vägbeläggning

Dränerande vägbeläggning - eller porös eller genomsläpplig som den också kallas - får man genom att utgå från en vanlig tät asfaltbeläggning och vid blandningen av olika material ta bort en del av sanden samt en stor del av de fina och medelstora stenarna. Det medför att istället för att det fina materialet fyller ut volymen mellan de stora stenarna, kommer det att uppstå ett tomrum mellan dessa stora stenar. Detta ger en god dränering förutsatt att porositeterna kommunicerar med varandra.

Huvudproblemet med beläggningstypen är att den inledningsvis goda porositeten (hålrumshalt 20-30 %) rätt fort täpps igen av vägsmuts, varvid bullerfördelarna försvinner.

Som en följd av de goda bulleregenskaperna och på grund av mycket besvärande bullerproblem har man i Nederländerna beslutat att alla vägar på det statliga vägnätet med en viss minsta trafik skall få

dränasfalt vid omläggning eller nyanläggning. En stor del av detta ambitiösa program är redan genomfört. Man erkänner dock att igentäppningen är ett problem som reducerar effektiviteten avsevärt. I Frankrike och Tyskland pågår stora experimentella program för att optimera användningen av dränasfalt för bullerreduktion. I Tyskland finns nu en utbredd besvikelse över effekterna p g a igentäppningen. I Storbritannien anser man sig dock ha dränasfalt som har lång akustisk livslängd, men man kan ifrågasätta om man har jämfört med referensbeläggningar som gör resultaten applicerbara i Sverige. Bullerreduktionen har nämligen uppnåtts genom att jämföra resultaten med en typ av beläggning som i Sverige anses vara bullrigare än normalt.

Under hösten 1993 kommer att samnordiskt projekt "Lågbullrande vägbeläggningar" att redovisas dels med en rapport, dels med ett seminarium. Detta projekt har i huvudsak handlat om möjligheterna att uppnå bullerreduktion medelst dränerande vägbeläggning.

En state-of-the-art-uppsats om "Lågbullrande vägbeläggningar" producerades under 1992 [Sandberg, 1992-III]. Vad gäller dränasfalt drogs där slutsatserna att:

- Dränasfalt är en typ av beläggning som torde vara effektiv för bullerreduktion på landsvägar och i en del tätortsområden. Upp till 5 dB(A) skulle kunna erhållas på höghastighetsvägar. I några länder försämras dessa beläggningar snabbt med tiden, i andra länder fortsätter de att fungera bra. På låghastighetsvägar är det vanligare att minskningar på 2-4 dB(A) erhålles i början, men genom att använda beläggningar med många skikt eller extremt hög hålrumshalt, kan 5 dB(A) erhållas initialt även vid låga hastigheter.

- Det vanligaste är emellertid att bullerreduktionsförmågan minskar mycket snabbt med tiden, beroende på tilltäppning. Redan efter den första vintersäsongen torde minskningen halveras jämfört med den initiala bullerreduktionen. Efter ytterligare några år finns det ingen reduktion kvar. Man tror att resultaten är beroende av bl a klimat och vinterväghållningspolicy.

- Tilltäppningseffekten är mest uttalad i tätortsområden med låghastighetstrafik. Höghastighetstrafik ger en"självrensande" effekt vilken vanligen är bäst i hjulspåren.

- Rensning av dränasfaltbeläggning med högtrycksspolning har hittills haft begränsad framgång. I Norge, Österrike och Tyskland har emellertid några provningar visat sig ge viss effekt.

- En speciell typ av dränasfaltbeläggning är den poroelastiska vägbeläggning som är gjord av gummigranulat från utrangerade däck. Den kan minska trafikbullret med 5-10 dB(A), dvs ha samma effekt som en bullerskärm. Det finns emellertid allvarliga problem som måste lösas innan denna beläggningstyp kan användas i större skala och med acceptabel livslängd.

- Användningen av gummi som enbart en liten del av blandningen har inte visat sig vara framgångsrikt när det gäller bullerminskning. Samma effekt skulle förmodligen erhållas utan gummi.

- Dränasfaltbeläggningar torde vara användbara för bullerreduktion i städer även när de läggs på trottoarer och parkeringsplatser beroende på den absorption de ger, speciellt på platser med multipla ljudreflektioner.

- Dränasfaltbeläggningar rekommenderas även på vägar i tunnlar.

Utöver detta skall nämnas att med en bullerreduktion på inledningsvis 5 dB(A) på en 70- eller 90-väg som efter ett år kanske är ca 3 dB(A) och sedan gradvis går mot 0 dB(A) efter 4-6 år har ändock en hygglig reduktion åstadkommits som medelvärde under driftstiden. Då det dessutom är möjligt att den subjektiva effekten är större än vad medelvärdet antyder (se kapitel 11), är åtgärden med anläggning av dränasfalt trots allt motiverad i lägen där bullerreduktion är önskvärd.

På en gata/väg som är hastighetsbegränsad till 50 km/h tycks tilltäppningen i områden där dubbdäck används gå så snabbt att åtgärden f n inte kan rekommenderas generellt. Försök i Köpenhamn har varit medelmåttigt lyckosamma medan försök i Oslo har varit misslyckade. Man bör därför överväga en sådan åtgärd endast i Skåne där dubbdäcksfrekvensen är låg.

14.5.3 Poroelastisk vägbeläggning

En speciell typ av dränerande beläggning är den poroelastiska vägbeläggningen. Denna har arbetats fram av IFM Akustikbyrån AB inom det svenska däck/vägbanebullerprogrammet men har inte ännu anpassats till praktisk användning. Provning i verklig trafik har utförts

men har utfallit dåligt eftersom vidhäftningen mot underlaget har varit alltför dålig. Beläggningen kan sägas likna en dränasfalt, men istället för stenar och sand används gummigranulat erhållet från utslitna bildäck. Bindning kan ske med polyuretan eller bitumen.

Problem med vidhäftning mot underlaget, låg friktion vid nyanläggning samt antändlighet återstår att lösa innan beläggningen går att använda i stor skala. Beläggningstypen är således ännu ej användbar för bullerreduktion men nämns i detta sammanhang av två anledningar:

(1) Den kan ge 8-10 dB(A) i bullerreduktion jämfört med en konventionell tät asfaltbetong.

(2) Den har genom sin mjukhet möjlighet att lösa problemet med igentäppning eftersom smutsen kanske inte kan fastna i den, då den ideligen fjädrar sig under hjulbelastningar.

14.5.4 Vägbeläggning, optimering av textur

Utöver att använda en dränerande vägbeläggning kan valet av vägbeläggning påverka bullret i hög grad. Nyligen har ett förslag till korrektion i den nordiska modellen för prediktion av vägtrafikbuller för vägyta publicerats [Sandberg, 1993-I]. Grundtabellen i denna återges i tabell 4 nedan. Denna tabell måste f n anses bäst beskriva sambandet mellan vägtrafikbuller och vägyta i Norden. Val av vägyta enligt denna kan påverka bullret ett par dB upp eller ner i relation till en äldre tät asfaltbetongyta, även om dränasfalt inte används.

Det går att konstruera nya vägbeläggningar på ett för bulleremissionen mer optimalt sätt än vad som är normalt idag. En uppsats, [Sandberg, 1992-I], beskriver 30 råd eller anvisningar för att konstruera en lågbullrande vägbeläggning. Råden omfattar t ex följande:

* Använd så liten maximal stenstorlek i beläggningen som möjligt. 8 mm är bra, men 4-6 mm vore ännu bättre. För svenska förhållanden brukar man anse att för god slitstyrka mot dubbar bör man ha minst 12 mm maximal stenstorlek. För en bulleroptimering bör man överväga att pröva mindre sten.

* Man bör åstadkomma så hög textur som möjligt vid texturvåglängder kring 2-8 mm. Detta kan göras genom att välja stenstorlek enligt ovan och genom att låta dessa stenar dominera, dvs att

åstadkomma en s k skelettasfalt (HABS). Ett alternativ är att lägga en enkel ytbehandling med denna stenstorlek (om ej trafiken är för hög).

* Stenarna i massan bör vara krossade, ej rundade, och de bör dessutom ha ganska enhetlig storlek (helst kubisk form) och packas tätt tillsammans.

* Om cementbetongbeläggning måste användas, bör denna slipas longitudinellt. Detta bör göras med 1-2 års intervall om nämnvärd bullerreduktion skall vidmakthållas. Alternativt kan beläggningen utföras med frilagd ballast; dvs man "tvättar" strax efter nyläggningen bort det finare materialet mellan de större stenarna för att åstadkomma en bättre makrotextur. Detta förutsätter dock att man är beredd att begränsa maximal stenstorlek till ca 12 mm (helst ännu mindre).

Vägbeläggning			Korrektionsterm i dB(A) för viss andel (%) tunga fordon							
Nr	Typ (här anges även max. stenstorlek)	Ålder [år]	0-60 km/h			61-80 km/h			81-130 km/h	
			0-5%	6-19%	20-100	0-5%	6-19%	20-100	0-5%	6-100%
1.a	Asfaltbetong, tät, slät (max 12-16 mm)	1-20	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref
1.b	D:o, nylagd	<1	0	0	-1	-2	-1	-1	-2	-2
2.a	Asfaltbetong, tät, slät (max 8-10 mm)	1-20	0	0	0	-1	0	0	-1	-1
2.b	D:o, nylagd	<1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-2
3.a	Skelettasfalt (mastic) (max 12-16 mm)	1-20	0	0	0	+1	0	0	+1	0
3.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	+1	0	0	+1	0
4.a	Skelettasfalt (mastic) (max 8-10 mm)	1-20	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
4.b	D:o, nylagd	<1	-2	-1	0	-2	-2	-1	-2	-2
5.	Bituminiserad chip-sten (BCS)	0-20	+1	0	0	+2	+1	0	+2	+1
6.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 16-20 mm	1-20	+1	0	0	+2	+1	0	+2	+1
6.b	D:o, nylagd	<1	+2	+1	0	+3	+1	-1	+2	+1
7.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 10-12 mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0
7.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	0	0	-1	0	0
8.a	Ytbehandling, enkel (Y1), max 6-9 mm	1-20	0	0	0	-1	0	0	-1	0
8.b	D:o, nylagd	<1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
9.a	Ytbehandling, dubbel (Y2), max 16-20mm	1-20	0	0	0	+1	0	-1	0	0
9.b	D:o, nylagd	<1	+1	0	0	+1	0	-2	0	0
10.a	Ytbehandling, dubbel (Y2), max 10-12mm	1-20	0	0	0	0	0	-1	0	-1
10.b	D:o, nylagd	<1	0	0	0	0	-1	-2	0	-1
11.a	Dränasfalt, max 14-16mm (≥20% hålrum)	3-7	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
11.b	D:o, "medelgammal"	1-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2
11.c	D:o, nylagd	<1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-3
12.a	Dränasfalt, max 8-12 mm (≥20% hålrum)	3-7	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2
12.b	D:o, "medelgammal"	1-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3
12.c	D:o, nylagd	<1	-3	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-5
13.	Cementbetong, tät, slät, max 20-80 mm	0-40	+2	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2
14.	Cementbetong, tät, slät, max 12-18 mm	0-40	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2
15.	Cementbetong, slipad (slipning ej sliten)	0-5	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1
16.	Gatsten, kullersten (äldre typ)	0-90	+3	+3	+2	+5	+4	+3	+5	+4
17.	Cementblocksten (modern typ)	0-20	0	0	0	0	0	0	0	0

Kommentarer:

Tekniken för att optimera en vägbeläggning för lägsta buller är i huvudsak känd. Ett problem i sammanhanget är att för acceptabel slitstyrka kräver svenska förhållanden med ett exceptionellt dubbdäcksslitage större maximala stenstorlekar än vad mellaneuropeiska klimat med obefintlig eller låg dubbdäcksandel kräver. Det gör att i andra länder har man betydligt friare händer än vi att bulleroptimera en vägbeläggning. Man kan också uttrycka det så att vi i Sverige har lika goda möjligheter att bulleroptimera, men att detta i så fall kommer att ske på avsevärd bekostnad av livslängd och ekonomi. Ett förbud mot dubbdäck skulle göra det enklare att fullt utnyttja kunskaperna om texturoptimering.

14.5.5 Vägunderhåll

Såsom framgår av tabell 4 är vägtrafikbullret på en nylagd asfaltbetongyta något lägre än på en äldre yta. Även om detta gäller endast första året av en livslängd på kanske 3-6 år borde man uppmärksamma denna effekt. Ett ökat vägbeläggningsunderhåll på sådana ytor skulle således ha viss positiv effekt på bullret. Detsamma gäller cementbetongytor som genom s k slipning fått längsgående smala räfflor (i den mån denna beläggningstyp blir vanlig i framtiden). Räfflingen slits bort och en ökad underhållsfrekvens skulle därmed vara önskvärd.

Spårbildning i slitna vägar ökar bulleremissionen dels genom att underliggande, grövre textur exponeras (den s k megatexturen ökar), dels genom att däcken utsätts för ökade sidkrafter. Dessutom ökar vattendjupet i spåren i regnväder och efter saltning, varvid bullret ökar. Sprickor och stensläpp ger ökad megatextur vilken ökar bullret, i synnerhet vid låga frekvenser. Effekterna har emellertid ej studerats kvantitativt. För en ekonomisk-miljömässig optimering av vägunderhållet vore det önskvärt att modeller för sådana även omfattade bullereffekter.

14.5.6 Brunnar och andra ojämnheter

I Sverige anläggs ofta underjordsledningar under vägar och gator; särskilt är det vanligt att nedstigningsbrunnar anläggs där. Även om brunnsbetäckningarna numera är finurligt utformade för att inte åstadkomma alltför stora ojämnheter är det ofrånkomligt att när fordon kör över brunnsbetäckningarna uppstår ett ökat buller i form av skrammel från fordonen eller deras last, eller ett mycket lågfrekvent

ljud som följd av markvibrationer. Detsamma gäller återställningar efter uppgrävda ledningar i gatumark som inte sällan blir ojämna. Inte sällan är dessa brunnar anlagda i hjulspåren. Regnvattenbrunnar, däremot, är oftast lagda i anslutning till trottoarkanten varför man inte så ofta kör över dessa. I det senare fallet är det dessutom svårt att se bra alternativ.

Av akustiska hänsyn skulle man här behöva ändra på "vanorna". Det allra minsta man kan göra är att se till att inga brunnar alls läggs i hjulspåren. Det vore bättre att placera dem på gatans mittlinje eller så att fordonen grenslar dem. Därutöver vore det önskvärt att man helt fick bort nedstigningsbrunnar från körbanorna. Vidare borde man ställa högre krav på återställning av vägytan efter uppgrävda ledningar.

Skrammel av det slag som åsyftas ger i allmänhet inte stora bidrag till ekvivalenta ljudnivån längs en gata men p g a dess intermittenta och unika karaktär kan det förväntas vara särskilt störande.

14.6 Spridningsbegränsande åtgärder

Åtgärder för att hindra spridning av vägtrafikbuller från vägarna omfattar t ex skärmar, vallar och vegetation. I detta avsnitt diskuteras emellertid enbart åtgärder med speciell effekt på däck/vägbanebuller.

Däck/vägbanebuller har den förmånliga egenskapen att källan sitter extremt lågt placerad. Huvuddelen av bullret sprids från en höjd av 0-20 cm över vägbanan. En annan fördel är att denna bullertyp inte innehåller så starka lågfrekventa komponenter som genom diffraktion kan "smita runt" en skärmkant. Det gör att bullerskärmar och vallar har god effektivitet trots att de är lägre än vad som är normalt. En speciell anpassning av bullerskärmar till däck/vägbanebuller kan således innebära att mindre kostsamma låga skärmar, som är placerade så nära vägen som är praktiskt, sätts upp. Man bör även fundera på om betongbarriärer som används för att hindra fordon att i olycks-situationer komma över på fel körbana kan utnyttjas såsom bullerskärmar med viss effekt mot däck/vägbanebuller. Kan man t ex tänka sig att utföra dessa betongbarriärer i porös betong dimensionerad för att ge viss ljudabsorption?

En kombination av dränasfalt och låg skärm kan även vara intressant. Genom att använda en dränasfalt kan några dB i bullerreduktion utnyttjas till att istället sänka höjden och därmed kostnaden och

förfulningen som uppkommer av en hög skärm. +tminstone skulle det man tjänar i skärmkostnad kunna utnyttjas till ett ökat underhåll av dränasfalten; antingen i form av rensning eller tätare omläggningsintervall. Det måste vara förmånligt att i så hög grad som möjligt styra över bullerreduktionen från skärmning till vägbeläggningsåtgärder, även vid kostnadsneutralitet, av följande anledningar:

(1) Skärmar upplevs ofta som förfulande, och hindrar bl a sikten medan vägbeläggningen finns där i alla fall. Detta gäller såväl ur de boendes som förarnas synvinkel.

(2) Skärmar tar mark i anspråk - de ökar intrånget.

(3) Skärmar ger barriäreffekter.

(4) En skärm har bara effekt i ljudskuggan medan en lågbullrande vägbeläggning har effekt i alla riktningar.

Gräsbevuxen mark eller mark med buskage är akustiskt "mjuk" och dämpar buller jämfört med hårda ytor, typ asfalt eller grus. Ett snötäcke har ännu större effekt, såvida inte en hård skare täcker det. Effekten är större ju längre ljudet får utbreda sig över ytan och ju närmare ytan man befinner sig. Eftersom däck/vägbanebuller härrör från särdeles lågt liggande källor kan sådan markdämpning ofta utnyttjas bättre än för drivenhetsbuller. Saken kan vara värd att uppmärksamma för stadsplanerare och arkitekter; dvs för vissa typer av vägar och trafik har man mer att vinna på att placera sovrum i markplanet och att ha mjuk mark mellan väg och bostad.

I en del fall är det önskvärt att ha en hårdgjord yta mellan vägen/gatan och den plats där de bullerexponerade finns. I sådant fall bör man överväga om man kan använda en dränerande yta istället för vanlig tät asfaltyta. Dränasfalt kan reducera bullret under utbredningen från källan, i vart fall de marknära vågorna, och reducerar kapacitetsbehovet hos dagvattenledningar. Det senare gäller särskilt s k enhetsöverbyggnad, där inte bara slitlagret utan även det asfaltbundna lagret undertill är poröst. Försök av [Hogland & Wahlman, 1988] visade att ännu efter 5 år med normal sandning och saltning hade en dränerande asfaltyta på en parkeringsplats en infiltrationskapacitet som i medeltal var >60 ggr högre än en äldre permanent gräsyta. En del av de processer som täpper igen dränerande väg- och gatuytor förekommer inte på parkeringsytor varför man kan vänta sig att deras ljudabsorberande effekt inte försämras lika snabbt som på en hög-

trafikerad yta. Det är dock viktigt att se till att dessa ytor inte utsätts för byggarbetsplatstrafik i nämnvärd grad eller för "naturlig" drift av jord.

I gaturum där ljudet reflekteras ett antal gånger mot olika eller samma ytor kan en ökad ljudabsorption vara effektiv. Man borde här försöka med att anlägga dränasfalt på trottoarer och parkeringsytor för att se om signifikanta effekter kan fås. En bättre variant på detta vore emellertid att utforma fasader med ljudabsorberande yta.

Ett problem i sammanhanget är att trottoarer och parkeringsytor inte förnyas så ofta. Den akustiska livslängden skulle alltså behöva vara mycket lång för dränasfalt på sådana platser. Alternativt får man acceptera en omläggning med tätare intervall än normalt.

14.7 Diskussion om vikten av standardisering

En väsentlig del av bullerbekämpningen är uppbyggd på följande tre grundprinciper:

(1) Samhället eller någon annan ställer krav på att fordon eller dess komponenter inte får avge mer buller än motsvarande ett visst gränsvärde.

(2) Brukarna av fordonen kan välja fordon eller dess komponenter bl a med beaktande av dess bulleremission.

(3) Ekonomiska fördelar ges till en "lågbullrande" produkt, alternativt förekommer en straffavgift för en "bullrande" produkt.

Såsom diskuteras nedan finns naturligtvis brister i dessa principers tillämpning i praktiken, men de flesta torde hålla med om att de är rimliga och önskvärda i princip. I alla tre fallen bygger man på att det finns enhetliga och representativa mätmetoder samt bedömningsgrunder med vars hjälp produkterna kan klassas. Ingen av grundprinciperna kan bli bättre än vad den mätmetod som de bygger på är. Eftersom fordon, däck och vägbeläggningar inte normalt är unika för ett speciellt land måste mätmetoderna vara internationellt accepterade. Därför är det internationella standardiseringsarbetet som äger rum inom ISO och CEN så utomordentligt viktigt. Detta kan ofta kompletteras eller förberedas inom andra organ, men slutprodukten bör normalt vara en ISO- eller CEN-standard. Det är givetvis viktigt att mätmetoderna kontinuerligt utsätts för en översyn så att de bygger på

aktuella produktegenskaper och på nutidens krav. Inom fordonsbullerområdet har ISO 362 varit normgivande ett par decennier redan och det börjar nu bli uppenbart att en modernisering och t o m en total omvärdering av mätmetoden är på sin plats.

Ett exempel på en nödvändig standardisering är följande: Den specificering av vägytan vid provning enligt ISO 362 som nyligen har gjorts (ISO 10844) är en förutsättning för att metoden skall kunna användas ytterligare några år innan en bättre metod föreligger. Problemet med vägytans inverkan är inte helt ur världen men alternativet hade varit total anarki, där så småningom alla fabrikanter hade provat sina fordon på mer eller mindre effektivt ljudabsorberande ytor. Resultatet hade blivit att fordonsfabrikanterna då inte hade behövt vidta några nämnvärda bullerreducerande åtgärder på fordonen utan det hade räckt med att optimera provbanan.

Tabell 3 ger en översyn som även omfattar det pågående standardiseringsarbetet. Vissa av de aktiviteter som finns med där förtjänar att kommenteras såsom illustration till vikten av standardiseringar.

Arbetet med att belysa temperatureffekterna vid provningar som nu startar är nödvändigt för att man i framtiden, oavsett om man satsar på en utomhusmetod som liknar ISO 362 eller på en laboratoriemetod, skall kunna sätta rimliga gränser för temperaturintervallen inom vilka provning får göras eller korrigera till en lämplig referenstemperatur. Detta gör att man får en rättvisare bedömning av fordon som provas i olika klimat, i olika anläggningar eller under olika årstider. Vida temperaturgränser ger möjligheter att få fram ett certifieringsvärde för ett fordon som inte rättvist klassificerar detta. Arbetet är även viktigt för att man inte vid provning av däck skall kunna utnyttja temperaturen som ett sätt att klara gränsvärdet för ett dåligt däck.

Arbetet med att ta fram en fältmässig metod att mäta ljudabsorption hos vägbeläggningar är viktigt för att man skall slippa att förstöra beläggningen genom att borra upp provkroppar för laboratorieanalys, samtidigt som det senare förfarandet medför risker för noggrannheten.

Utan den mätmetod för att klassificera däck med avseende på buller som skall utarbetas inom ISO är det svårt att se hur man skall kunna reducera den del av bullret som bestäms av däckens egenskaper. Utvecklingen under de senaste decennierna har mycket tydligt visat att utan krav beträffande utvändigt buller bestäms utvecklingen helt av andra egenskaper och bullernivån får "skena iväg". Det finns helt

enkelt än så länge ingen tydliggjord marknad för lågt externbuller eftersom de som köper fordonen inte själva störs av sitt eget externbuller. Däremot är de mycket medvetna om det invändiga bullret i fordonet och möjligen vill de i sitt boende att alla andra skall köpa däck och fordon som är tystare utvändigt. Det enda lilla incitamentet som skulle kunna bli av betydelse är att fordonsfabrikanterna inser att de som kollektiv inte får sälja fordon i framtiden om de bullrar så mycket att allmänheten protesterar mot trafiken så kraftigt att politikerna allvarligt begränsar den. I så fall ställer de av ren självbevarelsedrift krav på däckfabrikanterna beträffande även externbuller. Det måste de då troligen göra i samarbete, för annars rubbas konkurrensförmågan. Detta incitament är emellertid väldigt trubbigt och trögt även om det inte skall underskattas.

Även i det senare fallet behövs emellertid enhetliga och representativa mätmetoder; alltså behövs även då internationellt standardiseringsarbete.

Idag lockar olika vägentreprenörer med "lågbullrande (low noise) beläggningar" som de har på sitt program. Ordet lågbullrande, eller motsvarande, kan i princip användas för varje vägbeläggning idag som inte är den bullrigaste i världen eftersom det endast beskriver en icke-specificerad jämförelse. Ungefär så verkar även ske. Det finns helt enkelt inga som helst gemensamma bedömningsgrunder; inte ens finns det någon allmänt accepterad referensbeläggning att jämföra med.

Tabell 4 är resultatet av ett stort antal mätningar som utförts i Norden med någorlunda enhetlig mätmetodik, vilken har sprungit fram genom informationsutbyte och samarbete. Vidare har forskarnas erfarenhet av samband mellan olika typer av mätningar utnyttjats. Sådana begränsade studier och schablonmässiga resultat är vad man maximalt kan åstadkomma utan en internationell standardisering. En jämförelse mellan korrektionstabeller som tillämpas i olika länder idag visar dock på rätt stora avvikelser. Beror detta på bristen på lämpliga mätmetoder och referenser, på dålig kunskap eller vad är orsaken?

Arbetet inom den ISO-grupp som tar fram en mätmetod som skall kunna jämföra vägbeläggningar akustiskt motiveras av ovanstående problem. Se vidare avsnitt 14.8.4.

14.8 Gränsvärdesfrågor

14.8.1 Inledning

Fordonens bulleremission regleras redan hårt av EG:s, ECE:s samt nationella reglementen. Detta kan sägas ge verktyg att reducera drivenhetsbullret. Däremot finns idag inga gränser för däck/vägbanebullret trots att detsamma, såsom ovan har demonstrerats, är en av de viktigaste delarna i dagens vägtrafikbuller. Bör och kan man införa gränser för hur mycket däck och vägbeläggningar får bidra till bulleremissionen?

Det finns tyvärr ingen enskild åtgärd som i ett slag löser hela problemet - utom att reducera vägtrafiken till en bråkdel av vad den är idag (dvs till mindre än 10 % av dagens). Således: För att få en optimal utveckling bör alla möjligheter till bullerreduktion som inte har direkt oacceptabla sidoeffekter utnyttjas.

Vägverket har redan satsat en hel del på att få fram samt prova lågbullrande vägbeläggningar. 1993 ges ett bidrag för "Lågbullrande vägbeläggningar" (ett nordiskt samarbetsprojekt), för "Mätmetod för jämförelse av trafikbuller på olika vägytor" (ett internationellt projekt under ISO som leds av VTI) samt för att utforma en predikteringsmodell som kan separera ut däck/vägbanebuller. Vidare har Vägverket 1992 gett stöd till VTI för att föreslå en vägbeläggningskorrektion i den nordiska trafikbullermodellen, vilket i sig kommer att uppmuntra, men ej nödvändigtvis kräva, val av tystaste vägbeläggning i framtiden. Vidare finns långt framskridna planer på att söka färdigutveckla den poroelastiska vägytan. Detta visar att vad gäller vägbeläggningssidan finns idag ett bullermedvetande som inom en snar framtid kan ge effekt.

Inom Trafiksäkerhetsverket (numera del av Vägverket) har man redan tidigare insett att externbullerkrav på bildäcken är nödvändiga. Så t ex har VTI erhållit medel för att studera "Urval av bildäck med avseende på bulleremission". Man har även stött framtagandet av mätmetoder för att mäta buller från bildäck samt ett förslag till reglemente för buller från bildäck och, som citerats i kapitel 9.2, försökt följa upp detta inom ECE. Detta är alldeles riktiga och effektiva satsningar, vilka f ö ligger till grund för mycket av den internationella diskussionen idag inom området. Under 1992 har en utveckling startats inom organisationer såsom EG, ISO och SAE som kan få en bra effekt, men som även kan missbrukas så att någon hindrar en effektiv

utveckling. Om man nämligen av ren okunnighet, eller på grund av någons vilja att bromsa bullerkrav på bildäcken, lyckas utarbeta så inadekvata mätmetoder att bullerkraven blir meningslösa eller ineffektiva kommer utvecklingen att för överskådlig tid bli synnerligen olycklig. En annan olycklig utveckling är att olika organisationer kommer fram till sinsemellan oförenliga metoder. Att detta kan inträffa visas av nyligen presenterade mätmetodförslag från dels ETRTO, dels SAE.

Slutsatserna av detta och tidigare avsnitt är att det idag beträffande utvändig bulleremission:

- finns hårda krav på fordon som gör utvecklingen därvidlag "självgående"
- emellertid behöver tas fram bättre mätmetoder för framtida fordon
- helt saknas krav på däck vilket förefaller ge en olycklig akustisk utveckling
- inte förekommer nämnvärt "öppet" arbete som syftar till lägre buller från däck (säkert är dock aktiviteten hos däckindustrierna betydande för att dessa skall ha beredskap)
- pågår arbete som gör det möjligt att ställa upp krav på vägbeläggningar
- pågår arbete som syftar till att reducera buller medelst vägbeläggningsåtgärder
- finns möjligheter redan idag att schablonmässigt välja typ av vägbeläggning utifrån bullerhänsyn
- finns möjligheter idag att medelst hastighetsbegränsning reducera däck/vägbanebullret
- pågår arbete som i framtiden ger tekniska möjligheter att tvinga förare att köra "lågbullrande"
- saknas aktivitet som syftar till att göra inköparna av fordon och däck mer "bullermedvetna"

14.8.2 Fordon

Gränser för bulleremission bör uppställas för fordonens drivenheter och fordonens däck separat. Huvudanledningen är att annars bör varje fordon provas för ett antal däck som sedan får användas på fordonet, inkl regummerade däck. Inga andra däck får användas. Detta innebär onödiga begränsningar samt onödigt krångel. Ansvaret läggs på fordonstillverkaren som i sin tur måste ställa krav på däcktillverkaren. De senare kraven kommer då i alla fall att fordra mätmetoder av det

slag som krävs för alternativet med separata provningar, dvs en separat däcksklassificering.

Ett separat problem är inverkan av däck/vägbanebuller vid provning enligt ISO 362. Troligen har en fordonsfabrikant följande två önskemål därvidlag:

(1) I första hand: att kunna använda ett däck från vilket bullret vid denna typ av provning kan försummas. Idag föreskrivs att man skall använda ett "normalt" däck.

(2) I andra hand: att veta hur stort inflytande däckets buller har vid accelerationsprovningen

Författaren föreslår att man försöker tillmötesgå första punkten i första hand. Arbetsgruppen ISO/TC 43/SC 1/WG 27 har bl a denna uppgift. Det är dock möjligt att man ändå kan behöva bestämma den kvarvarande däckbullerandelen, och därför är det troligt att även andra punkten måste genomföras. Det kan förhoppningsvis åstadkommas genom att använda den mätmetod som kommer att föreslås EG från konsulten FIGE GmbH under 1993.

Om punkten (1) uppfylls innebär detta att kraven på bullerreduktion av drivenheterna lindras med någon dB, beroende på fordonstyp, då däckens bulleremission avsevärt reduceras. Det är mindre bra att lätta på redan beslutade krav, efter vilka man redan har börjat arbeta. Därför skulle en åtgärd enligt (1) kunna kombineras med att man tar bort den s k "1 dB-rabatten", dvs det avdrag på 1 dB(A) man får göra i befintligt direktiv som kompensation för att man p g a mätonoggrannhet i några fall kan mäta upp ett något för högt värde. Detta skulle förmodligen ungefär balansera att man avsevärt reducerar däckens buller vid provningen.

14.8.3 Däck

Först behöver en internationell mätmetod utarbetas för att kunna kvantifiera bulleremissionen från bildäck såväl för lätta som tunga fordon. Därefter bör gränsvärden fastställas. De första gränsvärdena behöver troligen vara relativt liberala men man måste fastställa en tidplan för successiva skärpningar. Med tanke på behoven av vägtrafikbullerreduktion och väntade trafikökningar i Europa bör arbetet gå snabbt och med högsta prioritet. Helst bör man börja

diskutera gränsvärdena snarast. De problem som måste lösas snarast är följande:

1. **Val av mätmetod:** Vilken typ av metod skall väljas? F n finns två skolor vilka diskuteras inom ISO/TC31/WG3: Förbifartsmetod eller förbifartsmetod med mätvagn. Från Sverige framfördes tidigare ett förslag om att välja trummetoden före förbifartsmetoden, bl a för att vi trodde (felaktigt visade det sig) att industrin skulle föredra denna metod. Valet däremellan är tämligen egalt eftersom var och en av dessa två metoder har ungefär likvärdiga men mycket olika för- och nackdelar. Författarens förslag: Förbifartsmetod förordas. Metoden med förbifart med mätvagn har alltför stora nackdelar.

2. **Val av referensyta**: Vilken typ av referensbeläggning skall användas? Den enda som direkt står till buds är den som specificeras i ISO 10844. Om man väljer en beläggning som ger typiskt och mer representativt buller måste extra utvecklingsarbete genomföras, vilket bedöms ta 2-3 år. Hade man istället valt metoden med en trumma i laboratorium hade problemet med referensbeläggning lösts eftersom alla trummar hade kunnat utrustats med duplikat av en och samma originalyta. Författarens förslag: Acceptera ISO 10844 i första versionen av metoden (för att ej förlora tid) men arbeta för att den efter första metodöversynen ersätts av en mer representativ beläggning. Användning av ISO 10844 ställer dock omedelbart till med ett par delproblem:

3. **Brister i ytans specifikation för detta ändamål:** Ytan enligt ISO 10844 är ej framtagen för att svara mot kraven på däckbullerprovning. Eftersom däckbullret endast är en del av totalbullret vid provning enligt ISO 362 kan man därvid acceptera en större däckbullervariation mellan olika ytor inom specifikationen. När man nu, emot ursprunglig intention, skall mäta endast däck/vägbanebuller kan denna variation vara alltför stor, dvs ytan ger ett relativt trubbigt instrument för gränsvärden. Specifikationen kan därmed behöva snävas in. Författarens förslag: Osäker.

4. **ISO-referensytans representativitet:** Ytan enligt ISO 10844 ger ej helt representativt däck/vägbanebuller (nivåerna blir i allmänhet lägre än vad som är typiskt) och ej heller en helt rättvis klassificerng av däcken, eftersom den reducerar vissa genere-

ringsmekanismer i förhållande till typiska trafikerade vägbeläggningar. Författarens förslag: Detta får accepteras.

5. **Nivå för gränsvärde:** Så snart man valt mätmetod måste stora mätprogram genomföras som visar var gränsvärdena bör sättas. Författarens förslag: Planera för sådana experiment redan nu.

6. **Huvudklasser av däck:** Man måste snarast bestämma principerna för distinktion mellan olika huvudklasser av däck, för vilka olika gränsvärden skall fastställas. Författarens förslag: Däck för lätta fordon (event. uppdelat på sommar- resp. vinterdäck), däck för drivaxlar på tunga fordon med särskilda väggreppskrav, övriga däck för tunga fordon.

7. **Däckstorlek:** Man måste även bestämma hur många olika däckstorlekar inom varje typ som skall provas. På något sätt måste gränsvärdet konstrueras så att man uppmuntrar val av en däckstorlek som ger lågt buller men acceptabla andra egenskaper. Om man lämnar däckstorleken därhän, kommer gränsvärdena att få mycket begränsad effekt. Detta är ett mycket stort och absolut akut problem som det blir svårt att få beslutsfattarna att begripa. Författarens förslag: Måste tänkas igenom mer.

8. **Regummerade däck:** Ovanstående förutsättes medföra ett typgodkännande av nya bildäck. Däremot berörs inte regummerade däck. Emellertid utgör regummerade däck en så stor del av däcken på vägarna att även de måste omfattas på något sätt.

Problemet är mycket komplicerat. Även om ett mönster utnyttjas som har blivit godkänt på ett typprovat nytt däck, kan ju detta i regummeringsfallet kombineras med ett helt annat däck som i kombination med det nya mönstret kan ge helt annorlunda buller. Det enklaste vore om man kunde kräva att det regummerade mönstret skulle motsvara det ursprungliga (och att därigenom ingen ny provning behövs) medan i de fall en ny kombination önskas, måste en bullerprovning göras. Detta ställer dock till stora problem för firmor såsom Bandag som erbjuder färdiga slitbanor i metervara med egna mönster.

Författarens förslag: Problemet är alltför intrikat för att ett bra förslag skall kunna lämnas nu. En diskussion med regummeringsbranschen måste äga rum.

9. **Tidplan:** En tidplan för stegvis skärpning av gränsvärdena bör diskuteras fram (inkl hur stora skärpningarna skall vara). Författarens förslag: Ett steg vart fjärde år, 2 dB(A) per steg. Efter 20 år skulle det ge 10 dB(A). Detta motsvarar kraven som fordonsindustrin har fått acceptera. Se vidare kapitel 16.

Sverige kan, med erfarenheter som byggts upp under ett par decennier som grund, göra en viktig insats under samtliga punkter.

I de förhandlingar om gränsvärden som kommer att äga rum är det inte osannolikt att man från något land framför förslag som skulle undanta vissa "sportbilar" eller "högprestandabilar" från de normala däckskraven, dvs en motsvarighet till det som har kommit att kallas för "Lex Ferrari" och som finns med i EG-direktivet 92/97/EEC (samt nuvarande EG- och ECE-reglementen). Lex Ferrari innebär ju att man ger snabba sportbilar en fördel i växelvalet som kan värderas till minst ett par dB(A) vid bullerprovningen. Sverige bör arbeta för att inget sådant undantag införs beträffande däckbuller.

Figur 30 visar hur bullernivåerna fördelar sig för ett stort antal personbilsdäck som uppmätts inom ramen för ett polskt-svenskt samarbete. Mätningarna är gjorda på en trumanläggning i Polen där trumman varit utrustad med en vägyteimitation som avgjutits från en svensk riksväg med en beläggning som motsvarar den släta referensytan i [ECE/GRB, 1990].

Man kan se av denna figur att redan med befintliga däck skulle man teoretiskt kunna ersätta "medeldäcken" vars bullernivå vid 70 km/h ligger kring 98-99 dB(A) med de "bästa" däcken som ligger vid 95 dB(A), dvs reduktionen skulle kunna bli 3-4 dB(A). I praktiken kan man emellertid inte gå så hårt fram av åtminstone två anledningar: (1) det skulle inte finnas kapacitet får industrin att plötsligt gå över till endast produktion av de "bästa" däcken, och (2) de "bästa" däcken har sannolikt inte tillräckligt goda egenskaper (andra än buller) som passar alla fordon. I praktiken kan man i de första stegen i en gränsvärdesintroduktion inte begränsa mer än det övre området i fördelningen.

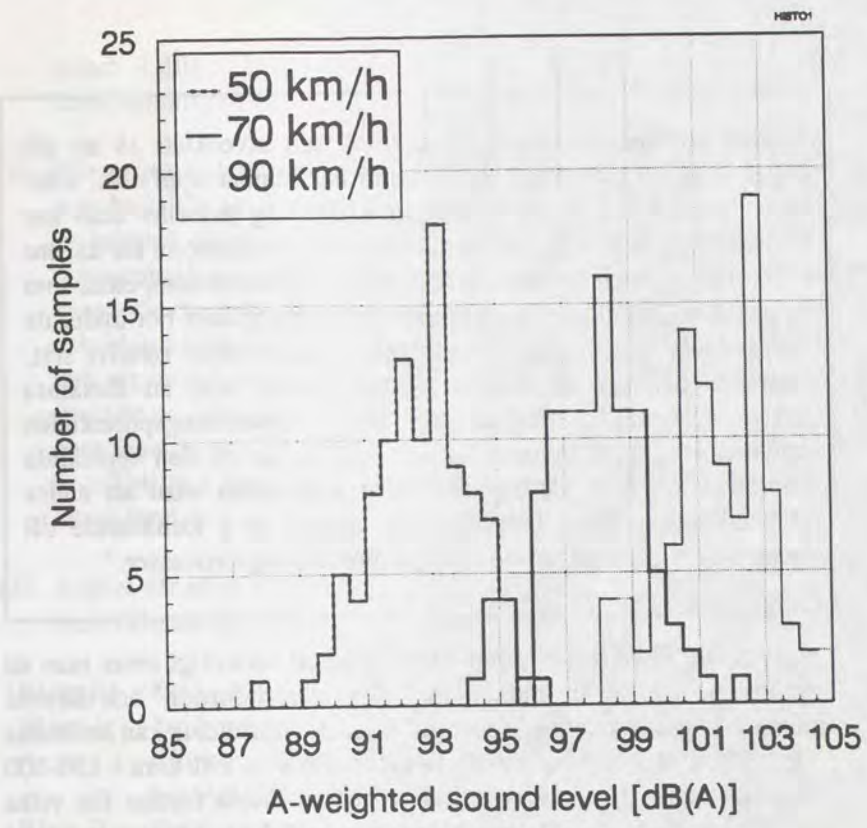


Fig. 30 Fördelning av bullernivåer från ett antal personbilsdäck uppmätta på trumanläggning i Polen. Däcken är av olika storlek, typ och fabrikat. De omfattar modeller från såväl sent 70-tal som 80-tal och tidigt 90-tal.

Däckindustrin kommer att hävda att kraven kommer att gå ut över säkerhet och ekonomi. Detta återstår då att visa. Författaren har bistått med vissa uppgifter till en undersökning som genomförs i England under 1993 med syftet att se om det finns konflikter mellan lågt buller och hög friktion hos bildäck [Tyler, 1993]. Det finns idag annars inga relevanta vetenskapliga undersökningar rörande konflikter mellan externbuller och säkerhet/ekonomi (extremt "sportiga" däck undantagna) och det finns inget som säger att man inte med utveckling skulle klara av sådana eventuella konflikter. Grundkravet bör vara att man inte bör acceptera sämre säkerhet än idag, varför säkerhetskravet alltså förblir högprioriterat. Däremot kan man resonera så här:

"Under ett flertal decennier har bildäcken utvecklats så att allt högre krav på säkerhet och ekonomi har kunnat uppfyllas. Däremot har det utvändiga bullret inte haft hög prioritet utan har tillåtits att öka. Vi anser att såväl säkerhet som ekonomi för dagens bildäck är acceptabla. Den utvecklingspotential och kompetens som finns inom däckindustrin inom varierande discipliner bör under de närmaste åren utnyttjas för att åtgärda det hittills, relativt sett, eftersatta behovet att reducera externbullret, utan att försämra övriga egenskaper. Om en stor del av utvecklingspotentialen utnyttjas en tid för bullerreduktion bedöms det att den uppställda tidplanen för gränsvärdesskärpningar kan klaras utan att andra olägenheter uppstår. Tidplanen har dragits ut i förhållande till behoven för att medge nödvändiga omställningsprocesser."

Ovanstående filosofi bör kompletteras med att samtidigt avser man att begränsa behov och användning av "högprestandafordon" och därmed sammanhängande krav på "sportiga" bildäck vilka aldrig kan användas i vägtrafik under lagliga omständigheter. De som vill köra i 150-300 km/h bör hänvisas till avlysta banor och särskilda fordon för vilka man kan använda de extrema högprestandadäcken. Ett sådant beslut kan medföra att bildäcken för vägtrafik kan optimeras för rimliga körsätt och hastigheter vilket, enbart detta, eventuellt kan klara av storleksordningen hälften av totala bullerreduktionsbehovet under ett par decennier.

14.8.4 Väg

Arbetsgruppen ISO/TC 43/SC 1/WG 33 har som mål att få fram ett kommittéförslag till mätmetod i juni 1994. Detta kan gå ut på medlemsomröstning inom ISO under 1995 och om denna avlöper lyckosamt kan en standard föreligga under 1996. Därmed blir det möjligt att mäta och kontrollera vägbeläggningars bulleregenskaper. Då har miljö- och vägmyndigheterna följande möjligheter som bör övervägas:

(1) I bullerkänsliga områden kan man kräva att beläggningar inte får användas som enligt Tabell 4 ger högre (positiv) bullerkorrektion än 0 dB(A). Detta bör i första hand kunna krävas för skyltade hastigheter 70 km/h och däröver. Man kan även kräva att i extremt känsliga fall måste en beläggning användas som ger t ex

minst -3 dB(A) i bullerreduktion (i nytillstånd). Denna möjlighet finns egentligen redan fr o m i år.

(2) När mätmetoden finns kan man föreskriva att vilken beläggning som helst får användas som med hjälp av mätmetoden kan visas ge högst 0 dB(A) i bullerkorrektion, dvs inte ger mer buller än referensbeläggningen, eller något annat dB-värde som man anser vara nödvändigt. Skillnaden mot idag är att man slipper att schablonmässigt (och därmed mindre precist) klassa beläggningar och att ovanliga eller nya sådana ges möjligheter. Punkten (2) innebär en "Performance Standard" till skillnad från punkten (1) som innebär en "Design Standard". Man får även ett system som är enhetligt i flera länder och en bullerklassificering kan göras i annat land.

(3) Istället för eller som komplement till (2) kan man definiera olika bullerklasser för vägbeläggningar, t ex

Klass 0: Beläggningar som är bullrigare än referensbeläggningen
Klass 1: Beläggningar som motsvarar referensbeläggningen ± dB(A), vilken f ö föreslås vara en tät, slät asfaltbetong typ AB12T
Klass 2: Beläggningar som ger 2-3 dB(A) i bullerreduktion relativt referensbeläggningen
Klass 3: "Lågbullrande vägbeläggningar": Beläggningar som ger minst 4 dB(A) i bullerreduktion relativt referensbeläggningen.

På något sätt bör man sedan kräva eller uppmuntra val av en högre klass i vissa bullerkänsliga fall.

14.8.5 Förare och inköpare

Så snart en standardiserad mätmetod för däck föreligger kan och bör man utforma ett system med produktmärkning eller motsvarande information på annat sätt som ger inköpare och användare möjlighet att i sitt val av produkt även väga in bulleraspekten. Systemet skulle kunna underlättas för konsumenten om man istället för att ange en bullernivå klassificerade däcken i olika bullernivåklasser, t ex:

Noisy
Regular
Low noise
Extra low noise

Beteckningen "noisy" skulle vara förbehållen de däck som nätt och jämnt klarar gränsvärdet i dess planerade andra steg, medan "extra low noise" skulle förbehållas däck som i dagsläget kanske inte finns men som kan väntas komma fram med en förväntad utveckling. De flesta däck i dagsläget borde klassificeras såsom "noisy" eller "regular". Om man inte från början antar en sådan "tuff" skala kommer man att behöva revidera den redan efter några år.

Bullerinformation av detta slag kan vara av nytta i följande fall:

(1) För inköpare av trafikmedel med offentlig finansiering eller beställning. Det förutsätts att offentliga inköpare/beställare önskar använda miljövänlig teknik.

(2) För inköpare av fordon och däck inom näringarna, i den mån de kan ha någon nytta av att välja miljövänlig teknik (här krävs i så fall sannolikt någon form av stimulans som ej finns idag).

(3) För miljömedvetna privatkonsumenter. Det finns en del konsumenter som av ren idealitet säkert skulle ta en externbullerklassning i beaktande. Om emellertid den mer "vanlige" privatkonsumenten tror att även den interna bullernivån i fordonet är låg för ett "low noise"-märkt däck kan man få en förstärkt effekt.

14.9 Åtgärder vid väta på vägbanan

Den ökade bulleremissionen på våt vägbana kan reduceras på följande sätt:

* Bättre vägunderhåll, se ovan.
* Högre tvärfall på vägen vilket ger bättre dränering. Detta ger dock istället en högre bullernivå på torr väg genom att högre sidkrafter uppstår. Åtgärden är tveksam.
* Dränerande vägbeläggning används. Vattendräneringen hos en sådan beläggning är godtagbar under längre tid än den akustiska, ljudabsorberande effektiviteten.
* Saltning, vilket ger våt vägbana, används mer restriktivt.

14.10 Åtgärder för dubbade vinterdäck

Bulleremissionen från dubbade vinterdäck kan reduceras på följande sätt:

* Dubbanvändningen begränsas vad avser tid och plats
* Antalet dubb per däck begränsas
* Ny dubb utvecklas

De två första punkterna kan ge viss konflikt med kraven på bästa säkerhet men är i linje med ekonomikraven. Under 1992 testade VTI en ny och lättare dubb, vilken borde ha gett upphov till en lägre bullernivå än för den konventionella ståldubben, men tyvärr erhölls ingen bullerreduktion. Det går därför i dagsläget inte att anvisa något bra sätt att åstadkomma en "tystare" dubbtyp.

14.11 Informationsutbyte

Bland de effektivaste åtgärderna för att få lägre bulleremission torde vara att informera om resultat och pågående arbete samt konfrontera olika åsikter mot varandra. Eftersom Sverige är ett för litet land för att ensamt kunna göra stora insatser inom ämnet är vi starkt beroende av informationsutbyte. Insikten om detta har lett bl a till satsningarna på att i Sverige anordna två av de tre stora internationella konferenserna inom ämnet hittills. Efter Stockholmskonferensen 1979 försökte man från svensk sida intressera tyskar och fransmän för att anordna nästa konferens, men de var inte tillräckligt intresserade, möjligen beroende på att de anser sig vara så stora inom området att de inte har lika mycket att vinna på konferenserna.

Det är lämpligt att nästa stora internationella konferens anordnas ungefär 1996. Sverige bör ta initiativ här, om ingen annan gör det, men i första hand bör något annat land ta på sig arrangörskapet.

Informationsspridning kan givetvis även ske genom att skriva uppsatser, rapporter och informationsskrifter. Sådana aktiviteter bör ha hög prioritet och man bör eftersträva att skriva på engelska, såvida inte informationen är avsedd för endast svenska mottagare.

En viktig del av det internationella informationsutbytet utgörs av aktiviteterna inom de internationella arbetsgrupperna som redovisas i tabell 3. Flera av deras aktiviteter är just informationsspridning, men även det rena standardiseringsarbetet leder till ett stort informationsut-

byte. T ex utbyttes 100 olika numrerade dokument inom den arbetsgrupp som utarbetade ISO 10844. De flesta var producerade inom gruppens verksamhet och många av dokumenten fick även spridning utanför gruppen.

14.12 Begränsningar

Fordonen i trafiken förnyas först efter 10-20 år varför åtgärder som beror av fordonen är tröga att införa. Bildäck förnyas betydligt snabbare p g a slitaget. Det rör sig här om ca 3 år för personbilsdäck och något kortare för lastbilsdäck. Om stora förändringar i däcken skall genomföras kan fordonen behöva anpassas därefter (och tvärtom) varför man för en del av däckförändringarna måste räkna med förnyelsetider som motsvarar fordonens. Vägbeläggningar har en normal livslängd på 2-20 år beroende på trafikintensitet samt bl a klimat. I de fall då bullret är störande torde trafiken vara så hög att livslängden torde vara 2-6 år i normalfallet; kortare ju värre trafiken är.

Som helhet bör man räkna med att de fulla bullerreduktionerna inte kan tillgodoräknas förrän efter ca 15 år. Däremot kan sannolikt en mycket stor andel av dem tillgodoräknas redan ca 3 år efter en introduktion av de tystare produkterna.

Om målet är en bullerreduktion på 15 dB(A) till år 2015 bör således de "slutligt bullerreducerade" produkterna vara tillgängliga ca år 2012, med undantag för att fordonsförändringar som kan behövas bör vara genomförda redan år 2000. Det senare är mycket svårt men innebär att i tiden bör man prioritera de åtgärder där nya däck kan innebära vissa detaljförändringar i fordonskonstruktionen.

+tgärder på däck och fordon ger geografiskt generell effekt. Däremot ger åtgärder såsom lägre hastighet och annorlunda vägbeläggning enbart geografiskt lokala effekter. Man kan naturligtvis tänka sig att man gör som i Nederländerna, dvs lägger dränasfalt på hela det statliga vägnätet, men det är knappast en för svenska förhållanden bra lösning utan i praktiken blir nog särskilt "tysta" vägbeläggningar i framtiden en lokal snarare än en generell åtgärd. En generell åtgärd på sikt vore kanske att ersätta alla HABT, Y1 eller Y2 med HABS med 8-10 mm maximal stenstorlek.

Slutligen skall ett problem som inte nämnts tidigare beröras. Den potential som författaren bedömer finns för att köra personbilar på

smalare och mjukare däck med mer externbulleranpassade mönster har inte lika stor motsvarighet för tunga fordon, eftersom de senare inte har varit utsatta för modet med de s k "sportiga" däcken. Lågprofildäcken för lastbilar har den nyttan med sig att de medger mer lastutrymme. Det är därför ytterst tveksamt om det går att åstadkomma lika stor bullerreduktion för de tunga däcken. En stor osäkerhetsfaktor är där vilken effekt trenden att tvillingdäck ersätts av bredare enkelmonterade däck har på bullret. Ett enkelmonterat däck är då bredare än vart och ett av tvillingdäcken, men smalare än de däck tillsammans som det ersätter. Lasten per däck blir också annorlunda. Det kan således bli omöjligt att nå målet på 7 dB(A) bullerreduktion för däcken vad gäller däck för de tunga fordonen.

15 FoU-BEHOV

I det följande ges 40 exempel på uppgifter som är lämpliga för de kommande årens FoU inom ämnesområdet. Det har inte varit möjligt att inom ramen för rapporten utforma ett forsknings- och utvecklingsprogram, utan listningen bör ses som en exempelsamling på kunskapsluckor. Ett förslag till prioritering finns:

*** innebär högsta prioritet
** innebär relativt hög prioritet
* innebär normal prioritet (men ej akut)

*** Kartlägg bulleremissionen från bildäck i avsikt att kunna bestämma var ett första gränsvärde samt efterföljande steg skulle kunna sättas. Detta kan utföras så snart en accepterad mätmetod föreligger.

*** Utred hur man på bästa sätt reglerar bulleremission från regummerade bildäck.

*** Utred hur man i ett kommande däckbullerreglemente bör behandla olika däckstorlekar. Avsikten bör vara att få en balans mellan kraven på ett effektivt bullergränsvärde och provningarnas omfattning.

*** Kvantifiera skillnaden i bulleremission mellan ett och samma däck där man varierar topphastighetsklassen.

*** Utveckla och prova kompositbjulet så att detta blir användbart för regelmässiga bullerprovningar, därefter för specialfordon, därefter (förhoppningsvis) för allmänt bruk.

*** Utveckla och prova poroelastisk vägbeläggning så att denna blir användbar som en bullerreduktionsprodukt.

*** Temperaturberoendet hos bulleremissionen behöver undersökas, bl a av mättekniska och gränsvärdestekniska skäl.

** Undersök effekterna av att dimensionera vissa däck för 10-20° högre normal driftstemperatur än idag (i avsikt att reducera bulleremissionen).

** Studium av utvecklingen, t ex att kvantifiera hur däck/vägbanebullret (gärna i relation till totalt fordonsbuller) utvecklar sig över åren. Detta är av vikt för att följa upp åtgärders effekt.

** Genomför studier om hur man bäst reglerar fordonsbullret totalt, dvs vilka mätmetoder som på lång sikt mest effektivt och rättvist klassificerar fordon och däck.

** Subjektiva reaktioner på utbyte av konventionell asfaltbeläggning mot dränasfalt samt d:o effekter av en gradvis tilltäppning behöver studeras.

** Undersök om det finns en signifikant skillnad i bulleremission från bildäck i Sverige/Tyskland å ena sidan och USA/Japan å andra sidan. I det senare fallet dimensioneras bilar och bildäck i allmänhet för lägre topphastigheter, bl a beroende på strängare hastighetsbegränsningar.

** Fortsätt att undersöka hur igentäppning av porositeten i en dränerande vägbeläggning skall kunna fördröjas. Fortsätt även att söka efter bättre teknik för rensning av igentäppt dränasfalt.

** Utveckla och validera metod för prediktering av bulleremission på olika vägbeläggningar utgående från makrotexturmätning eller kännedom om makrotexturen. Ett embryo till sådan metod finns redan.

** Optimera en tät vägbeläggning m a p textur för lägsta bulleremission och studera vad man förlorar i livslängd m m (50, 70 och 90-vägar).

** Studera hur betongbarriärer som idag används längs motorvägar skulle kunna användas för bullerreduktion (såsom låg skärm). Undersök om sådana skulle kunna utformas i poröst, ljudabsorberande material.

** Utred hur man, då en ISO-metod för klassificering av bulleregenskaper hos vägytor finns tillgänglig, skall kunna utforma bullerkrav på vägbeläggningar i vissa situationer samt vilka konsekvenser det kan medföra.

** Undersök hur man bäst väljer och specificerar en referensyta för däckbullerprovning inför en revidering av mätmetoden under senare hälften av 90-talet. ISO 10844 är ej lämplig på lång sikt för detta ändamål.

** Studera eventuella konflikter för däck mellan krav på låg bullernivå å ena sidan och säkerhet och ekonomi å andra sidan.

** Utred hur en indelning i olika bullernivåklasser för vägbeläggningar bör utformas.

** Studera vilket eller vilka däck som skulle minimera däckens bidrag vid fordonsbullerprovning enligt ISO 362.

** Arbeta vidare på idén med porös slitbana så att däck av detta slag blir användbart för regelmässiga bullerprovningar, därefter för specialfordon, därefter (förhoppningsvis) för allmänt bruk. Bör utföras av däckfabrikant.

** Undersök vilken effekt man får på däck/vägbanebullret av att övergå från tvillinghjul till breda enkelhjul på tunga fordon. Sådan utveckling pågår nu men det är okänt om den förbättrar eller förvärrar bulleremissionen.

* Studera bullerreduktionspotentialen hos nya däckinnovationer såsom Continentals Integral Tire samt olika varianter av kommersiellt utvecklade däck med slitbanan uppdelad i flera parallella delar.

* Genomför en undersökning av hur bullret skiljer sig mellan däck som var marknadsledande på 70-talet och dem som är marknadsledande på 90-talet.

* Utveckla och prova en ny däckdubb som är mindre bullrande än dagens dubb.

* Utred hur man på bästa sätt skall kunna göra inköparna av fordon och däck mer "bullermedvetna" så att de väger in en eventuell bullerklassificering i sina val.

* Utred hur stor "överkonsumtionen" i form körsträcka med "onödigt" stora bilar är och hur man bäst motverkar den.

* Optimera dränasfaltbeläggningar för längsta akustiska livslängd, ej för att ha bästa effekt i nytillstånd. Studera bl a hur olika bindemedel kan påverka denna livslängd.

* Prova en dränasfaltbeläggning i en tunnel och studera bullerreduktionen. Denna har betydelse dels för trafikantmiljön i tunneln, dels för bulleremissionen från tunnelöppningarna.

* Prova en kombination av dränasfalt och låg bullerskärm gentemot endast en högre bullerskärm på något ställe (ekonomi, estetik, bullerreduktion, etc).

* Genomför ett försök med att utforma en större hårdgjord yta mellan väg och bostäder dels med konventionell, tät asfalt, dels med en dränerande s k enhetsöverbyggnad. De båda fallen bör jämföras vad beträffar bl a "markdämpning".

* Genomför ett försök i en "sluten" gatumiljö där trottoarer och andra hårdgjorda ytor utförs med dränasfalt. Med hjälp av något referensfall studeras huruvida någon bullerdämpning erhålls. Helst bör detta simuleras först.

* Studera användbarheten av skelettasfalt HABS8 för bullerreduktion på olika typer av vägar (inkl bl a livslängds- och ekonomistudier).

* Prova en cementbetongyta med frilagd ballast med 10-12 mm maximal stenstorlek.

* Gör praktiska tester med hjul som i bulleravskärmningssyfte delvis byggts in med huv eller kjol (bullerdämpning, åtkomlighet, däcktemperatur, bromstemperatur, vindmotstånd, etc). Utförs bäst av fordonsindustrin.

* Optimera systemet fordon-väg. Det kan finnas särskilda kombinationer av åtgärder på fordon och åtgärder på vägytan som kan ge god bullerreduktionseffekt. Man kan t ex anpassa ljudabsorption hos vägyta och eventuellt fordonskarosseri till eventuella skärmningsåtgärder.

* Utarbeta en kompletterande version av tabell 4 (korrektion för vägyta) som utgår från C-viktade istället för A-viktade bullernivåer, dvs bättre beskriver inomhusmiljö.

* Tag fram mer underlag som behövs för införande av kompletterande C-viktning.

* Det finns ett behov av att standardisera terminologin internationellt. För det som här kallas däck/vägbanebuller förekommer t ex i engelskan minst fem olika termer. För det vi (oftast) kallar "dränasfalt" finns i engelskan säkert 20 olika benämningar.

* Undersök den kvantitativa effekten av olika hjulinställningar på däck/vägbanebullret, typ dB per mm eller grad. Detta behövs dels av mätmetodskäl, dels för att bedöma effekten av att införa regelbunden hjulinställningskontroll.

* Mycken forskning har ägnats åt genereringsmekanismerna för bullret. En outforskad nisch som ibland känns besvärande är huruvida ljud under vissa omständigheter kan utstråla nämnvärt från vägbeläggningen.

16 PRIORITERING AV ÅTGÄRDER SAMT AKTIONSPLAN

16.1 Lista med åtgärder

De åtgärder som redovisats i tidigare kapitel sammanfattas nedan. Därvid har även en prioritering föreslagits:

*** innebär högsta prioritet
** innebär relativt hög prioritet
* innebär normal prioritet (men ej akut)

Prioriteringen är resultatet av en sammanvägning av faktorer såsom med vilken kraft frågan bör drivas, hur akut den är och vilken effekt åtgärden kan ha. De olika åtgärderna är inte uppställda i en strikt prioritetsordning. Eftersom de hänger ihop på ett komplicerat sätt är det svårt att få en logisk ordning. En del åtgärder kan behöva ytterligare undersökningar och i sådana fall har de medtagits i kapitel 15 istället. Observera att åtgärderna är fokuserade på däck/vägbanebuller och således inte ger en komplett bild av vad som behöver åstadkommas för fordonsbuller som helhet.

*** Arbeta internationellt för den långsiktiga målnivån 15 dB(A) reduktion av däck/vägbanebuller och att denna "börda" fördelas på samtliga ansvariga. Tillsätt en permanent grupp som har till uppgift att bevaka att och hur detta genomförs.

*** Verka internationellt för att användning av fordon optimerade för (i Sverige) olagligt höga hastigheter missgynnas. Ett sätt att åstadkomma detta är att kraftfullt verka för att hela Europa får en allra högsta hastighetsgräns på (säg) 130 km/h för personbilar. Principen bör vara att fordonen och däcken i högre grad skall optimeras för rimliga hastigheter och att "förhärligandet" av s k "högprestandabilar" bryts. Detta har stöd i bl a ECMT:s uttalande, se avsnitt 9.2.

*** Sverige bör verka internationellt för att mätning av typ ISO 362 ersätts av en bättre metod, där man får fram representativt drivenhetsbuller, vilket kan reglera denna del av fordonsbullret, medan man med en separat mätning av enbart däck/vägbanebuller kan reglera den andra delen.

*** Ett EG-direktiv och ett ECE-reglemente som innebär att man sätter gränsvärden på bulleremission från bildäck grundade på typprovning bör utarbetas.

*** Sverige bör söka påverka och bidra till utvecklingen som behövs för att få fram sådana gränsvärden som är så effektiva som möjligt. Arbete som krävs för detta bör genomföras (se vissa uppgifter i kapitel 15).

*** En tidplan för gränsvärdesintroduktion samt stegvis skärpning av dessa bör utformas. Se förslag nedan i tabell 5.

* Verka för att man på lång sikt skall kunna begränsa fordonens hastigheter och körsätt i vägavsnitt där bullerstörningar är särskilt allvarliga genom fjärrstyrd begränsning av fordonens funktion.

* Kontrollera hjulinställningen hos begagnade fordon med några års mellanrum.

* Verka för att buller- och energioptimerade automatiska växellådor blir vanligt förekommande.

** Uppmuntra ännu mer än idag val av lättare fordon.

*** Längs vägavsnitt där däck/vägbanebuller är ett stort problem bör valet av vägbeläggning göras med beaktande av buller (se korrektioner i tabell 4), givetvis även med hänsynstagande till andra viktiga faktorer.

** I de svåraste fallen bör dränerande vägbeläggning användas (dock ej på väg som är hastighetsbegränsad till 50 km/h eller lägre).

* I fall där däck/vägbanebullret är ett problem bör vägunderhållet prioriteras högt.

* Nedstigningsbrunnar bör helst inte placeras i körfält, i vart fall inte i hjulspår.

* Kraven på att uppgrävningar i vägar och gator skall återställas till en jämn nivå bör öka.s

** Vid planering av bullerdämpande åtgärder bör man regelmässigt överväga om en planerad skärm kan kombineras med en dränasfalt så att man istället kan reducera skärmens höjd. I vissa

gränsfall då reduktionskraven inte är så stora kan man överväga om en skärm kanske helt kan ersättas av en lite oftare förnyad dränasfalt.

* Snövallar längs vägkanter bör inte alltför schablonmässigt borthyvlas, utan man bör vara medveten om deras bullerdämpande effekt.

* Vid anläggning av hårdgjorda ytor mellan väg och bullerstört område bör man överväga att använda enhetsöverbyggnad eller annan form av dränasfalt för att erhålla extra ljudabsorption.

** Standardiseringsarbete inom fordons- och däck/vägbanebullerområdet bör ha allmänt hög prioritet och bör stärkas och skyndas på. Tekniskt sett bästa forumet för detta är ISO. Detta arbete bör alltid ligga ett steg före eventuella direktiv och reglementen.

** Sverige bör arbeta internationellt för införande av C-viktning som komplement till A-viktning. Man bör dock vara öppen för om någon kan visa på en bättre viktningskurva än C men som har avsedd effekt.

** Informationsspridning internationellt inom fordonsbullerområdet bör ha mycket hög prioritet. En internationell konferens om däck/vägbanebuller bör anordnas under andra hälften av 90-talet.

*** En internationell mätstandard för klassificering av bildäcks bulleremission bör utarbetas (pågår).

*** En internationell mätstandard för klassificering av vägbeläggningars bullerpåverkan bör utarbetas (pågår).

* En internationell standard för fältmässig mätning av vägbeläggningars ljudabsorption bör utarbetas (pågår).

** Temperaturens inverkan vid såväl fordonsbuller- som däck/vägbanebullermätningar bör reduceras (arbete pågår).

* Man bör såväl nationellt som internationellt bestämma att en viss typ av vägbeläggning normalt skall vara s k referensbeläggning med vilken andra beläggningar skall jämföras då man t ex vill klassificera andra beläggningar.

** Bullerklassificering av såväl vägbeläggningar som däck bör införas.

* Av bl a konsumentupplysningsskäl bör bildäck märkas med antingen sin "bullerklass" eller uppmätt bullercertifieringsvärde.

* Man bör genom att tillåta vissa speciella däck söka nedbringa bullret från däcken vid fordonsbullermätning enligt ISO 362 (eller motsvarande) till så låg nivå som möjligt, för att därigenom separera bullret från drivenheterna på fordonen och däck/vägbanebullret.

* Lokala hastighetsbegränsingar kan användas för att reducera däck/vägbanebullret något i särskilt störande fall. För att de ska bli effektiva gäller det dock att få acceptans hos fordonsförarna för varje sådan åtgärd, eller ha en förstärkt övervakning.

* Utnyttja markdämpningen bättre för den låga källhöjden hos däck/vägbanebuller, t ex genom att använda mer vegetation.

** Samordna det internationella arbetet med däck/vägbanebuller genom att inrätta ett sekretariat någonstans som får till uppgift att regelbundet informera om utvecklingen inom olika arbetsgrupper m m. Tänkbara huvudmän är OECD, ISO, ECE. Sverige skulle kunna ta initiativ i frågan.

*** Ge den s k Fordonsbullergruppen fortsatt mandat och stärk dess möjligheter att stödja forskning.

*** Vidare bör man verka för att de utredningar och den FoU som behövs enligt kapitel 15 genomförs.

16.2 Aktionsplan

Om målet med en bullerreduktion på 15 dB(A) skall kunna uppnås inom den föreslagna tiden måste åtskilliga beslut tas och många aktiviteter igångsättas tämligen snart. Som ett exempel på hur detta skulle kunna gå till presenteras därför ett förslag till aktionsplan i tabell 5. Förslaget kommer från en nyligen framlagd konferensuppsats [Sandberg, 1993-III]. Ett exempel på vilka åtgärder som kan behöva kombineras för att nå den långsiktiga målnivån 15 dB(A) visas i tabell 6. Åtgärdernas effekt är bedömningar av författaren.

16.3 Diskussion

Takten för åtgärderna i Tabell 5 är hög. Skall ambitionen som tabellen speglar realiseras, måste alla aktörer vara beredda att verkligen anstränga sig.

Författaren bedömer att det krävs att man mycket snart enas om att verka efter ungefär en sådan aktionsplan och att man sedan med täta mellanrum kontrollerar att man verkligen följer denna eller vidtar motsvarande andra åtgärder. Sverige bör ta initiativ för att få till stånd en sådan utveckling.

Om man sölar eller inte agerar ungefär på detta sätt kommer utvecklingen förmodligen att bli som i Scenario nr 0 i avsnitt 10.2. Detta innebär att fordonens bulleremission i stort sett skulle förbli vad den är, vilket då innebär en ökning av vägtrafikbulleremissionen totalt eftersom alla prognoser pekar på ökad trafik. Man skulle i så fall knappt kunna nyttiggöra den reduktion av bullergränserna som EG redan beslutat. Vidare skulle man bli tvungen att satsa stora resurser på immissionsbegränsning istället.

Första gränsvärdena för däcken förutsätts gälla fr o m 1997 med beslut året före. Första tanken är nog hos många att detta är helt orealistiskt. Emellertid skall man då minnas följande:

* EG har redan i nya direktivet 1992 annonserat att man kommer att sätta gränsvärde. Industrin måste således redan fr o m nu inrikta sig på detta.

* Det första gränsvärdet som föreslås i tabell 5 avses bli så liberalt att den stora majoriteten av däck klarar sig medan de allra bullrigaste bortfaller. Det kommer knappast att kräva några nya däck. De fabrikanter som vet med sig att de har några särskilt bullriga däck i sitt sortiment som kan komma i farozonen kan redan nu inrikta sig på att modifiera dessa, eller också att acceptera att dessa riskerar att bli uteslutna fr o m 1997.

* I aktionsplanen förutsätts att man agerar tämligen omgående genom att klargöra att fr o m 1997 kommer gränsvärden att introduceras och att dessa kommer att sättas så att de allra bullrigaste däcken får problem, men att den stora majoriteten klarar sig.

Tabell 5 Förslag till övergripande aktionsplan för att fram till år 2015 reducera däck/vägbanebuller med 15 dB(A). Förslaget är bearbetat från [Sandberg, 1993-III].

	Däck:
1993-95	Målnivåer och intern. aktionsplan diskuteras inom ERGA-Noise III och ECE/WP29/GRB
1994	ISO/TC31/WG3 framlägger en ISO Committee Draft betr. mätmetod för buller från däck
1994-95	Experimentellt arbete pågår med att bestämma nivåer för gränsvärden ISO. Dessa baseras på mätmetoder enligt ISO-förslaget ovan
1995	ISO/TC31 och ISO/TC43 beslutar om en mätmetod (enligt ovan), ⇒ ISO/DIS
1995	ERGA-Noise III och ECE/WP29/GRB accepterar ISO-förslaget i princip och börjar att diskutera var gränsvärdena för typprovning av bildäck skall sättas
1995-96	Den slutliga mätmetoden trycks av ISO
1996	De första gränsvärdena för bulleremission från däck beslutas. Gäller fr o m 1997-01-01
1997	Första EG-direktivet och ECE-reglementet träder i kraft. Gränsvärde = X dB
1997	Man kommer överens om att fr o m nu skall högsta hastighetsgräns i Europa vara 130 km/h. Detta ändrar optimeringar av däck så att de lättare kan göras "lågbullrande"; t ex utformas smalare och få något mjukare material
1997-98	Första översynen av ISO-metoden enligt ovan görs
2000	Den förbättrade ISO-metoden träder i kraft. Innebär t ex en bättre referensvägyta
2000	Andra steget i gränsvärdena genomförs. Nya gränsvärdena = X - 2 dB (dvs 2 dB lägre)
2003	Tredje steget i gränsvärdena genomförs. Nya gränsvärdena = X - 4 dB
2007	Fjärde steget i gränsvärdena genomförs. Nya gränsvärdena = X - 6 dB
2011	Femte steget i gränsvärdena genomförs. Nya gränsvärdena = X - 8 dB
2015	Sjätte och sista (?) steget i gränsvärdena genomförs. Nya gränsvärdena = X - 10 dB
	Vägbeläggningar:
1993-99	Arbete pågår för att söka förlänga den akustiska livslängden hos dränerande beläggningar och att utveckla trafikerade vägytor med bulleroptimerade och rimligt hållbara texturer
1994	ISO/TC43/SC1/WG33 lämnar förslag till mätmetod för bullerklassificering av vägytor
1995	Kriterier för bullerklassificering av vägytor beslutas (inom ISO eller CEN/TC227?). Inkluderar definition av "lågbullrande vägyta"
1995	ISO/TC43/SC1/WG38 föreslår en mätmetod för ljudabsorptionsmätn. in-situ på vägytor
1995-96	Mätmetoden för bullerklassificering av vägytor trycks av ISO. Fr om nu är det möjligt att jämföra bullermätningar på olika vägytor, såväl nationellt som internationellt
1996	Nationella väg- och miljömyndigheter beslutar om var, när och hur man bör eller skall använda vägbeläggningar med särskilda bulleregenskaper. Tekn. möjligt att ställa lagkrav
2000	Krav att använda lågbullrande vägbeläggningar i vissa lägen införs eller skärps
2005	Kraven skärps ytterligare
	Fordon:
1995	Myndigheterna uppmuntrar (mycket mer än nu) användning av lättast möjliga fordon (gäller ej lastfordon) och bulleroptimerade autom. växellådor (detta är en åtgärd som kanske är riktad mer mot fordonsägare och förare än mot industrin)
1997	Hjulinställning börjar kontrolleras, som del av reguljär bilprovning (kanske vartannat år)
2000	På något sätt uppmuntras skärmning av däcken med huv eller kjol på vissa lämpliga fordon (t ex ej fordon som trafikerar byggarbetsplatser)
	Förare:
2000	System som begränsar fordons hastighet och motorvarvtal i vissa vägavsnitt (känns av autom. från vägen) krävs för nya fordon, vilket möjliggör effektiva hastighetsgränser

åtgärder än de redovisade!). Reduktionen för däck är räknad relativt dagens "medeldäck". Reduktionen för vägbeläggningar är räknad relativt dagens dominerande asfaltbetong av typ HAB12T, HAB16T och ytbehandling av typ Y1B 8-12, Y1B 12-16, Y2.

Däckåtgärder:

Urval bland olika typer/fabrikat	2
Minskad bredd	1-2
Mjukare material (gummi eller syntetgummi)	0-2
Ur bullersynpunkt bättre stomme	0-2
Annorlunda mönster	1
Summa, däck	7 dB(A)

Vägbeläggningsåtgärder:

(OBS: De flesta är ej additiva)	
Urval bland olika typer (exkl dränerande)	1-2
Användning av dränasfalt, e d, (nytillstånd)	(4-8)
D:o, medelvärde över hel livscykel	2-4
Optimering av yttextur	0-2
Bättre underhåll för väg med bullerstörningar	0-1
Summa, väg: Generellt (medelvärde)	2 dB(A)
- " - : Lokala åtgärder	4 dB(A)

Fordonsåtgärder:

Lättare fordon (exkl. lastfordon)	0-1
Bulleroptimerad automatisk växellåda	0-1
Kontroll av hjulinställning	0-1
Inbyggnad av hjul i skärm/kjol	0-4
Teknisk begränsning av hastighet. Se Föråtgärder nedan.	
Summa, fordon (medelfordon)	2 dB(A)

Föråtgärder:

Lägre hastighet (lokal åtgärd)	2
Summa, förare (lokala åtgärder)	2 dB(A)

TOTALT:	Generellt	11 dB(A)
TOTALT:	Generellt samt med lokala åtgärder	15 dB(A)

För att klara att få fram några eventuellt "nya" däck i tid (modifierade gamla eller helt nya typer) bör man rätt omgående deklarera en tidplan

för hur skärpningar av gränsvärdet i princip skall ske. Därmed kan industrin redan om en förhoppningsvis kort tid inrikta sig på denna tidplan. Det blir således troligen först år 2000, i andra steget, som några "nya grepp" eventuellt måste till och dessa kommer då knappast att omfatta mer än en minoritet av utbudet. Tills dess är det f n 7 år.

Radikala ändringar krävs troligen inte förrän om 14-22 år och tills dess finns en lång planeringstid.

Några kommentarer angående tabell 6. Beträffande effekten av åtgärderna som listas där som exempel är siffrorna författarens bedömning. Andra kan ha mer optimistiska och pessimistiska bedömningar. Med säkerhet kommer industrin att förklara att man har mer pessimistiska bedömningar.

Hur effekterna bedöms beror mycket på ambitionsnivån som man är beredd att verka efter. Såsom klart framgår av ovanstående är ambitionsnivån här hög. Man måste emellertid beakta att här föreslås en aktionsplan som sträcker sig drygt 20 år fram i tiden. Dessutom föreslås att en väsentlig del av de totalt befintliga däckutvecklingsresurserna under dessa år ägnas åt externbullret. Detta innebär en viktig skillnad mot nuläget. Åtgärdernas effekt skall alltså predikteras utgående från dels befintlig kunskap, dels mot bakgrund av en avsevärd utvecklingsprioritering mot externbuller under 20 års tid. Författaren menar att en sådan utvecklingsoptimism måste man ha, att man tror att detta går att klara.

7 SLUTSATSER

Vägtrafikbullret kan indelas i två huvudkomponenter: Drivenhetsbuller och däck/vägbanebuller. Det förra kommer från bl a motor, avgas och transmission och det senare från däckens rullning mot vägytan. Båda delkomponenterna utgör idag avgörande delar av vägtrafikbullret. Drivenhetsbullret var det värsta problemet för något decennium sedan medan däck/vägbanebullret förefaller att bli relativt sett viktigare med tiden.

Problemet med däck/vägbanebuller kan struktureras i två huvuddelar:

(1) Ett mätmetodproblem vilket innebär att bullret från bildäcken (oavsiktligt) inverkar på de resultat som erhålls vid provning av

fordonsbuller enligt lagkrav och där man i första hand önskar reglera drivenhetsbullret.

(2) Ett miljöproblem som består i att för de modernaste fordonen bullret från bildäcken vid frirullning eller normal drivning dominerar över drivenhetsbuller vid i stort sett alla förhållanden då fordonen kör med konstant hastighet.

Det förstnämnda problemet behöver lösas för att kunna reglera drivenhetsbullret på ett lämplig sätt och det andra behöver lösas för att reducera den direkta exponeringen för däck/vägbanebuller i samhället.

Vad gäller bulleremissionen från bildäck i samhället gäller problemet i lika hög grad däck för lätta som för tunga fordon.

Förutsägelser som gjordes för ett tiotal år sedan om att däck/vägbanebullret skulle begränsa effektiviteten hos de nya gränsvärden för fordonsbuller som var en följd av ett uppfyllande av det s k 80-dB(A)-målet för tunga fordon m m har visat sig slå in. För fritt flytande trafik tycks inga nämnvärda nominella bullerreduktioner ha erhållits under de senaste 15 åren.

Trots detta är det uppenbart att fordonens drivenheter har blivit tystare genom åren. Däremot förefaller det som om de moderna däcken ger minst lika höga bullernivåer som de som användes för 30-70 år sedan. Det finns en rad indikationer på att de senaste decennierna har inneburit starkare buller från bildäcken, vilket kan förklaras av att däcksutvecklingen har gått mot bredare däck, med annorlunda mönster för att trots den ökade bredden ge god dräneringsförmåga vid höga hastigheter, samt annorlunda material för att klara allt högre topphastigheter. Utvecklingen mot s k högprestandabilar och högprestandadäck dimensionerade för hastigheter upp till 300 km/h synes ha inneburit en från bullersynpunkt olycklig optimering. Trenderna i extremfallen återspeglas även allmänt.

Sverige har alltsedan mitten av 70-talet deltagit tämligen aktivt i utvecklingen inom ämnesområdet. Bl a har detta manifesterats i anordnandet av två uppskattade internationella konferenser.

Ansvaret för emissionen av däck/vägbanebuller delas av fordonsindustrin, däckindustrin, däckregummerarna, väghållarna och fordonsförarna, samt i någon mån även av inköpare/beställare av fordon och trafiktjänster eftersom dessa kan påverka marknaden.

Åtgärder för en effektiv bullerreduktion måste riktas mot samtliga dessa ansvariga.

Det internationella samfundet har uttryckt en medvetenhet om problemen i princip. Detta har manifesterats t ex genom att det f n pågår arbete med standardisering och informationsspridning inom ett stort antal arbetsgrupper och organisationer. I rapporten påpekas emellertid att man måste vara uppmärksam på behoven av en harmonisering av metoder och en samordning av arbetsinsatserna, annars kan problemen i värsta fall t o m förvärras.

Standardiserade mätmetoder för däck/vägbanebuller finns i dagsläget ej. Detta omöjliggör alla typer av regleringar såvida de inte bygger på att endast föreskriva vissa typer av däck eller vägbeläggningar. Emellertid pågår utveckling av mätmetoder för klassificering av bulleregenskaper för såväl däck som vägyta (separat) inom ISO. Särskilda problem är t ex att bestämma referensytor för att klassificera däck samt referensdäck för att klassificera vägytor.

En analys av framtidsutsikterna visar att radikala åtgärder snabbt behöver vidtas mot däck/vägbanebullret. Optimismen bland experterna vad gäller utvecklingen fram till år 2010 är dock inte påfallande. I rapporten föreslås som ett långsiktigt, behovsanpassat mål att däck/vägbanebullret genom en kombination av åtgärder skall reduceras fram till år 2015 med 15 dB(A). Detta kräver i så fall samfällda insatser fördelade på samtliga ansvariga enligt ovan. Författaren bedömer t ex att gränsvärden för buller från däcken behöver fastställas och att de sedan stegvis behöver skärpas med totalt ca 10 dB(A) under en 20-årsperiod. Likaså måste åtgärder vidtas för en användning i stor skala av "lågbullrande" vägbeläggningar, där man så småningom kanske behöver sikta på en bullerreduktion på upp till 8 dB(A) i nytillstånd p g a vägbeläggningsbyte. Även för fordonen krävs vissa åtgärder för att sänka däck/vägbanebullret. I samtliga fall krävs en hel del utvecklingsarbete för att klara sådana mål. Slutligen måste åtgärder riktade mot förarna vidtas för att i bullerkänsliga vägavsnitt tvinga fram ett lugnare körsätt.

I rapporten diskuteras en mängd olika åtgärder. Inte minst diskuteras möjligheter och problem med att sätta gränsvärden för däck/vägbanebuller. En av de viktigaste och mest akuta åtgärderna bedömer författaren vara att omrikta fordons- och däckoptimeringen till topphastigheter som ur miljö-, ekonomi- och säkerhetssynpunkt är rimliga. Man måste vara beredd att välja mellan en miljöriktig

optimering eller en fortsatt trend mot extremt snabba bilar och till dem optimerade däck. Beträffande dessa åtgärder hänvisas i övrigt till sammanställningen i föregående kapitel.

Vägverket har i samråd med Naturvårdsverket använt planeringsansatsen att däck/vägbanebullret skall reduceras till år 2015 med 7 dB(A) uttryckt som ekvivalentnivå och 10 dB(A) som maximalnivå. Denna ansats bedöms som rimlig, men kräver att huvuddelen av de åtgärder som föreslås i rapporten genomförs och blir lyckosamma. För att detta skall inträffa krävs ett aktivt arbete på alla fronter.

Författaren bedömer att det långsiktiga målet är uppnåeligt. Det kräver dock att tämligen radikala åtgärder snabbt vidtas över ett brett spektrum och inriktade på samtliga delansvariga för att "få stopp" på den nuvarande utvecklingen och för att vända den till en bullerreduktion. Möjligheterna att uppnå målet med 15 dB(A) total bullerreduktion kräver att man för en tid lägger en mycket hög prioritet vid just extern bullerreduktion. Det kan inte uteslutas att detta kan sakta ner utvecklingen mot förbättringar för andra egenskaper, men målet är att bullerförbättringarna skall uppnås utan att några andra egenskaper i vart fall skall bli sämre. Kan man på kort tid utveckla bildäck med goda egenskaper för nästan ofattbart höga farter vore det egendomligt om man inte kan utveckla tystare däck för lagliga farter; om viljan finns och resurserna tillsätts. Man måste också vara beredd på att bullerreduktion inte alltid kan erhållas "gratis". Samhällets huvuduppgift är nu att skapa incitament för att utvecklingen skall gå i önskvärd riktning. Sådana incitament har hittills varit mycket rudimentära.

18 REFERENSER

ANON. (1982): "Sound Level of Highway Truck Tires". Recommended Practice SAE J57, Soc. of Autom. Engin. Handbook 1982, sid 35.21-35.22.

BERGE, Truls (1993): "Noise emission levels from passenger cars - past, present and future". Uppsats till konferens "External Vehicle Noise and Impending Legislation", Institute of Acoustics, London, 4 mars 1993.

ECE/GRB (1990): "Draft Regulation: Tyre/Road Noise Emission". TRANS/SC1/WP29/GRB/R.100, United Nations Economic Commission for Europe, GenÞve.

ENZ, Wolfgang; STEVEN, Heinrich (1991): "Round Robin Test on test tracks as proposed in ISO/TC 43/SC 1/WG 27". Research Report 10505993/01, FIGE GmbH, Herzogenrath, Tyskland.

EUROPEAN COMMUNITIES (1992): "Council Directive 92/97/EEC of 10 November 1992 amending Directive 70/157/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles". No. L 371/1, Official Journal of the European Communities, Bryssel.

GRIGG, F.W. (1964): "Some Dynamic and Acoustic Properties of Pneumatic Tyres". MSc Thesis, Universitetet i Queensland, Brisbane, Australien.

HOGLAND, William; WAHLMAN, Thomas (1988): "Uppsatser inom ramen för projektet 'Enhetsöverbyggnad' under perioden 1985 - 1987". Rapport nr 3118, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds Universitet.

ISO 10844 (1993): "Acoustics - Test surface for road vehicle noise measurement". International Organisation for Standardization, GenÞve.

JÄCKER (1993): Personlig kommunikation. Telefax och telefon till Umweltbundesamt, Berlin.

KRAGH, Jørgen; PEDERSEN, Jan och CARLSEN, Ole (1991): "Nordisk beregningsmetode för vejtrafikstøj. Nye basisvμrdier efter skμrpelse af støjgrμnserne for biler". Teknisk rapport LI 972/91, Lydteknisk Institut, Lyngby, Danmark.

KRAGH, Jørgen och JESSEN, Birger Bech (1992): "Måling af støj fra biler på forsøgsstrμkninger på hovedlandevej 120, Viskinge". Teknisk rapport LI 1114/92, Lydteknisk Institut, Danmark.

KRAGH, Jørgen (1993): Personlig kommunikation rörande förhållandet mellan SEL och Lmax från lätta resp tunga fordon. Telefax 1993-04-01 från Lydteknisk Institut, Lyngby, Danmark.

LEMON, B.J. (1925): "Glimpses of Balloon-Tire Progress". Journal of the Soc. of Automobile Engineers, Vol XVI, Nr. 2.

LIPPMAN, S. (1956): "Tires in Automotive Vibration Problems". Noise Control, sid 41-43.

LIPPMAN, S.A.; REID, K.A. (1976): "A Laboratory Procedure for Measuring the Sound Level of Truck Tires". SAE Paper 762015, Soc. of Autom. Engin., Warrendale, PA.

LUETGEBRUNE, H. (1955): "Reifengeräusche - Fahrzeuggeräusche". Kautschuk und Gummi, Nr. 4, sid 91-96.

NELSON, Paul (red.) (1987): "Transportation Noise Reference Book" (se figurerna 6.10 och 7.13). Butterworth & Co., London.

NILSSON, Nils-Åke; SANDBERG, Ulf (1981): "Däck/vägbana - En bullerkälla i trafiken". STU-information nr 175-1981, Styrelsen för teknisk utveckling (numera NUTEK), Stockholm.

NILSSON, Nils-Åke (1982): "Externt däckbuller. Utveckling av tystare däck och vägbeläggningar". Slutrapport STU projekt nr 80-4204 A+B. IFM Akustikbyrån AB, Sundbyberg, eller NUTEK Stockholm.

RATHE, Eric J. (1966): "Über den Lärm des Strassenverkehrs". Acoustica, Vol. 17, sid 268-277.

RLS-90 (1990): "Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen". Ausgabe 1990, Bundesministerium für Verkehr, Postfach 210360, 5000 Köln 21, Tyskland.

RONNEBERGER, Dirk; SCHEWE, Joachim (1985): "Schallabstrahlung von lärmgeminderten Versuchsreifen und von Serienreifen im Vergleich". Drittes Physikalisches Institut der Universität Göttingen, Göttingen, Tyskland.

SANDBERG, Ulf; BENNERHULT, Ove (1978): "Skärmning av däckbuller". VTI rapport nr 151, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

SANDBERG, Ulf (1982): "Will Tire/Road Noise Limit Future Vehicle Noise Reductions?". Proc. of Inter-Noise 82, San Francisco, USA.

SANDBERG, Ulf (1984): "Six decades of vehicle noise abatement - but what happened to the tyres"? Särtryck från Proceedings of the Spring Conference 1984 "Acoustics 84", arrangerad av Institute of Acoustics, Storbritannien, sid 231-238.

SANDBERG, Ulf (1987): "Fordonsbuller för olika fordonstyper och körsätt". VTI notat TF 52-06, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

SANDBERG, Ulf (1989): "Vehicle Noise Emission Changes during the Period 1974-1988". Proc. of Inter-Noise 89, Newport Beach, CA, USA.

SANDBERG, Ulf (1992-I): "Low Noise Road Surfaces - Design Guidelines". Uppsats presenterad vid Second International Symposium on Road Surface Characteristics vid Tekniska Universitetet i Berlin, 23-26 juni 1992.

SANDBERG, Ulf (1992-II): "Noise Emission from Heavy Trucks Meeting the 84 and 80 dB(A) Limits". Slutrapport, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

SANDBERG, Ulf (1992-III): "Low Noise Road Surfaces - A State-of-the-art Review". Proc. of Eurosymposium "The Mitigation of Traffic Noise in Urban Areas", LCPC, Nantes, 1992.

SANDBERG, Ulf (1992-IV): "Testing of an Experimental Composite Wheel". Slutrapport, NUTEK Projekt nr 88-04955 och 91-02047, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping, eller NUTEK, Stockholm.

SANDBERG, Ulf och EJSMONT, Jerzy (1986): "Development of Three Methods for Measurement of Tire/Road Noise Emission: Coast-by, Trailer and Laboratory Drum". Noise Control Engineering Journal, Vol. 27, Nr 3, sid 68-88.

SANDBERG, Ulf och EJSMONT, Jerzy (1992-I): "Evaluation of the Trailer Coast-By Method for Tire/Road Noise Measurements". VTI Meddelande 702A, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

SANDBERG, Ulf och EJSMONT, Jerzy (1992-II): "Selection of tires with regard to noise emission". Rapport gjord åt Transportforskningsberedningen (TFB dnr 15/89-63), Stockholm

SANDBERG, Ulf (1993-I): "Korrigering i den nordiska trafikbullermodellen för inverkan av vägyta". VTI meddelande 706, Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.

SANDBERG, Ulf (1993-II): "Noise Emissions of Road Vehicles - Effect of Regulations. Status Report of an I-INCE Working Party". Proc. of Inter-Noise 93.

SANDBERG, Ulf (1993-III): "Action Plan against Exterior Tyre/Road Noise". Proc. of Inter-Noise 93.

SANDBERG, Ulf och EJSMONT, Jerzy (1993): "The Art of Measuring Noise from Vehicle Tires". SAE Paper 931275, 1993 Noise & Vibration Conference & Exposition, Traverse City, Michigan, USA.

STOREHEIER, Svein-Åke; SANDBERG, Ulf (1990): "Vehicle Related Parameters Affecting Tire/Road Noise". Proc. of the International Tire/Road Noise Conference 1990, STU Inform. 794-1990, NUTEK, Stockholm.

TYLER, John (1993): Personlig kommunikation, telefon. Transport Research Laboratory, England.

de VEER, H. och ULLRICH, S. (1991): "Die Entwicklung der Geräuschemission von Pkw and Lkw im Zeitraum von 1970 bis 1990". Strasse + Autobahn 11/91, sid 641-643.

VÄGVERKET (1993): "Miljökonsekvensanalys inför nationell väghållningsplan 1994-2003". 1993-02, Vägverket, Borlänge.

WIENER, F.M. (1960): "Experimental Study of the Airborne Noise Generated by Passenger Automobile Tires". Noise Control 6(4), sid 13-16.

ZETTERLING, Tommy (1986): "Framställning och utprovning av fordonsdäck med låg extern bulleremission". TR 7.715-01, 3K Akustikbyrån AB, Sundbyberg.

ÅHSBERG, Leif (1992): Personlig kommunikation med Leif Åhsberg, Volvo Lastvagnar AB, Göteborg.

BilAGA 1:

UTDRAG UR TIDSKRIFTEN DÄCK DEBATT, NR 2 1993

(med tillstånd från ansvarig utgivare)

(1) För att kunna överföra driv- och bromskrafter måste däck alltid "slira" (eng. "slip") i någon grad. Vid normal drivning rör det sig dock enbart om delar av procent som ett däck slirar.
(2) Den s k ekvivalentnivån är ett mått som representerar en form av medelljudnivå under en viss tidsperiod
(3) SEL = "Single Event L_{eq}" = ekvivalentnivå beräknad för hel fordonspassage
(4) Då skall man emellertid veta att ändringar i mätmetoderna under tiden har medfört att för att uppnå det nominella målet har man i praktiken måst reducera bullret mer än ursprungligen avsett.

Michelin presenterar PILOT:

En helt ny serie högprestandadäck

BARCELONA (vår utsände medarb.)

Vi vill ha säkrare trafik och vi vill ha tystare trafik.

Allt är möjligt med modern teknik. Om man nu säger att det är fortkörarna på vägen som är farligast, så ska man göra det lättare för dem att köra säkrare. (Information om att köra lugnare hjälper kanske inte alltid för bilägare med prestigebilar).

Den som vill ha komfort ska få komfort.

Nu kan alla förenkla och förbättra sin körsituation om de med större noggranhet väljer däck till sina snabba motorstarka bilar. Ty det är högprestandabilarna det gäller!

Det världsledande däckföretaget Michelin gick ut och frågade över tusen ägare och förare av högprestandabilar hur de egentligen ville ha sina däck?

Svaren överraskade måhända — många, väldigt många, ville helst åka komfortabelt. En annan stor grupp med många och långa körningar över sträckor där vädret ofta växlade, ville köra med "harmoni" — d v s säkert, tryggt mot vattenplaningstendenser och därtill med god ekonomi — vilket inte hindrade att de ville köra snabbt ibland. Tungt lastade därtill! En nöt att knäcka för däckteknikerna. Så återstod en tredje — ganska stor grupp typ sportiga förare — som vill kunna "stå på", komma först i väg vid ljussignalväxling, göra snabba och säkra omkörningar, ligga i vänsterkant på Autobahn etc.

● **Ny däckfamilj skapad**

Däckforskningslaboratoriet började arbetet.

Michelin har faktiskt tre forskningscentra och tyra testanläggningar så resurser fanns. Arbetet gav i slutänden en helt ny däckfamilj.

Namnet PILOT skall man lägga på minnet. Den består av tre familjemedlemmar. CX-däcken för den komfortable, HX-däcken för den som vill köra-åka med harmoni och så då SX-serien för det sportiga korsättet.

Vi har testat dem där farten var fri, kurvorna många och hårda och där "skräffelvägar" fanns att tillgå. Vi sammanfattar i korthet.

● **Lågt mönsterljud**

När det gäller *Harmoni*-däcken insåg man snabbt fördelarna — utmärkt sidostabilitet, drivgrepp med mycket god kontaktyta — även i höga farter. Vi kom enkelt över 250 km/tim på den avlysta motorbanan Circuit de Catalanya i Barcelonas utkant. Så fort ska dock inte "harmoniska" förare egentligen köra — ty deras medelfart är enligt undersökningen knappt 100.



Gott om dräneringskanaler i Pilot-seriens maffiga högprestandadäck konstaterar Däck Debatts utsände i solen. Själv hette han *Biehl* och hans guide hette *Mercedes*- jo, hon hette så (och körde Seat)...

● **För sportdäcken**

gällde *prestanda*. De ska enligt tillverkaren medge farter i hastigheter uppemot och t o m över 300 km/t. Inget för svenska vardagsbilister således — men bra att veta att säkerheten — styrkan finns.

Det rörde sig nu om däck med superlåga profiler, breda, platta mönster och en robust avrundad profil, som utmärkt väl stod emot de värsta "slarvpottor" bakom ratten vid kurvtagningar.

Bromsgreppen enastående — och det är väl så långt man då kan komma med ett däck.

Stållagerförstärkningar i nedre delen av däcksidan gav utomordentlig stadga.

Det kan nämnas att fabrikerna i företaget gör 4 miljoner km stålwire pr dag — som en kuriositet.

Vi upplevde faktiskt en mjuk styrkänsla och samtidigt en snabb styrrespons — kan man önska så mycket mer!

Sportdäcken finns i 15 till 18 tums dimensioner och har fått



Teknologie Doktor *M Merle* — en av forskarna och teknikerna bakom den nya Pilot-familjen demonstrerar här de bullerkällor som finns i en bil och som man måste eliminera.

(Foto Princesa Sophia)



Det är i kurvorna det avgörs hur bil och däck fungerar tillsammans... (Foto Kenneth Olausson)

tekniska godkännanden från Bugatti, BMW M3 och M5, 840 och 850i, för Maserati Shamal, Alpina, Ferrari, Porsche 964 Turbo, 968 och 928 GTS samt de japanska Toyota Supra och Subaru SVX.

● **Säkrare — tystare**

Ett stort steg framåt för säkrare trafik — därtill tystare och mer komfortabel, har tagits.

En däcktillverkare som gör över 650 000 däck om dagen världen över bidrar då starkt till ökad trafiksäkerhet — det bör nämnas utan sneglingar åt något håll, ty här rör det sig om en välgärning i trafiken.

I Sverige beräknas antalet högprestandabilar 1992—93 till cirka 17% av bilbeståndet — 1985 var det blott 4%, så bra däck för V/Z och W-farter —



Tekniske chefen hos Michelin Sverige när det gäller pv-däck *Ulf Wallin* poserar för Däck Debatt tillsammans med informationschefen i samma företag *Richard Hallén*. Båda nöjda efter en lyckad serie förhandsvisningar i Barcelona. **(Foto Princesa Sophia)**

Komfort, Harmoni eller Sport nu kan bilägarna välja själv

d v s farter betydligt över 200 km/tim har en tydlig marknad.

● **Prisfrågan**

Priset kommer att hålla sig inom ramen för vad dagens högfartsdäck kostar, säger informationschef Richard Hallén. Kvalitet som ger både säkerhet och komfort samt långt miltal kostar en del, det vet kundkretsen som kör högprestandabilar.

I den vagnpark Däck Debatt provkörde fanns både Jaguar, de olika Mercedesbilarna upp till 600-klassen, därtill BMW:s flaggskepp m fl. De sportiga däcken provkörde vi också på mindre bilar, typ Fiat Turbo, Citroën etc men det är ju först på de stora bilarna däcken verkligen kommer till sin rätt. Renault Safrane Baccara Biturbo blev f ö en upplevelse — och då inte bara när det gällde väghållning och fart utan kanske allra mest en perfekt körkomfort, som ytterligare accentuerades av CX Komfortdäck. Där kändes t o m Jaguaren slö...

Buss



Ett CX — Komfortdäck — av typ KA ser ju t o m ut att kunna erbjuda en komfortabel körning — åkning...



Sportdäcket SX XGTV — här betydligt robustare och hårdare.

Mer om dessa däck i nästa nr!

DÄCK DEBATT 2/93

FLYGBULLRET I SVERIGE - EN UNDERLAGSRAPPORT

STEN LJUNGGREN

RAPPORT S-7957-A
DNV INGEMANSSON AB, STOCKHOLM, MAJ 1993

FÖRORD

Föreliggande rapport är avsedd att tjäna som underlag för Regeringens utredning "Handlingsplan mot buller". Rapporten bygger till mycket stor del på redan publicerat material och synpunkter framkomna vid diskussioner inom en speciell arbetsgrupp. Arbetsgruppens medlemmar har varit

Kjell Andersson, Statens Naturvårdsverk
Folke Borgh, Fortifikationsförvaltningen,
Lars Ehnbom, Luftfartsverket,
Conny Larsson, Uppsala Universitet,
Sten Ljunggren, DNV Ingemansson AB,
Solveig Nordin de Zámano, Luftfartsverket, Stockholm-Arlanda
Per-Olof Olemyr, SAS AB,
Bengt Simonsson, KM Akustikbyrån,
Åke Söderström, Luftfartsverket, Bromma flygplats,
Jan Westerberg, Luftfartsverket, Norrköping

INNEHÅLL

Sammanfattning 4

1. Flygplanens alstring av buller 8
1.1 Aktuella emissionskrav 8
1.1.1 Större civila flygplan 8
1.1.2 Övriga flygplanstyper 14
1.2 Den tekniska utvecklingen och dess betydelse för bullret 15
1.2.1 Större civila flygplan 15
1.2.2 Militära flygplan 16
1.3 Vad har vi för emission i dag? 17
1.3.1 Start och landning 17
1.3.2 Planflykt 17
1.4 Tendenser för framtiden 18
1.4.1 Start och landning 18
1.4.2 Planflykt 18

2. Resandeströmmarna 20

3. Bullerstörningar kring flygplatser 22
3.1 Beskrivning av immission. Kriterier, mål 22
3.2 Störningarnas omfattning 23
3.2.1 Dagens läge 23
3.2.1.1 Linjetrafik 23
3.2.1.2 Militär flygverksamhet 24
3.2.1.3 Allmänflyget 26
3.2.1.4 Jämförelse med TBU:s prognos 27
3.2.2 Framtida utveckling 27
3.2.2.1 Linjetrafik 27
3.3 Svårigheterna att mäta flygbuller 30
3.4 Svårigheterna att prediktera bullerstörningar 31
3.5 Ansvar, kontroll 31

4. Referenser 33

SAMMANFATTNING

I. Antalet exponerade för flygbuller i Sverige.

För några år sedan var drygt 100.000 personer exponerade för flygbuller (med exponerad avses i detta sammanhang en person med en bullernivå av FBN = 55 dB eller mer vid bostaden). Detta antal minskar nu och beräknas år 2000 vara nere i ca 80.000 - 90.000. Minskningen är inte stor men ändock relaterad till en betydande förändring: antalet exponerade för buller från linjetrafik beräknas nämligen sjunka från 60.000 till 20.000 à 25.000 (den lägre siffran gäller om Bromma läggs ned), medan antalet exponerade för buller från militär trafik kommer att öka allt eftersom JAS införs på flottiljerna. Minskningen av antalet flottiljer och inte minst nedläggningen av F13 i Norrköping medför dock att ökningen blir begränsad: från 47.000 till ca 55.000 exponerade personer.

På längre sikt kan man förvänta att bulleralstringen och antalet exponerade åter ökar vid flygplatser med linjetrafik på grund av ökande trafikmängder. Denna bulleröknin kommer dock att ske i relativt långsam takt. Även bullret vid militära flygplatser kan förväntas öka i framtiden, eftersom utvecklingen av militära flygplan generellt leder till allt mer bullrande flygplanstyper. Införandet av en ny generation militära flygplan kommer därför sannolikt att leda till en abrupt ökning av bullerstörningarna.

II. Viktiga akuta problem.

Det är osäkert i vilken mån den militära flygverksamheten förorsakar subjektivt upplevd störning; det i dag använda immissionsbegreppet, flygbullernivån (FBN) tillsammans med maximalnivån (L_{Amax}), bedöms ge en ofullständig beskrivning härvidlag. En viktig anledning till detta är att verksamheten är mer koncentrerad till vardagar än vad som förutsatts vid konstruktionen av immissionsmåtten. Dagens system kan därför ge en överskattning av störningarna. En annan anledning är att eventuella störningar från lågflygande flygplan på avstånd från flygplatsen inte är beaktade, vilket kan tänkas ge en underskattning. Eftersom ett relativt stort antal personer bor nära flottiljflygplatserna samtidigt som nya flygplanstyper förväntas bli mer bullriga, är det viktigt att en noggrannare bedömningsmetodik tas fram.

En osäkerhet av principiellt samma art råder också för allmänflyget, dvs den civila flygtrafiken med undantag för linjetrafiken. Problemen kring verksamheten på avstånd från flygplatsen är av likartad karaktär som för de militära planen. Tidsmässigt är dock verksamheten koncentrerad till sommarhalvåret och till helgerna i stället för vardagarna, men fortfarande på ett sätt som inte beaktats vid konstruktionen av nu använda immissionsmått.

De ultralätta flygplanen utgör ett speciellt problem, framför allt genom att de ofta flygs på låg höjd och i känsliga naturområden.

Beträffande den civila linjetrafiken skall det observeras att relativt många personer (samma storleksordning som i dag) beräknas bli störda kring Bromma flygplats i framtiden om inga åtgärder vidtas. Detta beror på att bebyggelsen ligger nära flygfältet och att flygplanen i detta fall inte kan förväntas bli tystare i framtiden. Erfarenheterna visar att en minskning av störningarna kan erhållas bl a genom en kontrollverksamhet av den typ som nyligen införts. Brister i nuvarande beräkningsmetodik gör det dock svårt att utvärdera vilken effekt vidtagna åtgärder får för immissionen. Det är därigenom svårt att optimera de bullerbegränsande åtgärderna.

Internationella överenskommelser inom flygområdet gör att emissionskrav måste formuleras i internationellt gångbara mått. I praktiken används därför nu ett medelvärde från de tre mätpunkter som används vid certifieringen. Erfarenheterna visar dock att detta värde är dåligt korrelerat till den verkliga emissionen. Bättre precision skulle erhållas om man i stället använde det värde som man vid samma tillfälle mäter upp vid sidan av startbanan. Internationella avtal gör dock att det är osäkert om detta mått kan implementeras omedelbart för svenska flygplatser.

III. Orosmoln för framtiden.

Det är synnerligen väsentligt att flygbullerfrågorna hålls under noggrann uppsikt under den närmaste framtiden. En rad besvärliga problem kan annars uppstå. De viktigaste av dessa är följande.

A. Utveckling pågår nu av nya flygplanstyper som är relativt tysta vid start och landning men ger signifikanta störningar när planet går i planflykt (flygplan med s k propfan-motorer, dvs stora propellermaskiner). Planen kommer att klara aktuella bullernormer, eftersom normerna enbart avser buller vid start och landning. De nya

flygplanstyperna kan alltså trots detta ge störningar längs hela flygvägen och därigenom orsaka problem av en helt annan storleksordning än vad vi har i dag.

B. En generell ökning av bullerexponerat område vid flygplatser med linjetrafik (relativt läget år 2000) kan förväntas på grund av ökande trafikmängder samtidigt som flygplanens bulleralstring blir oförändrad.

Till detta kommer att de problem som redan nu är akuta, kan förväntas bli förvärrade om inte åtgärder vidtas redan nu. De viktigaste av dessa problem är

C. Störningar vid militära flygplatser.

D. Störningar vid flygplatser vid med hög andel allmänflyg.

E. Störningar vid flygplatser nära bebyggelse.

IV. Förslag till åtgärder

A. Nya flygplanstyper.
Riksdagen bör snarast anta ett långsiktigt program mot buller, där bl a anges att nya typer av flygplan inte får ge mer än exempelvis 55 dB(A) maximalnivå på marken vid planflykt på aktuell höjd. Vidare måste Sverige även fortsättningsvis delta med kraft i aktuella internationella samarbetsorgan typ ICAO, ECAC, ISO mm.

B. Ökningarna av bullerexponerade områden efter år 2000.
Koncessionsnämnden och Luftfartsverket måste bevaka problemet med att erforderliga bullerskyddszoner nu minskar i omfattning kring flygplatserna för att tämligen snart åter växa. En lösning kan vara att speciellt för flygplatser medge koncession för längre tid än 10 år.

C. Militära flygplatser.
En ny störningsutredning, som speciellt behandlar störningar under veckoslut, sommarmånader etc, bör genomföras. Denna utredning bör speciellt beakta problemen

kring allmänflyget, inklusive ultralätta flygplan, och den militära verksamheten.

D. Allmänflyg.
Se B.

E. Flygplatser nära bebyggelse.
En ny standardiserad beräkningsmodell för flygbullerimmission bör tas fram. Metoden skall kunna användas på grundval av såväl standardvärden för emissionen som uppmätta värden. Metoden bör vidare kunna tillämpas på såväl flygbullernivå som maximalnivå. Vidare bör Sverige verka för att det medelvärde för beskrivning och kravsättning av bulleremission som nu används internationellt byts ut mot det s k sidlinjevärdet.

1. Flygplanens alstring av buller

1.1 Aktuella emissionskrav

1.1.1 Större civila flygplan

Vid certifieringen av nya flygplanstyper ställs krav på flygplanets bullernivå. För Sveriges del finns kraven närmare beskrivna i Luftfartsverkets bestämmelser för civil luftfart, referens [1], som är grundade på ICAO Annex 16, Environmental Protection, Volume I-II, från 1981. Kraven avser i princip alla flygplan som registreras i Sverige. Avsteg kan dock medges för typer av propellerflygplan som är särskilt konstruerade för

- jordbruksflyg
- brandbekämpning
- avancerad flygning.

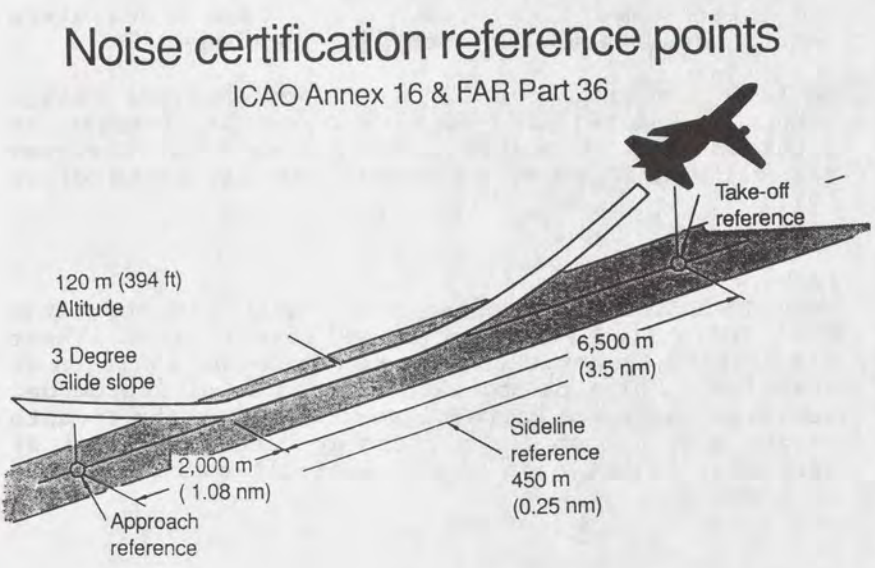
Kraven avser förhållandena under start och landning. Mätpunkterna är belägna på följande sätt

a) Vid sidan om startbanan på en linje parallell med och på ett avstånd av 650 m från startbanans centrumlinje eller dess förlängning och på den punkt där den högsta bullernivån erhålls vid start.

b) På förlängningen av startbanans centrumlinje och på ett avstånd av 6500 m från startens början.

c) På förlängningen av landningsbanans centrumlinje och 120 m vertikalt under en glidbana med vinkel 3° utgående från en punkt 300 m efter bantröskeln (vid plan mark hamnar mätpunkten på ett avstånd av 2000 från banans landningströskel).

Mätpunkterna är illustrerade i figur 1.



Figur 1. Mätpunkter vid bestämning av bulleremissionen vid större flygplan, från referens [2].

Vid starten används startdragkraft på motorerna till följande höjd över banans nivå:

- 1-2 motorer: 300 m
- 3 motorer: 260 m
- 4 motorer eller fler: 210 m

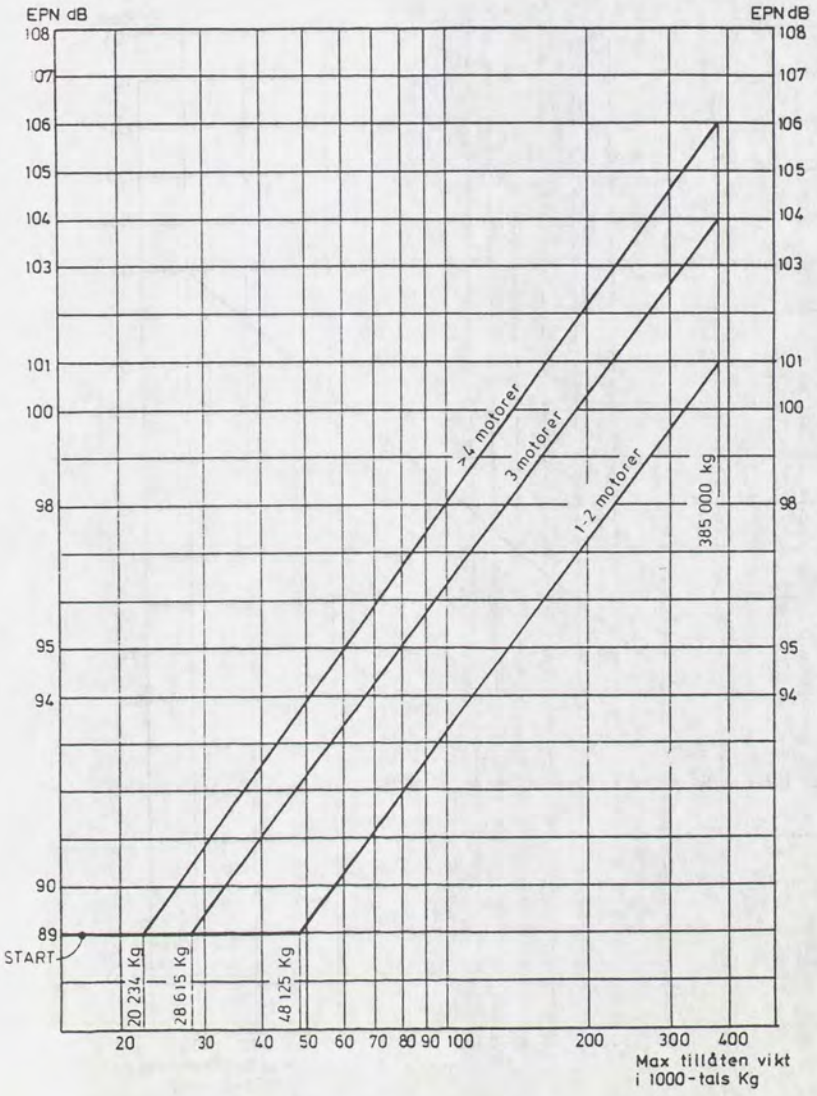
Därefter får dragkraften reduceras till det större av de värden som antingen medger planflykt med en motor ur funktion eller medger en startgradient på minst 4%. Denna gradient är ofta väsentligt mindre än gradienten på lägre höjd, dvs motorpådraget är mindre.

Vid mätningarna bestäms högsta ljudnivå uttryckt i EPNdB. Ofta utnyttjas ett medelvärde av de tre nivåer som erhålls vid mätningarna. Exempelvis avser emissionskravet vid Bromma flygplats, 89 EPNdB, just detta medelvärde. Detta medför exempelvis att höga bullernivåer vid startens början (mätt vid sidlinjen) kan

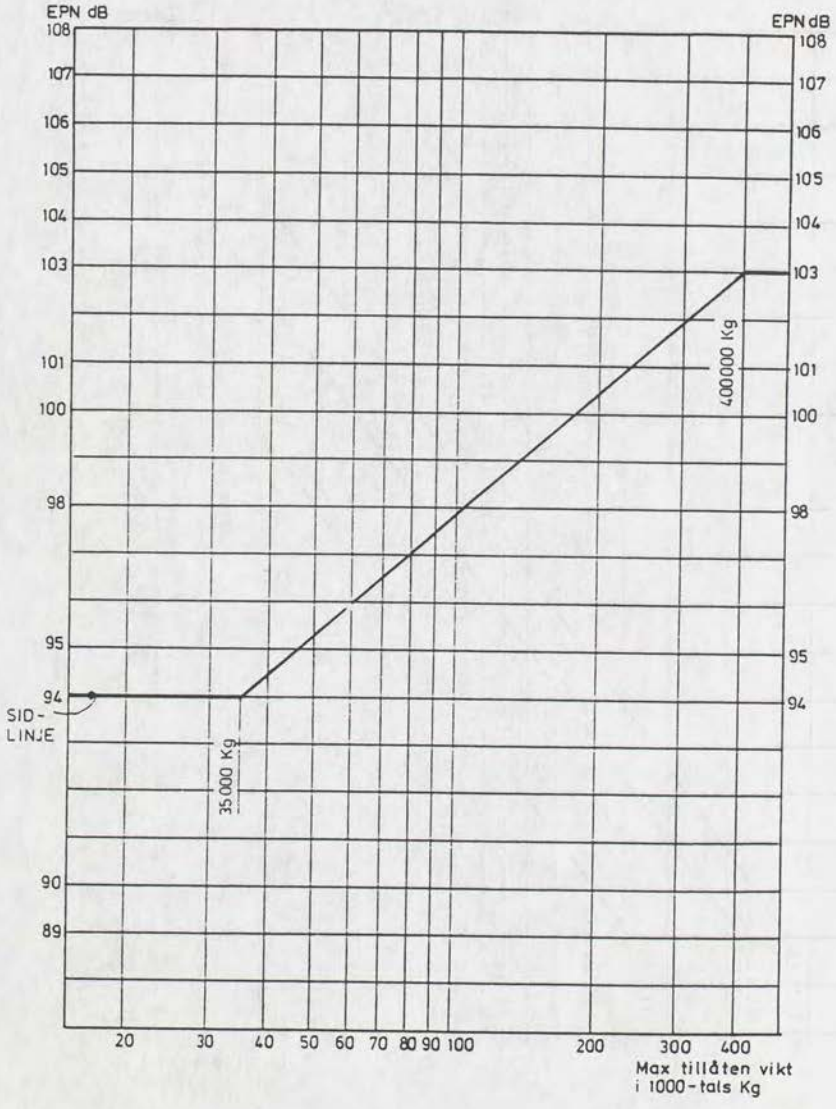
kompenseras med låga nivåer i startens andra skede (mätt under startbanan) och vid landningen.

De krav som nu gäller för nya flygplanstyper enligt det s k kapitel 3 i ICAO:S Annex 16 framgår av figurerna 2-4. Formellt avser kraven flygplanstyper för vilka ansökan om typcertifikat inlämnats efter 1977.

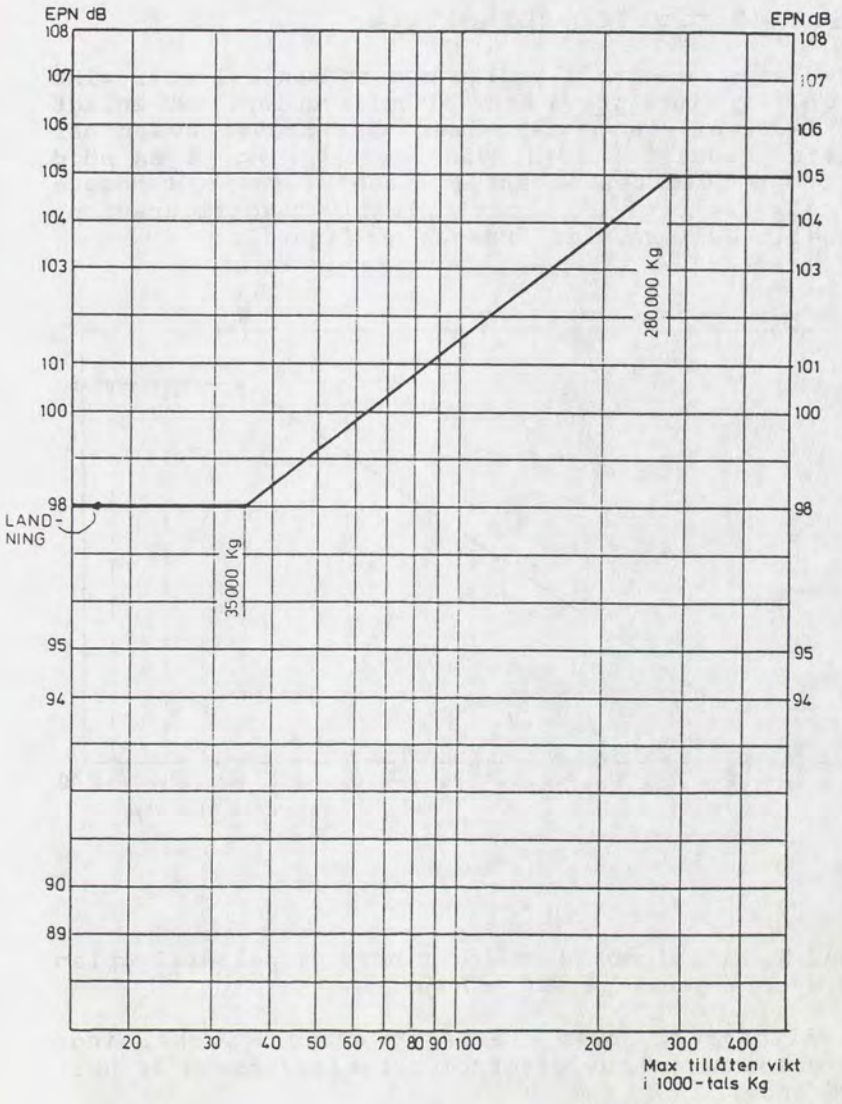
Kommentar
Med EPNdB avses den enhet som svarar mot storheten EPNL (Effective Perceived Noise Level). EPNL liknar den A-vägda ljudtrycksnivån, men frekvensvägningen är annorlunda, bl a på det sätt att den är nivåberoende. Dessutom ingår två korrektioner i EPNL: en för ljudets varaktighet och en för närvaro av rena toner. Det är inte möjligt att ange något generellt samband mellan EPNL och L_A.



Figur 2. Emissionskravet enligt kapitel 3 för större flygplan vid start. Mätpunkt under startbanan.



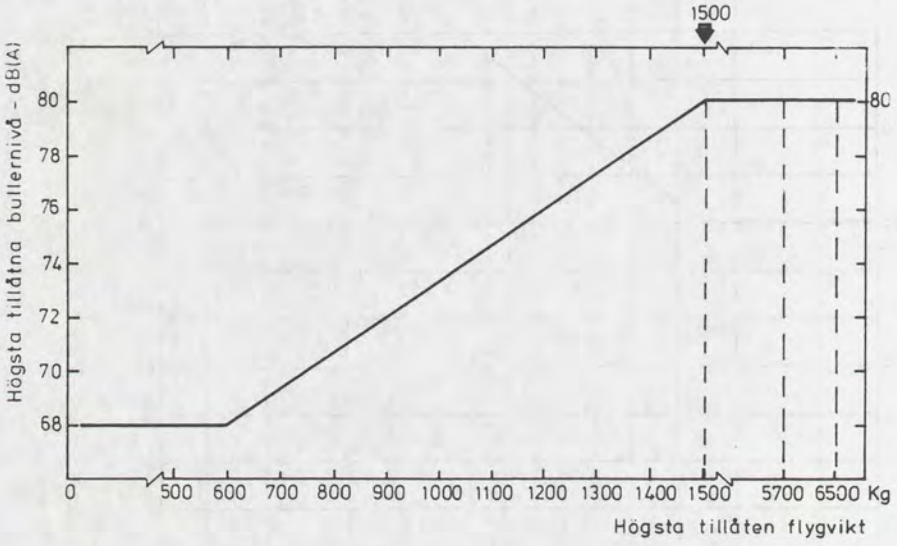
Figur 3. Emissionskravet enligt kapitel 3 för större flygplan vid start. Mätpunkt vid sidan om startbanan.



Figur 4. Emissionskravet enligt kapitel 3 för större flygplan vid landning.
De krav som redovisas ovan avser alltså moderna flygplan. Äldre flygplanstyper har certifierats enligt det s k kapitel 2, vilket medger 3-5 dB högre bullernivåer. Den tekniska bakgrunden till denna skillnad redovisas närmare i avsnitt 1.2.

1.1.2 Övriga flygplanstyper

För civila, mindre flygplan med en maximal startvikt av 5700 kg finns också krav på bulleremissionen enligt Luftfartsverkets bestämmelser [1]. Kravet avser här högsta ljudnivå i dB(A) vid överflygning på en höjd av 300 m. Vid testet skall planet flyga med högsta normala motoreffekt och planflyktskonfiguration. Aktuella bullernivåer framgår av figur 5.



Figur 5. Emissionskravet för mindre propellerflygplan vid överflygning på 300 m höjd.

På militära flygplan ställs av naturliga skäl inga bulleremissionskrav eftersom prestandakraven är helt avgörande.

1.2 Den tekniska utvecklingen och dess betydelse för bullret

1.2.1 Större civila flygplan

Den civila flygmotorutvecklingen har dominerats av följande mål, se referens [3]:
- Ökad dragkraft
- Bättre bränsleekonomi
- Lägre buller

Ökad dragkraft och bättre bränsleekonomi erhålls genom ökat luftflöde genom motorn. Gashastigheten kan därigenom minskas vilket i sin tur leder till minskat buller.

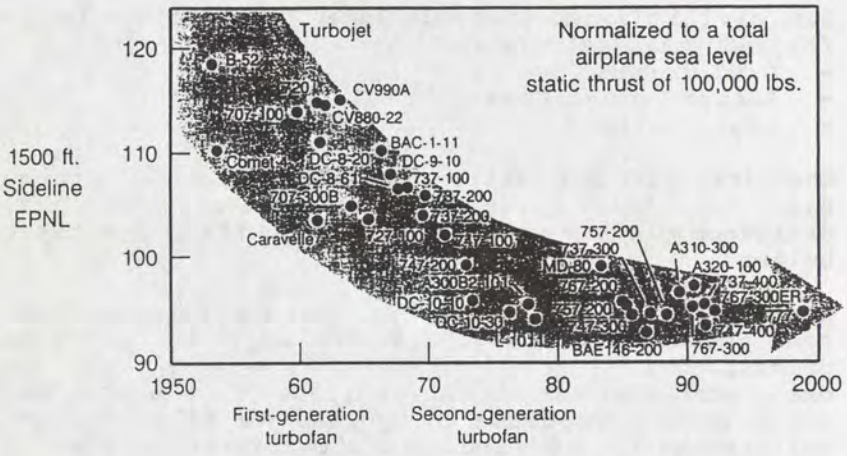
Den utveckling som skett sedan den första generationens jetplan har i stor utsträckning byggt på denna princip. Det
ökade gasflödet har därvid erhållits genom en kontinuerlig ökning av det s k by-pass-förhållandet. Den bullersänkning som erhållits illustreras i figur 6. Bullernivåerna avser här sidlinjevärdet vid start.

Samtidigt med denna tekniska utveckling har emissionskraven skärpts, se vidare avsnitt 1.1.1 ovan.

De praktiska konsekvenserna av detta för Sveriges del är att SAS nu håller på och byter äldre s k kapitel 2- flygplan mot nyare och tystare kapitel 3-plan. Sålunda byts DC-9-41 mot olika versioner av MD 80, DC10-30 mot Boeing B767 samt Fokker F-28 mot Boeing 737-500. Denna s k utfasning har tidigare beräknats bli klar under 1996. Enligt senare uppgifter kommer dock utfasningen av Fokker F-28 att pågå fram till år 2002.

Utfasningen av kapitel 2-flygplan är inte speciell för Sverige utan en liknande verksamhet sker i övriga europeiska och nordamerikanska länder, dock efter något varierande tidplaner.

PROGRESS IN NOISE REDUCTION IS LEVELING OFF



Figur 6. Startbuller (sidlinjemätning) från olika generationers civila flygplan, referens [4].

1.2.2 Militära flygplan

Verksamhetens krav gör att följande motoregenskaper måste prioriteras vid utveckling av nya militära flygplan, se referens [3]:

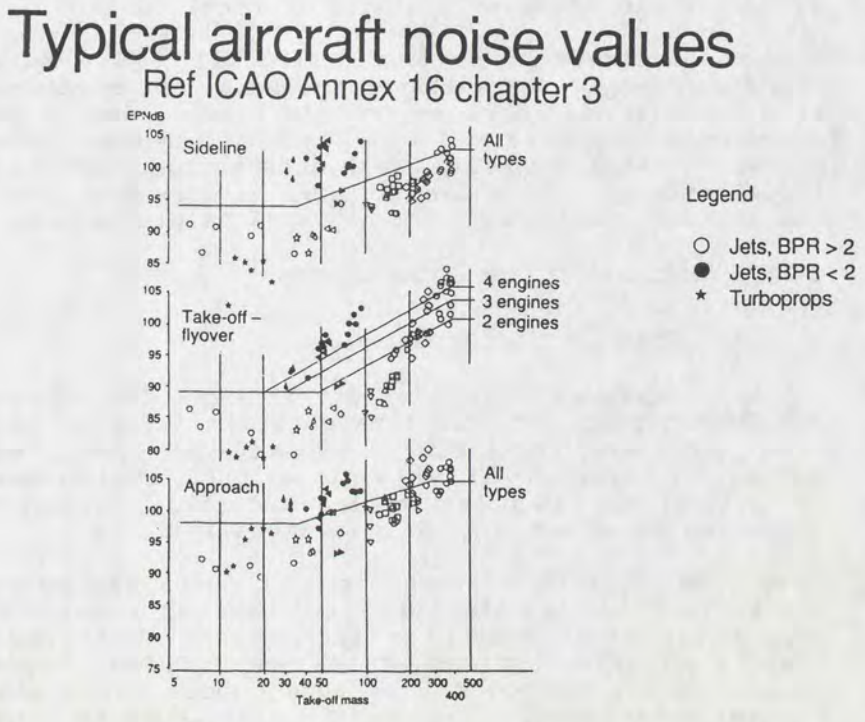
- Ökad dragkraft
- Minskad frontarea
- Minskad volym
- Lägre vikt
- Minskat behov av efterbrännkammare.

Dessa krav leder automatiskt till ökande gashastighet i utloppet och därigenom till ökande bulleremission. Det skall också observeras att emissionen domineras av strålbullret. Erfarenhetsmässigt är det mycket svårt att åstadkomma någon påtaglig bullerminskning för denna typ av bullerkälla.

1.3 Vad har vi för emission i dag?

1.3.1 Start och landning

I referens [2] redovisas en uppställning över värden erhållna vid certifiering. Värdena är uppdelade på olika flygplanstyper. Det skall speciellt observeras att relativt höga värden erhållits för plan med jetmotorer med lågt by-pass-förhållande, BPR < 2. Dessa flygplanstyper är alltså av den äldre typ och certifierade enligt kapitel 2.



Figur 7. Typiska bullernivåer erhållna vid certifiering, [2].

1.3.2 Planflykt

Uppmätta bullernivåer från flygplan i linjetrafik redovisas i referens [5]. Av särskilt intresse är de värden som erhållits vid flygfyren i Shilling, ungefär halvvägs mellan Arlanda och Kastrup. Flygplanen låg vid mätningarna på en höjd av 8000 till 11000 m.

Mätningarna utfördes 1985, vilket medför att resultaten genomgående avser kapitel 2-flygplan, huvudsakligen av typen DC9 och F28. Vid mätningarna användes en mikrofon monterad på en hård skiva, lagd på marken. Värdena kan räknas om till öronhöjd genom subtraktion med 3 dB. De värden som redovisas nedan är ej omräknade på detta sätt.

Resultaten visar att nivåerna på marken varierar kraftigt med de meteorologiska förhållandena, med en spridning på ungefär 20 dB. Det allra högsta värdet var 59 dB(A) och erhölls från ett plan av typen DC9 på 8400 m höjd. Under 2 hela dygn erhölls 50 dB(A) eller mer vid 24 överflygningar av totalt 60.

I mätunderlaget ingår också resultat från några propellerflygplan. Resultaten indikerar att nivåerna från dessa ej är lägre än från jetplanen; den lägre emissionen motverkas av lägre flyghöjd, typiskt 6000 m, och mindre gynnsamt frekvensspektrum. Antalet propellerflygplan i undersökningen är dock för litet för att man skall kunna dra några säkra slutsatser.

1.4 Tendenser för framtiden

1.4.1 Start och landning

Den hittillsvarande positiva utvecklingen för start- och landningsbullret hos tyngre civila flygplan kan inte förväntas fortsätta i någon högre grad, se exempelvis referens [6]. Anledningen till detta är att den princip man utnyttjat, nämligen att öka luftgenomströmning genom motorn, nu tilllämpas fullt ut.

Inom ICAO pågår dock arbete med att skapa nya emissionsnormer som skulle vara strängare än nuvarande kapitel 3. Bland annat har från svensk sida föreslagits en skärpning med åtminstone 3 EPNdB. Några sådant beslut har dock ännu inte tagits trots att kapitel 3-bestämmelse har varit i bruk under en lång tid. Luftfartsverket har också, se referens [7], bedömt det vara osannolikt att detta får någon praktisk betydelse för buller kring flygplatserna under de närmaste 20 åren.

1.4.2 Planflykt

Som påpekas ovan förväntas nyare typer av jetflygplan få ungefär samma emissionsdata som dagens kapitel 3-flygplan.

Det skall dock observeras att arbete pågår även beträffande nya koncept av flygplan. Speciellt viktiga är här flygplan med höghastighetspropellrar. Enligt

Som påpekas ovan förväntas nyare typer av jetflygplan få ungefär samma emissionsdata som dagens kapitel 3-flygplan.

Det skall dock observeras att arbete pågår även beträffande nya koncept av flygplan. Speciellt viktiga är här flygplan med höghastighetspropellrar. Enligt referens [8] kan sådana bli aktuella för att ersätta de konventionella jetmotorerna på sådana flygplan som MD80-serien. Enligt detta koncept har propellrarna en diameter av 3 m och 8 blad som är kraftigt bakåtsvepta. Enligt en fabrikant är det också aktuellt att montera två kontraroterande propellrar på samma axel. Planen får en hastighet av samma storleksordning som motsvarande jetplan. Flyghöjden blir också ungefär densamma. Fördelen med denna typ av framdrivning är klart bättre bränsleekonomi än med konventionella jetflygplan.

Bullernivåerna vid start och landning förväntas inte bli särskilt besvärande eftersom varvtalet hos propellern då blir förhållandevis lågt. Däremot bedöms bullernivån vid planflykt komma att bli hög. Eftersom planen är avsedda att gå med ungefär samma hastighet som hos dagens jetplan, måste varvtalet hos propellern hållas högt. Propellerspetsens hastighet blir därför högre än ljudhastigheten vilket ger en bulleralstring som är väsentligt kraftigare än hos sedvanliga propellerplan.

Bullernivåerna på marken har beräknats till 59 dB(A) resp väl över 60 dB(A), referens [9] och [10].

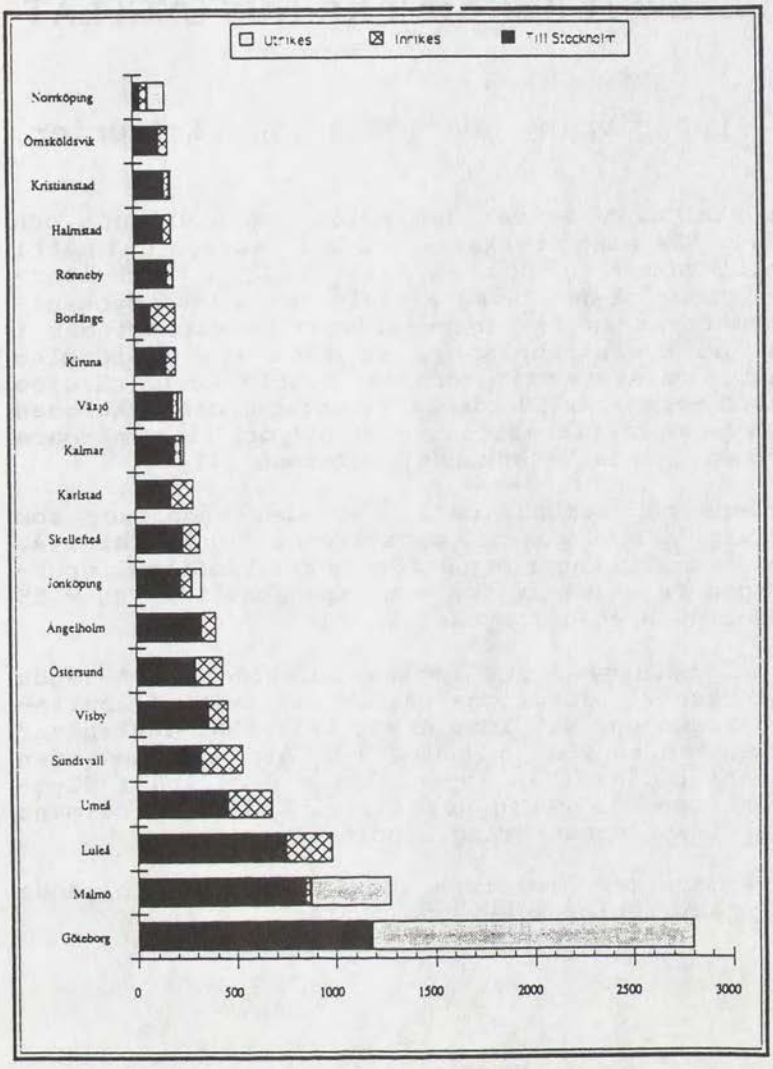
2. Resandeströmmarna

Flyglinjenätet inom Sverige är uppbyggt med Stockholm-Arlanda flygplats som nav. Förutom den största delen av utrikestrafiken går även stora resandeströmmar i inrikesflyget till och från Arlanda.

År 1990 räknade Luftfartsverket [7] med att antalet ankommande och avresande passagerare per år uppgick till 14 miljoner. Antalet resenärer till och från Göteborg-Landvetter var enligt samma källa knappt 3 miljoner per år. Av dessa var närmare 60% resenärer till utlandet. Trafikmängderna på Landvetter och ett antal andra intressanta flygplatser redovisas i Figur 8.

Enligt referens [7] ökade passagerarvolymen med i genomsnitt 10,6% per år mellan 1965 och 1988. Den fortsatta utvecklingen påverkas naturligtvis i hög grad av yttre faktorer. Dagens lågkonjunktur minskar flödena medan flygets avreglering och EG-integrationen kan förväntas ge ökningar. Luftfartsverkets prognos för tung utrikes och inrikes flygtrafik framgår av figur 9. Enligt huvudprognosen beräknas således trafikmängden uttryckt i antal landningar stiga med ca 50% mellan åren 1990 och 2010.

Det är intressant att notera att man internationellt, referens [2], för samma tidsperiod räknar med en ökning av antalet passagerarkilometer med 5,3% per år. Motsvarande totala ökning för perioden blir ca 180%.



Figur 8. Passagerarströmmarna till och från de 20 största förutom Stockholm-Arlanda. Antal resenärer i tusental år 1989. Från referens [7].

3 BULLERSTÖRNINGAR KRING FLYGPLATSER

3.1 Beskrivning av immission. Kriterier, mål.

För beskrivning av den immission som startande och landande flygplan orsakar används i Sverige två mått: flygbullernivån FBN och maximalnivån L_{Amax}. Flygbullernivån bygger på den A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån som beräknas för årsmedeldygn. Dessutom ingår i måttet en dygnsviktning på så sätt att en rörelse kvällstid motsvarar tre rörelser dagtid och en rörelse nattetid motsvarar 10 rörelser dagtid. Konstruktionen föreslogs av Trafikbullerutredningen och finns närmare beskriven i dess betänkande, referens [11].

Det finns ett samband mellan antalet människor som säger sig vara störda och motsvarande flygbullernivå. Enligt de utredningar som utfördes för Trafikbullerutredningen är 5-10% av dem som exponeras för FBN = 55 dB vid sina bostäder mycket störda.

Även maximalnivån, dvs högsta förekommande A-vägda ljudtrycksnivå, föreslogs på sin tid av trafikbullerutredningen som ett komplement till FBN. Tanken var då att den skulle användas för att begränsa den momentana bullernivån, speciellt vid militära flygplatser. Den har sedan dess blivit tämligen allmänt använd, i synnerhet kring mindre flygplatser.

Naturvårdsverket, referens [12], redovisar följande störningskriterier i A-vägda nivåer

UTOMHUS		INOMHUS	
Maximalnivå	FBN	Maximalnivå	FBN
70	55	45	30

I referens [13] redovisas närmare Naturvårdsverkets förslag till mål för flygbuller, såväl på lång sikt som i ett kortare perspektiv, dvs fram till år 2000:

På lång sikt 55 dB(A) ekvivalentnivå ute
30 dB(A) ekvivalentnivå inne
70 dB(A) maximalnivå ute

Till år 2000 65 dB(A) ekvivalentnivå ute
35 dB(A) ekvivalentnivå inne
45 dB(A) maximalnivå inne.

Med ekvivalentnivå avses här förmodligen FBN. Det kan i sammanhanget nämnas att med en trafikfördelning av 65% dag, 25% kväll och 10% natt blir FBN 3,8 dB högre än ekvivalentnivån. Det skall observeras att tidskonstanten för maximalnivån inte har definierats i ovanstående referenser. I referens [14] föreslås dock att tidskonstant SLOW skall användas i överensstämmelse med praxis för vägtrafik- och tågbuller och att maximalvärdet av mättekniska skäl skall avse den tredje högsta nivån under en typisk dag. Det är inte känt om en sådan definition skulle vara användbar ur psykoakustisk synvinkel.

3.2 Störningarnas omfattning

3.2.1 Dagens läge

3.2.1.1 Linjetrafik

Luftfartsverket har i en rapport, referens [15], redovisat bullerberäkningar och antalet exponerade kring civila flygplatser med tung jettrafik. Dessa beräkningar utgår från det totala bullret från dessa flygplatser, alltså inklusive inverkan av propellerdrivna trafikflygplan, helikoptrar etc.
Resultatet kan summeras i tabell 1.

De för beräkningarna använda trafikmängderna avser med följande undantag åren 1987-1990. För Norrköping har trafikmängd för 1984 använts och för Kiruna och Kristianstad värdena för 1985. För Borlänge och Växjö har utnyttjats prognoser för åren 1991 resp 1995.

Det skall observeras att det finns ytterligare fyra flygplatser i Sverige som ingår i primärtrafiknätet, nämligen Gällivare, Kramfors, Trollhättan och Västerås. Antalet exponerade vid dessa flygplatser är ej känt men bedöms vara litet i sammanhanget. Det totala antalet exponerade av linjetrafiken bedöms därför vara ca 60.000 personer, se också ref [7].

Tabell 1. Antalet exponerade för buller vid civila flygplatser med tung jettrafik [15].

Flygplats	FBN=55-64 dB	FBN=65 dB eller mer
Göteborg-Landvetter	1560	140
Jönköping	320	30
Kalmar	190	6
Karlstad	2250	250
Kiruna	32	10
Malmö-Sturup	290	30
Norrköping	7600	20
Skellefteå	185	15
Stockholm-Arlanda	22700	300
Stockholm-Bromma	8600	370
Sundsvall-Härnösand	48	3
Umeå	5400	100
Visby	4400	60
Örnsköldsvik	25	0
Borlänge	1480	70
Kristianstad	750	15
Växjö	120	0
Totalt	56382	1419

3.2.1.2 Militär flygverksamhet

Som tidigare påpekats leder den tekniska utvecklingen hos de militära flygplanen konsekvent mot ökande bullernivåer. Det successiva införandet av JAS 39 på nuvarande flottiljflygplatser kommer därför att medföra ökande störningar.

Antalet personer som exponeras av flygbuller uttryckt i FBN redovisas i Boverkets s k JAS-utredning, referens [16]. Boverkets resultat framgår av nedanstående tabell.

Tabell 2. Antalet exponerade för buller från militär flygtrafik enligt JAS-utredningen [16].

FBN	55 - 64 dB	65 dB eller mer
Antal exponerade		
- Före införandet av JAS	47.100	2.200
- Efter införandet av JAS	63.700	6.300

Sedan denna utredning gjordes har beslut fattats om nedläggning av F6 i Karlsborg och F13 i Norrköping. Detta medför att störningarna minskar vid dessa orter, medan de kan förmodas öka kring andra flottiljer på grund av ökande verksamhet.

Det har inte varit möjligt att inom ramen för denna utredning närmare studera betydelse av denna effekt. Nedläggningarna av F6 och F13 bedöms dock medföra en bullerminskning, räknat för hela landet, eftersom antalet exponerade i dagens läge är fler i Norrköping än vid någon annan flottilj. För att närmare belysa denna effekt har antalet exponerade i hela landet beräknats (på grundval av materialet i JAS-utredningen) under förutsättning att verksamheten vid F6 och F13 lagts ned utan att verksamheterna vid övriga flottiljer ökar.
Resultatet framgår ur nedanstående tabell.

Tabell 3. Antalet exponerade för buller från militär flygtrafik. Exponerade kring F6 och F13 ej medtagna.

FBN	55 - 64 dB	65 dB eller mer
Antal exponerade		
- Före införandet av JAS	33.000	1.600
- Efter införandet av JAS	47.900	4.600

Eftersom skillnaden i resultat mellan de båda beräkningsmetoderna är relativt små kan man använda ett medelvärde. Det fel som därigenom införs är högst ca 10%, vilket inte är stort i relation till övriga osäkerheter.

Man kan därför ange konstatera att antalet exponerade för 55 - 64 dB är ca (63.700 + 47.900)/2 = 55.800 ≈ 55.000, och att motsvarande antal för 65 dB eller mer är ca 5.500. Summan av antalet exponerade inom båda grupperna blir därför ca 60.000 dvs samma antal som berörs av buller från linjetrafiken.

Antalet exponerade i ovanstående tabeller bedöms vara något högt, eftersom bullerberäkningarna varit något schablonartade (ingen hänsyn har tagits till markens bullerminskande inverkan).

Några beräkningar av antalet exponerade med avseende på maximala bullernivåer är inte kända.

Det kan tilläggas att mer detaljerade beräkningar av antalet störda nu utförs av Fortifikationsförvalt-

ningen i samband med kommande koncessionsprövningar av flottiljflygplatserna.

Den militära verksamheten skiljer sig från den civila också på så sätt att störningarna inte enbart är koncentrerade till flygplatserna. Erfarenhetsmässigt är antalet direkta klagomål litet. Detta behöver dock inte innebära att störningarna är försumbara: speciellt kring orter med flottiljer kan man förvänta sig finna en stor förståelse för verksamhetens betydelse.

3.2.1.3 Allmänflyget

På många flygplatser som trafikeras av civil linjetrafik och/eller av militära flygplan har allmänflyget liten och ofta försumbar inverkan på läget av FBN-konturerna. Allmänflyget har i sådana fall endast en marginell betydelse för antalet exponerade. Det finns skäl att misstänka att allmänflyget har liten betydelse för antalet exponerade även i övriga fall.

Å andra sidan är verksamheten hos allmänflyget ofta mer omfattande vid helger än hos den övriga trafiken. Den är dessutom ofta koncentrerad till sommarhalvåret. I Danmark har därför speciella immissionsregler (och predikteringsmodeller) införts för allmänflyget. Dessa regler innebär en skärpning med ca 10 dB. Det är uppenbart att med det danska systemet skulle i Sverige antalet exponerade från allmänflyget inte längre vara försumbart.

Även det norska systemet, där man bedömer exponeringen utifrån verksamheten under fyra sommarveckor, bedöms medföra ett större antal exponerade än vad vi räknar med i Sverige.

Det är å andra sidan inte självklart att det danska eller norska systemet är lämpligt för svenskt vidkommande. Störningar från allmänflyg behöver därför studeras vidare. Luftfartsverket har också aviserat framtagning av ett program för ett sådant arbete i samarbete med Naturvårdsverket [7].

Det är känt att klagomål har förekommit beträffande verksamhet med ultralätta flygplan. Dessa flygplan certifieras enligt samma bestämmelser som övriga mindre propellerflygplan. Man kan tänka sig flera orsaker till att klagomål har förekommit, exempelvis
- låg flyghöjd
- lång exponeringstid på grund av den låga hastigheten
- verksamheten uppfattas som onyttig
- verksamhet förekommer i känsliga områden, fjälltrakter etc.

Dessa problem är till en del av samma art som problemen kring allmänflyg i allmänhet. De ultralätta flygplanen bör därför inkluderas i de studier om allmänflygets bullerproblem som efterlystes ovan.

3.2.1.4 Jämförelse med TBU:s prognos

Den parlamentariska utredningen "Trafikbullerutredningen" publicerade 1975 sitt betänkande om flygbuller, referens [11]. I denna lämnas inga uppgifter om hur många personer som då var exponerade. Däremot finns en prognos för 1985 som avser den totala trafiken vid de svenska flygplatserna.

Resultatet kan sammanfattas på följande sätt:

Tabell 4. Antalet exponerade för buller vid svenska flygplatser. Prognos för år 1985, prognosen publicerad 1975 [11].

FBN	55 - 64 dB	65 dB eller mer
Antal exponerade	70.000	30.000

Det är intressant att notera att för år 1990 har antalet exponerade för buller från linjetrafik och militär verksamhet beräknats till 60.000 resp 70.000 (med nivåer över FBN = 55 dB), dvs totalt 130.000. Dessa värden är alltså något högre än värdena i tabellen ovan, dvs 100.000 exponerade för mer än 55 dB. Man skall dock komma ihåg att värdena för 1990 i hög grad påverkas av införandet av JAS. Utan JAS skulle antalet för 1990 ha blivit ca 110.000 vilket stämmer mycket väl med TBU:s prognos om man beaktar de skilda prognosåren.

3.2.2 Framtida utveckling

3.2.2.1 Linjetrafik

Prognoser för bullret och antalet exponerade kring civila flygplatser med tung jettrafik har utförts av Luftfartsverket, referens [15]. Dessa avser redan åren 1995-2000 (för Norrköping dock 1990), men resultatet är inte desto mindre mycket intressant. Sammanfattningsvis gäller nämligen

Tabell 5. Prognos för antalet exponerade år 2000 för buller vid civila flygplatser med tung jettrafik [15].

Flygplats	FBN=55-64 dB	FBN=65 dB eller mer
Göteborg-Landvetter	1150	50
Jönköping	-	-
Kalmar	25	5
Karlstad	0	0
Kiruna	42	0
Malmö-Sturup	170	30
Norrköping	3300	13
Skellefteå	-	-
Stockholm-Arlanda	5800	160
Stockholm-Bromma	-	-
Sundsvall-Härnösand	420	3
Umeå	900	90
Visby	4500	-
Örnsköldsvik	40	1
Borlänge	1550	-
Kristianstad	720	100
Växjö	120	0
Totalt	18737	452

Ovanstående resultat gäller under förutsättning att ingen ny bebyggelse kommer till i utsatta lägen och att kapitel 2-flygplanen är utfasade.

För Jönköping och Skellefteå saknas prognoser. Antalet exponerade var där relativt litet i dagsläget (350 resp 200). Vidare har Stockholm-Bromma förutsatts vara nedlagd. Om trafiken här fortsätter i ungefär samma omfattning och på samma sätt som hittills kommer också ungefär samma antal personer exponeras som i dagens läge, eftersom den allmänna övergången till chapter 3-flygplan inte får någon betydelse och antalet rörelser är begränsat av koncessionsvillkoren. Det finns dock möjlighet att med annat landningsförfarande minska antalet exponerade personer. Nyligen företagna beräkningar [17] visar att med 5° glidvinkel skulle antalet exponerade för FBN = 55-64 dB bli 5247. För FBN = 65 dB eller mer blir motsvarande antal 306. Det totala antalet exponerade vid Bromma skulle därigenom minska med 3420 personer.

För att få en övre gräns för antalet exponerade i landet förutsätts här att antalet berörda i Jönköping och Skellefteå för prognosåren är de samma som i dag.

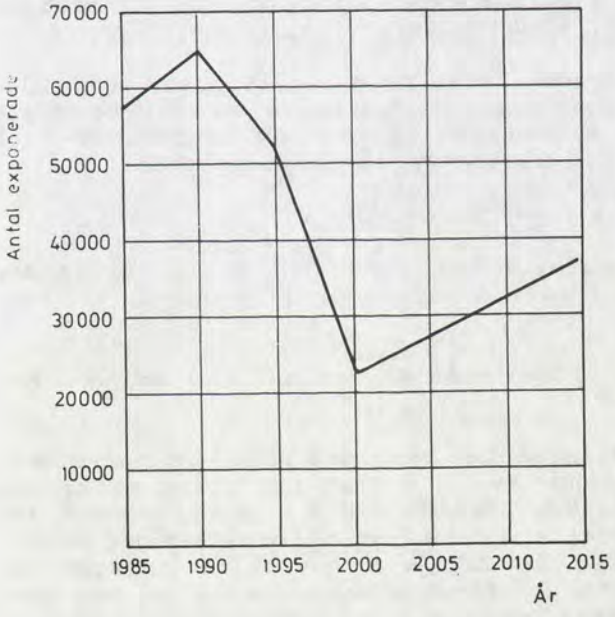
Det totala antalet exponerade för mer än FBN = 55 dB(A) skulle då maximalt bli ca 18.737 + 452 + 350 + 200 + 8600 + 370 = 28.700. Om den diskuterade ändringen av landningsvinkel kommer till stånd blir motsva-

rande antal i stället 25.300. Antalet exponerade beräknas alltså bli väsentligt mindre inom en relativt kort tidsperiod; från ca 60.000 till 25.000 à 29.000.

Den helt dominerande anledningen till detta är den fortsatta övergången från kapitel 2- till kapitel 3-flygplan. Det har sålunda förutsatts att det helt dominerande antalet av flygplan av typen DC-9:or och Fokker F-28 (dvs de som ägs av SAS) kommer att vara ur trafik i Sverige efter år 1995 resp 1996. Som nämnts ovan är dock tidplanen för detta nu något förskjuten. Utfasningen beräknas i stället bli helt klar kring sekelskiftet.

Det skall dock uppmärksammas att en fortsatt minskning av antalet exponerade efter år 2000 inte är sannolik. Framtidens flygplan bedöms inte bli påtagligt tystare än dagens kapitel 3-flygplan. Förväntade ökningar av trafikmängderna kommer därför att resultera i att större områden täcks av FBN = 55 resp 65 dB än vad som är fallet för år 2000, och att antalet exponerade därigenom växer.

Figur 9 visar beräknat antal exponerade för FBN = 55 dB eller mer inom tidsperioden 1985 - 2015. Beräkningarna finns redovisade i referens [6].



Figur 9. Antalet exponerade för FBN = 55 dB eller mer vid flygfält med tung civil flygtrafik [6].

Det skall också observeras att emissionskraven tillåter högre bullernivåer ju tyngre flygplanen är. Speciellt när det gäller kravet för mätpunkten under startbanan är lutningen så stark, att ett flygplan med en viss vikt får bullra mer än kombinationen av två flygplan med samma totala startvikt. Eftersom tendensen går mot större flygplan, bland annat på grund av trängseln i luftrummet, kan denna effekt därför tänkas ge en viss ökning av antalet exponerade.

3.3 Svårigheterna att mäta flygbuller

Meteorologiska faktorer gör att den ljudnivå som uppfattas på marken från ett visst flygplan på en viss höjd varierar avsevärt. Som tidigare nämnts har under en kort tid (två dygn) en spridning på 20 dB uppmätts vid 60 passager på hög höjd [5]. Till detta kommer långtidsvariationer som också är betydelsefulla [18]. Detta gör att de mättekniska problemen är viktiga och måste tas på allvar.

En mätprocedur har dock nyligen tagits fram [18]. Denna avser såväl FBN som maximalnivån och tredje högsta nivå under typiskt dygn. Metoden går ut på att man mäter under 7 dagar då dels antalet starter är tillräckligt stort (större än dygnsmedelvärdet minus en standardavvikelse) och dels vädret är lämpligt. Som kriterium för lämpligt väder anges att den normaliserade krökningen k skall vara större än -0,3.

Den normaliserade krökningen definieras som 1000 gånger krökningen hos en ljudstråle som utbreder sig horisontellt. Krökningen bestäms av temperatur- och vindhastighetsgradienterna på följande sätt:

$$k \approx (0{,}6\Delta t + \Delta u)/3{,}2,$$

där Δt är temperaturskillnaden och Δu är skillnaden i vindkomponent mellan mäthöjderna 10 och 0,5 m.

Ljudstrålen böjs upp från marken när $k<0$ och ned när $k>0$.

De aktuella bullermåtten beräknas sedan ur resultaten från de 7 dagarna (om en dag ej uppfyller mätkraven tas nästa dag). Det påpekas också i rapporten att det aritmetiska medelvärdet av flygbullermåtten ger bättre överensstämmelse än det mer naturliga energetiska medelvärdet eftersom fördelningens nedre del tas bort av kraven på antalet starter och väderförhållanden.

Noggrannheten med denna teknik anges till ±1 dB för FBN (p=68%) och till ±2 dB för maximalnivån. Mät-

möjligheten uppgår till 63%, dvs det är möjligt att mäta under 231 av årets dagar.

3.4 Svårigheterna att prediktera flygbullerstörningar

Erfarenheterna från långtidsmätningar utförda vid Arlanda flygplats indikerar att FBN kan predikteras med god precision, referens [19]. Hur antalet störda beror av FBN är också tämligen väl undersökt [11], åtminstone för större flygplatser.

Mycket litet är däremot känt om precisionen i predikteringen av maximalnivån. Det finns skäl att anta att denna precision är dålig, även om maximalnivån definieras som den tredje högsta nivån för typiskt dygn med tidsvägning SLOW. Det har vidare inte dokumenterats i vilken mån detta mått är användbart för att beskriva störningsreaktioner, eftersom måttets definition huvudsakligen valts mot bakgrund av tekniska mätsvårigheterna. Ett annat problem i sammanhanget utgörs av de speciella fördelningar av trafiken över veckodagarna respektive årstiderna som är aktuella för vissa flygplatser.

Det är därför angeläget att en ny störningsutredning snarast blir utförd för att studera störningarna, speciellt vid mindre flygplatser. Eftersom en rad olika aspekter måste beröras såsom bland annat:
- psykoakustik
- mätteknik
- tekniska akustik
- flygverksamhet
- internationell praxis

bör utredningen utföras i samarbete mellan psykoakustiker, tekniker och personer som arbetar med flygverksamheten.

Det skall också observeras av att det finns ett starkt behov av en ny standardiserad beräkningsmodell. Erfarenheterna från speciellt Bromma visar att start- och landningsförfarandena kan avvika avsevärt från dem som används i dagens beräkningsmodeller. För att beräkningarna, speciellt av maximalnivån, skall stämma med verkligheten behöver därför beräkningarna grundas på emissionsvärden uppmätta vid den aktuella flygplatsen.

3.5 Ansvar, kontroll

Bullerproblemen vid flygplatserna liknar dem vid vägar och järnvägar på så sätt att flygplatshållaren resp väghållaren och Banverket ansvarar för störningar som andra orsakar. Detta problem är dock särskilt påfallande vid cityflygplatser med kort avstånd mellan

start- och landningsbana och bostäder, eftersom då maximalnivån från enskilda flygrörelser får stor betydelse.

När det gäller den reguljära trafiken kan problemet lösas genom att operatören granskas med hänsyn till bulleremissionen innan avtal sluts med flygplatshållaren. Detta är dock inte möjligt med operatörer som använder flygplatsen sporadiskt. I detta fall återstår då lösningen att införa krav på bullernivåer uppmätta vid certifieringen.

I praktiken tillämpas nu ett medelvärde från de tre mätpunkter som används vid certifieringen. Erfarenheterna visar dock att detta värde är dåligt korrelerat till den verkliga emissionen, speciellt vid start. En anledning till detta bedöms vara att gaspådraget är litet vid två av certifieringsmätningarna (mätpunkterna under start- resp landningsbanan). Bättre precision skulle erhållas om man i stället använde det värde som man vid samma tillfälle mäter upp vid sidan av startbanan, eftersom man då utnyttjar maximalt motorpådrag. Internationella avtal gör dock att det är osäkert om detta mått kan implementeras omedelbart för svenska flygplatser.

Erfarenheterna från användningen av kontrollsystem är goda. Sådana kontrollsystem kan avse såväl flygvägen som bulleremissionen (tillämpas vid Arlanda resp Bromma flygplatser).

För att kontrollsystemen skall få full effekt fordras dock att de kan utnyttjas för att beräkna immissionen. Dagens modeller för immissionsberäkningar tillåter inte detta. Denna aspekt understryker alltså behovet av nya beräkningsmodeller, se också avsnittet ovan.

4 REFERENSER

[1] "Bestämmelser för civil luftfart. Materialbestämmelser, Konstruktionsbestämmelser, miljövärdighet". Luftfartsverket LFS 1986:23.

[2] "Flygindustrin och bullerbekämpning". U. Edlund. Presentation vid Flygbullerseminarium 1993-01-29. Sid 125-139 i "Anteckningar och presentationsmaterial", S Ljunggren, DNV INGEMANSSON AB, Rapport S-7957-B.

[3] "Utvecklingen av militära flygplan". E Prisell. Presentation vid Flygbullerseminarium 1993-01-29. Sid 140-154 i "Anteckningar och presentationsmaterial", S Ljunggren, DNV INGEMANSSON AB, Rapport S-7957-B.

[4] "Utvecklingen inom trafikflyget". B-O Näs. Presentation vid Flygbullerseminarium 1993-01-29. Sid 102-114 i "Anteckningar och presentationsmaterial", S Ljunggren, DNV INGEMANSSON AB, Rapport S-7957-B.

[5] "Measurement of Noise from Aeroplanes Travelling at Heights 3500-11000 m". M. Linde och S Meijer. FFA TN 1986-21.

[6] "Kapitel 2 udvalget". Statens Luftfartsvaesen, Rapport, 1988.

[7] "Flyget och miljön". Luftfartsverket, Rapport A 484/88-0199, 1990.

[8] "The Revolutionary UDF. A New Thrust in Commercial Aviation". Presentationsmaterial från General Electric 245-4190-121185.

[9] "An Example of an Estimation of Noise Levels on the Ground Caused by a Passing Propeller Aircraft". S Meijer. FFAP-A-616, 1985.

[10] "Private Communication". K Nilsson, SAAB-SCANIA.

[11] "Trafikbuller. 2. Flygbuller". SOU 1975:56.

[12] "Miljöstörningar från flygverksamhet". Naturvårdsverket, Rapport 3709, 1990.

[13] "Miljömål och åtgärder". L Westermark. Presentation vid Flygbullerseminarium 1993-01-29.

Sid 158-160 i "Anteckningar och presentations material", S Ljunggren, DNV INGEMANSSON AB, Rapport S-7957-B.

[14] "Flygbuller och maximalnivån II". H Jonasson. SP Rapport 1991:19.

[15] "Antalet boende vid civila flygplatser med tung jettrafik". Luftfartsverket, Tekniska avdelningen, 1990.

[16] "JAS - Konsekvenser för bebyggelsemiljön, bostadsförsörjningen och övrig markanvändning". Boverket, Rapport 401-1885/90, 1991.

[17] "Bromma flygplats. Koncessionsansökan 1993". Luftfartsverket, koncept maj 1993.

[18] "Flygbullermått och krav på mätförhållanden". C Larsson. Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet, 1993.

[19] "Private Communication". C Larsson, Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet.

HANDLINGSPLAN MOT BULLER	SPÅRTRAFIKBULLER FÖRSLAG TILL HANDLINGSPROGRAM	PM S-8215-C 1993-05-17 L Åkerlöf/BB

I denna PM behandlas buller från spårbunden trafik, framförallt med tyngdpunkt på riktvärden.

INNEHÅLL

1 Allmänt om spårtrafikbuller och störningar

2 Störningsminskande åtgärder

3 Rättsfall

4 Riktvärden och praxis i Sverige

5 Riktvärden i andra länder

6 Mät- och beräkningsmetoder

7 Förslag till handlingsprogram

8 Referenser

1 ALLMÄNT OM SPÅRTRAFIKBULLER OCH STÖRNINGAR

Bulleremissionen från spårbunden trafik beror främst på följande faktorer: hastighet samt typ av motorer, vagnar, räler och underlag för rälerna. Vid mycket höga hastigheter tillkommer dessutom bland annat aerodynamiskt buller.

Beträffande typ av vagnar är det främst upphängnings- och bromssystem som påverkar bullernivån. Godståg med ofjädrade vagnar och med blockbromsar ger normalt högre buller än resandetåg.

I Sverige har studier utförts för att uppskatta antalet bostäder utsatta för buller från järnväg. En undersökning som utförts på uppdrag av Banverket visar att ca 200 000 lägenheter utsattes för tågbullernivåer över 55 dB(A) ekvivalentnivå respektive ca 300 000 lägenheter över 70 dB(A) maximalnivå.

Undersökningar av störningar från tågtrafikbuller har utförts i bland annat Kanada, Storbritannien, Frankrike, Danmark, Västtyskland, Japan och Sverige.

Dessa undersökningar visar att tågbuller är mindre störande än vägtrafikbuller. En försiktig slutsats av dessa utredningar är att det krävs åtminstone 5 dB(A) högre tågbullernivåer (ekvivalentnivåer) än vägtrafikbullernivåer för att få samma störning.

Senare undersökningar i Japan visar dock att för tåg med mycket höga hastigheter blir störningarna betydligt större än för vägtrafik. Detta förklaras med den överraskningseffekt som inträffar när tåget kommer i mycket hög hastighet.

2 STÖRNINGSMINSKANDE ÅTGÄRDER

Olika sätt att minska störningarna längs en bana för spårbunden trafik finns. Dessa kan delas in efter fem principer

* tystare lok och vagnar
* bättre räler och bana
* bullerskärmar
* ljudisolerande byggnader
* minskning av vibrationer och stomljud

Några exempel ges nedan.

2.1 Tystare lok och vagnar

Inom bilindustrin har tack vare skärpta krav på tystare fordon från både myndigheter och konsumenterna en omfattande produktutveckling skett. Detta har resulterat i att dagens bilar är betydligt tystare än gårdagens. Vidare har de årliga kontrollbesiktningarna liksom de flygande besiktningarna gjort att även de mest bullrande äldre fordonen åtgärdats.

Motsvarande utveckling kan förväntas inom spårtrafiken om exempelvis följande inträffar:

* trafikföretagen ställer hårdare krav vid upphandling av nya lok och vagnar. Konkreta åtgärder som kan ge tystare lok och vagnar är
  - Förbättrat upphängningssystem och stötdämpare.
  - Bullerdämpande kåpor eller "kjolar" över hjulen.
  - Skivbromsar istället för blockbromsar.

* Banverket ställer krav på högsta ljudnivå på de lok och vagnar som får trafikera banorna.

* Banverket ställer krav på högsta ljudnivå under vissa tider på vissa bansträckor.

* Regelbunden kontroll samt "flygande besiktningar" införs även vad gäller buller från lok och vagnar.

* Förbättrad underhåll på lok och vagnar. I dag kan det skilja 10 - 15 dB i ljudnivå mellan exempelvis lokaltåg med väl resp dåligt underhållna vagnar.

2.2 Bättre räler och bana

Genom att förbättra banan, räler, växlar etc kan ljudnivån sänkas avsevärt. Några exempel på bullerdämpande åtgärder ges nedan.

* Helsvetsade räler, upp till 8 dB minskning i ljudnivå har uppmätts.

* Bättre underhåll av rälerna, för att hålla dem jämna. Rälsytans kvalitet kan påverka ljudnivån med 10 - 15 dB.

* Byte av sliper. 5 - 6 dB högre ljudnivå har uppmätts på spår lagda på träsliper än på betongsliper.

* Större kurvradier etc för att öka sikten för förarna så att signalering kan undvikas.

2.3 Bullerskärm längs spåret.

Vid bullerkänsliga passager och innan tystare lok och vagnar medfört betydligt tystare tågtrafik kan bullerskärmar/vallar erfordras för att minska störningen till omgivningen. Det finns här dock en konflikt mellan effektiv bulleravskärmning och bland annat säkerhetsaspekter. Bulleravskärmningen är effektivare ju närmare bullerkällan, hjul/räl, skärmen sitter men normalt tillåts inga skärmar närmare spårmitt än ca 4 m. Mycket god effekt skulle exempelvis sk. "perrongskärmar" ge, dvs ljudabsorberande låga, perronghöga, skärmar placerade i motsvarande perrongkant.

2.4 Ljudisolerande byggnader

Även om störningsminskande åtgärder enligt ovan vidtas är det i många fall nödvändigt att även utföra byggnader nära banan med ljudisolerande fönster, fasader och uteluftdon. När det gäller fasader kan dessa utföras så att mycket hög ljudisolering erhålls. Med normala "standardfönster" kan upp till 50 dB tågbullerisolering erhållas. För

uteluftdon är det däremot svårare att få mycket hög tågbullerisolering men på senare tid har nya lösningar presenterats som kan ge drygt 50 dB tågbullerisolering.

2.5 Minskning av vibrationer och stomljud

De högsta vibrationerna fås då marken består av lera, medan bana och byggnad på berg ger de högsta stomljudsnivåerna.

Genom att på olika sätt bygga en styvare bana, urgrävning av lösa jordlager, kalkpelarförstärkning, pålning etc kan vibrationerna minskas. För minskning av stomljud kan stomljudsdämpande mellanlägg användas, typ ballastmatta eller slipermatta.

3 RÄTTSFALL

Flera jurister som specialiserat sig på miljömål har tillfrågats om rättsfall för byggbuller. Två rättsfall rörande utbyggnad av järnvägar under senare år kan nämnas. Båda dessa fall har behandlats av Fastighetsdomstolen.

3.1 Utbyggnad av södra stambanan genom Huddinge kommun

Målet gällde intrång på fastighet, expropriation av mark för nytt spår och bullerskärm. Detta innebar att bullernivån vid huset blev lägre och buller bedömdes inte vara en skiljefråga i fallet.

3.2 Utbyggnad av västra stambanan genom Halmstads kommun

Målet gällde här utbyggnad av banan från ett till två spår. På detta sätt kom närmaste spår 3 m närmare berörd fastighet än tidigare.

KOMPLETTERING

4 RIKTVÄRDEN OCH PRAXIS I SVERIGE

4.1 Lagar och bestämmelser

Krav på en god ljudmiljö anges i flera lagar som behandlar planering, byggande och verksamheter. I **plan- och bygglagen (PBL)** anges i 2:a kapitlet att bebyggelse ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bl a de boendes och övrigas hälsa samt till möjligheterna att förebygga bullerstörningar. I PBL:s 3:e kapitel anges bl a att byggnader ska ge möjlighet till trevnad, god hygien och en god arbetsmiljö.

I **miljöskyddslagen** regleras miljöfarlig verksamhet och vad som åligger den som utövar sådan verksamhet. Lagen kan tilllämpas på vägar och biltrafik. I **hälsoskyddslagen** anges vad som bör göras för att hindra uppkomsten av sanitär olägenhet eller för att undanröja sådana olägenheter. För arbetsplatser gäller även **arbetsmiljölagens** krav på att bl a ljudförhållanden ska vara tillfredsställande. I dessa lagar ges inte någon direkt vägledning angående vilka bullernivåer som kan anses vara acceptabla.

Bullerproblem kan komma att prövas enligt flera av dessa lagar. Klagomål från boende i ett nybyggt område kan leda till att bullret bedöms vara en olägenhet enligt hälsoskyddslagens mening. Följden kan bli förelägganden enligt miljöskyddslagen att väghållaren ska åtgärda bullerstörningarna. Vid prövning enligt dessa lagar är riktvärden för buller en viktig bedömningsgrund. Av betydelse är också om man i planeringen av bebyggelsen gjort det bästa möjliga av situationen, dvs gjort sådana skyddsåtgärder mot bullret som är tekniskt möjliga och ekonomiskt rimliga.

För att sådana ingripanden i efterhand från tillsynsmyndigheter om möjligt ska kunna undvikas har Länsstyrelsen att bevaka bl a bullerfrågorna i den kommunala planläggningen. Om Länsstyrelsen bedömer att bebyggelse blir olämplig med hänsyn till de boendes och övrigas hälsa, kan Länsstyrelsen enligt 12 kap PBL upphäva kommunens antagande av planen.

Berörda centrala verk svarar för att ge råd i tolkningen av lagarnas ibland allmänt hållna krav. När det gäller bullerstörningar utomhus ligger ansvaret främst på Naturvårdsverket.

4.2 Naturvårdsverkets riktvärden

Fastställda riktvärden för tågbuller saknas ännu. Dock har Naturvårdsverket i ett flertal enskilda ärenden angivit riktvärden för bullerimission från tågtrafik vid bostäder. Maximalnivåer mellan 70 - 80 dB(A) utomhus respektive 45 - 55 dB(A) inomhus har angivits i dessa fall, där de lägre värdena har varit de önskvärda, men de högre kunnat accepteras då tekniska och ekonomiska faktorer gjort det orimligt att uppnå de lägre.

I flera fall diskuteras samma mål för tågtrafikbuller som för vägtrafikbuller. Härvid används Naturvårdsverkets riktvärden för god miljökvalitet avseende vägtrafikbuller.

Lokaltyp eller områdestyp	Ekvivalent ljudnivå i dB(A) för dygn	Maximal ljudnivå i dBA) FAST kl 19.00 - 07.00
Utomhus (frifältsvärden)		
Vid permanentbostäder, vårdlokaler och undervisningslokaler	55 [1,2)]	-
Vid arbetslokal	65 [1)]	-
Rekreationsytor i tätbebyggelse	55	-
Friluftsområden	40	-
Inomhus		
Permanentbostäder, fritidsbostäder och vårdlokaler	30	45
Undervisningslokaler	30	-
Arbetslokaler	40	-

1) Riktvärdena avser tänkta frifältsvärden utanför fönster/fasad eller till frifältsförhållanden korrigerade värden. Vidare avser värdena även uteplatser, lekplatser och balkonger etc invid permanentbostäder och undervisningslokaler.

2) I bostadsområden med låg bakgrundsnivå (t ex områden med gles småhusbebyggelse eller med fritidsbostäder) är riktvärdet 45 - 50 dB(A).

Statens provningsanstalt har på uppdrag av Naturvårdsverket utarbetat förslag till riktvärden för spårtrafik. Intervallet 55 - 60 dB(A) för ekvivalentnivån för dygn respektive 70 - 75 dB(A) för maximalnivån anges här som riktvärden.

4.3 Banverkets bullerpolicy

Banverket har utarbetat en egen bullerpolicy. I den finns riktvärden för tre olika planeringsfall angivna.

I **Ny bana vid befintlig bebyggelse eller ny bebyggelse vid befintlig bana.**
Ekvivalent ljudnivå:
utomhus i bostadsområden: 60 dB(A)
inomhus i bostadsrum: 30 dB(A)
Maximal ljudnivå:
inomhus i sovrum nattetid (kl 22 - 06): 50 dB(A).

II **Ombyggnad av befintlig bana vid befintlig bebyggelse.**
Ekvivalent ljudnivå
utomhus i bostadsområden: 70 dB(A)
inomhus i bostadsrum: 40 dB(A)
Maximal ljudnivå:
inomhus i sovrum nattetid (kl 22 - 06): 55 dB(A).

III **Befintlig bana vid befintlig bebyggelse.**
Ekvivalent ljudnivå
utomhus i bostadsområden: 75 dB(A)
inomhus i bostadsrum: 45 dB(A)
Maximal ljudnivå:
inomhus i sovrum nattetid (kl 22 - 06): 60 dB(A).

Maximalnivån får överskridas högst två gånger per natt.

4.4 Bedömningar i Stockholms län

Stockholms stad tillämpar i avvaktan på speciella riktvärden för spårbunden trafik samma riktvärden som för vägtrafik. För maximala ljudnivåer har förvaltningen i planeringssituationer dock ställt kravet

högsta 40 dB(A) i bostäder nattetid. För luftljud orsakat av stomljud och vibrationer är målet en högsta nivå på 30 dB(A).

Huddinge kommun har liknande mål. Där gäller som mål för planeringen 55 dB(A) ekvivalent ljudnivå för dygn respektive 70 dB(A) maximalnivå (FAST) mellan kl 19 och 07 frifältsvärde utomhus vid permanentbostäder. Inomhus i permanentbostäder gäller 30 dB(A) ekvivalentnivå respektive 45 dB(A) maximalnivå. Dessutom anges att möjligheten att uppnå 40 dB(A) skall prövas.

I **Sollentuna kommun** gäller motsvarande mål med den skillnaden att man i undantagsfall kan göra avsteg upp till högst 50 dB(A) maximalnivå inomhus och inte har angett något krav för maximalnivå utomhus. Maximalnivån gäller endast nattetid mellan kl 22 och 07.

Ett flertal kommuner tillämpar vid framförallt nybyggnation samma riktvärden som för vägtrafikbuller.

Vid **länsstyrelsens** bedömningar används ofta Naturvårdsverkets riktvärden för god miljö avseende vägtrafikbuller. Om detta medför orimliga åtgärder accepteras avstegsfallet högst 55 dB(A) ekvivalentnivå utanför minst hälften av boningsrummen i varje lägenhet.

4.5 Malmö miljöförvaltnings bedömning

I Malmö kommun har miljö- och hälsoskyddsnämnden fastställt en policy för trafikfrågor år 1990. I denna ingår riktvärden för buller från spårbunden trafik enligt nedan:

Kategori	Ekvivalentvärde dB(A) Ute	Inne	Maxnivå inomhus, natt dB(A)
Nybyggnad	55	30	45
Ombyggnad	65	35	45
Befintlig miljö	75	40	50

Vid nyprojektering av spårbunden trafik bör riktvärdena för nybyggnad tillämpas.

4.7 Erfarenhet från några projekt

Vid bedömning av buller från järnvägstrafik i tidigare projekt har både buller och vibrationer beaktats. Beträffande buller är det främst luftljud, men i vissa fall kan även stomljud vara aktuellt, tex vid överdäckningar typ Södra Station i Stockholm.

Utbyggnad av järnväg
Vid ett flertal större projekt för utökat järnvägstrafik i Stockholmstrakten har främst den maximala ljudnivån inomhus varit styrande för åtgärderna. I princip har arbetet bedrivits i två steg.

I. Åtgärder för att innehålla Naturvårdsverkets riktvärden för god miljökvalitet resp Banverkets bullerpolicy beräknas. I ett typiskt projekt blev kostnaderna för bulleråtgärderna för ca 7 km ombyggd järnväg för att innehålla riktvärdena inomhus 54 resp 3 miljoner. (För att innehålla Naturvårdsverkets riktvärden utomhus krävdes upp till 8 m höga bullerskärmar.)

II. Ett "kompromissförslag" med vissa bullerskärmar och fönsterbyten utarbetas. Detta förslag accepteras av kommunen och Banverket. Kostnaderna för projektet enligt ovan ca 18 miljoner.

Ny järnvägssträcka genom större tätort
Vid nybyggnation av järnvägssträcka genom större tätort diskuterades åtgärder motsvarande Naturvårdsverkets riktvärden avseende vägtrafikbuller. Utomhusriktvärdet innebar därvid 2 m höga bullerskärmar vilket skulle medföra att utsikten över intilliggande sjö försvann. Med hänsyn till detta samt att trafiken var relativt liten diskuterades som alternativ endast fönsteråtgärder.

5 RIKTVÄRDEN I ANDRA LÄNDER

5.1 Danmark

I Danmark anges riktvärden för både ekvivalent- och maximalnivå. $L_{Aeq(24h)}$ = 60 dB respektive L_{Amax} = 85 dB. Motsvarande ekvivalentnivå för vägtrafik är 55 dB(A). Med avseende på vibrationerna anges även ett minimiavstånd till järnvägen på 50 m för bebyggelse. Om sträckan trafikeras av högst 10 tåg per dygn kan avståndet minskas till 25 m, och om vibrationsnivån inne i husen ej kommer att överstiga 75 dB(A) eller maximalnivån 85 dB(A) finns inget minimiavstånd.

I Danmark finns även riktvärden för andra bullerkällor kopplade till järnvägen, tex omkoppling av vagnar, rangering etc. Dessa riktvärden överensstämmer med riktvärdena för externt industribuller. Vardagar mellan klockan 07 - 18 samt lördagar kl 07 - 14 gäller L_{Aeq} = 45 dB, mellan kl 22 - 07 är riktvärdet L_{Aeq} = 35 dB, och övriga tider 40 dB(A).

5.2 Finland

I Finland gäller den 5 år gamla bullerbekämpningslagen, som innehåller Allmänna riktlinjer. Dessa avser framförallt trafikbuller och externt industribuller.

De allmänna riktlinjerna innehåller bl a högsta rekommenderade ekvivalenta ljudnivå för dag respektive natt i bostäder. Någon rekommendation avseende maximal ljudnivå inomhus nattetid finns f n ej.

1992 kom Statsrådets beslut om riktvärden för bullernivå (3). Där sägs att "i bostadsområden, rekreationsområden i tätorter eller dess omedelbara närhet och i områden avsedda för vårdinrättningar eller läroanstalter bör bullernivån utomhus under dagen (kl 07 - 22) inte överstiga riktvärdet 55 dB för den A-vägda ekvivalentnivån ($L_{A,eq}$), nattetid (kl 22 - 07) inte riktvärdet 50 dB. I nya bostadsområden tillämpas emellertid riktvärdet 45 dB nattetid." Beträffande inomhusvärden sägs:
"i bostadsrum, patientrum och inkvarteringsrum bör den bullernivå som förorsakas av buller utifrån under dagen (kl 07 - 22) underskrida

riktvärdet 35 dB för den A-vägda ekvivalentnivån ($L_{A,eq}$), under natten (kl 22 - 07) riktvärdet 30 dB."

5.3 Norge

Ett utkast till riktlinjer för tågbuller togs fram 1983 av Miljöverndepartementet, och används som vägledande gränser för planläggningen av nya järnvägssträckor eller för bostäder vid befintliga järnvägssträckor.

För ekvivalentnivån gäller då intervallet 55 - 60 dB(A) för dygn och för maximalnivån gäller 80 dB(A) under natt (kl 22-06).

Krav på ett minimiavstånd på 30 m mellan järnväg och bostadshus finns med hänsyn till vibrationer.

5.4 Frankrike

I Frankrike gäller olika riktvärden för olika delar av järnvägsnätet. I de allmänna rekommendationerna för tågbuller i Frankrike anges ekvivalentnivån L_{Aeq} = 60 dB på dagen som acceptabel nivå och maximalnivån 80 dB(A) nattetid. Dessa värden gäller vid mätning 2 m framför fasad, vilket motsvarar 57 respektive 77 dB(A) i fritt fält.

För snabbtågen, TGV, gäller särskilda riktlinjer. Längs den äldsta sträckan TGV SE, är riktvärdet för buller i bostadsområden L_{Amax} = 75 dB. Vid nästa sträcka, TGV Atlantique, skärptes kraven till L_{Amax} = 70 dB. Den planerade nordgående linjen, TGV Nord, kommer troligen att få ännu hårdare krav, L_{Amax} = 65 dB. Snabbtågen i Frankrike är ej i trafik nattetid.

5.5 Storbritannien

I Storbritannien pågår för närvarande arbete att ta fram både beräkningsmodell och riktvärden för buller från tågtrafik. Man åsyftar att utforma både beräkningsmodellen och riktvärdena, så att de ansluter till de som redan finns för vägtrafik.

För närvarande finns bl a ett förslag till brittiska riktvärden för tågbuller som indelas i två grupper, önskvärda respektive tillåtna nivåer. Vid de önskvärda nivåerna är cirka 10% av de utsatta personerna mycket störda, medan motsvarande siffra för de tillåtna nivåerna är 20%.

Önskvärda nivåer:

L_{Aeq}	= 60 - 65 dB	(dag)
L_{Aeq}	= 60 dB	(dag)
L_{Amax}	= 60 dB	(natt)

The Greater London Council, GLC), antog riktlinjer för buller och vibrationer 1976, där ekvivalentnivån 65 dB(A) erfordrade isoleringsåtgärder. Med de senaste årens projektering av nya järnvägslinjer uppdateras nu riktlinjerna och i Londonområdet har The London Borough of Tower Hamlet precis utarbetat nya riktlinjer som tros bli vägledande för fler London-kommuner. (GLC är nedlagt sedan ett antal år, och varje kommun sätter sina egna riktlinjer)

5.6 Japan

I Japan anges särskilda riktvärden för supersnabbtåget Shinkansen. För detta gäller att den maximala ljudnivån vid bostadshus ej får överstiga L_{Amax} = 70 dB.

6 MÄT- OCH BERÄKNINGSMETODER

Beräkningsmetod

Den nordiska beräkningsmodellen för spårbunden trafik är för närvarande under omarbetning och beräknas bli klar under 1994.

Det är viktigt att beräkningsmetoden ger värden som är jämförbara med mätmetodens värden samt andra trafikbullerkällor. Exempelvis bör instrumentresponsen slow användas i båda fallen.

En definition av maximal ljudnivå är också av stor vikt för jämförelsen mellan mätta och beräknade värden. Som exempel kan nämnas det danska respektive det japanska sättet.

Danmark
I Danmark avser maximalnivån den mest bullriga tågtypen som regelbundet trafikerar sträckan.

Denna metod har fördelen att den högsta nivån kan erhållas teoretiskt med hjälp av kunskapen om vilka tågtyper som trafikerar sträckan. Däremot finns risk för att fel mätvärden erhålls vid få mätningar. Definitionen av vad termen regelbundet innebär beträffande trafikeringsfrekvensen är oklar, och det finns ingen koppling till antalet störtillfällen.

Japan
I Japan bestäms maximalnivån genom att mäta 20 tågpassager i följd och ta medelvärdet av de 10 bullrigaste tågens maxvärde.

Denna metod förutsätter att minst 20 passager uppmäts, vilket innebär att risken för felaktiga mätvärden är liten. Tidpunkten för mätning är valfri, vilket också minskar risken för fel. Det finns dock en teoretisk risk för att det bullrigaste tåget inte mäts, och inte heller med denna metod finns någon koppling till antalet störtillfällen.

Förslag
* Med maximal ljudnivå avses medelvärdet av de tre på varandra följande passagerna, vid normala drifts betingelser, av den mest bullrande tågtypen som förekommer under angiven tidsperiod (dag, kväll eller natt).

Riktvärden bör även anges för aktiviteter som hör till järnvägen, men som inte är vanlig tågtrafik. Till sådana bullerkällor hör rangerbangårdar, omkoppling av tåg, verksamhet på stationsområden etc.

Mätmetod

Officiellt finns ingen mätmetod för tågbuller antagen i Sverige idag. Internationellt finns ISO/DP 3095, som är en revision av ISO 3095:1975. Den syftar främst till att mäta bulleremissionen från helt tågset, och är inte direkt applicerbar vid mätning av buller vid exempelvis bostäder. Mätmetoden använder tidsvägningen FAST.

En gemensam nordisk, eller ISO, mätmetod för buller från spårbunden trafik bör tas fram. Förslagsvis kan den bygga på mätmetoden för vägtrafikbuller.

7 FÖRSLAG TILL HANDLINGSPROGRAM

För såväl nybyggnad, ombyggnad som för befintliga järnvägar skall åtgärder vidtagas för att begränsa bullerstörningarna till omgivningen. Hur dessa frågor skall hanteras anges nedan.

A ANSVAR

Ansvaret för bullerfrågorna åligger alltid banhållaren.
Han kan naturligtvis i avtal överföra del av ansvaret till annan part.

B TYSTARE LOK OCH VAGNAR

För att på sikt minska bulleremissionen från järnvägstrafiken skall alla nya lok, vagnar etc inköpas med strängare ljudkrav. Utformningen av dessa krav bör diskuteras närmare. Ett exempel ges nedan.

Krav på högsta ljudnivå från lok och vagnar

Kraven gäller vid mätning 25 m från spårmitt med järnvägen på 0,5-1 m hög bank och mätpunkten belägen 1 m över RÖK. Mätning utförs vid hastigheterna 80 och 130 km/h samt vid den högsta tillåtna hastighet för loken/vagnarna. Mätobjektet skall beroende på typ av lok/vagnar omfatta:

A. Motorvagnståg
   Ett normalt tågset med totalt 4 vagnar.
B. Loktåg
   Fyra vagnar samt lok
C. Lok
   Ett lok

Hastighet km/h	Högsta tillåten ljudnivå FAST response
80	80 dB(A)
≥ 130	85 dB(A)

Kraven gäller vid mätningar utförda med tomma vagnar samt vagnar lastade till 80% av tillåten last.

Mätmetod

För mätningarna skall tre "fasta" mätplatser upprättas. Mätningarna skall utföras enligt ISO/DP 3095, som är en revision av ISO 3095:1975.

C UNDERHÅLL OCH UTVECKLING AV BEFINTLIGA LOK OCH VAGNAR

Det löpande underhållet av lok och vagnar är av stor betydelse för bulleremissionen. Det kan skilja 10 - 15 dB i ljudnivå mellan exempelvis lokaltåg med väl resp dåligt underhåll.

Krav vid återkommande samt "flygande" kontroller

Kraven enligt B ovan gäller vid certifieringsmätning av nya lok och vagnar. Vid regelbundet återkommande mätningar samt vid stickprovskontroll av lok/vagnar i drift får ljudnivån ej överstiga dessa värden med mer än 5 dB. För befintliga vagnar/lok i normal drift accepteras fram till år 2000 ytterligare 3 dB högre nivå.

De regelbundna mätningarna skall utföras med tomma vagnar samt vagnar lastade till 80% av tillåten last. För stickprovskontrollerna gäller den vid tillfället aktuella lasten.

Vagnar och lok som inte klarar ljudkraven skall om överskridandet är mer än 5 dB tas ur drift. För 1 - 5 dB överskridande skall åtgärder vidtas inom tre månader varefter ny mätning görs.

D MILJÖKONSEKVENSBESKRIVNING

För samtliga järnvägslinjer i landet skall kartläggning av buller och vibrationer ske så att detaljerat åtgärdsprogram kan utarbetas. Vid ny- och ombyggnad av järnvägar utförs detta lämpligen i samband med miljökonsekvensbeskrivningen. Här skall buller och vibrationer med föreslagna åtgärder redovisas.

E BEDÖMNINGSGRUNDER

Beroende på förväntade ljudnivåer och verksamhetens tidsbegränsningar kan bedömningen ske enligt tre principer.

E.1 GRUNDVÄRDEN

Följande riktvärden föreslås för nybyggnation intill befintliga eller planerade banor för spårbunden trafik.

Utrymme	Högsta ljudnivå, ekvivalentnivå för dygn	dB(A) maximalnivå SLOW
BOSTADSHUS		
Inomhus		
Sovrum	25	40
Vardagsrum	30	45
Kök och WC	35	50
Utomhus		
Utanför minst hälften av boningsrummen i varje lägenhet	50	55
På uteplats	45 [1),2)]	-
KONTORSHUS		
Inomhus		
Arbetsrum	40	55
HOTELL		
Inomhus		
Gästrum	25	40
UTBILDNINGSLOKALER		
Inomhus		
Lärosal etc	30	45
Grupprum, bibliotek etc	35	55
Matsal, gymnastiksal, slöjdsal	40	55
Utomhus		
På uteplats	55 [1)]	-
VÅRDLOKALER		
Inomhus		
Vård- och undersökningrum	30	45

1) Riktvärdena avser verklig nivå utanför fönster/fasad. Vidare avser värdena även uteplatser, lekplatser och balkonger etc

2) I centralt belägna bostadsområden med hög bakgrundsnivå kan upp till 55 dB(A) accepteras som riktvärde.

E.2 AVSTEGSFALL

Vid olika typer av om- och tillbyggnader skall, om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt, grundvärdena innehållas. I de fall detta inte går kan avsteg göras. Därvid skall följande beaktas.

Inomhus

* I första hand skall därvid möjligheten till god sömn beaktas även för skiftarbetare. Riktvärdet för maximal ljudnivån i något sovrum i lägenheten är 45 dB(A).

* Riktvärdet för ekvivalent ljudnivå inomhus får ej överskrida grundvärdena med mer än 10 dB.

Utomhus

* Möjlighet till lugn uteplats skall finnas. Riktvärdet för ekvivalent ljudnivå för någon uteplats i anslutning till bostäder och undervisningslokaler är 60 dB(A).

F BERÄKNINGSMETOD

Den nordiska beräkningsmodellen för spårbunden trafik är under omarbetning för närvarande och beräknas bli klar under 1994.

Det är viktigt att beräkningsmetoden ger värden som är jämförbara med mätmetodens värden samt andra trafikbullerkällor. Exempelvis bör instrumentresponsen slow användas.

En definition av maximal ljudnivå är också av stor vikt för jämförelsen mellan mätta och beräknade värden:

* Med maximal ljudnivå avses medelvärdet av de tre på varandra följande passagerna, vid normala driftsbetingelser, av den mest bullrande tågtypen som förekommer under angiven tidsperiod (dag, kväll eller natt).

Stockholm 1993-05-17
DNV INGEMANSSON AB
Stockholmskontoret

Leif Åkerlöf

Referenser:

1 Miljöplan för Stockholm, Förslag mars 1988.
2 Buller från persontåg i höga hastigheter, Tomas Ström. SP rapport 1992:01.
3 Riktvärden för tågbullerimission i bostadsområden - En litteraturstudie, Clara Göransson. SP rapport 1990:01.
4 Trafik och miljö. Kunskapsöversikt och forskningsbehov. Transportforskningsberedningen. TFB-meddelande nr 65, december 1988.
5 Anders Bodare, Institutionen för jord- och bergmekanik, KTH.
6 Förslag till planeringsmål för buller från väg- och tågtrafik, Huddinge kommun. 20 september 1991.
7 Acoustics Bulletin, Institute of Acoustics, notiser ur numren januari/februari 1992, mars/april 1992 samt mars/april 1993.
8 Samtal med Sören Dahlén, Banverket, 1993-05-13.
9 Samtal med Tomas Ström, Statens Provningsanstalt, 1993-05-13.

SYNPUNKTER PÅ REGLERNA FÖR INDUSTRINS OMGIVNINGSBULLERSTÖRNINGAR

Lars Landström
DNV Ingemansson AB
Box 276
401 24 Göteborg

Innehåll

1.	Jämförelser med utländska riktlinjer	3
2.	Externbullerriktvärdena i Sverige	7
3.	Tillämpningen av SNV riktlinjer	
	Före år 1981	9
	Efter år 1981	10
4.	Tekniska erfarenheter från befintliga anläggningar	11
5.	Tekniska erfarenheter från nya anläggningar	13
6.	Kostnader för bullerdämpning	13
7.	Synpunkter på bullervillkoren	
	Villkor vid utbyggnader	15
	Skärpta krav vid nyetablering i ostörda områden	16
	Etablering av bebyggelse runt industrier	16
8.	Kontrollproblematiken	
	Immissionsmätningar	17
	Emissionkontroll	20
9.	Tillståndsprövning av nya anläggningar	22
10.	Buller från vägtrafik och transporter	22
11.	Behov av översyn och förändringar i riktlinjer mätanvisningar och tillsynsverksamhet	23
	SNV riktlinjer	24
	Villkorsskrivningen	25
	Mätanvisningar	26
	Tillsynsverksamhet	26

SYNPUNKTER PÅ REGLERNA FÖR INDUSTRINS OMGIVNINGSBULLERSTÖRNINGAR

Utomhusbullret från industriella verksamheter orsakar ofta klagomål som leder till behov av att vidta åtgärder. Vanligen gäller det störningar i närbelägna bostäder, orsakade av kraftiga eller speciellt exponerade bullerkällor. Klagomålen är vanligtvis mest uttalade då exponeringen sker nattetid.

Enligt Miljöskyddslagen skall industriföretag med miljöfarlig verksamhet begära tillstånd vid planerad nyetablering resp om- eller utbyggnad av befintlig anläggning bl a avseende bulleremissionen till omgivningen.

Som stöd för tillståndsprövningen och industriernas egen planering av omgivningsbullerfrågorna, utgav Naturvårdsverket redan 1973 "Riktvärden för externt industribuller". Här gavs riktvärden för högsta tillåtna ljudnivåer för industribuller i omgivande bebyggelse, alltså **immissionsvärden.**

Det påpekades att dessa riktvärden inrättades på prov under en treårsperiod.

I samband med revideringsarbetet som ledde till nuvarande SNV Råd och riktlinjer 1978:5 "Riktlinjer för externt industribuller" studerades ex.vis störningsreaktioner hos boende som exponeras för industribuller, mätproblematik vid kontroll av immissionsbullernivåer (främst inverkan av meteorologiska faktorer) samt ekonomiska konsekvenser av att genomföra riktlinjerna.

Resultatet blev att de ursprungliga riktvärdena från 1973 bibehållitts för nyetableringsfallet, medan 5 dB högre ekvivalenta nivåer tillåts för befintlig anläggning, se vidare nedan sidan 6.

1. Jämförelser med utländska riktlinjer

I många industriländer finns sedan länge riktlinjer för att begränsa omgivningsbullret från industrier. Man har i många länder genomfört enkätundersökningar för att fastlägga den ljudnivå för vilken invånarna i olika typer av bostadsområden känner sig störda, och med utgångspunkt härifrån upprätta immissionsriktvärden.

Resultaten har i allmänhet varit föga entydiga även om de pekar i samma riktning. Av störst betydelse är de österrikiska undersökningarna som utfördes redan på 60-talet, F. Bruckmayer
(Ref: Österreichische Ingenieur Zeitung 6, 1963. Sid 315 - 321).

Man utförde mycket omfattande undersökningar av bakgrundsnivåerna nattetid i olika typer av bostadsområden. Enkätundersökningarna visade att invånarna fann det vara tillräckligt om buller från industrier och näringsverksamhet uppfyllde ett krav under natt, svarande mot 10 dB över den tystaste bakgrundsnivån.

Denna kravsättning styrktes av erfarenheterna under årtionden från den Statliga Försöksanstalten för värme- och ljudteknik i Wien där man handlagt ärenden om klagomål på buller. Särskilt viktigt var det att konstatera det faktum att störda invånare blev tillfredsställda när bullret minskades till denna kravgräns.

Med denna bakgrund skapades en fallande skala av immissionsriktvärden för bostäder i olika områdestyper. De Österrikiska erfarenheterna blev normgivande i många länder. I tyska föreskriften TA-Lärm (Ref: TA-Lärm, 4. überarbeitete Auflage, 1985) anges sålunda sex områdestyper med tillhörande riktvärden:

Områdestyp	Imm.värde ekviv.ljudnivå
a) Områden med enbart hantverks- eller industrianläggningar och bostäder för innehavare eller ledare av driften samt för övervaknings- och jourpersonal	70 dBA
b) Områden, i vilka övervägande yrkesmässiga anläggningar är anlagda	dag 65 dBA natt 50 dBA
c) Områden med yrkesmässiga anläggningar och bostäder, i vilka varken övervägande yrkesmässiga anläggningar eller övervägande bostäder är anlagda	dag 60 dBA natt 45 dBA
d) Områden, med övervägande andel bostäder	dag 55 dBA natt 40 dBA

e) Områden, med uteslutande bostäder	dag 50 dBA natt 35 dBA
f) Kurområden, sjukhus och vårdinrättningar	dag 45 dBA natt 35 dBA

Även i ursprunglig ISO-standard ISO R 1996 från år 1971 användes denna områdesindelning (ISO-standard R 1996 "Acoustics - Description and measurement of environmental noise", 1971).

R 1966 har ursprungligen använts som underlag för kravskrivning i många länder, ex.vis Storbrittanien, Frankrike, Danmark och Australien.

ISO-standard 1996 reviderades åren 1986-1987 och föreligger i tre delar som icke längre berör kravsättningsproblematiken.

* Svensk Standard SS-ISO 1996/1, 1986; "Akustik-Beskrivning och mätning av omgivningsbuller". Grundläggande storheter och mätförfarande/

* ISO Standard ISO 1996/2, 1987; Insamling av data av betydelse för markanvändning

* ISO Standard ISO 1996/3, 1987; Tillämpning på bullergränser

Sverige har beslutat att icke utge 1996/2 och 1996/3 som svenska standarder. Detta kommenteras nedan. Det betyder att Sverige icke ansluter sig till ex.vis de mätförfaranden och kontrolmetoder som anges i standarderna.

Inom EG förekommer en omfattande harmonisering av medlemsstaternas bullervillkor på arbetsmiljöområdet. Såvitt bekant finns f.n. inga planer på liknande standardisering av bestämmelser betr. yttre miljön.

Med hänsyn till de kommande miljökvalitetsnormerna i Sverige är en riktlinje för externt industribuller som tillämpas i den flamländska delen av Belgien sedan 1990 intressant. Denna nya norm är baserad på L_{95} som huvudsaklig bullerdeskriptor, dvs den ljudnivå i dBA som erhålles exkl den 5% bullrigaste tiden.

Riktlinjen är utfärdad av Vlaamse Gemmenschap enligt beslut av Vlaamse Executieve (Ontwerp Goedgekeurd door VLARALE on 18/12/90).

Ett av huvudgreppen som tagits i samband med dessa riktlinjer är att en industri inte får höja bakgrundsbullret i den aktuella miljön. Andra väsentliga grepp är att man infört begreppet Miljöriktvärde och anläggningsriktvärde som skall jämföras med den bakgrundskorrigerade ljudnivån från den aktuella industrin. Skälet till att man infört också riktvärde för miljön (och inte bara för den aktuella industrin) är att tillkomsten av ytterligare industrier inte får äventyra den kvalitet hos miljön på den aktuella platsen som man en gång har bestämt sig för.

Mer detaljerad information om normen framgår av Nils-Åke Nilssons rapport KM Akustikbyråns rapport S 665004-R01. Utarbetad för denna utredning.

Principen som innebär att lägre kravvärden än dagens svenska riktvärden kan förekomma vid etablering av industrier i områden med låg bakgrundsnivå tillämpas också i British Standard BS 4142:1990 "Metod for rating noise affecting mixed residential and industrial areas".

Sammanfattning
Det kan konstateras att man i det stora flertalet länder baserar immissionsgränsvärdena för externt industribuller på de refererade Österrikiska undersökningarna som är ca 30-40 år gamla. Enkätundersökningar från samma tidsperiod indikerade att värdena var ungefär korrekt avvägda, om man tar hänsyn till bostädernas belägenhet i områden med olika bakgrundsnivå.[x)]

Såvitt bekant har inga enkätundersökningar vidtagits på senare år, som bekräftar eller motsäger att dessa förhållanden fortfarande är giltiga.

[x)] Ref. Lärmminderung in der Industrie, 1972, Verein Deutscher Eisenhütteleute. Stålverksindustrin i Tyskland.

Anm. Erfarenheter från bl a England pekar på att känsligheten för buller har ökat på senare år; man har konstaterat att bullerstörningar från ex.vis järnvägar leder till väsentligt högre klagomålsfrekvens från de närboende än tidigare. Detta kan givetvis vara en attitydfråga: det "lönar" sig mera att klaga idag än tidigare.

2. Externbullerriktvärdena i Sverige

Redan i ursprungliga svenska immissionsriktvärdena från 1973 fastlades principen att endast ange riktvärden för två områdestyper gällande boende, nämligen

Område	Immissionsgräns Ekviv. ljudnivå
* områden för bostäder samt för utbildningslokaler och vård-byggnader	dag 50 dBA natt 40 dBA
* områden för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv	dag 40 dBA natt 35 dBA

Vid bearbetningen av dessa riktvärden inför fastställandet av nu gällande regler behandlades dessa frågor. Det hävdades därvid från SNV sida att bostäder i Sverige skall ha en tillfredsställande yttre miljöstandard oavsett bostadens belägenhet.

Den av Statens Institut för Folkhälsan utförda studien "Störningsreaktioner till följd av externt industribuller" (SNV PM 876, nov 1977) visade inte något entydigt dos-responssamband för de tre fältundersökningar (enkäter) som genomfördes. Dock konstaterades låg störningsupplevelsefrekvens vid ekvivalenta ljudnivåer under 45 dBA och toppnivå (hos enstaka bullerföreteelser) under 65 dBA.

Det befanns emellertid vara rimligt att fortsättningsvis skilja på immissionsvärden för buller från nyetablerad industri och befintlig industri. De nuvarande riktlinjerna har därför följande utseende, sedan riktvärden för momentana ljud också införts:

	Ekvivalent ljudnivå i dB(A)						Högsta ljudnivå FAST dB(A)
	Vardag kl 07-18		Kväll kl 18-22 sön/helgdag kl 07-18		Natt kl 22-07		Momentana ljud kl 22-07
OMRÅDE	Ny	Bef	Ny	Bef	Ny	Bef	Ny och bef industri
Arbetslokaler för ej bullrande verksamhet	60	65	55	60	50	55	
Bostäder och rekreationsytor i bostäders grannskap samt utbildningslokaler (ej natt) och vårdbyggnader	50	55	45	50	40	45	55
Områden planlagda för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv där naturupplevelsen är en viktig faktor	40	45	35	40	35	40	50

Rikvärdena innerhåller anvisningar för skärpning av krav vid flukturerande intermittent och buller av smalbandig karaktär.

"Om ljudet innehåller ofta återkommande impulser såsom nitningsarbete, slag i transportörer, lossning av järnskrot etc eller innehåller hörbara tonkomponenter eller bådadera skall för den ekvivalenta ljudnivån ett värde 5 dBA-enheter lägre än vad som anges i tabellen tillämpas".

Tillämpningen av dessa immissionsriktlinjer erbjuder i praktiken en del tolkningsproblem, vilket också gäller de anvisningar för kontrollmätningar (SNV Medd. nr 6/1984, "Metod för immissionsmätning av externt industribuller") som utgivits senare.

Dessa frågor behandlas nedan.

Riktvärdena har som nämnts främst tillkommit genom enkätundersökningar och speglar därför de boendes uppfattning av bullermiljön såväl på uteplats som inne i bostadsrum. Riktvärde för natt ger - enligt undersökningar om bullrets sömnstörande verkan på senare år - god möjlighet att sova med öppet fönster.

Det har riktats berättigad kritik mot användningen av ekvivalent ljudnivå dBA som måttenhet, bl a därför att den inte reflekterar störningsgraden hos fluktuerande buller.

Det finns emellertid f.n. inte något entydigt bättre och hanterligt sätt att karakterisera externt industribuller. Till skillnad från ex.vis trafikbuller är industribuller normalt förhållandevis konstant. Med kompletteringar som anger hur intermittent buller skall hanteras, torde därför ekvivalentnivån t.v. vara det mest rimliga styrkemåttet.

3. Tillämpningen av SNV riktlinjer

Före år 1981
Fram till år 1981 behandlades tillståndsprövning enligt Miljöskyddslagen, för de flesta större industrier. Koncessionsnämnden (i vissa fall länsstyrelsen) föreskrev bullervillkor som grundades på Naturvårdsverkets riktvärden, men tog i de allra flesta fall stor hänsyn till lokala förhållanden som åberopades av resp. industri. Framförallt gällde dessa de tekniska och ekonomiska möjligheterna att genomföra bullerdämpning. För befintliga anläggningar fastställdes således ofta 5 á 10 dBA högre nivåer än riktvärdena.

Det bör här påpekas att många industrier i detta läge aldrig analyserade sin "nusituation" eller framförde synpunkter på riktigheten i att tillämpa SNV riktvärden. Dessa blev således fastställda i bullervillkoren. Ofta upptäckte dessa industrier i efterhand att kraven är "orimliga" att klara på kort sikt.

I det stora flertalet fall skedde härefter ingen vidare uppföljning av bullerfrågorna från industrins eller tillsynsmyndighetens sida. Uppenbara orsaker till detta var bristande resurser hos myndigheten och fåtaliga klagomål från boende kring industrierna (beroende på att de boende accepterat bullersituationen sedan lång tid).

Inom kraftigt omgivningsbullerbelastade industrier såsom pappers/ cellulosaföretag och järnverk startade emellertid åtgärdsarbete, främst gällande installationer för processventilation och transporter. De dominerande ljudkällorna kunde under mitten av 1970-talet bullerdämpas bl a med hjälp av statliga miljöförbättringsbidrag till industrin.

De mest framsynta företagen började redan vid denna tidpunkt att arbeta systematiskt med bullerbekämpning vid om- och nybyggnad av anläggningarna, då nyanskaffning av utrustning gav möjligheter till

effektiva och föga kostnadskrävande insatser. Detta uppnåddes bl a genom specificerade krav vid upphandling.

Efter år 1981
Miljöskyddslagen ändrades 1981, så att en överträdelse av villkoren i allmänhet kan leda till påföljd - oavsett om överträdelsen kan kopplas till någon effekt i omgivningen eller ej. Dessutom blev tillsynsmyndigheten då - åtminstone i princip - skyldig att anmäla överträdelse till åtal.

Synen på bl a bullervillkoren har därefter ändrats genom att man i nya tillståndsbeslut börjat tillämpa såväl gränsvärden som riktvärden. SNV har i allmänna råd 1987:8 "Villkor i tillståndsbeslut enligt ML" definierat:
"Ett begränsningsvärde som inte getts någon särskilt benämning utgör ett gränsvärde".

Industrin har reagerat mot att begränsningsvärden som i ansökan och förhandlingar baserats på riktvärden, i villkorsskrivningen angetts som "straffsanktionerande" gränsvärden. Några åtalsprövningar har skett. Dessa åtal har i allmänhet gällt att åtgärder ej vidtagits i föreskriven tid snarare än försummelser av teknisk och ekonomisk art somlett till att man ej klarat kraven.

Genom bullrets karaktär vore det önskvärt med ett riktvärde så formulerat att det är ett kontrollvärde med definitionen "I de fall riktvärden, som skall tillämpas vid kontroll (besiktning), överskrids skall kontrollen ej avslutas förrän den anläggning som är föremål för kontrollen åtgärdats till att uppnå uppsatt värde".

Med hänsyn till att bullervillkoren är satta som immissionsnivåer är det tveksamt om de krav på mätnoggrannhet, kontinuerlig mätbarhet, repeterbarhet etc som ett gränsvärde förutsätter, kan uppfyllas.

Om definitionen av ett gränsvärdes är att det aldrig skall överträdas ökar svårigheterna att uppfylla detta villkor om gränsvärdet är lågt satt. Störningar i processen, oaktsamhet, öppna portar, igensättning av ljuddämpare etc är exempel på relativt bagatellartade händelser som kan föranleda ett överskridande.

4. Tekniska erfarenheter från befintliga anläggningar

Inledningsvis måste konstateras att många företag idag inte gör något åt bullret, trots att ljudnivån i omgivningen ligger kraftigt över SNV:s riktvärden. I en del fall överensstämmer detta med de bullervillkor som anges i prövningsmyndighetens beslut, men oftast är bakgrunden en eller flera av följande:

* Att det saknas formulerade bullervillkor för verksamheten. Detta är vanligt för mindre industrier och industrier, som inte i väsentlig grad förändrat sin verksamhet efter miljöskyddslagen 1969 (exempelvis sågverk)

* Att bullervillkoren är så allmänt hållna att tillsynsmyndigheten har svårt att påvisa att de inte uppfylls. Exempel på sådan skrivning är: "Bolaget skall i samråd med länsstyrelsen vidta skäliga åtgärder för att nedbringa ljudnivån vid fabriken. Vid nyanläggningar och vid byte av bullrande utrustning skall gälla att sådan utrustning skall motsvara de krav som normalt uppställs för att naturvårdsverkets riktvärden för externt industribuller inte skall överskridas."

* Att bullervillkor visserligen anges i tillståndsbeslut, men att man inte kontrollerar om de uppfylls, eftersom ingen klagar och inga myndigheter frågar.

* Att det saknas kontrollprogram med tydlig text vad som gäller för buller. Text såsom "Bullermätningar utförs i samråd med länsstyrelsen när så anses befogat" innebär att tillsynsmyndigheten inte får någon som helst draghjälp för att få igång målmedveten kontroll.

Klagomål på buller kanaliseras ofta genom miljö- och hälsoskyddsförvaltningarna. Angreppsmetoden vid direkta sådana problem är ofta att någon "kritisk" bullerkälla utses som klagomålsorsak och åtgärdas. Detta är sällan hela problemlösningen, eftersom externt industribuller i allmänhet karakteriseras av att fler (många) bullerkällor inverkar i fabrikens närhet.

Här krävs systematik i arbetet på samma sätt som vid projektering.

Samtidigt kan konstateras att det finns många exempel på industrier, som målmedvetet arbetar på att minska bullret. Myndigheternas agerande från miljöprövning till uppföljning via genomtänkta kontrollprogram har varit en pådrivande, och oftast nödvändig faktor.

De mestadels stora företag som upprättat och genomfört dessa, har nått goda resultat.

Jämfört med situationen i början av 70-talet har ljudnivån från sådana industrier minskat med storleksordningen 5-10 dBA vilket är en avsevärd bullerreduktion. (Exempelvis Håfvreströms Bruk; Rexolin, Helsingborg; Felix Eslöv; Volvo Lundby, Göteborg; Stora Dexter; Papyrus Grycksbo).

En del av dessa förändringar kan hänföras till strukturomvandlingar, där gamla och ofta bullriga anläggningar ersatts med moderna och tystare anläggningar.

Bullerkraven har varit utvecklingsdrivande på flera sätt:

* Bullerfrågor har hjälpt till att driva fram energisnåla processer (slutna system, högre verkningsgrad etc). Det finns ett samband mellan utstrålad bullerenergi och maskiners energiförbrukning. En tyst maskinell process är i allmänhet energisnål. Onödig drift kostar onödiga pengar. Det finns exempel på anläggningar där man kunnat stänga många fläktar och ersätta dessa med energisnåla lösningar. Investeringar har betalat sig på något år.

* Bullerfrågorna har positivt påverkat industrins arbetsplanering.

  Genom att bullerkraven skärps nattetid har industrin i flera fall planerat verksamheten koncentrerad till dag och kvällstid vilket därmed gett kostnadseffektivare arbetsorganisation. Exempelvis har omgivningsstörande vedrenserier inom cellulosaindustrin kunnat slopa nattskiftet genom effektiviserat arbete på dag- och kvällstid.

* Minskande fallhöjder i transportörer och dämpade system ger "mjukare" godshantering vilket bibehåller produktens och godsets kvalitet.

* Regelmässiga interna emissionsbullerkontroller utgör samtidigt en form av tillståndskontroll på t.ex ventilationsanläggningar. Förhöjd ljudnivå är ofta orsakad av smutsiga filter, lagerskada eller annan defekt på utrustningen. Bullermätningar är således i detta sammanhang en utmärkt form av tillståndskontroll.

Genomförandet av bullerdämpande åtgärder har i allmänhet skett till måttliga extrakostnader. Genom investeringar i nya komponenter och ny teknik har många dominerande bullerkällor "byggts bort".

Det är alltså vid de större industrianläggningarna i Sverige som man längst bedrivit och också varit mest framgångsrik i bullerbekämpningsarbetet. Genom systematisering av bullerbekämpningsarbetet och välutvecklat samarbete med myndigheterna har man kunnat sänka bullernivån långsiktligt, ofta utan akuta kostnadskrävande åtgärder.

5. Tekniska erfarenheter från nya anläggningar

Vid jämförelse med andra miljöfaktorer har buller i allmänhet låg prioritet vid tillståndsprövningen av industrier etc. Till bilden hör att tillsynsmyndigheten ofta helt nonchalerar kontrollen av att uppsatta bullertillståndsvärden innehålls.

Detta resulterar i en - från buller- och kostnadssynpunkt - helt felaktig projekteringsgång då man planerar en ny anläggning. Det kan medföra att bullret ej beaktas vid utformningen av anläggningens layout, att utrustning köps utan hänsyn till erforderliga ljudkrav, att kostsamma efterhandsåtgärder måste vidtas etc.

I de fall projekteringen bedrivs med **systematik** och kompetens även vad angår buller, visar erfarenheten att problemlösningarna ofta är okomplicerade och kan inordnas på ett naturligt sätt i övrigt konstruktionsarbete.

Resultaten när det gäller fasta installationer är mycket goda, bullerreducering med ca 10 dB jämfört med anläggningar med äldre teknik kan anses realistiskt i de flesta fall, dvs halverad uppfattad bullerstyrka.

Materialhantering och transporter ger däremot ofta problem där man inte kunnat övergå till annan teknik, exempelvis ersätta dieseltruck med tysta autocarriers.

6. Kostnaden för bullerdämpning

1978 presenterade Stiftelsen Skogsindustrins Vatten- och Luftvårdförbund (SSVL) en utredning av förväntade kostnader för att sänka ljudnivån till 40-45 dBA; 37 skogsindustrier studerades.

Beräkningarna pekade på att detta skulle kosta 30 miljoner per anläggning i dagens penningvärde. Med facit i hand kan vi konstatera att kostnaderna i verkligheten blivit betydligt lägre. Det sammanhänger med att man som tidigare nämnts ofta har kunnat arbeta in bullerbegränsningen i samband med om- och tillbyggnader.

En nyinvestering kan exempelvis innebära att två gamla, improduktiva och bullriga anläggningar ersätts med en högmodern och tyst anläggning. Investeringar kan också innebära att orationell och bullrig materialhantering inom industriområdet byggs bort.

En stor kostnad för bullerdämpning av **befintlig industri** ligger på ljuddämpning av ventilationsutrustningen. En typisk ljuddämpare till en fläkt kostar 15-50.000:- installerad på plats. I extrema fall när den korrosiva miljön kräver konstruktioner i rostfritt syrafast material och anordningar krävs för att kontinuerligt rensa ljuddämparen kan kostnaderna uppgå till 100.000:-. För **ny anläggning** ligger ventilationsljuddämpningskostnaderna vid relativt blygsamma 3-5% av totala ventilationskostnaden.

De stora kostnaderna för bullerdämpning erhålls då utomhusplacerade anläggningar av bullerskäl måste byggas in. Till inbyggnadskostnaden kommer ofta omfattande kostnader för extra ventilation och i sin tur dess ljuddämpning. Det finns liknande exempel där bristfällig ljudisolering i fasader medför omfattande och dyrbara investeringar i ljuddämpning. Observera att det finns arbetsmiljöskäl att bygga in bullrande utrustning för underhålls-personalens skull - ett vanligt krav vid nya anläggningar.

Problemet med godshantering inom industriområdet beror ofta på den mänskliga faktorn, t ex hur "mjukt" en truckförare arbetar med sin truck. Om man jämför med utvecklingen i den inre arbetsmiljön kan man se att en utveckling mot robotisering totalt minskat hanteringsbullret och skadorna på produkten. En robot arbetar alltid lika perfekt. En motsvarande tendens börjar märkas för transportsystem utomhus, där exempelvis trucktransporter ersätts av tysta autocarriersystem.

Huruvida man betecknar investeringar i ny teknik som en ren bulleråtgärd eller inte beror naturligtvis på det skede i vilket investeringen genomförs. Ofta har investeringarna positiva effekter inom ett flertal områden och ej enbart inom buller. Ett exempel är om man inom pappersindustrin väljer att ersätta ett bullrande, energi- och

underhållskrävande flisblåsningssystem med ett tyst och energisnålt bandtransportörsystem.

Generellt kan konstateras att kostnaderna för dämpning av externt industribuller är små relativt de investeringar som krävs för vatten- och luftrening. Speciellt små blir kostnaderna om man har en god långsiktig planering i åtgärdsarbetet och undviker kortsiktiga akutåtgärder. Erfarenheterna pekar på bullerbekämpningskostnader som är mindre än 0.5% av totala anläggningskostnaden för en ny fabrik.

Kostnaderna för bullerbekämpning anförs ofta som det viktigaste skälet för att inte ställa definierade ljudkrav. Behovet av "flexibel" gränsdragning påpekas.

All hittillsvarande erfarenhet visar emellertid att en långsiktig och systematisk planläggning och genomförande av successiva insatser, samordnade med produktions- och underhållstekniska förändringar, medför rimliga och måttliga extrakostnader.

Man når då stor kostnadseffektivitet och kan tillgodose SNV:s riktlinjer.

Det bör framhållas att det också finns exempel på insatser som kräver höga kostnader till låg effekt.

När man t ex i ett första steg åtgärdat de mest dominerande bullerkällorna, kan det på stora industrier vara kvar ett mycket stort antal likvärdiga ljudkällor som tillsammans orsakar omgivningsbullrets totalnivå. Någon märkbar effekt erhålles inte förrän kanske hälften av alla källorna åtgärdats. Sådan problematik och dess konsekvenser kan idag med stor noggrannhet belysas i dokumentation inför myndighetsbeslut. Vanligen finner man att det är lämpligt med långsiktiga åtgärder.

7. Synpunkter på bullervillkoren

Villkor vid utbyggnader

För att åstadkomma en långsiktig, successiv förbättring av bullerförhållandena runt befintliga industrianläggningar, är det viktigt att man vid om- och nybyggnader anpassar ljudnivån från dessa till ett framtida, önskvärt målvärde, nämligen SNV's nyetableringskrav. Det innebär vanligen att den befintliga anläggningen i en relativt lång

tidsperiod är helt bestämmande för ljudnivån i omgivande immissionspunkter.

Inriktningen bör vara att varje tillkommande (eller ombyggd) anläggningsdel högst får ge upphov till en ljudnivå som svarar mot gränsvärdet minus en "additionsfaktor" om 5 å 10 dB.

Många företag med en framsynt miljöpolitik arbetar redan efter dessa principer genom aktiv egenkontroll. Det är givetvis av stor betydelse att myndigheterna tar hänsyn till dessa frågeställningar i samband med tillståndsgivningen vid förändringar. Villkorsskrivningen är idag ofta diffust formulerad och baseras ej sällan på föråldrat basmaterial.

Skärpta krav vid nyetablering i ostörda områden
Det finns exempel på att bullervillkoren, i tillståndsgivning för etablering av ny industri på oexploaterad mark i anslutning till rekreationsområden, varit alltför oprecist utformade.

Villkorsvärdena har därvid vanligtvis anpassats till SNV riktlinjer, men är satta att gälla på mycket stort avstånd från fabriken, beroende på att det saknas bebyggelse. I praktiken har det kunnat innebära att inga som helst ljuddämpande insatser vidtagits.

En icke ovanlig utveckling är att olika slag av bostads- och fritidsbebyggelse gradvis tillåts bli etablerad omkring industrin, vilket snart ger upphov till klagomål på buller från industrin och transporter.

Ett rimligt tillvägagångssätt är att **alltid** tillämpa SNV riktlinjer för nyetablering och att ange en bullergränslinje som ligger på ett övertänkt avstånd från industrin (inkl hänsyn till framtida bebyggelse).

Etablering av bebyggelse runt industrier
Det är mycket vanligt att bullerproblem runt fabriksanläggningar uppkommit genom att kommunerna tillåtit bostadsbebyggelsen att tränga allt närmare inpå fabriksområdet. I bruksmiljöer har industrin ofta etablerats och utvecklats åtskilliga decennier innan bostäderna uppförts. Trots dessa förutsättningar åläggs vanligen företagen att vidta bullerbekämpningsinsatser, som lokalt kan vara tekniskt komplicerade och mycket kostnadskrävande.

Ett rimligt krav för framtiden är att planmyndigheterna i väsentligt högre grad än hittills beaktar behovet av bullerskyddszoner (där

småindustri etc kan förläggas) runt ex.vis processindustrier med kraftigt bullrande utrustning.

Planförfattarna i kommunerna måste också utföra kvalificerade utredningar av riskerna för att ljudkänslig bebyggelse intill befintlig industri kan komma att medföra miljöproblem. Normalt bör man - om sådana risker föreligger - avstå från att fullfölja planer på ny bebyggelse intill industrin.

Observera att plan- och bygglagen från 1987 (SFS 1987:246) ger möjligheter att i detaljplanen för ett område införa bestämmelser om störningsskydd (tekniska anordningar) för den **tillkommande** bebyggelsen om miljökonsekvensutredningen visar att man på detta sätt kan tillgodose god ljudmiljö.

PBL Kap 5, §7:
"Utöver vad som enligt §3 skall redovisas i detaljplanen, får i planen meddelas bestämmelser om
- -

11. Skyddsanordningar för att motverka störningar från omgivningen och, om det finns särskilda skäl, högsta värden för störningar genom luftförorening, buller, skakning, ljud eller annat sådant som prövas enligt miljöskyddslagen (1969:387).

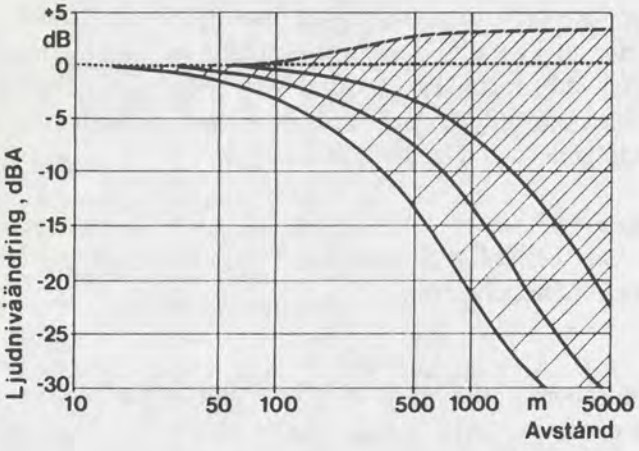
Denna möjlighet att försäkra erforderlig miljöstandard i tillkommande bebyggelse genom föreskrifter om dennas tekniska utformning, kan i många fall tillgodose industrins legitima krav baserade på att man var först på plats.

PBL bestämmelser har hittills tillämpats ytterst sällan när det gäller buller. Belysande exempel är emellertid bostäder på Ön (Limhamn), Malmö, servicecenter i Slite, bostadsbebyggelse i Kramfors m fl, finns att redovisa. I samtliga fall rör det sig om sedan länge etablerad industri som kommit att bli omgiven av bostadsbebyggelse.

8. Kontrollproblematiken

Immissionsmätningar
Såväl SNV riktlinjer för externa industribullerstörningar som de bullervillkor som anges vid tillståndsprövningen, baseras på att bullerimmissionen i angivna kontrollpunkter ej får överskrida specificerade värden.

En kontroll av att dessa värden innehålls innebär således att ljudnivåmätningar skall utföras. Därvid skall de på sid 6 nämnda SNV mätanvisningarna tillämpas. Framförallt påverkar de meteorologiska förhållandena - främst vindens riktning och hastighet - ljudets utbredning och därmed den ljudnivå som uppmäts runt en anläggning. Bilden nedan (ur VDI 2714 "Schallausbreitung im Freien", 1986) visar att variationerna på stora avstånd kan vara avsevärda.



– – – – – – Ovanligt god ljudutbredning (uppträder bara kort tid).

..... Ljudutbredning i medvind, medelvärde möjlig ändring av ljudnivån, dBA, vid

medvind sidvind motvind

Bilden visar hur ljudnivån, dBA, i immissionsmätpunkter på olika avstånd från utbredda industrianläggningar kan variera vid olika vindriktningar.

Mätanvisningarna specificerar att mätningarna skall utföras med vind från industrin mot immissionspunkten och att vindhastigheten ej skall överskrida 5 m/s. För industrier med bebyggelse i flera riktningar innebär detta att mätningar måste utföras vid flera tillfällen. Även för temperaturinversion (dvs då temperaturen stiger med ökad höjd över markytan) råder särskilda mätregler.

Statistiskt sett är det endast möjligt att få tillfredsställande mätförhållanden under några procent av tiden (på årsbasis) för en given immissionspunkt.

Även i övrigt är kraven i mätanvisningarna för valet av mätplats, mätperioder etc svåra att tillfredsställa i praktiken.

Bakgrundsbuller
Mätresultaten påverkas ofta av buller från andra aktiviteter, såsom vägtrafik, järnväg, andra industrier etc. För att undvika sådan påverkan kan det vara nödvändigt att mäta kvälls- och nattetid då trafiken avtar och andra industrier stoppas. Vid störningar från angränsande processindustrier med dygndrift kan det vara omöjligt att mäta korrekt värde för den aktuella industrin.

Fördelar och nackdelar
Fördelen med immissionsriktvärden är att de formellt är enkla att kontrollera i immissionspunkterna. Nackdelen är att mätnoggrannheten i hög grad påverkas av meteorologiska förhållanden, av bakgrundsbuller från andra samhällsaktiviteter och även av topografi och byggnadskroppar lokalt intill en immissionspunkt.

Genom att upprepa mätningarna vid många tillfällen med väl kartlagd meteorologi, kan man dock erhålla mätvärden som med god precision beskriver bullerförhållandena runt en anläggning.

En förutsättning för att erhålla tillförlitliga immissionmätvärden är att mätningarna utförs av kompetent och erfaren personal, som är väl insatt i gällande föreskrifter och riskerna för uppkomst av mätfel.

Tillsynsmyndigheterna har på denna punkt i allmänhet visat en alltför liberal inställning till bristfällig kvalitet hos ljudmätdata som presenteras av de tillståndspliktiga industrierna. I redovisningarna - som kan ha utförts av en medarbetare ur industrins egen personal, utrustad med ljudnivåmätare - saknas ofta viktiga uppgifter om driftsförhållanden, mätintervall, hantering av fluktuerande buller, meteorologiska förhållanden etc.

Kontroll bör ske med rätt kvalitet.

En jämförelse mellan kontrollföreskrifter för buller och för vattenföroreningar visar bristerna.

För mätning av vattenföroreningar gäller:
SNV AR 92:1 Kvalitetssäkrad miljökontroll
* Handbok i kvalitetssäkring
* Exempel vatten (referat av föreskrift)
  - kontroll vid lab ackrediterat av SWEDAC
  - krav på personal som svarar för mätning och provning.

För buller gäller:

SNV RR 78:5 Externt industribuller - allmänna råd
Innehåller även kapitel om mätmetoder vari ges rådet:
"Kan de beskrivna yttre förutsättningarna ej med säkerhet uppfyllas bör mätningarna utföras av akustiskt sakkunnig personal".

Det är uppenbart att en likformig och rättvis tillsynsverksamhet över hela landet kräver skärpning av kontrollkvaliteten, se nedan.

Emissionskontroll
Inom andra miljöområden tillämpas i stor utsträckning emissionskontroll för skadliga utsläpp från industri till omgivningen. Emissionskontroll - baserad på mätningar och beräkningar alt enbart beräkningar - kan också utnyttjas för externt industribuller.

Metoden förutsätter kännedom om bulleremissionen från varje delkälla inom ett industriområde, vilket fastställs genom kartläggning (mätning) ifråga om en befintlig industri eller hämtas ur tillverkaruppgifter för tillkommande utrustning. Därefter sker **beräkning** av de ljudnivåer som installationen ger upphov till i aktuella immissionspunkter runt anläggningen, Beräkningsmetodiken tar hänsyn till ljudkällornas och immissionspunkternas placering (i höjd- och sidled) inom området, meteorologiska förhållanden, markens inflytande etc.

Det finns på marknaden åtskilliga datorprogram som med större eller mindre exakthet tar hänsyn till dessa variabler. Nyligen (våren 1993) har ISO publicerat ett förslag till beräkningsstandard (ISO 9613 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: A general method of calculation") baserad på beprövad tysk, holländsk och nordisk metodik.

Med beräkningsmetodik enligt ISO kan kontinuerligt buller från stationära källor beräknas med mycket god noggrannhet för ett "standardiserat" meteorologiskt normalfall.

Fördelar och nackdelar
Det finns tämligen omfattande erfarenheter av emissionsmetodiken från en rad industrier i olika branscher. I många fall är det den enda användbara kontrollmetoden.

Fördelarna med emissionsmetoden är uppenbara:

* Emissionsmätningar av varje enskild källa kan utföras praktiskt taget oberoende av väderförhållanden
* Bakgrundsbuller från ovidkommande källor inverkar ej; det innebär att man separera buller från två närliggande företag
* Beräkning av immissionsnivåer kan utföras för hela industrier eller avsnitt; för befintliga, ombyggda eller nyetablerade objekt samt även vid projektering
* Beräknade immissionsnivåer för befintlig industri kan "kalibreras" mot uppmätta nivåer, vilket bl a gör det möjligt att värdera inverkan av transporter, bakgrundsbuller etc.
* Emissionsmetoden ger klara och entydiga besked om ljuddämpningsbehov och vilka källor som måste dämpas i de fall tillåtna värden överskrids i immissionspunkterna.

Emissionsmetoden har också ett antal klara nackdelar:

* Metoden kräver ett omfattande initialarbete vid en befintlig anläggning vilket innebär att noggrant mäta alla källor inom industrin. Specialmetoder, ex.vis vid skorstensmynningar måste användas
* Vid immissionsberäkningarna uppstår vanligtvis en rad tolkningssvårigheter och anpassningsproblem när beräkningsmodellen skall anpassas till de verkliga förhållandena. Det gäller exempelvis ljudavgivningen från byggnader och rörledningar. Beräkningarna måste därför utföras av kompetent och erfaren personal
* Buller med varierande tidskaraktär liksom emissionen från rörliga källor inom industriområdet kan vara svåra värdera på korrekt sätt

* Det är risk för att kontrollmetodiken blir "pappersarbete" som gör att man mister kontakten med fabrikens verksamhet och förändringar i denna.

9. Tillståndsprövning av nya anläggningar

I avsnittet 6 behandlades kostnaderna för att minska externbullret från industrianläggningar. Där påpekas de stora möjligheterna att nå goda resultat till mycket rimlig kostnad, när man bygger nytt.

Tyvärr kan man konstatera att dessa möjligheter alltför ofta inte tas tillvara. I många industriprojekt specificeras överhuvudtaget inte ev. externbullervillkor för de i planeringen deltagande projektingenjörerna och entreprenörerna. Stora ventilationsanläggningar upphandlas således utan ljuddämpning; när man i efterhand inser att detta ger buller-problem, blir kompletteringarna dyra och ger ofta otillräcklig ljuddämpning och t o m driftsproblem.

För att undvika sådan misstag och förbiseenden, vore det lämpligt att införa en ordning liknande den som tillämpas i Tyskland och Holland. I samband med villkorsskrivningen för en ny- eller utbyggnad av en industri, kräver där tillsynsmyndigheten att industrin före utbyggnaden skall presentera en plan för vilka bullerdämpande åtgärder som kommer att införas för att uppfylla ställda immissionskrav. Planen presenteras som en emissionsbe- räkning enligt avsnitt 8, och innehåller en layout för anläggningen med samtliga bullerkällor inlagda. Beräkningarna visar uppkommande ljudnivåer i immissions-punkterna och specificerar nödvändiga bullerdämpningsinsatser i form av ljuddämpare, inbyggnader, skärmar etc.

Planen granskas och godkännes av myndigheten som också utser ett godkänt företag (ackrediterat?) att genomföra kontroller under byggtiden. Färdig anläggning kontrollmätes (immissionsmätning) och godkännes slutligen när immissionskraven är upppfyllda.

10. Buller från vägtrafik och transporter

Det har länge hävdats från industrihåll att Naturvårdsverkets riktlinjer för externt industribuller medför väsentligt strängare krav än de som ingår i verkets presenterade förslag till riktlinjer för trafik- buller. Som argument framförs bl a att det inte finns forskningsrön som visar att kraven för industribuller är motiverade (jämför sidan 5 ovan).

När flera bullerkällor samtidigt påverkar människor får man en sammanlagringseffekt av bullret, som rimligtvis påverkar störningsin-trycket. Hur detta skall kvantifieras är i dag i stort sett okänt. Sammanlagringseffektens betydelse kan emellertid minskas om **alla**

bullerkällors nivå reduceras, men betydelsen avtar också något bara om en källa dämpas.

I fallet industribuller och trafikbuller är det förra ofta kontinuerligt, det senare intermittent. Ur totalexponeringssynpunkt är det då viktigt att begränsa det varaktiga industribullret, vilket tekniskt - och troligen även totalekonomiskt - sett torde vara rimligast.

Genom trafikbullrets dygnsvariation fås en naturlig "nattbullerdämpning" som vid schablongenomfartsleder med 8% nattrafik uppgår till 9 dBA (dvs 9 dBA lägre ljudnivå under natt än dygnsmedelvärdet). Detta faktum har vanligen glömts bort i den inledningsvis nämnda riktvärdesdiskussionen. Ännu mer accentuerat är detta där tung nattrafik är förbjuden.

En mera diskutabel bedömning av trafikbuller tillämpas för transporterna till och från industrin. Idag gäller enligt SNV riktlinjer att ex.vis en timmerlastbil som kör in mot en massaindustri, bullermässigt betraktas tillhöra vägtrafiken så länge den är utanför fabriksporten. Innanför porten utgör den en del av industrins bulleremission och värderas således efter strängare regler. Vanligen är dessa bilar väsentligt mera störande för de boende kring industrin då de passerar på industrins tillfartsleder.

Det finns exempel på anläggningar där interna transporter med truckar och rangering av järnvägsvagnar utgör en begränsning för möjligheterna att nå låga immissionsvärden för industribullret.

Det förefaller rimligt att behandla de lastfordon som används för interna transporter såsom tillhörande industrins bullrande utrustning. Övriga fordon inkl järnvägstransporter behandlas såsom tillhörande samhällets trafiknät.

11. Behov av översyn och förändringar i riktlinjer, mätanvisningar och tillsynsverksamhet

Tillämpningen av SNV riktlinjer för externt industribuller under ca två decennier, har givit en rad viktiga såväl positiva som negativa erfarenheter vilka berörts ovan.

En sammanfattande konklusion är att behovet av översyn och förändringar främst ligger på det organisatoriska planet:

* Bullerfrågorna skall behandlas i paritet med vatten-, luft-, avfallsfrågor etc i miljösammanhang
* Att skapa en likformig villkorsskrivning och likformiga krav på dokumentation över hela landet
* Att brister i efterlevnaden av SNV riktlinjer (med i villkorsskrivning tillåtna avsteg) bevakas systematiskt - lika för alla berörda företag
* Att bullerfrågor inkl mätprotokoll etc granskas och hanteras fackmässigt hos resp tillsynsmyndighet
* Att ge industrin tid att systematiskt och planmässigt minska bullret, men också övervaka att så sker efter en tidplan
* Kompetens, kapacitet (tillgänglig tid) och intresse för buller behöver förbättras såväl hos myndigheter som industri.

SNV riktlinjer

Om man av socialpolitiska skäl inte önskar införa flera zoner med bostadsbebyggelse, finns det idag inga forskningsresultat eller erfarenheter som pekar på att riktvärdena (ekvivalent ljudnivå) behöver justeras. Det har tidigare påpekats den långsiktiga betydelsen av att tillkommande (eller ombyggd) anläggningsdel dimensioneras för en betydligt lägre immissionsnivå än riktvärdet. I riktlinjerna bör detta klargöras. Dessutom behövs en precisering av hur temporärt uppträdande störningar - ex.vis drift under del av natt - skall värderas, samt översyn av riktvärdet för enstaka, momentant upp- trädande störningar.

Riktlinjerna bör också klarare än idag beskriva hur ett företag skall arbeta med externbulleråtgärder genom **egenkontroll.**

Det är också viktigt att riktlinjerna klargör hur företagen skall förfara om flera företag skall tillgodose ett gemensamt immissionskrav. Kontroll- och egenkontrollverksamheten blir då mera komplicerad, och riktlinjerna bör i sådana fall kunna hänvisa till användningen av emissionskontrollmetodik. Denna bör också kunna användas för kontrolländamål då bakgrundsbullerstörningar av andra slag omöjliggör immissionsmätningar vid en industri.

Det bör i riktlinjerna klart framgå hur fordon och övrig transportutrustning skall behandlas vad avser interna transporter och transporter som även går på allmän väg.

Riktlinjerna bör fastslå att angivna bullernivåer är **riktvärden** som inte har några gränser - uppåt eller nedåt. Tekniska och ekonomiska hänsyn till möjligheterna och rimligheten att nå riktvärdena skall tas i villkorsskrivningen.

Villkorsskrivningen
Riktvärdena är mycket skärpta och det är i tillståndsprövningen viktigt ha ett fullgott underlag som klargör förutsättningarna att tillfredsställa riktlinjerna. Bullerfrågorna bör prövas i **alla** tillståndssammanhang, ev bör den sökande få välja mellan att acceptera en schablonmetod eller att få bullerfrågan prövad.

Vid tillståndsprövningen bör en checklista med följande punkter följas:

* Tydliga villkor eftersträvas (kravvärden, gränslinje, tider etc)
* Tydliga och övertänkta krav även för tillkommande bullerkällor (det är ofta lämpligt med emissionskrav i sådana fall)
* Särskild uppmärksamhet på momentana bullerkällor. Realistiska värden och hänsyn till hur ofta bullermomenten kan inträffa
* Realistisk tidplan för att minska bullret till givna nivåer, ofta lämpligen i flera steg, och med hänsyn även till momentant buller
* Riktvärden som verkligen bevakas (i stället för gränsvärden). Tillfälligt överskridande accepteras, men kontroll tills värdet med säkerhet uppfylls. Möjlighet för sanktion om bolaget slarvar
* Långsiktiga målvärden anges om tillräckligt låga riktvärden ej är realistiska att tillämpa kortsiktigt
* Kontrollprogram som beskriver vad, hur, var och när man skall kontrollera
* Ange kompetenskrav för personal som utför kontrollen
* Bolaget skall ha fungerande rutiner för egenkontroll
* Buller skall behandlas vid besiktningsmöten och i miljörapporter
* "Smitmetoder" accepteras ej, dvs inga skrivningar typ:
  "kontroll genomförs när så anses befogat"
  "bolaget skall vid förändringar sträva efter tystare teknik"
* Ev. krav på åtgärdsplan med uppföljning (jfr kap. 9 sid 17).

Denna checklista har framkommit i det praktiska arbetet med tillståndsärenden och bör med förtydligande anvisningar vara värdefull hjälp för såväl myndigheter som företagen.

Mätanvisningar
De gällande mätanvisningarna SNV Medd. nr 6/1984, "Metod för immissionsmätning av externt industribuller" har nu provats i fält under ett stort antal kontrollmätningar. Erfarenheterna är att den metodik som föreskrivs betr. val av mätplatser, kontroll av meteorologiska förhållanden samt hänsyn till intermittent och fluktuerande buller ger upphov till en rad praktiska problem och tolkningssvårigheter. Mätanvisningarna måste ex.vis kompletteras vad angår tillvägagångssätt och resultatpresentation när det gäller immissionsmätningar med bakgrundsbuller eller störande buller från annan industri.

Mätanvisningarna behöver därför ses över och samordnas med ovan föreslagen revidering av SNV riktlinjer. Mätanvisningarna skall var utformade så att de passar i praktiken - för den stora komplicerade anläggningen men också för enkel kontroll vid den lilla industrin.

I de nya mätanvisningarna är det också nödvändigt att inkludera emissionskontrollmetodiken, dvs mät- och beräkningsförfarande. Denna metodik tillämpas redan idag och tillvägagångssättet behöver standardiseras.

Mätanvisningarna måste också behandla kvalitetssäkring, mätnoggrannhet, instrumentkontroll, kompetenskrav på mätpersonal etc, dvs behovet av att vissa kontrollmätningar skall utföras av ackrediterad institution/personal. Det kan påpekas att sådana kvalitetsäkringsskrav tillämpats i bl a Danmark sedan många år
tillbaka.

Tillsynsverksamhet
I det föregående har påpekats att nuvarande tillsynsverksamhet behöver effektiviseras, vilket inte automatiskt behöver innebära mera fiskala insatser.

Kontrollen av att ett bolag följer gällande villkor, bör i största möjliga utsträckning ske genom **egenkontroll**. Det är emellertid nödvändigt att Koncessionsnämnden etc i villkorsskrivningen föreskriver att ett kontrollprogram skall upprättas, att det uppställa vissa kompetenskrav på kontrollpersonal. Se vidare checklista i "Villkorsskrivningen" ovan.

En av de största bristerna i nuvarande tillsynsverksamhet upplevs vara den skiljaktliga behandling som externbullerärendena blir föremål för i olika län. Den aviserade framtida övergången till ökad kommunal

tillsynsverksamhet kan snarast väntas förvärra detta tillstånd, om man ej meddelar tillräckliga informationer resp. instruktioner om utformningen och tillämpningen av kontrollprogram, hur man förfar vid flera industrier inom samma område eller då det finns flera bullerkategorier (industri-, vägtrafik- och järnvägsbuller osv).

Det finns uppenbarligen ett behov av att utarbeta och publicera anvisningar som berör myndigheternas kontrollverksamhet och företagens egenkontrollverksamhet samt att tillse efterlevnaden.

HANDLINGSPLAN MOT BULLER	BYGGBULLER FÖRSLAG TILL HANDLINGSPROGRAM	S-8215-B 1993-05-13 L Åkerlöf/MO

I denna rapport behandlas buller från bygg- och anläggningsarbeten samt annan likartad verksamhet med tyngdpunkt på förslag till riktvärden.

INNEHÅLL

1 Allmän beskrivning - bullerkällor

2 Störningsminskande åtgärder

3 Rättsfall

4 Riktvärden och praxis i Sverige

5 Riktvärden i andra länder

6 Förslag till handlingsprogram

7 Referenser

1 ALLMÄN BESKRIVNING - BULLERKÄLLOR

Buller från byggarbetsplatser härrör främst från två typer av källor:
- bullrande maskiner
- bullrande arbetsmetoder

Hjullastare och schaktmaskiner, bergborrar och geotekniska borrmaskiner är exempel på bullrande maskiner. En hjullastare alstrar ca 85 dB(A) maximal ljudnivå på 10 meters avstånd och en bergborrmaskin ca 90 dB(A).

Speciellt bullrande arbetsmetoder är bilning, borrning, spontning och pålning. Spontning med fallhejare kan alstra upp till 100 dB(A) maximal ljudnivå på 10 meters avstånd. Väljer man istället vibrerande spontning blir ljudnivån normalt ca 10 dB(A) lägre. Slagning av stora rörpålar är likvärdigt med spontning med fallhejare.

Gemensamt för de angivna ljudnivåerna ovan är att de varierar kraftigt beroende på ett flertal faktorer, t ex maskintyp, maskinens ålder och beskaffenhet men även markbeskaffenhet etc. Exempelvis blir ljudnivån minst 5 dB(A) lägre då man schaktar i sand jämfört med i sten.

Ett kuriosum, som inte är helt oväsentligt, är att de kringboende ofta klagar på buller från byggarbetarnas radioapparater. Apparaterna är högt uppskruvade för att musik etc ska höras, många "program" förekommer samtidigt osv.

Bullernivån, immissionen, påverkas framförallt av avståndet till bullerkällan. Detta avstånd varierar i hög grad på en byggarbetsplats. Ena dagen sker spontning i en del, nästa dag i en annan.

2 STÖRNINGSMINSKANDE ÅTGÄRDER

Olika typer av störningsminskande åtgärder kan utföras. Ett problem är dock att dessa måste vara så enkla att de verkligen används i praktiken. De störningsminskande åtgärderna kan delas in efter fyra principer

* bullerminskning vid källan
* bullerminskning vid mottagaren
* tidsbegränsning
* flyttning av de bullerutsatta

Några exempel på störningsminskande åtgärder ges nedan.

Tystare maskiner
Även om det i de flesta fall är själva arbetsmomentet som ger de högsta ljudnivåerna är det motiverat att använda tyusta maskiner. De flesta arbetsmoment ger högt buller under en kortare period medan själva maskinen är i drift hela arbetsdagen. Tack vare att krav tidigt ställts på att endast tysta kompressorer får användas har en omfattande produktutveckling skett inom detta område. Genom att på samma sätt ställa krav på tysta grävmaskiner, hjullastare, lastbilar etc kan samma utveckling förväntas även här.

Byte av arbetsmetod
Genom att välja annan arbetsmetod kan ljudnivån i flera fall sänkas betydligt. Exempelvis ger vattenbilning istället för bilning med slaghammare avsevärt lägre stomljud. Detta kan medföra att evakuering av hyresgäster inte behövs i så stor omfattning vid exempelvis en ombyggnad. Ett annat exempel är valet av sponttyp, Berlinerspont i stället för Larsenspont,

Förbättring av arbetsmetod ur ljudsynpunkt
Vibrerande spontning istället för spontning med fallhejare är ett exempel på en från ljudsynpunkt förbättrad arbetsmetod. Den sistnämnda ger mycket höga maximala ljudnivåer. Ett annat exempel är att förse en schaktmaskins grävskopa med gummidäck i samband med schaktning i sten. Ett tredje exempel är att utföra geoteknisk borrning med en hydraulisk driven maskin istället för en luftdriven.

Avskärmning eller inbyggnad av bullerkälla
Möjlighet att arbeta med skärmar för t ex tunga transporter finns. Prov har gjorts med olika typer av inbyggnader av spont- och pålningsutrustning. Svårigheter finns emellertid eftersom utrustningen

flyttas under arbetets gång, och då upplevs skärmen som ett hinder.

Vid ett större schakt och bergarbete kan lämpligt vald arbetsriktning innebära att det ännu inte utschaktade berget/massorna kan utgöra bullerskärm mot bebyggelsen.

Tidsbegränsning
Denna åtgärd måste utformas tillsammans med de kringboende. Är det fråga om kontor eller bostäder? När är man hemma? osv.

Ofta ålägger miljöförvaltningen byggherren att inte påbörja arbetet före kl 07 på morgonen. Ett speciellt dilemma därvid utgör då de tunga transporterna i storstäder som man vill undvika i rusningstrafiken och därför gärna börjar tidigare på morgonen.

Förbättring av kringliggande byggnaders ljudisolering
Fönstrets ljudisolering är oftast den del av byggnaden som bestämmer ljudnivån inomhus. Här kan komplettering med en extra ruta alternativt att byta fönster ge bra resultat. Om byggarbetsplatsen ska resultera i en bestående ljudkälla (t ex nybyggnad av väg eller järnväg) kanske man ändå måste vidta fasadisoleringsåtgärder. Det är då lämpligt att göra detta redan innan bygget kommer igång.

Flyttning av hyresgäster under kortare eller längre tid
Om ingen andra åtgärder är tillräckliga kan flyttning av hyresgästerna vara det enda lösningen. Byggherren betalar exempelvis, vid kortare arbeten, några hotellnätter, en vistelse på någon semesterort e d när t ex spontningen sker alldeles utanför fastigheten. Ibland kan det vara fråga om stomarbeten i fastigheten under längre tid och provisoriska bostäder måste ordnas.

Sänkt hyra för hyresgäst
Sänkning av hyran påverkar störningen på två sätt. Dels kan det vara lättare att stå ut med visst buller när det ger en viss ekonomisk fördel och dels är det då möjligt att med dessa pengar bo på annat håll under de mest bullriga perioderna. Detta är en åtgärd som kan tillgripas när man inte når tillräckligt långt med ljuddämpningsåtgärder.

3 RÄTTSFALL

Flera jurister som specialiserat sig på miljömål har tillfrågats om rättsfall för byggbuller. Dessa har gjort vissa undersökningar men inte funnit något rättsfall rörande buller från byggarbetsplatser i Sverige.

4 RIKTVÄRDEN OCH PRAXIS I SVERIGE

4.1 Lagar och bestämmelser

Hälsovårdsstadgan fastslår att erforderliga åtgärder skall vidtas för att motverka bl a buller i kommunen. En paragraf tar upp tvångsmedel.

Den lokala ordningsstadgan fungerar som ett komplement i olika kommuner.

Miljöskyddslagen (ML) tar endast upp externa bullerstörningar av icke tillfälligt slag, vilket innebär att buller från en ordinär byggarbetsplats normalt inte berörs. ML kan däremot tillämpas på stenkrossanläggningar, asfaltverk m.m.

Övriga författningar som kan tillämpas är t ex arbetarskyddslagen (bestämmelser till skydd för ohälsa i arbetet) och vägtrafikkungörelsen (gällande körsätt av tunga transporter).

4.2 Naturvårdsverkets riktvärden

Buller från byggarbetsplatser behandlas i Naturvårdsverkets publikation 1975:5/Socialstyrelsens råd och anvisningar nr 50 "buller från byggplatser". En tabell i denna skrift visas nedan.

Riktvärden för externt byggbuller angivna som ekvivalent ljudnivå i dB(A) i öppet fönster för dag, kväll resp natt

Lokal	Dag 07-18 utom lör-, sön- och helgdag	Kväll 18-22 samt lör-, sön- och helgdag 07-18	Natt 22-07
Industri	75	70	70
Kontor	70	65	-
Bostäder	60	50	45

Om byggverksamheten pågår sammanlagt mindre än en månad tillåts dag- och kvällstid en höjning med 10 dB(A). Vid högst sex månader tillåts dag- och kvällstid en höjning med 5 dB(A).

Momentana ljud får nattetid inte överstiga gränsvärdena med mer än 10 dB(A).

Ovanstående tabell redovisar alltså inga absoluta krav. Ljudnivåerna kan justeras uppåt om särskilda skäl föreligger, t ex i tätorter.

4.3 Stockholms miljövaltnings bedömning

Till grund för Stockholms stads miljöförvaltnings bedömningar ligger miljöskyddslagen och den lokala ordningsstadgan.

Kortfattat gäller att omfattningen av miljöförvaltningen åläggande enligt miljöskyddslagen, för exempelvis byggbuller, skall bedömas utgående från vad som är "tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt" och "med beaktande av såväl allmänna som enskilda intressen".

I Stockholms stads lokala ordningsstadga anges: "Arbete som förorsakar störande buller såsom stenkrossning, pålning, nitning och dylikt, får ej utan poliskammarens tillstånd äga rum mellan klockan 22.00 och klockan 06.00."

Stockholms stads miljöförvaltning tillämpas normalt Naturvårdsverkets riktvärden utom vad gäller arbeten typ spontning, pålning, bergborrning etc. Sker denna senare verksamhet endast dagtid anges inga begränsningar avseende högsta ljudnivå.

4.4 Göteborgs miljöförvaltnings bedömning

Göteborgs miljöförvaltning arbetar efter Naturvårdsverkets riktlinjer så långt det är möjligt. Göteborgs lokala ordningsstadga kräver polistillstånd då byggnadsarbeten skall utföras efter kl 19 på kvällen eller före 07 på morgonen.

Miljöförvaltningen granskar ett urval av de bygglov som söks, och bedömer redan på det stadiet byggplatsbullret. I övrigt arbetar man med de problem som dyker upp via klagomål och söker förlikning.

4.5 Malmös miljöförvaltnings bedömning

Malmö miljöförvaltning följer också Naturvårdsverkets riktlinjer så långt det är möjligt. Man har en lokal ordningsstadga som kräver polistillstånd för alla slags byggnadsarbeten innan kl 07 på morgonen och efter kl 20 på kvällen. Praxis är att undvika arbeten under helg. Dispens kan dock medges från miljöförvaltningen.

4.6 Erfarenhet från olika projekt

Vid bedömning av buller från byggverksamhet bör både luft- och stomljud beaktas. Lämpliga riktvärden bedöms därvid ofta utgående från:

* den tid på dygnet arbeten sker
* möjligheten att begränsa bullret samt typ av verksamhet
* kategori av hyresgäster i aktuella byggnader.

I andra liknande projekt har följande riktvärden diskuterats vid bedömningen av eventuella åtgärder:

Ombyggnad av bostadshus
Ljudnivå inomhus på grund av stomljud från byggverksamhet under dagtid (07-18): 45 dB(A)

Nybyggnad av järnvägstunnel i centralt läge
Ljudnivå mätt i öppet fönster från byggverksamhet:

dagtid (07-18):	80 dB(A) vid spontning etc 75 dB(A) vid övrig verksamhet.
kväll (18-22):	55 dB(A)
natt (22-07):	45 dB(A)

Man kontrollerade att entreprenören höll tiderna enligt ovan, men kontroller av ljudnivåer gjordes ej.

Nybyggnation av trafiktunnel i berg
Ljudnivån inomhus i vårdbyggnad på grund av bergborrning högst 35 dB(A) i vårdrum och 40-45 dB(A) i kontor.

Utbyggnad av järnvägsspår i centralt läge
Följande riktvärden föreslogs för högsta ljudnivå inomhus med stängda fönster i bostäder och kontor. Vid högre nivåer föreslogs att någon form av åtgärd diskuteras.

Helgfri må-fr klockan 07-18	45 dB(A)
Helgfri må-fr klockan 18-22	35 dB(A)
Natt 22-07 samt lördag och helgdag	25 dB(A)

För verksamhet med begränsad varaktighet, högst 1-2 månader, exempelvis spontslagning, pålning, bergborrning etc, tilläts 10 dB högre värden.

Vid enstaka kortvariga händelser, högst 5 minuter per timme, kunde upp till 15 dB(A) högre nivåer accepteras. Detta riktvärde var tillämpligt i samband med exempelvis ett antal passager av tunga transporter.

En kravtext som reglerar byggbullret planerades införas för de olika entreprenaderna. Vidare föreslogs någon form av kontrollplan, utgående från de åtgärder som planerades.

Om- och tillbyggnad i centralt läge
Byggarbetsplatsen låg centralt, omgiven av bostadshus. I projektet förekom diskussioner om när byggnadsarbetena kunde starta på morgonen. Miljöförvaltningen hävdade med stöd av Naturvårdsverkets riktlinjer att arbetena inte skulle påbörjas före kl 07, medan byggnadsarbetarnas fackförbund hävdade att man ville starta redan kl 06. Resultatet blev en kompromiss; icke bullerstörande arbeten kunde påbörjas kl 06. Detta kontrollerades av miljöförvaltningen.

Ny väg och vägbro nära bostäder
I detta projekt förekom schaktning och sprängning kvällstid p g a att man inte skulle störa befintlig spårtrafik som passerade under dagtid. Entreprenören fick tillstånd av miljöförvaltningen och hyresgästerna reagerade på bullret. Tvisten löstes genom förlikning, då byggherren gjorde bullerdämpande åtgärder på byggarbetsplatsen för 10 % av projektets totala kostnad och hyresvärden betalade en månadshyra åt hyresgästerna.

Nybyggnad av bostäder nära befintliga bostäder
Kontrollprogram upprättades i detta projekt i avsikt att kontrollera att ljudkraven enligt Naturvårdsverket ej överskreds vid den kringliggande bostadsbebyggelsen. Mätning utfördes i tre punkter på fasad (och korrigerade sedan till mätning i öppet fönster). Mätningen gjordes under dagtid slumpmässigt av ljudkonsult utan förvarning.

Den ekvivalenta ljudnivån låg oftast mellan 55 och 60 dB(A). Högre ekvivalent ljudnivå än 60 dB(A) uppmättes ett fåtal gånger, då i samband med hantering av stålbalkar och sirénsignal från kran. De maximala ljudnivåerna varierade från 69 - 83 dB(A) vid olika tidpunkter. Kontrollmätningarna gjordes under en timme, och avståndet till aktiviteterna på byggarbetsplatsen var alltifrån 30 till 150 meter.

Tillbyggnad av bostäder i centralt läge
I detta projekt arbetade man efter de tidsgränser som Naturvårdsverket anger. Verksamhet fick endast ske kl 07 - 18.

5 RIKTVÄRDEN I ANDRA LÄNDER

5.1 EG

I EG-länderna gäller ett antal Council Directives enligt nedan:

* 79/113/EEC: On the approximation of the Member States relating to the determination of the noise emission of construction plant and equipment

* 84/532/EEC: On the approximation of the laws of the Member States relating to common provisions for construction plant and equipment

* 84/533/EEC: On the approximation of the Member States relating to the permissible sound power level of compressors

* 84/534/EEC: On the approximation of the Member States relating to the permissible sound power level of towe cranes

* 84/535/EEC: On the approximation of the Member States relating to the permissible sound power level of welding generators

* 84/536/EEC: On the approximation of the Member States relating to the permissible sound power level of power generators

* 84/537/EEC: On the approximation of the Member States relating to the permissible sound power level of powered hand-held concrete breakers and picks

* 86/662/EEC: On the limitation of noise emitted by hydralic excavators, rope-operated excavators, dozers, loaders and excavator-loaders. Anm. Här finns ett tillägg kallat 89/514/EEC.

Alla Council Directives ovan behandlar ljud**effekt**mätningar, typgodkännande samt vilken ljudeffektnivå som är högsta tillåtna för olika maskintyper. Maskin ska också märkas med en symbol. Direktiven gäller minst till 1995. Dessutom gäller det s k Maskinsäkerhetsdirektivet (89/392/EEC samt 91/368/EEC) där man säger att maskiner måste konstrueras så att hörselskaderisken minimeras, och att man ska ta hänsyn till teknisk utveckling i fråga om ljuddämpning framförallt vid källan.

5.2 Norge

I Forskrifter om begrensning av stoy (1) anges gränser för tillåten ljudnivå från byggnads- och anläggningsverksamhet i Oslo.[1)2)] Se tabell nedan:

	Årstid Sommar 16/5-15/9 Vinter 16/9-15/5	Dag 06-18 L_{ekv}	Kväll 18-22 L_{ekv}	Natt 22-06 L_{max}
Bostäder[3)]	Sommar	70	65	55
	Vinter	70	65	60
Sjukhus	Sommar	50	50	Förbud mot
	Vinter	55	55	bullrande
				verksamhet
Skolor[4)]	Sommar	60	60	Ingen
	Vinter	65	65	gräns
Kontor, affärer, industri	Hela året	70	Ingen gräns	Ingen gräns

[1)] Tabellen gäller ej impulsljud
[2)] För kortvariga arbeten på dagtid görs följande korrigeringar: För arbeten som pågår kortare tid än en vecka kan 5 dB(A) högre värden tillåtas. För arbeten som pågår kortare tid än två timmar per dag kan 5 dB(A) högre värden tillåtas. Om arbetena pågår under kväll eller natt kan korrigeringarna ovan ej tillämpas.
[3)] I bostadsområden får bullrande byggverksamhet inte förekomma mellan kl 23 och 01. Denna period kallas "stilla period", och är för många en insomnandetid.
[4)] För skolor finns inga restriktioner i samband med lov.

Ljud av typen slående hammare anses vara 5 dB(A) mer störande än det mätta värdet. Arbeten som orsakar impulsljud (t ex sprängning, fallhejare m m) får ej företas i de områden under de tider som har ljudnivåbegränsningar i tabellen ovan. Undantag kan medges av Helserådet.

Alla ljudnivåer ovan avser ljudnivåmätningar antingen 0,5 m framför ett öppet fönster eller 3,5 - 4 m framför fasad
1,3 - 1,5 m ovan mark. Mätningen ska utföras med integrationstid "Fast".

Helserådet medger dispenser t ex om arbetet av olika skäl måste utföras under viss tid på dygnet.

Dispens kan också ges då bakgrundsnivån är så hög att gränsvärdena i tabellen ovan ej är tillämpliga. I sådana fall kan Oslo helseråd tillåta ljudnivåer 5 dB(A) över bakgrundsnivån.

5.3 Danmark

Danmark har inga riktvärden gällande för enbart byggplatsbuller. Däremot finns generella riktlinjer (vägledande gränsvärden) för bullerimmission från verksamheter i Vejledning fra miljostyrelsen (2). Nedan återges delar av en tabell ur denna referens.

Område	Mån-fre 07-18 Lör 07-14	Mån-fre 18-22 Lör 14-22 Sön 07-22	Alla dagar 22-07
1.Affärs- och industri-område	70	70	70
2.Affärs- och industri-område med förbud mot störande verksamhet	60	60	60
3.Blandat affärs- och bostadsområde	55	45	40
4.Flerfamiljs-hus	50	45	40
5.Småhusområde	45	40	35
6.Fritidshus och rekreations-område	40	35	35

Angivna ljudnivåer är högsta rekommenderade ekvivalenta ljudnivåer i dB(A).

Kontrollmätningar görs utomhus, 1,5 meter över mark, i fritt fält. Ett tillägg på 5 dB(A) ska göras om bullret är av impulsartad karaktär eller om det innehåller hörbara toner.

I vissa fall betraktas tiden mellan klockan 06 och 07 som dagtid. Dock måste de kringboende ges möjlighet till minst 8 timmars ostörd sömn.

Riktvärden för maximal ljudnivå nattetid enligt nedan:

Område	Natt 22-07
1 och 2	-
3	55
4	55
5	50
6	50
7 och 8	-

Riktvärden för högsta maximala ljudnivå inomhus är högst 40 dB(A) nattetid i bostäder.

Riktvärden för de ekvivalenta ljudnivåerna i dB(A) inomhus redovisas nedan:

Användning	Dag och kväll 07-22	Natt 22-07
Verksamhet	50	50
Kontor	40	40
Bostäder	30	25

5.4 Finland

I Finland arbetar man efter den 5 år gamla bullerbekämpningslagen, som innehåller Allmänna riktlinjer. Dessa avser framförallt trafikbuller och externt industribuller, men tilllämpas även för byggbuller. Enligt bullerbekämpningslagen har byggaren en anmälningsskyldighet gentemot den lokala kommunen. Olika kommuner kan ha olika lokala riktlinjer.

De allmänna riktlinjerna innehåller bl a högsta rekommenderade ekvivalenta ljudnivå för dag respektive natt i bostäder. Någon rekommendation avseende maximal ljudnivå inomhus nattetid finns f n ej.

1992 kom Statsrådets beslut om riktvärden för bullernivå (3). Där sägs att "i bostadsområden, rekreationsområden i tätorter eller dess omedelbara närhet och i områden avsedda för vårdinrättningar eller läroanstalter bör bullernivån utomhus under dagen (kl 7-22) inte överstiga riktvärdet 55 dB för den A-vägda ekvivalentnivån ($L_{A,eq}$), nattetid (kl 22-7) inte riktvärdet 50 dB. I nya bostadsområden tillämpas emellertid riktvärdet 45 dB nattetid." Beträffande inomhusvärden sägs "i bostadsrum, patientrum och inkvarteringsrum bör den bullernivå som förorsakas av buller utifrån under dagen (kl 7-22) underskrida riktvärdet 35 dB för den A-vägda ekvivalentnivån ($L_{A,eq}$), under natten (kl 22-7) riktvärdet 30 dB." Man kräver en addering av mät- eller beräkningsvärdet med 5 dB om ljudet till sin karaktär är slagartat eller smalbandigt.

5.5 Tyskland

1965 kom en förordning i Nordrhein-Westfalen som begränsade ljudnivåerna från byggmaskiner i tätbebyggelse till 75 dB(A) på 7 meters avstånd. Mätningen skall ske vid tomgång och efter anvisad metod.

1989 kom bedömningsgrunder för buller i grannskapet VDI 3723 (4).

5.6 Schweiz

I Schweiz har förslag till riktvärden för högsta tillåtna byggbullernivåer givits som vägledning till kommunerna. Riktvärdena är differentierade i avseende på bebyggelsetyp och längden av byggtiden.

Se tabell från Lärmbekämpfung im Baubetrieb (5) nedan:

Zon	Högsta tillåtna värde i dB(A) I Byggarbeten som pågår mindre än 2 månad	II Byggarbeten som pågår 1-6 mån	III Byggarbeten som pågår mer än 6 mån
Sjukhuszon	70	65	60
Lugn bostads- och skolzon	75	70	65
Blandzon och affärszon	85	85	75
Industri- och huvudvägzon	90	85	80

Värdena gäller för mätning i öppet fönster i närmast belägna hus.

I flera större schweiziska städer har polisen avdelat särskild personal som enbart kontrollerar byggbuller. Det är inte ovanligt att byggplatser stängs; 1966 stängdes 81 byggplatser i Zurich temporärt tills dess att bullerskyddsåtgärder vidtagits.

5.7 Frankrike

I Frankrike finns inga immissionsnormer beträffande byggbuller. Däremot finns krav på maximal ljudeffektnivå från bullrande maskiner som används på byggarbetsplatsen. Dessa maskiner - t ex kranar, kompressorer, kraftaggregat, traktorer m m - erhåller ett certifikat, som medger att maskinen får användas.

5.8 USA

Enligt Noise Ordinance, San Francisco (6) sägs att man ej får höja ljudnivån med mer än 5 dB(A) över bakgrundsnivån på närmsta granntomt mellan kl 20 och 07. Stationära maskinella anordningar får ej bullra mer än 50 dB(A) nattetid och 55 dB(A) dagtid. Här avses maximal ljudnivå på 30 m avstånd.

6 FÖRSLAG TILL HANDLINGSPROGRAM

För alla typer av bygg- och anläggningsarbeten och annan likartad verksamhet skall åtgärder vidtagas för att begränsa bullerstörningarna till omgivningen. Hur dessa frågor skall hanteras anges nedan.

A ANSVAR

Ansvaret för bullerfrågorna inför myndigheterna åligger alltid byggherren. Han kan naturligtvis i avtal överföra del av ansvaret till annan part.

B VAL AV MASKINER OCH METODER

Vid all verksamhet får endast maskiner som typgodkänts med avseende på låg ljudnivå användas. Vidare, om flera metoder för att utföra arbetet finns, skall, om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt, den metod som ger lägsta buller väljas.

C FÖRVÄNTADE BULLERNIVÅER

För objekt som kräver miljökonsekvensbeskrivning skall alltid förväntade bullernivåer från byggverksamheten etc redovisas i denna.

Senast i samband med bygglovs- eller annan jämförbar ansökan skall förväntade bullernivåer, tidplaner etc redovisas.

D BEDÖMNINGSGRUNDER

Beroende på förväntade ljudnivåer och verksamhetens tidsbegränsningar kan bedömningen ske enligt tre principer.

D.1 GRUNDVÄRDEN

Om den förväntade bullernivån vid angränsande byggnader ej överstiger värdena enligt tabell 1 behöver inga ytterligare åtgärder enligt punkt 3 och 5 vidtas.

TABELL 1

Grundvärden för externt byggbuller utomhus, dB(A)

	07-18	18-22 (08-16)	Övrig tid
Kontor	70	70	70
Bostäder	60	50	45
Vårdlokaler	60	50	45
Skolor	60	60	70

08-18 Helgfri vardag klockan 08-18
(08-16) Dag före sön- och helgdag klockan 08-16

Samtliga värden avser ekvivalent ljudnivå mätt på uteplatser eller 2 m framför fönster.

Den momentana ljudnivån får vid bostäder, vårdlokaler etc inte överstiga 55 dB(A) klockan 21-06.

D.2 AVSTEGSFALL

Om bullernivån förväntas överstiga värdena enligt 3.1 skall andra lämpliga gränsvärden fastställas av miljöförvaltningen i samråd med byggherren, bullerdämpande åtgärder vidtas samt kontrollplan upprättas. Exempel på riktvärden ges i tabell 2.

TABELL 2

Riktvärden för byggbuller inomhus, dB(A)

	07-18 (07-16)	18-21	Övrig tid
Kontor	45	45	
Bostäder	45	35	25
Vårdlokaler	45	35	25
Skolor	40		

08-18 Helgfri vardag klockan 08-18
(08-16) Dag före sön- och helgdag klockan 08-16

För verksamhet med begränsad varaktighet, högst 1-2 månader, spontning, pålning etc, kan 5 dB högre värden tillåtas.

Vid enstaka kortvariga händelser, högst 5 minuter per timme, kan ytterligare upp till 10 dB(A) högre nivåer accepteras.

Samtliga värden avser ekvivalent ljudnivå mätt inomhus med stängda fönster.

Den momentana ljudnivån får i bostäder, vårdlokaler etc inte överstiga 45 dB(A) klockan 21-06.

D.3 ÖVRIGA FALL

Vid byggnation i främst centrala lägen och speciellt vid om- och tillbyggnader kan även gränsvärden enligt det "måttliga avstegsfallet" vara omöjliga att innehålla. I dessa fall måste noggranna beräkningar göras och en serie åtgärder vidtas, exempelvis:

Byte av arbetsmetod
Ändrade arbetsmetoder skall alltid övervägas som en åtgärd för att minska bullerbelastningen.

Avskärmning/inbyggnad av bullrig utrustning/verksamhet
Genom att planera verksamheten med hänsyn till buller kan i många fall den byggnad eller anläggning som uppförs utgöra bullerskydd under åtminstone någon tid. Vidare kan speciellt bullrande arbetsmoment. bergborrning, pålning, spontning etc, avskärmas eller byggas in.

Tidsbegränsning av viss verksamhet
Vissa arbetsmoment exempelvis bilning, spontning, pålning, bergborrning etc är trots bullerdämpande åtgärder svåra att få så tysta att rimliga gränsvärden kan innehållas. En metod att minska störningarna kan då vara att exempelvis i bostäder begränsa tiden för arbetet. Lämplig tidsbegränsning är därvid beroende på typ av fastighet, hyresgästernas vanor etc.

Vid ombyggnad av kontorshus kan arbete kvälls- och nattetid vara ett alternativ medan i bostäder tidsbegränsningen 08-16 kan medföra mindre störningar.

Förstärkning av byggnadens ljudisolering mot yttre buller
Genom att temporärt eller permanent förstärka byggnaders isolering mot yttre buller kan uppställda gränsvärden inomhus lättare innehållas.

Genom exempelvis byte från äldre standardfönster till fönster med hög ljudisolering kan nivån inomhus sänkas med upp till 20 dB. Eventuella uteluftsdon måste därvid beaktas.

I vissa situationer kan kanske även temporära förstärkningar tänkas.

Sänkt hyra
Sänkt hyra minskar inte bullret men på detta sättet får de boende en viss möjlighet att tillbringa den bullriga delen av dagen på annat håll. Exempelvis kan därvid en skiftarbetare sova under dagtid på annat håll.

Flyttning av hyresgäster till annan bostad för viss tid
Beroende på arbetets längd kan hyresgästerna erbjudas möjligheten till annan bostad, utan att egentligen flytta, under viss tid. Denna andra "bostad" kan vara ett hotell, närliggande eller på någon semesterort e d.

Evakuering av hyresgäster
Vid långvarig byggnation som även innebär andra störningar än buller kan evakuering vara enda lösningen.

E INFORMATION

Många störningar och klagomål kan undvikas genom att i god tid informera de kringboende om verksamheten och de störningar som kan uppstå.

Information till de kringboende skall alltid ske om arbetet förväntas ge högre bullernivåer än 3.1 ovan i minst följande omfattning:

* Minst 2 veckor innan arbetena påbörjas skall allmän in-formation ges. Härvid anges typ av arbeten, förväntade störningar, tidplaner, speciellt bullrande arbetsmoment, förväntade ljudnivåer etc.
* Senast dagen före vissa speciellt bullrande arbetsmoment skall ytterligare information om detta ges.

F KONTROLLPLAN

Kontroll av att beslutade gränsvärden för buller, tidplaner etc innehålls skall ske efter en av miljöförvaltningen godkänd plan. Kontrollplanen skall innehålla:

* mätinstans (ackrediterad)
* mätpunkter, antal och läge
* mätfrekvens
* rapporteringsvägar
* åtgärdsgång vid för höga bullernivåer.

Normalt räcker det att mätningarna utförs stickprovsvis i några av mätpunkterna per mättillfälle. Minst en mätning per vecka bör utföras.

7 REFERENSER

(1) Oslo helseråd: Forskrifter om begrensning av stoy, 1973
(2) Miljostyrelsen: Ekstern stoj fra virksomheder, vejledning nr 5, 1984
(3) Statsrådet: Beslut om riktvärden för bullernivå, 993/92, Helsingfors 1992
(4) VDI 3723 Bl 2 E: Kennzeichnung von Geräuschimmissionen;
Erläuterung van Begriffen zur Beurteil ung von Arbeitslärm in der Nachbar schaft, 09.89
(5) Schweiz: Lärmbekämpfung im Baubetrieb
(6) San Francisco: Noise Ordinance no 274-72, 1972

Stockholm 1993-05-13
DNV INGEMANSSON AB
Stockholmskontoret

Leif Åkerlöf

Tekniska aspekter på bullret som arbetsmiljöproblem

Hans Elvhammar
DNV Ingemansson AB
ABC-Husen, 217 61 Malmö

Innehåll

Inledning		3
1.	Bullrets påverkan på människan	4
2.	Branscharbetsgrupper	7
3.	Teknikutveckling i framtiden	11
4.	Ekonomiska sidoeffekter vid bullerbekämpning	13
5.	Bullerdämpningskostnader påverkas av tidsplaneringen	15
6.	Positiva arbetsmiljöeffekter av bullerbekämpning	16
7.	Förutsättningarna att åstadkomma ekvivalenta ljudnivån 75 dBA	18
8.	Mätning av bullerexposition	24

Tekniska aspekter på bullret som arbetsmiljöproblem.

Inledning

Buller är ett betydande arbetsmiljöproblem på många arbetsplatser. Trots att kunskaperna om bullrets skadliga inverkan ökat under de senaste årtiondena, och omfattande satsningar skett på bullerbekämpande åtgärder är hörselskador vanliga i arbetslivet.

Bullerskada är en av de vanligaste arbetssjukdomarna och avsevärda ersättningsbelopp utbetalas via arbetsskadeförsäkringar. Dessa belopp har ökat kraftigt på senare år.

Främst hos hörselskador är högre än förväntat inom flera yrkesgrupper, ca 3000 ersättningsberättigade tillkommer varje år.

Intill 1991 hade Trygghetsförsäkringar AMF utbetalat 1.4 Miljarder kronor till ca 66.000 personer (ej statligt anställd personal) i engångsersättning, trots avsevärd eftersläpning i bedömningen av ansökningsärendena. Som jämförelse: år 1980 var beloppet 59 Mkr.

Exempel på ersättningsbelopp: För en person med 50 års ålder var år 1991 engångsbeloppet 22.000 kr vid 5% invaliditet till följd av hörselskada, 43.000 kr vid 10% invaliditet.

Samhällets kostnader för invaliditetslivräntor och rehabilitering uppgår till ca 600 Mkr per år i den del som orsakas av bullerskador.

Som jämförelse kan nämnas att "friskvården", dvs anskaffningen av hörselskydd (årligen ca 300.000 - 400.000 kåpor och 18-20 miljoner proppar) samt fondernas forsknings- och utvecklingsanslag på buller/hörselområdet årligen uppgår till ca 60 Mkr tillsammans (Källa: Börje Tillbom, Trygghetsförsäkringar AMF).

Frekvensen hörselskador är fortfarande hög inom flera yrkeskategorier, ca 3000 ersättningsberättigade arbetstagare tillkommer varje år.

I många av de branschprogram - upprättade av parterna i resp. bransch - som publicerades i samband med Arbetslivsfondens start 1990 - 1991 anges buller vara ett av de prioriterade åtgärdsom-

rådena. I några branscher, ex.vis träbearbetningsindustrin, är arbetsplatser med hörselskadande bullernivåer vanligt förekommande.

Förutom att buller på arbetsplatsen kan orsaka hörselskador, kan det även ha andra negativa effekter av fysiologisk, social och psykologisk karaktär. Under senare år har sambandet mellan störande ljud och dess effekt på arbetsprestation, vakenhet, maskering av samtal och olycksfallsrisker diskuterats alltmera. Sådana problemställningar kan ex.vis vara aktuella i manöverrum, fordonshytter och liknande verksamhet, där det ställs stora krav på uppmärksamhet och noggrannhet.

Det är svårt att samtala för 350.000 - 400.000 anställda inom industrin till följd av hög bullernivå på arbetsplatsen. (Källa: Alf Ivarsson, Lunds Universitet).

De negativa effekterna har visat sig kunna bli förstärkta då buller förekommer tillsammans med andra miljöstörningar. Både hörselskadliga bullernivåer och störande buller med lägre nivå kan således utgöra ett arbetsmiljöproblem.

Det är därför nödvändigt med fortsatta satsningar inom bullerbekämpningsområdet i syfte att skapa arbetsplatser med god ljudmiljö och att förhindra uppkomsten av hörselskador.

Sådana insatser faller inom områdena
* förbättring av den fysiska arbetsmiljön
* teknikutveckling
* minskad bullerexposition (arbetsorganisation och rehabilitering).

1. Bullrets påverkan på människan

Vår samhällsutveckling ger alltfler bullerkällor och högre bullernivåer. Inom industrin är bullret fortfarande ett av de vanligaste och mest upplevda arbetsmiljöproblemen - trots omfattande insatser för att bekämpa bullret.

Också på många andra arbetsplatser är bullret ofta en besvärande faktor: i storkök och diskrum, skollokaler, kontor, motorfordonshytter etc.

Det **hörbara** ljudet påverkar människan både fysiskt, psykiskt och socialt. Bullret på arbetsplatsen kan, som nämnts:

* skada hörseln
* hindra samtal
* vara störande och irriterande.

Hörselskadande buller
Risken för hörselskada ökar med **ljudstyrkan** och den **tid** man vistas i bullret, men risken beror också på ljudets karaktär. Känsligheten för buller är i hög grad individuell; vissa personer kan bli hörselskadade efter kort tid i buller. Andra kan arbeta lång tid, ibland ett helt arbetsliv, i mycket kraftigt buller utan att få påtaglig hörselskada.

ISO (Internat. Stand. Org.) har angett följande tendens till hörselskada (hörselnedsättning) som en följd av vistelse i buller (35 års arbete):

Ekvivalent ljudnivå dBA	Förhöjd risk för uppkomst av hörselskada i %
80	0
85	9
90	20
95	32
100	44
105	61

Man anser idag att nollriskvärdet troligen ligger vid 70 - 75 dBA. Tyvärr kan de känsligaste individerna endast spåras genom återkommande hörselundersökningar under en följd av år, då en begynnande hörselskada kan iakttagas.

Hörselskaderiskgränsen - som är 85 dBA i bl.a Sverige men 90 dBA i vissa andra länder (ex USA) - speglar främst olika synsätt på

vad som är rimligt att uppnå på arbetsplatserna, och är ingen enbart medicinskt betingad gräns.

Samtalshindrande buller
Buller kan försämra arbetseffektiviteten och trivseln genom att hindra eller försvåra samtal på arbetsplatsen. Det kan också vara en olycksfallsrisk genom att varningssignaler eller varningsrop inte når fram. För att samtal skall kunna föras på normalt avstånd bör ljudnivån i en arbetslokal vara högst 65 - 70 dBA. Det är svårt att föra ett telefonsamtal då omgivningsbullret överskrider ca 70 dBA.

Komfortstörande buller
Buller är ofta tröttande, irriterande och störande i arbetet. Det går inte att fastställa någon generell gräns mellan störande och inte störande buller. Bedömningen av ett buller beror i hög grad på den situation där det uppträder (ex.vis arbetets art), samt den utsatta personens inställning till bullret och bullerkällan - åtminstone vid "måttlig" styrka.

Erfarenhetsmässigt kan dock anges riktvärden för högsta bullernivåer som normalt kan accepteras på olika slag av arbetsplatser.

Infraljud
Det finns också ljud, under ca 20 Hz, som är ohörbart. Mycket lågfrekventa toner kan emellertid förnimmas om de är tillräckligt starka, s k infraljud. Detta har uppmärksammats och studerats på senare år men trots detta är kunskaperna ofullständiga om hur det påverkar människan. Man vet dock att starka infraljud (ljudnivå över ca 100 dB med frekvenser under ca 10 Hz) kan ge upphov till bl a huvudvärk och yrsel.

Den vanligaste orsaken till infraljud är ventilationssystem (fläktar, virvelbildningar i luftströmningen) samt förbrännings- och urladdningsfenomen.

Ultraljud
Ljud med frekvenser över ca 20.000 Hz, ultraljud, är inte heller hörbart. Det har, vad man vet, inte någon väsentlig inverkan på människokroppen vid måttlig styrka. Mycket kraftiga ultraljud träffar mycket sällan människan eftersom ultraljud dämpas starkt vid utbredningen genom luften. Om det skulle träffa ögonen kan det dock leda till att vätskan i ögonlinsen stelnar. Undertoner till ultra-

ljudet måste emellertid observeras eftersom de kan medföra hörselskaderisk.

Ultraljud skapas normalt av speciella ultraljudsgivare och förekommer i avfettningsanläggningar för maskinkomponenter, för värmeförslutning av förpackningar och ett fåtal andra industriella tillämpningar samt för medicinskt bruk.

2. Branscharbetsgrupper

Verksamhet

Inom ett 10-tal industribranscher verkade - främst under 1970-talet - "arbetsgrupper mot buller", vilka hade till uppgift att utveckla arbetsmetoder och tekniska lösningar för att bekämpa arbetsplatsbullret. Dessa arbetsgrupper var samtliga organiserade med representanter från arbetsgivarsidan och fackförbund inom respektive bransch. Projektarbetena finansierades av Arbetsmiljöfonden och genomfördes under medverkan av flera akustikkonsultföretag.

Projekten omfattade till att börja med huvudsakligen lösning av enstaka dominerande och typiska bullerorsaker i resp. bransch, dvs man utförde förändringar och kompletteringar av maskiner/utrustning i befintliga anläggningar. I flera branscher användes detta tillvägagångssätt för att utforma "mönsterarbetsplatser", med syftet att visa andra företag inom branschområdet hur åtgärdsarbete kan bedrivas och vilka resultat som kan nås.

Främst hos akustikkonsulterna byggdes snart upp ett avsevärt kunnande om de förekommande maskintyperna och processerna inom respektive branschområde, speciella krav på maskintillsyn, hygien och andra funktionskrav samt praktiska erfarenheter av hur bullerdämpande åtgärder kunde utformas. Projekterfarenheterna publicerades kontinuerligt i "meddelanden" vilka distribuerades till bl a företagen inom aktuell bransch.

I några branscher deltog arbetsgrupperna så småningom också i den akustiska projekteringen av nya fabriker. Förutsättningarna och möjligheterna att genomföra effektiva insatser var då avsevärt större än i de gamla anläggningarna.

Vissa arbetsgrupper har medverkat i utvecklingen av tystare maskiner tillsammans med tillverkarna.

Livsmedel
Goda resultat erhölls bl a i mejeriet Arla Kallhäll, där ett systematiskt projekteringsarbete genomfördes. Exempelvis uppgick ljudnivån i förpackningshallen (intill mjölkförpackningsmaskinerna) i det ditintills tystaste mejeriet till 88-89 dBA, medan den i Kallhällmejeriet ligger vid ca 80 dBA. Genomgående är ljudnivåskillnaden ca 10 dBA; med andra ord den senare förpackningshallen är hälften så bullersam.

Verkstadsindustri
Inom verkstadsindustrin redovisades insatserna och resultaten från projektering och drift av en ny pressverkstad hos SKF Katrineholm. Genom utformning av en väl fungerande vibrationsisolering av excenterpressarna samt en genomarbetad - och av personalen godtagen - lösning av maskininbyggnader, erhölls mycket goda ljud- och vibrationsförhållanden i anläggningen.

I kommunikationsutrymmena utanför "pressbåsen" var ljudnivån ca 65 dBA, i bås med press i drift ca 90-95 dBA. All tillsyn av pressar, materialbyte etc skedde vid stoppad drift hos press.

Bullerdosmätningar visade att operatörernas bullerexposition uppgick till ekvivalent ljudnivå ca 70 dBA.

Pappersindustri
Kartongmaskinen KM7 vid Skoghallsverken projekterades med mycket stränga krav på ljudnivån i anläggningen. Såväl byggnadsåtgärder som maskinbullerdämpning (bl a i samband med maskinupphandlingsspecifikationer) har genomförts genom systematisk planering.

Resultatet är 5-19 dBA lägre ljudnivåer på manöverplan vid torkparti, Yankeecylinder, pope och rullmaskin, jämfört med äldre maskiner. Ljudnivåerna är ca 76 dBA framför torkparti, 73 dBA framför Yankeecylinder, 77 dBA vid pope och 84 dBA vid rullmaskinpulpet.

Erfarenheter
Teknik
Genomgående kan man konstatera att bullerbekämpningsresultaten i arbetsgruppernas projektarbeten varit goda och uppskattade av företagen. Full genomslagskraft av projekten för "mönsterarbetsplatser"

erhölls dock endast i de relativt få fall där insatserna styrdes av ett systematiskt och planmässigt genomfört åtgärdsprogram.

Intresset för att besöka dessa anläggningar liksom att ta del av och utnyttja de publicerade artiklarna har dock varit förvånansvärt blygsamt. Artiklarna har dock långsiktigt haft - och har fortfarande - stor betydelse, icke minst vid utbildningen av ingenjörer och annan personal som arbetar med bullerfrågor.

Arbetsgrupperna har haft mycket stor betydelse för utvecklingen av konkreta och realistiska metoder att bekämpa bullret på industriarbetsplatser.

Vissa lösningar har fått sådan genomslagskraft på marknaden att bullret inte längre är något problem. Det gäller exempelvis tjut från sugvalsar i pappersmaskiner, som eliminerats sedan branschgruppen angivit en metod att åstadkomma valsar med "tyst" borrmönster. Idag är alla maskiner försedda med sådana valsar.

Organisation
Tillgång till tekniska lösningar är inte ensamt en garanti för att man skapar tystare arbetsplatser ens vid nybyggnad av en fabrik.

Branschgruppsverksamheten har dock medverkat till att det i Sverige finns en mycket medveten strävan i de flesta företag att förbättra bullerförhållandena i de existerande anläggningarna och framförallt att åstadkomma en god miljö i de nya fabrikerna. Detta arbetsmiljöintresse har också spritt sig till arbetsplatser utanför industrin.

Emellertid har branscharbetsgrupperna i sin verksamhet ofta haft möjlighet att studera vad som hänt i "projektföretag" sedan projektet avslutats. Påfallande ofta har det fortsatta bullerbekämpningsarbetet avstannat och inte sällan har dessutom genomförda åtgärder förfallit i brist på tillsyn och underhåll.

Ex.

* Ljuddämpande huvar över maskiner har avlägsnats i samband med reparationsarbete och sedan inte satts tillbaka.
* Ljuddämpare för utströmmande tryckluft fungerar dåligt till följd av nedsmutsning, men görs ändå ej ren.
* Ljuddämpningseffekten hos maskinkapslingar spolieras genom att inspektionsluckor ej stängs. Luckorna upp-

levs hindrande i arbetet; man har ej lyckats ta full hänsyn till personalens arbetsuppgifter vid utformningen av bullerdämpningsinsatserna.

Man måste tolka detta så att den egna skyddsorganisationen i resp. företag inte - trots uppenbara behov - förmår initiera och administrera en långsiktig verksamhet. När den yttre drivkraften (arbetsgruppsprojektet) försvinner, upphör det aktiva miljöförbättringsintresset.

Självverksamhet - internkontroll
En viktig erfarenhet från många projekt - såväl i arbetsgruppregi som drivna av enskilda företag - är alltså att det krävs en **självverksamhet** inom företagen, vilken syftar till en långsiktig och systematisk bullersanering på arbetsplatserna (respektive målsatt och systematiskt projektarbete vid nybyggnad). I självverksamheten måste aktivt delta personer på olika nivåer i företaget och den förutsätter engagemang, att det sker kunskapsuppbyggnad samt att företaget ställer resurser till förfogande.

Branschgruppen inom livsmedelsindustrin genomförde som sista projekt ett arbete hos AB Felix. Företagsledning och personalen i en produktionsavdelning medverkade till att bygga upp bullerbekämpning enligt självverksamhetsprincipen. Efter en start fylld av svårigheter, hade efter ca ett år skapats "självgående" aktiviteter med mycket goda resultat.

Projektet är redovisat i artikeln "Aktivt Arbetsmiljöarbete" i Buller-Livs nr 1/1990 (Livsmedelsbranschernas Arbetsmiljökommitté. Tel 08/762 60 00).

Detta arbete är till sin uppläggning mycket lika den "Internkontroll" enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift AFS 1992:6 (gäller från 1 januari 1993) som skall bedrivas i företagen. På sikt kan miljökontrollverksamhet enligt föreskriften tänkas leda till behövlig förbättring av självverksamheten i företagen.

Konsekvenser av bristande självverksamhet
Man kan emellertid konstatera att de flesta företag idag inte har någon självverksamhet av det beskrivna slaget. Därmed saknas ofta också såväl kompetens som resurser för att åstadkomma effektiva resultat.

Sådana brister kan inte snabbt rättas till i samband med ex.vis projekteringen av en ny anläggning. Även med de bästa avsikter att åstadkomma ett gott resultat från företagsledning och anlitade byggkonsulter, förmår man inte bedriva nödvändig, systematisk bullerprojektering. Resultatet ser vi alltför ofta i form av en ny fabrik med onödigt höga ljudnivåer. (Lösningen hade i de flesta fall varit att anlita en utomstående projekteringsvan akustikexpert).

3. Teknikutveckling i framtiden

Nedläggningen av arbetsgrupperna har i vissa branscher medfört en klar nedgång i den tekniska utvecklingen för att åstadkomma mindre bullersam produktionsutrustning och arbetsmetodik. Inom cellulosa- och pappersindustrin upphörde arbetsgruppens verksamhet 1978. Från branschhåll har påpekats att sedan dess i princip ingenting har skett för att utveckla tystare processer, samtidigt som höjda maskinhastigheter kontinuerligt drivit upp ljudalstringen.

Branschgrupperna har utan tvekan fungerat som pådrivande för att identifiera typiska branschbullerproblem och medverka till att utveckla lösningar, ofta i samarbete med maskinleverantörerna i Sverige eller utlandet. Målet har därvid varit att åstadkomma bästa möjliga resultat med rimliga medel, dvs att inte begränsa sig till nivån 85 dBA om det varit tekniskt och ekonomiskt möjligt att nå lägre nivåer.

Denna aktiva utvecklingspolitik i Sverige har avstannat i praktiskt taget alla industribranscher sedan arbetsgrupperna upphört.

Den framtida tekniska utvecklingen i Europa för att skapa tystare produktionsutrustning blir - liksom idag - sannolikt hårt styrd av EG Maskinsäkerhetsdirektiv (89/392/EEC) resp Arbetsmiljödirektiv (86/188/EEC). I nu gällande Arbetsmiljödirektiv anges att hörselskaderiskgränsen nås vid bullerexpositionen (dvs ekvivalent ljudnivå) 85 dBA samt att bullerbekämpande åtgärder skall vidtas om expositionen överskrider 90 dBA.

De svenska myndigheternas anpassning av våra bestämmelser (AFS 1992:10, Buller) till EG-direktiven har utnyttjat möjligheten att utfärda strängare arbetsplatsbestämmelser, dvs åtgärder som sänker expositionen under hörselskadegränsvärdets nivå, 85 dBA.

På senare tid (mars 1993) har kommit informationer från EG-kommissionen som tyder på att man avser att lägga fast expositionsvärdet 75 dBA som hörselskaderiskgräns - dvs ett huvudsakligen medicinskt grundat värde - inom en nära framtid. Det f.n. presenterade förslaget till nytt bullerdirektiv anger inte klart om detta kommer att medföra skärpta krav på bullerdämpande åtgärder mot maskiner och utrustning.

I nuvarande arbetsmiljödirektiv för buller 86/188/EEC anges att "tekniskt eller organisatoriskt program för att minska bullerexpositionen skall upprättas då expositionen överskrider 90 dBA". I det nya förslaget har detta värde sänkts till 85 dBA.

Det har tidigare framhållits att ett expositionsvärde kan reduceras både genom att vistelsetiden i bullret minskas och genom att ljudnivån hos bullret sänks (eller en kombination av båda insatserna). För att klara gränsvärdet 85 dBA kan man på det stora flertalet arbetsplatser fortfarande räkna med att det är tillräckligt med enklare automatiseringsinsatser för att begränsa operatörernas tid vid maskinerna samt komplettering med ljuddämpande skärmar, inbyggnader etc. Några genomgripande behov av om- eller nykonstruktion av maskiner eller utrustning blir således knappast generellt följden av att expositionsvärdet sänks från 90 dBA till 85 dBA.

EG Maskinsäkerhetsdirektiv kräver att maskintillverkaren redovisar maskinens bulleremission, dvs. primärt ekvivalenta ljudnivån, L_{Aeq} på operatörsplats:

Om $L_{Acq} < 70$ dBA skall detta anges
$L_{Aeq} > 70$ dBA skall värdet anges
$L_{Acq} > 85$ dBA skall även ljudeffektnivån anges

Enligt planerna byggs EG regelsystem ut så att föreskrifterna enligt Maskinsäkerhetsdirektiven blir mera detaljerade, t.ex. kommer de att specificera bullerkrav (mätplats; driftsförhållanden etc.) för enskilda maskintyper. Sättet att redovisa emissionsvärdena berörs dock ej tills vidare. Det finns därför skäl anta att expositionsgränsvärdet 85 dBA under en lång tid framöver blir vägledande för målsättningen när man inrättar nya arbetsplatser. För detta antagande talar också det faktum att utgångsläget (rådande bullernivåer på arbetsplatserna) även i de ledande EG-länderna generellt sett torde vara sämre än i Sverige. Som framhållits på

s. 16 ställer expositionsgränsvärdet 75 dBA långtgående krav på maskinbullerbekämpning, vilket i dominerande grad måste ske i form av ny teknik och grundläggande konstruktionsförändringar.

Det är alltså **osäkert** om EG-direktiven kommer att ge någon "draghjälp" när det gäller utvecklingen av tystare maskiner, så att en expositionsgräns motsvarande 75 dBA kan uppfyllas inom överblickbar framtid. En positiv faktor är emellertid Maskinsäkerhetsdirektivets nämnda krav på bullerdeklaration av maskiner, vilket kan bli ett konkurrenshöjande element som ev. leder till ökat bullerbekämpningsintresse hos maskintillverkarna.

EG regelsystem skall enligt planerna byggas ut att bli mera detaljerat - ex.vis att behandla bullerkrav för enskilda maskintyper. Det finns dock skäl anta att 85 dBA-gränsen under en lång framtid blir vägledande för målsättningen vid inrättandet av nya arbetsplatser, eftersom utgångsläget också i de ledande EG-länderna torde vara sämre än i Sverige.

Det är alltså osäkert om EG-direktiven kommer att ge någon "draghjälp" när det gäller utvecklingen av tystare maskiner, så att en expositionsgräns motsvarande 75 dBA kan uppfyllas. En positiv faktor är emellertid Maskinsäkerhetsdirektivets krav på bullerdeklaration av maskiner, vilket kan bli ett konkurrenshöjande element som ev. leder till ökat bullerbekämpningsintresse hos maskintillverkarna.

4. Ekonomiska sidoeffekter vid bullerbekämpning

Kostnaderna för bullerbekämpning framhålls ofta som ett väsentligt hinder för att genomföra åtgärder. Sådana direkta merkostnader kan ofta identifieras vid lösningar av typ maskininbyggnader, uppsättning av ljudabsorberande takbeklädnader etc.

Erfarenheten visar emellertid att man genom en smula systematik och tankearbete ofta kan sänka bullret och samtidigt till och med minska kostnaderna.

I många sammanhang orsakas bullret i maskinkonstruktioner av tekniskt ofullgångna lösningar, ex.vis att man måste använda bullrande blåsmunstycken för att hindra godset i en transportör att fastna. Tryckluft är kostsam att framställa; förbrukningen hos några munstycken kostar lätt 100-200 kr per dag. En ombyggnad av transportören med glidplåtar för några 1000-tal kr betalas snabbt av att man kan eliminera munstyckena och därmed också bullret.

Fläktar, pumpar, ventiler etc. i strömningstekniska applikationer ger ofta ljudproblem i onödan.

Ex 1. I en s.k. spiralbandsfrysare för djupfrysning av livsmedelsprodukter används axialfläktar för att cirkulera luften i frysarhöljet, vilket har dålig ljudisolering. Ljudnivån på arbetsplatser intill frysen är störande.

Första idén var att förbättra höljet, vilket dock skulle bli mycket dyrbart och opraktiskt. En studie visade att byte till en effektivare radialfläkt skulle sänka bullret 8-9 dBA (halva styrkan) och ge en kyltekniskt gynnsammare lösning.

Axialfläkten arbetade under ogynnsamma betingelser och hade mycket dålig verkningsgrad; radialfläkten gav minskad elförbrukning som betalade den dyrare fläkten på ca 1 år.

Ex 2. Processpumpar överdimensioneras i allmänhet och körs vid fullt driftsvarvtal. Det onödigt höga driftstrycket stryps bort med en reglerventil, som kan ge upphov till starkt buller.

Varvtalsreglering av pumpens elmotor är ett sätt att eliminera strypbehovet (och därmed **bullret**) och att sänka elförbrukningen. Den elektriska reglerutrustningen kostar emellertid ca 1000 kr pr kW motoreffekt, dvs ca 200.000 kr för "normal" 200 kW motor.

Med nuvarande elkostnader är reglerutrustningen inbesparad inom ca 1 år. Underhållskostnader för pump- och motorlager minskar också vid skonsammare drift.

Ex 3. Anläggningskostnaderna för pneumatisk transport av säd, träflis etc i rörsystem är relativt måttliga vid jämförelse med andra system.

Kostnaderna för driften samt effektiv ljuddämpning av blåsmaskinerna (ljudnivåer ca 110-120 dBA) och rörsystemet måste också inräknas, liksom underhållskostnaderna.

En långsiktig kalkyl ger ofta vid handen att ett väsentligt tystare gummi-transportband är ekonomiskt fördelaktigt, främst beroende på den väsentligt lägre elenergiförbrukningen.

5. Bullerdämpningskostnader påverkas av tidsplaneringen

All praktisk erfarenhet visar att extrakostnaderna för att åstadkomma tystare industriarbetsplatser nästan helt kan **elimineras** om åtgärderna planeras väl. Förutsättningarna är att nödvändiga insatser i form av arbete, material eller produktionsutrustning etc inordnas i företagets normala förändringsprocess. Detta gäller såväl ny- eller utbyggnad av en industri som arbetsmiljöförbättring i en befintlig anläggning.

Med detta avses att i god tid planerade och överenskomna insatser ofta kan samordnas med konstruktiva lösningar eller materialanskaffningar som betingas av förändringar i företagets produktion eller allmänna verksamhet. Extrakostnaderna för bullerbekämpning blir då små.

Sent vidtagna bullerminskande åtgärder ger å andra sidan ofta dåligt fungerande lösningar, som dessutom ger högre kostnader vilka inte kalkylerats in i totalbeloppet för förändringsarbetet. De ses därför som "höga extrakostnader för bullerbekämpning".

Erfarenheten från genomförda projekt är: vid nyprojektering av industrier där rätt tidsplanerad och systematisk bullerdämpning genomförts erhålls mycket gott resultat. Typisk kostnad är 0.5 - 1% av investeringsbeloppet (inkl yttre miljö). Några detaljexempel:

Ex 1. Yttertak hos industribyggnader utformas idag ofta med bärande korrugerad plåt och utvändig värmeisolering av mineralull med takpapptäckning. Genom att i ett tidigt stadium av projekteringen bestämma att den korrugerade plåten skall beställas med perforering används mineralullen både som värmeisoleringen och ljudabsorbent. Kostnaden blir bara ca 10% av kostnaden för ett separat ljudabsorberande undertak.

Ex 2. Ventilationsanläggningar som i god tid planerats med plats för fläktbullerdämpning i fläktrum och erforderliga ljuddämpare medtagna i entreprenadhandlingarna ger extrakostnader som är nära nog försumbara, ca 1-2% av anläggningens totalkostnad.

Åtgärder som beslutas först under montagetiden ger ofta otillräckligt resultat till följd av bristande utrymme för ljudfällor, olämpliga trumdragningar etc. Kostnaderna blir ändå mångfaldigt större.

Ex 3. Kontor, kontrollrum, personalutrymme etc som är sammanbyggda med produktionslokaler störs i allmänhet av stomburet ljud (vibrationer).

En genomgående fog i stommen för att skilja byggnadsdelarna, är normalt enkel att genomföra - om den medtagits på grundläggningsritningarna.

Kostnaderna för genomförandet är helt försumbara. Efterhjälpande åtgärder i störda lokaler är ineffektiva och **mycket** kostnadskrävande.

Ex 4. Många företag säger sig upphandla maskiner med "ljudgaranti". I praktiken visar det sig ofta att garantin ej är inskriven i köpekontrakt och ej knuten till någon regelrätt ljudspecifikation. Följderna blir i allmänhet dåligt resultat (hög ljudnivå) och dispyt om vem som skall bekosta efterhandsåtgärder.

Välplanerad maskinupphandling som innehåller ljuddiskussioner med leverantörer **före** kontraktskrivning, genomarbetade specifikationer och enhetlig ljudkontrollmetodik ger erfarenhetsmässigt bra lösningar m h t maskinfunktion, maskinpassning och underhåll samt ljuddämpning.

Kostnaderna för att erhålla låg ljudnivå kan med detta upphandlingsförfarande vanligen ej identifieras, dvs offertpriset från leverantören bedöms ej vara högre än det som förväntas för en icke ljuddämpad maskin.

6. Positiva arbetsmiljöeffekter av bullerbekämpning

Hög bullernivå på arbetsplatsen har som nämnts i avsnitt 1 negativ inverkan i flera avseenden. Det är idag en allmänt vedertagen uppfattning att bullernivåer kring 85 dBA inte innebär god arbetsmiljö i bullerhänseende. Bilden visar innebörden av olika ljudnivåer och in-

dikerar alltså att ljudnivåer omkring 70-75 dBA bör eftersträvas i produktionslokaler.

90 dBA	HÖRSELSKADERISK USA m fl
85 dBA	HÖRSELSKADERISK SVERIGE, EG-LÄNDER m fl
75 dBA	O RISK HÖRSELSKADA (?) GOD TALKOMMUNIKATION
65-70 dBA	TRIVSEL OCH KOMFORTNIVÅ
35-40 dBA	KONTOR. ARBETE SOM FORDRAR KONCENTRATION

Indikationer på vantrivsel resp. trivsel samt möjligheter för talkommunikation på arbetsplatsen är givetvis inte bara kopplade till bullerfrågorna. Många andra faktorer inverkar, men här ges några exempel där bullret varit avgörande.

Ex 1. En stor del av personalen i mejeriet Arla Kallhäll hade tidigare arbetat på ett äldre mejeri med 10-15 dBA högre ljudnivåer. Den spontana reaktionen efter en tid i det nya mejeriet var att kontakter mellan arbetskamraterna hade blivit betydligt bättre, eftersom det går att samtala ute i produktionsanläggningen. Man påpekade också att trötthetskänslan efter arbetsdagen hade minskat, sedan man slapp arbeta i öronbedövande buller.

Ex 2. För att nå stordriftsfördelar lades ett antal små charkfabriker ned och personalen samlades i en ny rationell styckningsanläggning med stor lokalvolym. Lång efterklangstid och buller från kontinuerligt löpande bandtransportörer har medfört stora problem att föra samtal trots att avståndet mellan närbelägna arbetsplatser endast är ett par meter. I de gamla anläggningarna fanns ej dessa problem.

Resultatet blev påtagligt minskad arbetstrivsel samt förmodligen ökad korttidsfrånvaro och personalomsättning. Efterhandsåtgärder har vidtagits för att sänka bullret från transportörer och annan utrustning.

Ex 3. Arbetsfrånvaro och personalomsättning i vissa delar av svensk industri var mycket hög under åren med god konjunktur.

För Verkstadsindustrin genomsnittligt gällde 11% sjukfrånvaro; personalomsättningen var i många stora företag uppemot 30-35% per år. Man har genom s k socialkalkyler i ett antal företag beräknat kostnaderna för dessa personalproblem och dessutom konstaterat att arbetsmiljöförbättrande insatser minskat problemen, genom höjd trivsel och ökad arbetsmotivation.

I ett begränsat antal fall har man haft underlag att "räkna hem" de ekonomiska vinsterna av sådana investeringar (Källa: Verkstäderna nr 13, 1988 "Bra miljö är lönsam").

När arbetsmarknaden åter är normal kan man förvänta sig att dessa frågor tas upp på allvar igen, eftersom rekryteringen av ungdom till industriarbetsplatser även i dagsläget försvåras av att arbetsmiljön betraktas som otillfredsställande.

7. Förutsättningarna att åstadkomma ekvivalenta ljudnivån 75 dBA

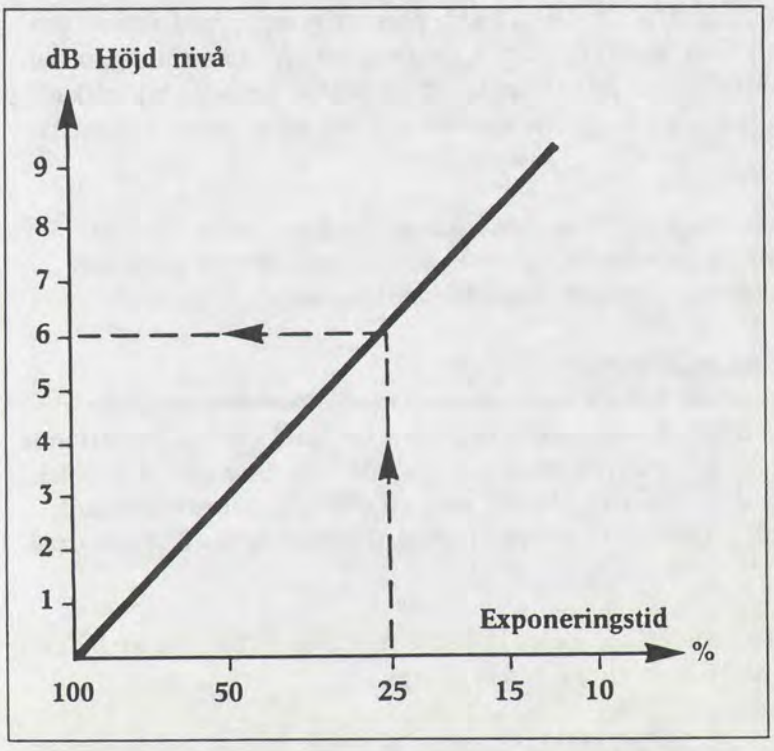
Det uppsatta målet att nedbringa **bullerexpositionen** på arbetsplatserna till 75 dBA, berör ett mycket stort antal arbetsplatser i landet. Det dominerande antalet platser finns dock inom tillverkningsindustrin med vitt skilda utgångslägen beträffande maskiner, tillverkningsprocesser och krav på maskinpassning.

Möjligheterna att realisera en bullerexposition av 75 dBA, måste baseras på en kombination av

* bullerbekämpning genom ändringar av produktionsmaskiner och processer
* låg bakgrundsnivå, dvs tyst lokal- och processventilation, tysta transporter etc
* minskad expositionstid genom automatisering, styrning från kontrollrum etc.

Tillämpning av diagrammet på nästa sida visar att minskad expositionstid till 10-25% av arbetstiden ändå inte medger högre ljudnivå än 75 + (10 á 6) dBA, dvs 85-81 dBA. Resten av vistelsetiden får ekvivalenta ljudnivån i "tyst" lokal ej överskrida 65 dBA. Behovet av ljuddämpning i många anläggningar är alltså klart uttalat.

Korrektion av exponeringstid vid given bullerexponering
Gränsvärdet för maximal bullerexponering 85 dBA under 8 timmar arbetsdag enligt AFS 1992:10 kan i en given arbetssituation överskridas. Det är då av intresse att beräkna acceptabel exponeringstid för den aktuella ekvivalentnivån. Diagrammet nedan anger hur mycket högre ljudnivån kan vara vid reducerad exponeringstid. Ex. 25% av tiden ger ca 6 dB, dvs en maskinoperatör som 75% av tiden vistas i tyst kontrollrum kan resten av tiden tillåtas uppehålla sig i ca (85+6)=91 dBA.



Personal med rörliga arbetsplatser
Här har främst berörts arbetsuppgifter som i stor utsträckning är knutna till fasta arbetsplatser. Bullerexpositionen är i dessa fall möjlig att definiera och beror av uppträdande ljudnivå(er) och vistelsetid i resp. ljudnivå.

Många andra arbetsuppgifter innebär emellertid att personalen ambulerar mellan olika platser där bullersituationen kan variera kraftigt. Typexemplet är den stora personalgruppen

underhållspersonal. Den tillbringar ofta arbetsdagen mycket nära produktionsmaskiner, men också i separata rum med bullrande fläktar, kyl- och luftkompressorer etc, vilket hittills sällan beaktats ur bullersynpunkt eftersom de senare rummen betraktas som "obemannade".

Undersökningar visar att underhållspersonal utsätts för höga bullerdoser. (Källa: Undersökning av bullerbelastning för underhållspersonal inom olika industrigrenar (1988). Arbetsmiljöfonden, projekt 85-0773 utfört av DNV Ingemansson AB).

Man kan också identifiera andra personalgrupper med samma problemtyp, ex.vis servitriser på dansrestauranger som rör sig mellan kökslokaler med hög ljudnivå och danslokal med ofta hörselskadlig nivå, lärare i yrkesskolor med exvis olika typer av snickerimaskiner.

I dessa fall måste man rikta insatser också mot mera "perifer" utrustning att utforma tystare kylmaskinrum, tystare köks- och diskutrustning, bygga in snickerimaskiner etc.

Krav på ljuddämpning
Att generellt minska ljudnivåerna på industriarbetsplatser till 80-85 dBA eller därunder ställer mycket stora krav på **omfattande insatser** (antalet ljudkällor som skall dämpas ökar nära nog tiofaldigt vid en kravnivåsänkning med 10 dBA), systematiskt åtgärdsarbete, akustiskt och eliminationstekniskt kunnande samt god organisation.

Detta konstaterande gäller i princip för såväl förbättring av befintlig arbetsmiljö som vid skapande av ny.

För att genomföra miljöförbättring av denna storleksordning måste åtminstone dessa tre faktorer beaktas:

* Teknisk utveckling. Finns beprövade färdiga lösningar eller skall sådana utvecklas? Alternativa produktionsmetoder.

* Tidsaspekten. När kan lösningen införas med hänsyn till pågående produktion; hur lång tid tar det att få fram material, nya konstruktioner etc?

* Kostnadsaspekten. I vilken takt tillåter ekonomin att lösningar genomförs?

Efter intervjuer med erfarna industriakustiker, främst inom DNV Ingemansson AB, kan en grov bedömning göras av möjligheterna att nå en bullerexpositionsstandard av ca 75 dBA på huvuddelen av landets arbetsplatser.

Bedömningen pekar på att en tidsperiod av 15-20 år torde vara erforderlig. En grundförutsättning är "normal" lönsamhetsnivå i näringslivet, så att investeringarna i nya anläggningar, processer och maskiner ger de nödvändiga grunderna för teknisk utveckling. Vidare krävs det att kontinuerligt arbete med arbetsmiljöfrågorna, dvs målmedvetet bedriven självverksamhet, nu kommer till stånd (Internkontroll).

En annan förutsättning är att EG-direktiven (se Avsnitt 3) internationellt driver fram utvecklingen av tystare produktionsutrustning. Som nämnts, förefaller det som om EG kommer att sänka hörselskaderiskgränsen från expositionsvärdet 85 dBA till 75 dBA. Kraven på tekniska bullerbekämpningsåtgärder mot produktionsutrustning är dock f n inriktade mot expositionsnivåer överstigande 85 dBA, och är ej villkorligt utformade.

Såväl den slutgiltiga utformningen av EG-direktiven som tidsplanen för ikraftträdandet är idag oklar. Man kan emellertid hysa vissa förhoppningar om att utländska maskintillverkare kan komma att anpassa sina konstruktioner till ett 75 dBA-krav under den nämnda tidsperioden. Detta skulle givetvis ha avgörande betydelse för Sverige, enär en dominerande andel av maskiner och utrustning i svenskt näringsliv importeras från andra europeiska länder.

Konsekvensstudier
Innebörden av så långt gående bullerkrav på arbetsplatserna skulle kunna belysas tydligare med en slags "konsekvensstudier". Någon systematisk sådan genomgång av förekommande arbetsplatssituationer har ej genomförts.

En enkel skiss över några typiska arbetssituationer illustrerar principen (normaltillstånd är dagssituationen):

Tillverkningsprocess

Normaltillstånd: Hörselskadligt och störande buller. Inga eller begränsade bullerbekämpningsinsatser på maskiner/utrustning. Ljudabsorberande beklädnader.

Bullerorsaker: Maskiner, utrustning, processer/materialhantering. Processventilation.

Ambitionsnivåer: 1. Expositionsgräns 85 dBA. Ofta svår att nå, kräver maskin- eller processbyten alt ljudisolerande inbyggnader. Kan i allmänhet nås vid nyetablering eller stor ombyggnad.

2. Tillfredsställande samtalsmöjligheter ca 75 dBA. Oftast omöjligt att nå utan stor ombyggnad; enstaka arbetsplats dock med speciella insatser.

Förpackningsavdelningar

Normaltillstånd: Störande och ej sällan hörselskadligt buller vid förpackningsmaskiner, i övrigt störande eller obetydligt störande nivåer. Inga eller begränsade bullerbekämpningsinsatser på maskiner/-utrustning. Ljudabsorberande beklädnader.

Bullerorsaker: Maskiner, transportörer, processventilation. Pallhantering.

Ambitionsnivåer: 1. Expositionsgräns 85 dBA. Ofta möjlig att nå, kräver dock maskinåtgärder eller inbyggnader. Gäller intill maskiner.

2. Tillfredsställande samtalsmöjligheter ca 75 dBA. Kan nås på avstånd från förpackningsmaskiner. Transportörer och processventilation måste ofta dämpas.

3. Trivsel/komfortnivå 65 - 70 dBA. Kan nås på platser med handpackning, på avstånd från maskiner.

Montagearbeten

Normaltillstånd: Störande men normalt ej hörselskadligt buller. Sällan bullerbekämpningsinsatser. Ofta ljudabsorberande beklädnader.

Bullerorsaker: Handmaskiner (tryckluftdrivna), även slående mutterdragare, process/lokalventilation.

Ambitionsnivåer: 1. Expositionsgräns 85 dBA kan överskridas på enstaka platser. Dämpning (utbyte) av handverktyg erfordras.

2. Tillfredsställande samtalsmöjligheter ca 75 dBA. Kräver ofta ljuddämpning av ventilation, handverktyg och andra mindre ljudorsaker.

3. Trivsel/komfortnivå 65 - 70 dBA. I princip systematiskt genomförda åtgärder enligt 2.

Som jämförelse medtages också en arbetsplatstyp där de akustiska kraven är annorlunda.

Kontor

(Storkontor)

Normaltillstånd: Samtalsstörningar från andra arbetsplatser och kommunikationsutrymmen (bristfällig akustisk avskiljning). Störande och irriterande bullernivåer från kontorsmaskiner. Ljudabsorberande tak, skärmar vid arbetsplatser.

Problemorsaker: Otillräckligt avstånd 2-4 m mellan arbetsplatser. Begränsad ljudabsorption hos tak och skärmväggar. Otillräcklig skärmhöjd. Golv med hård beläggning. Bullersamma kopieringsmaskiner, printers etc.

Ambitionsnivåer: 1. Tillfredsställande ljudnivå.
Kan nås med ljuddämpning av maskiner (ev. ventilation) och erforderlig skärmhöjd, effektiva takabsorbenter.

2. Trivsel/komfortstandard
Ökat avstånd mellan arbetsplatser samt åtgärder enligt 1.

8. Mätning av bullerexpositionen
Det är givetvis viktigt att kravet på högsta bullerexpositionsvärde (85 dBA i dagsläget) ej tolkas såsom maximalt tillåten ljudnivå 1 m från maskinyta vid arbetsplatsen. Det är ett misstag som regelmässigt sker i företagen idag vid kartläggning av arbetsplatsbullret.

Konsekvensen kan vara att bullerexpositionen övervärderas (om maskinoperatörer ofta befinner sig på större avstånd eller om expositionstiden är kort) eller undervärderas (om maskinoperatören ofta har huvudet mycket nära maskinen).

Den verkliga bullerexpositionen för en arbetsdag är den bullerdos som träffar personens hörselgång under arbetsdagen. Mätning av bullerexpositionen måste ske med sådan metodik att detta förhållande beaktas i största möjliga utsträckning.

Vanligtvis är bullerdosmätning med personburen dosimeter den mest tillförlitliga metoden även om denna också inrymmer felrisker (ex. ljudet som når mikrofonen skärmas av försökspersonens kropp).

De skillnader i resultat som kan uppstå vid användning av olika mätmetoder belyses av nedanstående exempel ur Buller-Livs nr 1/1990 "Aktivt Arbetsmiljöarbete".

GENOMFÖRDA LJUDMÄTNINGAR

Bullerbekämpningsmål.
Målet för det bullerbekämpningsarbete som bedrivs i P80 Packningsavdelning är i första steget att ljudnivån på arbetsplatserna skall bringas ned till en sådan nivå att bullerdosen (ekvivalenta ljudnivån) för operatörerna under arbetspasset ej överskrider 85 dBA.

Ljudmätningar.
Vid användning av vanlig ljudnivåmätare avläser man den ögonblickliga ljudnivån på en plats, dvs om ljudnivån varierar kommer också den avlästa nivån att variera. Förekommer stöt- och slagljud, blir det avlästa värdet missvisande eftersom instrumentet ej hinner att hantera dessa kortvariga fenomen.

I. Ljudnivåmätning
I det aktuella fallet har kartläggning utförts med ljudnivåmätare vid tre tillfällen:

* Efter ombyggnaden (före projektstart, jan 1989)
* ca 6 månader efter projektstart, sept 1989
* ca 12 månader efter projektstart, febr 1990.

Såsom redovisats ovan har genomförts ljuddämpande åtgärder mellan dessa tillfällen.

Avläsning: Vid mätningarna har noterats dels den skattade medelljudsnivån, dels det högsta mätvärdet. Ljudet på de flesta platser innehåller stötar och slag.

II. Dosmätningar
För bullerdosmätningarna i packningslokalen har valts mätpunkter enligt bilden nedan.

Dosmätarna har varit fast placerade i resp. mätpunkt och registrering har skett under 4 till 8 timmar med instrumentavläsning varje timme. Mätningarna skedde i april 1990 när samtliga ovan redovisade åtgärder var genomförda. Mätpunktplaceringarna motsvarar i stort sett ett mätavstånd av 1 m från maskinyta.

Resultat. På anläggningslayouten (nedan) har markerats de medelljudsnivåer, dBA, som uppmättes i mätpunkterna febr 1990 samt bullerdosvärdena, dBA, i de fasta mätpunkterna.

III. Personliga dosmätningar
För att kontrollera hur vistelsen nära maskinerna påverkar personalens bullerdos utfördes personliga dosmätningar, dvs maskinskötarna utrustades med bärbara dosmätare, vars mikrofoner fästes vid krage och bröstficka på skyddsrocken.

Mätningarna utfördes under normalt 4 timmar med avläsning varje timme. Ev. produktionsstörningar, besök på vågplattformen etc noterades.

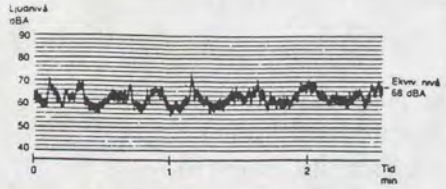
Resultat. Ekvivalenta ljudnivåer enligt tabellen ovan uppmättes. Man ser alltså att personalens bullerbelastning höjs väsentligt av de nödvändiga vistelseperioderna intill maskinerna.

Kommentarer

Av de här redovisade resultaten framgår att bullernivåerna i maskinernas närzon fortfarande är av sådan storleksordning att de orsakar hörselskaderisk. Det är alltså i hög grad motiverat att fortsätta det "bullersaneringsprogram" som redovisats ovan, och detta sker också enligt de här presenterade riktlinjerna.

Man kan också konstatera att en investering i ljudabsorberande takbeklädnad inte hade inverkat på bullerdosmätningarna eftersom dosvärdena bestäms av vistelsen i ljudnivåerna omedelbart intill maskinerna.

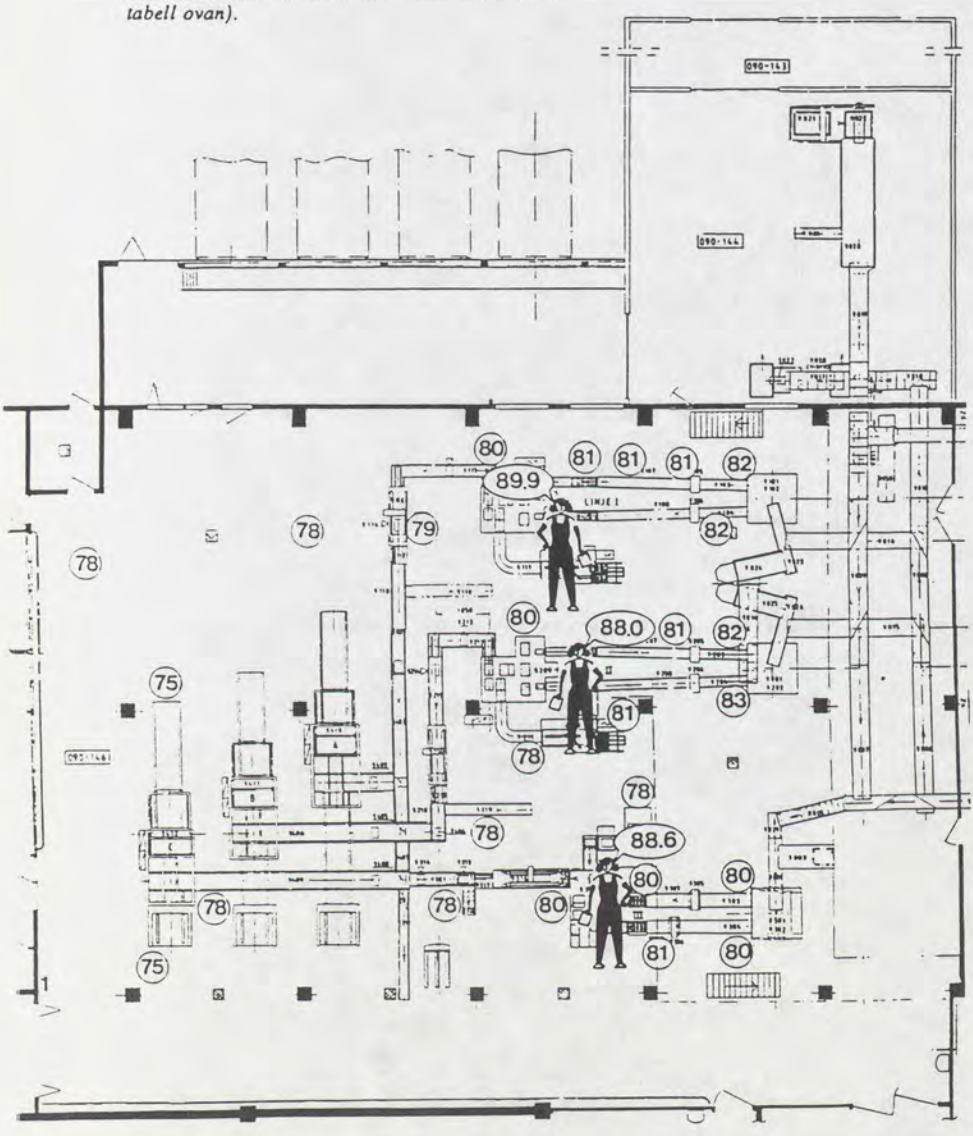
Satsningen på maskinåtgärder är alltså i detta fall - liksom i många andra - en korrekt angreppsmetodik, även om det normalt tar relativt lång tid att nå resultat vid arbete i en befintlig anläggning.



Registrering av bullret på en arbetsplats. Under tidsperioden har bullret varierat mellan 56 dBA och 74 dBA. Ekvivalenta ljudnivån för perioden är 68 dBA, dvs ljudtopparna ger stort bidrag. Detta värde kan uppmätas direkt med en s k dosmätare.

Plats	Antal mätningar	Ekvivalent ljudnivå dBA		
		högsta	*lägsta*	*medel-värde*
Linje 1	5 st	84	94	89.9
Linje 2	10st	84	92	88.0
Linje 3	15 st	87	92	88.6
Pallstation	10 st	84	91	87.2
Containerrum	5 st	87	92	89.7
1:e man	6 st	84	92	88.8

Layout över packningshallen.
Uppmätta ljudnivåer:
○ *anger medelljudnivå i dBA.*
□ *anger ekvivalent ljudnivå dBA i fasta punkter.*
Figurerna anger operatörernas medeldos dBA (se tabell ovan).



BULLER I DET MILITÄRA FÖRSVARET. ETT UNDERLAG TILL UTREDNINGEN "HANDLINGSPLAN MOT BULLER"

Janne Kjellsson
Fst/Plan 2

Innehållsförteckning

1. Försvarsmaktens övergripande mål 3

2. Försvarsmaktens behov av mark och vattenområden 3
2.1 Fredsorganisationens behov 3
2.2Krigsorganisationens behov7
2.3 Samutnyttjande med övriga sektorer i samhället 8
2.4 Försvarsmakten hushållar med markresurserna 8

3. Försvarsmaktens verksamhet 9
3.1 Allmänt 9
3.2 Verksamhet inom fasta övningsområden m m 9
3.3 Verksamhet utanför fasta övningsområden 11
3.4 Provverksamhet 12
3.5 Övrig verksamhet 13
3.6 Incidentberedskap 13

4. Olika typer av buller i försvarsmakten 14
4.1 Allmänt 14
4.2 Skottbuller 14
4.3 Flygbuller 15
4.4 Fartygs- och fordonsbuller 16
4.5 Bullerberäkningar 17
4.6 Möjligheter att dämpa buller vid källan 18

5. Försvarsmaktens intressen 19
5.1 Naturresurslaen - en utgångspunkt 19
5.2 Skyddsavstånd vid buller 19

6. Försvarsmaktens åtgärder för en bättre bullermiljö 20
6.1 Pågående arbete 20
6.2 Inriktning av det fortsatta arbetet inom buller-området 25

7. Sammanfattning och förslag 28

BULLER I DET MILITÄRA FÖRSVARET - FÖRSVARSMAKTEN

1. Försvarsmaktens övergripande mål

Målet för försvarsmaktens verksamhet är att kunna möta ett väpnat angrepp varifrån det än kommer. Hela landet skall kunna försvaras.

Försvarsmakten skall också besitta god förmåga att upptäcka och ingripa mot kränkningar i fred, krig och under neutralitet.

2. Försvarsmaktens behov av mark- och vattenområden

Försvarsmaktens anspråk på mark- och vattenområden styrs ytterst av de krav som ställs av verksamheten. Anspråken och förutsättningarna blir härigenom olika för freds- och krigsorganisationens behov liksom för de olika försvarsgrenarna och truppslagen.

Anspråken innebär primärt ett krav på att mark- och vattenområdena inte planeras eller tillåts tas i anspråk för annan verksamhet som inte går att förena med försvarsintresset. Det kan även vara angeläget att ett angränsande område används på ett visst sätt, eller snarare att det undantas från en viss typ av användning. Detta gäller särskilt för de skyddszoner som behövs kring befästningsanläggningar, övnings- och skjutfält och andra slag av försvarsanläggningar.

2.1 Fredsorganisationens behov

Fredsorganisationens behov grundas till största del på behoven att utbilda och öva krigsorganisationen det vill säga förbandsutbildning. Mark- och vattenområden som berörs är bland annat övnings- och skjutfält, skjut- och målplatser med ev arrenderade grupperings- och riskområden, flottiljflygplats och övningsflygplatser samt kasern- och lägerområden.

I början av århundradet var behovet av utbildningsområden begränsat till ett antal mindre mönstrings- och exercisplatser. Förändrade förutsättningar har tillsammans med effekter av den vapentekniska utvecklingen medfört ett ökat behov av att kunna utnyttja egen övningsmark.

Vapenteknikens utveckling antyder ingen radikal förändring i stridsteknik etc. En grundläggande utgångspunkt är därför att försvarsmak-

ten under överskådlig tid måste förbereda sig för ett konventionellt uppträdande.

2.1.1 Armén

Armén disponerar stora markarealer för sin utbildningsverksamhet. övnings- och skjutfält rymmer utbildningsanordningar av skilda slag. Anfalls-, skjut- och rälsmålbanor, handgranatbanor och sprängplatser är exempel på sådana anordningar. Det är viktigt att de utbyggda anfallsbanorna ur säkerhetssynpunkt kan användas oberoende av varandra. Skjutningar genomförs därför från fältens ytterområden och in mot ett för flera anfallsbanor gemensamt målområde i fältets centrum. Delar av fälten används för kör- och förläggningsövningar samt för andra övningar med trupp där endast övningsammunition kommer till användning.

Markområdets storlek är inte alltid avgörande för om det är lämpligt som övnings- eller skjutfält. Ett mindre fält kan vara tillräckligt om terrängens beskaffenhet är gynnsam och om det finns möjligheter att utnyttja intilliggande civil mark för förflyttning och som grupperings- eller riskområde. Det är dock väsentligt att markområdena kan användas under såväl grund- som repetitionsutbildning.

Kraven på övnings- och skjutfält varierar mellan olika truppslag:

Ett *infanteriregemente* behöver mark dels för bataljonsövningar dels som stridsskjutningsområden. Eftersom verksamheterna i regel inte äger rum samtidigt kan totalbehovet tillgodoses inom ett fält på cirka 6 000 ha. Om övnings- och skjutfält måste läggas avskilt och på större avstånd från kasernområdet bör det finnas ett närövningsfält om cirka 2 000 ha.

Ett *pansarregementes* övningsfält bör uppgå till minst 7 000 hektar. Arealen kan begränsas till 3 000-4 000 ha om det är möjligt att disponera mark utanför övningsfältet för i första hand utgångsgruppering och framryckning. Är övningsfältet inte beläget i anslutning till kasernområdet är det dessutom nödvändigt med ett närövningsfält om ca 2 000 ha. Skjutfältet bör omfatta ca 2 000 hektar med riskområde över vatten eller ödemark.

Artilleriregementets övningsfält bör bestå av ett cirka 800 ha stort grupperingsområde i anslutning till kasernområdet samt ett antal grupperingsfickor om tillsammans ca 300 ha, som kan ligga på arren-

derad mark. Bataljonsskjutfält för artilleriet bör uppgå till ca 14 000 ha. Om vägar och grupperingsfickor kan disponeras utanför fältet kan arealen begränsas till ca 8 000 ha.

Ett *luftvärnsregementes* övningsfält bör bestå av dels ett område om 300-400 ha i anslutning till kasernområdet, dels ett antal grupperingsfickor om ca 200-300 ha. Luftvärnsskjutfält bör ha ett grupperingsområde på omkring 4 x 1,5 km och som riskområde en sektor med två mils radie och 180° vinkel. Området bör dessutom utgöra restriktionsområde intill 12 000 m höjd. För luftvärnsförbandet är det viktigare att fältet medger gruppering av det nödvändiga antalet eldenheter och spaningsradarstationer än att arealen uppgår till ett visst antal hektar.

För *ingenjör-, signal- och trängregementen* bör övningsfältet omfatta cirka 300-400 hektar. Ingenjörregemente behöver också ett maskinfält om ca 50 hektar inom eller i närheten av övningsområdet. Signal- och trängregementen behöver grupperingsfickor utanför övningsfältet. Skjutfält för ingenjörregemente bör uppgå till cirka 1 200 hektar och för signal- och trängregementen till cirka 1 000 hektar.

Ett *arméflygförband* bör förutom flottiljområdet och militära övningsfält disponera luftrum över privat mark som övningsstråk. Uppträdandet i samband med flygning är noggrant reglerat i särskilda instruktioner (jmf FV p 4.1.3).

I armén sker fn en omstrukturering, vilket innebär att ett flertal truppslag har samlokaliserats.

Detta medför bl a att ingenjör-, signal- och trängregementen utnyttjar samma övningsfält som det infanteri- eller pansarregementet det är samlokaliserat med, sk Brigadövnings-/skjutfält.

Vidare har ökad mekanisering inom främst infanteriet, ökade skottvidder för nya vapen samt behov av dubbelsidiga övningar medfört krav på större övnings-/skjutfält.

2.1.2 Marinen

Försvarsgrenen marinen omfattar flottan och kustartilleriet. För fredsverksamhetens behov finns, som för övriga försvarsgrenar, kasernområden med förläggnings- och administrationslokaler m m samt övnings- och skjutfält för bland annat markstridsutbildning. Marinens

markbehov varierar med hänsyn till utbildningsorganisationen mellan 500 och 2 000 hektar. Skjutfälts- (skjutplats-) arealer kan inte heller preciseras som för armén. Detta beror på att behoven i mycket hög grad styrs av i vilken omfattning riskområden för den landbaserade verksamheten kan läggas inom avlysta vattenområden eller ej. För flottans del sker den fartygsanknutna skarpskjutningsutbildningen inom havsområden i särskilda övningsområde.

Marinens fredsutbildningsverksamhet har en stark knytning till krigsorganisationens verksamhet. För flottans del återspeglas detta i att de basområden som utnyttjas på land kan vara såväl freds- som krigsbasområden. Marinens fartygstrafik ingår i incidentberedskapen och omfattar regelbunden avpatrullering av och insatser i skärgård och kustvattnen, något som kräver att de aktuella vattenområdena är tillgängliga för trafik.

För kustartilleriets del utnyttjas krigsorganisationens fasta vapenbefästningar i utbildningsverksamheten liksom det rörliga kustartilleriets fasta grupperingsplatser. Verksamheten vid anläggningarna åstadkommer ett beaktansvärt skottbuller, men bedrivs å andra sidan endast periodvis. Anläggningarnas knytning till krigsorganisationen förhindrar en öppen redovisning av skottbullerutbredningen.

Helikopterförbandens verksamhet inom marinen regleras på motsvarande sätt som för flygvapnet i särskilda instruktioner.

Helikopterförbanden stöds i sin verksamhet av en rörlig fordonsburen basorganisation. Dessa ställer krav på uppställningsplatser i närheten av de områden förbandet uppträder vid övningar och beredskapsinsatser.

Basorganisationen ställer också krav på tillgång till terräng för övningskörning med terrängfordon, vilket tillgodoses normalt på försvarets övningsområden.

I övrigt bör helikopterverksamheten förutom flottiljområdet och militära övningsfält disponera luftrum över privat mark som övningsstråk.

2.1.3 Flygvapnet

Flottiljflygplatserna anlades i huvudsak under senare delen av 1940-talet och då oftast i anslutning till de gräsfält som redan nyttjades för flygverksamhet. De är därför belägna på öppna, relativt flacka områ-

den, ofta i närheten av större samhällen. Ytmässigt omfattar flygplatserna mellan 300-1 000 hektar. Närövningsområden som utnyttjas bland annat för markstridsutbildning kan omfatta uppemot 300 à 400 hektar och innehålla skjutbanor, sprängplatser, handgranatbanor samt brandövningsplatser.

På vissa flottiljflygplatser bedrivs även omfattande civil reguljär flygtrafik samt civilt frakt- och postflyg. Flertalet flottiljer har dessutom flygverksamhet som drivs i någon lokal flygklubbs regi. Militärt flyg förekommer inte enbart vid flottiljflygplatserna utan också vid civila flygplatser t ex Visby och Kiruna. Förutom flottiljflygplatserna finns ett antal övningsflygplatser som upplåtits för civil luftfart.

Som för marinen kan mål- och skjutplatsområden inte anges med några generella arealer, eftersom behovet även för flygets del i mycket hög grad styrs av i vilken omfattning de nödvändiga riskområdena kan läggas inom vatten- eller ödemarksområden.

Runt flygbasområden (Bas 90) och krigsflygfält finns behov av att inflygningssektorer och ytor runt landningsbanorna hålls fria från hinder, bl a bebyggelse. Detta behandlas i avsnittet om krigsorganisationens behov.

Flygvapnets uppträdande i samband med flygning är noggrant reglerat i särskilda instruktioner - Ordnings- och säkerhetsföreskrifter för militär flygverksamhet (OSF) och Militär flyginformation del I och II (MIL AIP). övningsområde, restriktionsområde, lägsta flyghöjd m m finns reglerat i dessa instruktioner, vilka finns tillgängliga vid aktuella länsstyrelser.

2.2 Krigsorganisationens behov

Redan utbyggda befästningar och andra slag av anläggningar, till exempel kustbatterier, radarstationer, radiolänkförbindelser, krigsflygfält, ammunitions- och drivmedelsförråd, ubåtsskyddsanläggningar, fasta kustmineringar m m som ingår i krigsorganisationen skyddas så att de kan behålla sin avsedda funktion. Även sådana försvarsanläggningar som har planlagts för utbyggnad först vid kris eller krig behöver skyddas om de planerade förutsättningarna för deras funktion skall bibehållas.

Krigsorganisationsbehov är av hemlig natur, men intresseredovisningen finns tillgänglig vid aktuella länsstyrelser.

Krigsorganisationens taktiskt och operativt betingade krav kan vara markoperativa i den meningen att de inte med nödvändighet behöver vara kopplade till någon befintlig eller planerad försvarsanläggning. Som exempel kan nämnas det tidigare påtalade behovet av tillgång till vissa kustområden för gränspatrullering. Kraven kan också ses ur militärgeografisk synpunkt. Nyanläggning av broar och hamnar kan förändra de militärgeografiska förutsättningarna.

Vissa anläggningar som ingår i krigsorganisationen används i fred för utbildningsverksamhet och för incidentberedskapens behov.

2.3 Samutnyttjande med övriga sektorer i samhället

Försvarsmaktens behov av främst övningsmark ställs inte sällan mot behov av mark för andra ändamål. Anspråk från det civila samhället att utnyttja bullerpåverkade områden förekommer allt oftare.

Möjligheter att tillgodose andra behov utan att därigenom äventyra försvarsintresset finns främst då det gäller areella näringarna som fiske, bevarandet av natur- eller kulturvärden, ekologiska och friluftsintressen.

2.4 Försvarsmakten hushållar med markresurserna.

Försvarsmakten strävar efter att i möjligaste mån utnyttja tillgängliga mark- och vattenresurser så flexibelt att de även kan tillgodose andra behov. Där det är möjligt sker också en anpassning av verksamheten för att minimera det resursutnyttjande som ligger i verksamhetens miljöpåverkan i form av bullerstörningar etc.

Övnings- och skjutfält utnyttjas gemensamt mellan försvarsgrenar, truppslag och förband. Utvecklingen i försvarsmakten kommer att leda till ett mer utvecklat samutnyttjande.

Så kallat delat riskområde kan utnyttjas vid artilleriskjutningar då ett sammanhängande riskområde inte alltid behövs. Riskområdena kan då inskränkas till ett vid batteriplatsen och ett vid målområdet.

Försvaret utnyttjar möjligheten att lägga riskområden över vatten eller ödemarksterräng. Så ligger till exempel pansarövningsfält och skjutplatser i flesta fall vid havet eller stora insjöar.

Vid skjutövningar med grovkalibriga vapen används bland annat övningsvapen med finare kaliber (t ex instickspipor) samt speciell övningsammunition med kort räckvidd, vilket kräver mindre riskområde än den ordinarie ammunitionen.

Användningen av skjutsimulatorer minskar den tid som markområden behöver utnyttjas för skjututbildning. Bullerstörningar för omgivningen kan minskas i vart fall till tiden.

Fredsorganisatoriska förändringar med nedläggning eller flyttning av förband innebär inte med nödvändighet att också övnings- och skjutfält avvecklas. Utbildningsansvar överförs från nedlagda till kvarvarande förband vilket kan leda till krav på utökning av resurser. Att använda redan befintliga markområden kan vara att föredra framför att arealmässigt utvidga andra. Sett i ett vidare perspektiv pekar allt mot att det under överskådlig tid föreligger behov av mark för utbildning av konventionella försvarsstyrkor.

3. Försvarsmaktens verksamhet

3.1 Allmänt

Innebörden av försvarsmaktens övergripande mål är att försvarsmakten i fred måste kunna förbereda sig för sin krigsuppgift under så realistiska förhållanden som möjligt vilket kan innebära störningar för det civila samhället bl a ur bullersynpunkt.

De verksamheter som ger de mest påtagliga bullerstörningar är:

- grundläggande krigsförbandsutbildningar
- rekognoseringar och krigsförbandsövningar över hela landet
- Incidentberedskapen
- övrig verksamhet bl a provverksamhet.

3.2 Verksamhet inom fasta övningsområden m m

Den verksamhet som bedrivs inom de fast övningsområdena är i huvudsak grundläggande krigsförbandsutbildning och övningar vilket innebär skjutningar med eldhandvapen, artilleri, robotar, raketer, luftvärn och förflyttningar med fordon, vapenutrustning, båtar och fartyg samt flygning med helikoptrar och olika typer av flygplan. I kustområdena övas även samordning av förband tillhörande samtliga försvarsgrenar.

Övningsområden skjutfält och flygsektorer är valda så att de dels finns i nära anslutning till förband-, flottilj- och basområden och dels ger möjlighet att öva i anslutning till de områden där förbanden har sina prioriterade krigsuppgifter.

Detta innebär bl a för flygvapnets del att de olika flottiljerna övar i varandras övningsområde för att kunna uppträda och verka i hela landet.

På motsvarande sätt övar kustflottan årligen i havsområdet utanför Stockholms södra skärgård, Karlskronas och Göteborgs skärgård.

Arméns olika förband övar, förutom vid de förbandsanknutna övningsområdena, regelbundet på de gemensamma skjutfält som finns i olika delar av landet.

Skärgårdsområdena och framförallt kustlinjen är m h t utformningen av försvarets förvaringssystem (radar och andra sensorer) ett för försvarsmakten naturligt kontaktområde vid bl a övning för jaktförsvar och för framskjutna utgångslägen och grupperingar för marinens förband i samband med övningar. Kustområdet är också av vital betydelse vid utbildning av spaningsflygförare för att exempelvis träna utspaning av hamnar och angöring av kust.

Verksamheten pågår hela året med undantag för perioder för övningsuppehåll och semester vilket normalt inträffar 15 juni - 15 augusti. Variationer förekommer då av beredskapsskäl alla förband inte kan ha semester samtidigt. Ett fåtal utbildningsanläggningar bl a Väddö skjutfält har sin maxbelastning under perioden maj-augusti bl a beroende på tillgång till materiel, elever, lärarpersonal m m. Detta är dock undantag från normalfallet.

Under höstmånaderna intensifieras ofta verksamheten m h t att vissa förband deltar i försvarsmaktsövningar under september månad och större samordnade övningar under oktober och november. Dessa övningar kan bedrivas både inom och utom de fasta övningsområdena m h t övningarnas omfattning.

Ovan redovisade tider är i huvudsak låsta betingat av bl a värnpliktsrytm (januari-oktober), befälsutbildningstider, tillgång till materiel- och övningstrupp m m och m h t de beredskapskrav som statsmakten ställer på försvarsmaktens förband.

Försvarsmaktens verksamhet är noggrant reglerad i olika typer av föreskrifter, bl a säkerhetsinstruktion för försvarsmakten (SäkIF) och olika försvarsgrensvisa ordnings- och säkerhetsinstruktioner (SäkIA, SäkI skjutplats, SäkI Art/Rb, SäkI FV, OSF, MIL AIP m fl) där de olika fasta övningsområdena redovisas med instruktioner och restriktioner för verksamheten. Härutöver finns förbandsvisa instruktioner som reglerar verksamheten för varje enskilt övningsområde. Instruktionerna kompletteras med utbildningsreglementen för olika typer av verksamhet.

Med hänsyn till att verksamheten inom de fasta övningsområdena ofta är av karaktären miljöfarlig verksamhet kan tillstånd krävas från länsstyrelse eller koncessionsnämnden för miljöskydd för att genomföra den.

Detta innebär att viss verksamhet regleras i särskild ordning av länsstyrelser enligt miljöskyddslagen.

3.3 Verksamhet utanför fasta övningsområden

Övningar med någon form av bullrande karaktär utanför fasta övningsområden förekommer i viss omfattning. Oftast i samband med krigsförbandsövningar (KFö) vart fjärde år under ca två till fyra veckor eller vid incidentberedskap och gäller då endast mindre delar av ett område.

Övningar med arméförband utanför KFö-rytmen genomförs normalt endast av hemvärnsförband alternativt territorialförband ofta i anslutning till hamnar, radaranläggningar eller försvargrupperingar med värnkanoner, dock högst 2 ggr/år. övningsverksamheten varierar från militärområde till militärområde. Dessa typer av övningar vållar i regel endast mindre buller i form av skottbuller från handeldvapen.

Marina övningar förekommer regelmässigt utanför de fasta övningsområdena. Normalt genomförs dock inga vapeninsatser i skärgårds- och kustområden. Undantag kan dock vara vissa större övningar med fasta kustartilleribatterier eller vid förbandsövning av kustjägarförband vilka genomförs ungefär vartannat år.

Annan marin verksamhet som förekommer i betydligt större omfattning är navigerings- eller anfallsövningar enskilt eller i förband från framskjutna utgångsläge i skydd av skärgård. Ubåtsjaktutbildning

bedrivs hela året i och utanför skärgården i Blekinge och längs hela ostkusten upp till norra Roslagen. För att skapa förmåga att uppträda också längs andra delar av kusten genomförs under hösten (oktober-november) tillämpade förbandsövningar omväxlande i olika kustavsnitt utanför de ordinarie övningsområdena.

Patrullering av skärgård och kustområde sker också regelbundet med patrullbåtar i princip från västkusten till Ålandshav.

De typer av bullerstörningar som förekommer i samband med ovan redovisad verksamhet är normalt fartygsbuller och i mindre omfattning flygbuller från helikoptrar. Verksamheten bedöms enligt ÖB uppfattning inte vara särskilt bullerstörande m h t att övningarna oftast genomförs i befolkningsglesa områden och normalt inte under högsäsong för fritidsverksamhet i skärgården.

Beträffande flygvapnets verksamhet bedrivs den i allt väsentligt inom de övningsområden (sektorer) och med de restriktioner som redovisas i MILAIP, utom i samband med större försvarsmaktsövningar och vid lösandet av incidentberedskap.

3.4 Provverksamhet

Försvarets materielverk genomför provverksamhet inom fyra provområden, VIDSEL, KARLSBORG, ÄLVDALEN och TORHAMN. I de tre första områdena omfattar verksamheten både flygprov och provskjutningar från marken med artilleri och robotar med an det i TORHAMN endast förekommer provskjutningar. Det bör observeras att samtliga områden men framförallt ÄLVDALEN även utnyttjas för normal övningsverksamhet.

Intensiteten på verksamheten varierar mycket mellan de olika provområdena och beror på vilken materiel som för tillfället som är under anskaffning och utprovning. I VIDSEL och KARLSBORG pågår verksamhet i princip hela året. I TORHAMN genomförs provskjutningar ca 110 dagar/år.

Verksamheten är där reglerad av länsstyrelsen i Blekinge.

Totalt genomförs ca 2000 flygningar varvid ca 10% är så kallade låg-flygsprov med flyghöjd lägre än 1000 m.

3.5 Övrig verksamhet

Försvarsmaktens helikoptrar utnyttjas och övas primärt för flygräddning, vilket innebär att de skall kunna uppträda i alla typer av områden från hav till fjällterräng. Försvarsmaktens helikoptrar liksom andra marin-, flyg och arméförband biträder den civila räddningstjänsten inom sjö och fjällräddning vid olika typer av "katastrofer". Behovet är ofta störst inom område med omfattande friluftsaktivitet. En förutsättning för aktiva insatser från försvarets sida är härvid att övningar kan genomföras i området så att personalen får träna i de områden och situationer där räddningsinsatser kan bli aktuella.

Fullgoda väderprognoser är av stor betydelse för bl a flygvapnets möjligheter att bedriva flygverksamhet. För att förbättra meteorologernas möjligheter till fullgoda prognoser som även kommer civila delar av samhället tillgodo, genomförs regelmässig väderflygningar bl a i fjällterräng.

Vissa civila krav kan innebära en negativ påverkan på miljön ur bullersynpunkt. Den civila linjetrafiken liksom befintliga civila flygklubbar som tillåts disponera flygplatsen orsakar bullerstörningar under den tid när flottiljflygplatser normalt inte är öppna för militär flygverksamhet, det vill säga kvällar samt lördagar, söndagar och helgdagar.

Det finns också krav (önskemål) från civila myndigheter, kommuner och organisationer att utnyttja övningsfält och skjutplatser på kvällar och helger när de inte utnyttjas av försvaret, vilket förlänger eventuellt bullerstörande verksamhet för omgivningen.

3.6 Incidentberedskap

Incidentberedskapen innebär bl a att försvarsmakten i fred skall kunna avvisa kränkningar av svenskt territorium från främmande makt.

Luftförsvaret måste av denna anledning kunna verka över hela Sveriges territorium.

Motsvarande gäller även de marina förbanden som i samband med kränkningar av svenskt territorialvatten exempelvis vid ubåtsjakt skall kunna verka inom hela det svenska yttre och inre territorialvatten d v s både i skärgård och till havs.

Detta kan gälla även vissa arméförband och helikoptrar som i den svenska fjällvärlden utnyttjas för gränsövervakning vid främmande landövningar i anslutning till gränsen.

Insatsen består härvid av såväl patrullering på marken som i luften som gruppering av fasta posteringar. Utnyttjande av såväl terrängfordon som helikoptrar är härvid nödvändiga.

4. Olika typer av buller i försvarsmakten

4.1 Allmänt

Den militära verksamheten åstadkommer i vissa fall ett betydande buller för omgivningen. Flyg och skottbuller är härvid de mest påtagliga men även buller från sprängningar, fartygs- och fordonsbuller kan i vissa fall verka störande.

Flygbullerutbredningen har länge varit känd liksom skottbullerutbredningen från permanenta skarpskjutningsanordningar (skjut-banor, handgranatbanor, sprängplatser och liknande) medan det har saknats en samlad bild av bullerutbredningen från lösskjutningsanordningar m m.

Förändringar i miljölagstiftningen och tillämpningen av denna liksom tillkomsten av nya vapen har gjort det nödvändigt att belysa bullrets betydelse som förutsättning, för att den militära verksamheten och planeringen för samhällsutbyggnaden inte skall mötas som oförenliga intressen.

4.2 Skottbuller

Försvaret har under 1980-talet utrett bullerutbredningen från permanenta skarpskjutningsanordningar (skjutbanor, handgranatbanor, sprängplatser och liknande). Datorberäkningarna har gjorts med samma modell som SNV utnyttjar i sina riktlinjer för skottbuller från finkalibriga vapen (SNV meddelande nr 7/1984). Buller från grovkalibriga vapen har också beräknats. Utan att någon annan jämförelse kan göras är bullerutbredningen vid nivån 65 dBAImp i stort densamma som vid grovkalibrigt buller 90 dBCLx. Detsamma gäller för ljudnivåerna 75 dBAImp och 100 dBCLx. Nivåerna har därför samredovisats.

Skjutning med finkalibrig ammunition ($\leq$ 20 mm) sker i huvudsak inom de fasta övningsområdena i en omfattning av ca 150 000 skott per år.

Skjutning med lös ammunition och annan eldmarkeringsmateriel kan härutöver även utnyttjas utanför normala övningsområden i samband med krigsförbandsövningar motsvarande.

Skjutning med grovkalibrig ammunition, robotar, raketer, bombfällning m m genomförs företrädesvis vid etablerade skjutfält, bombmål m m men kan även förekomma utanför dessa i samband med större övningar och incidentuppgifter exempelvis ubåtsjakt. Omfattningen kan inte redovisas av sekretesskäl.

Försvarsmakten har skriftligen redovisat omgivningspåverkande bullerutbredning från skarpskjutning vid permanenta anordningar och fasta skjutplatser i FortF skr 1989-03-09 dnr 5815/88R "Försvarsmaktens underlag rörande övnings- och skjutfält för tillämpning av NRL och PBL" till länsstyrelser och kommuner.

Bullernivåerna har för finkalibriga vapen redovisats för 65 och 75 dBA Imp och för grovkalibriga vapen nivåerna 90 och 100 dBCLx vilket anknyter till SNV råd och riktlinjer beträffande buller från skjutbanor.

4.3 Flygbuller

Flygbuller i försvarsmakten härrör sig i huvudsak från stridsflygplan och helikoptrar och är koncentrerad till de olika flottiljflygplatserna.

På vissa flottiljflygplatser bedrivs även en omfattande civil reguljär flygtrafik samt civil frakt och postflyg. Flertalet flottiljer har dessutom flygverksamhet som drivs i någon lokal flygklubbs regi.

Den direkta påverkan är naturligtvis störst för fast boende i anslutning till flottiljflygplatserna i samband med start och landning, medan passagebuller över övningsområden ofta har mindre betydelse.

Utredning av flygbuller vid flottiljflygfält har beräknats vid flera tillfällen. Flottiljflygplatser med en banlängd över 1200 m är numera tillståndspliktiga varför nya beräkningar kommer att genomföras i samband med pågående koncessionsbehandlingar för samtliga flottiljer.

"Försvarsmaktens underlag rörande flottiljflygplatser och vissa målflygplatser" (FortF skr 1990-12-06 dnr 5815/88 R) redovisar flygbullerutbredning vid flottiljflygplatser och vissa målplatser. Nivåkurvorna visar bullerutbredningen dels enligt en så kallad flygbullernivåmetod (FBN), dels maximala nivåer.

Redovisningarna "JAS - Konsekvenser för bebyggelsemiljön, bostadsförsörjningen och övrig markanvändning" (Boverket 1991-01-30, dnr 401-1885/90) samt "Utredning angående buller från flygplan JAS 39 Gripen" (öB 1991-01-30 Plan 2 559:60271) har kartlagt bullermattor och konsekvenser för bebyggelsemiljön som förväntas uppstå vid den planerade användningen av flygplan JAS 39 på vissa flottiljflygplatser. Nivåkurvorna i dessa redovisningar är uppdaterade i förhållande till FortF redovisning.

4.4 Fartygs- och fordonsbuller

Buller från huvuddelen av försvarsmaktens fordon har i stort samma utbredning och karaktär som fordonen i det civila samhället och omfattas i princip av samma krav som ställs på dessa. Vissa fordonstyper exempelvis stridsvagnar eller motsvarande typer av stridsfordon kan dock åstadkomma en högre bullernivå.

Då fordonen i huvudsak uppträder inom befintliga övnings- och skjutområde bedöms dessa dock inte tillföra något bullertillskott som har betydelse i sammanhanget och som skulle kunna påverka den totala bullerutredningen vid ett övningsfält.

Beträffande fartygsbullret är detta i huvudsak knutet till skärgårds- och kustområden och härrör från de förflyttningar marinens fartyg gör till respektive övningsområde, navigeringsövningar samt den patrulleringar av skärgård och kust som genomförs regelbundet.

Verksamheten bedöms normalt inte vara störande eftersom övningarna oftast genomförs i befolkningsglesa områden och utanför högsäsongen för friluftslivet i skärgården.

Arbetsmiljömässigt är dock fartygsbullret ett problem ombord på marinens fartyg. Fn pågår en bullerkartläggning genom CM försorg. Omfattning m m redovisas i punkt 6.1.4.

4.5 Bullerberäkningar

Försvarsmakten har vid beräkning av bullerutbredningen från bl a flygbuller utnyttjat den sk FBN-metoden, vilken fn är fastställd av regering och riksdag.

SNV har i olika sammanhang hävdat att maxbullernivå 70 dBA utomhus bör användas som bedömningsmetod.

Metoden och bullernivån är tveksam av flera skäl för försvarsmakten dels för att den i först hand är anpassad till nattrafik och risken för väckning dels att maxnivån beräknas för en enskild bullerhändelse.

Frågan har tidigare behandlats i samband med den sk JAS-utredningen där Boverket bl anförde.

Statens naturvårdsverk (SNV) hävdar att maximala ljudnivåer är en bättre bedömningsgrund för flygbuller än FBN-metoden vid en normal flottiljflygplats.

Boverket utesluter inte att en beräkningsmodell baserade på maximalnivåer kan beskriva de verkliga störningarna bättre än ekvivalentnivåer FBN, särskilt med avseende på störningar som påverkar människan utan att hon vet om dem, t ex sömnstörningar. Någon utvecklad modell finns dock för närvarande inte . Om en maximalnivå skall tillämpas som riktvärde bör den kopplas till antal exponeringar - modellen närmar sig då FBN-metoden. Det förefaller vidare orealistiskt att tillämpa maximalnivån 70 dB(A) på flyg som i stort sett endast flyger under dagtid.

Boverkets erfarenheter från utredningsarbetet är att bullersituationerna kring flottiljerna är svåra att beskriva med enkla gränsvärden. På flygplatser med både civil och militär trafik blir situationen särskild sammansatt. Intrycken från besöken på flottiljerna och de länsvisa redovisningarna är dock att ekvivalentnivån FBN 55 dB(A) på ett tillfredsställande sätt redovisar dels där människor idag klagar på bullret dels gräns vid planeringsarbete där ny bebyggelse är olämplig eller kan sättas i fråga.

Försvarsmakten delar den av Boverket redovisade uppfattningen.

4.6 Möjligheter att dämpa buller vid källan

4.6.1 Flygbuller

Specifikationskraven för krigsflygplan bygger främst på prestandakrav i förhållande till en möjlig angripare och dennes vapensystem.

Det helt dominerade bullret utgörs av strålbuller vilket alstras nedströms motorutloppet. Detta gör att tekniska lösningar typ "mixer" i motorutloppet, blandat utlopp eller andra bullerdämpande åtgärder som tillämpas för civila flygmotorer inte är praktiskt möjliga p g a att motorerna i stridsflygplan är försedda med efterbrännkammare (EBK) och variabelt utlopp.

För närvarande kan man därför inte på kort sikt förutse en teknisk utveckling mot tystare motorer i stridsflygplan såsom skett för civilt utnyttjande flygplan. En förändring kan möjligen ske på mycket lång sikt, d v s först i den generation krigsflygplan som kommer att ersätta fpl 39.

Grundläggande fakta samt en översiktlig redovisning beträffande bl a motorutvecklingen för militära flygplan redovisas i JAS-utredningen (vilken överlämnades tidigare).

Den fortsatta flygverksamheten inom flygvapnet bedöms därför innebära bullerstörningar för närområdet vid flottiljflygplatserna inom överskådlig tid.

4.6.2 Skottbuller

De möjligheter till tekniska lösningar att minska skottbuller inskränker sig till ljuddämpare monterade på handeldvapen eller artilleripjäser. Realiserbarheten måste dock studeras närmare för att undersöka att lösningen inte ger begränsade effekter som påverkar användningen.

En annan typ av bullerdämpning är utnyttjande av instickspipor av klenare kalibrar. Denna möjlighet används redan i möjlig utsträckning.

5. Försvarsmaktens intressen

5.1 Naturresurslagen - en utgångspunkt.

Enligt NRL 2:9 skall mark och vattenområde som har betydelse för totalförsvaret så långt möjligt skyddas mot åtgärder som kan påtagligt motverka totalförsvarets intresse.

Områdena som är av riksintressen på grund av att de behövs för totalförsvarets anläggningar skall skyddas mot åtgärder som påtagligt kan försvåra tillkomsten eller utnyttjande av anläggningarna.

Vid konflikt med andra riksintressen skall företräde ges åt försvarsintresset om området eller anläggningen behövs för totalförsvaret.

Prop 1985/86:3 (NRL) och 1985/86:1 (PBL) har med olika exempel belyst skillnaden mellan ett allmänt sektorsintresse och riksintresset.

Utifrån propositionernas resonemang torde försvarsmaktens intresse inom totalförsvarssektorn generellt sett vara av riksintressen.

Syftet med en särskild bestämmelse om hänsynstagande till riksintressen vid planläggning och tillståndsprövning har också gjort nödvändigt att redovisa vad som är riksintresse.

3 kap NRL innehåller särskilda hushållningsbestämmelser för vissa områden i landet, bl a kustområden och fjällvärlden. I NRL 3:1 fastställs att bestämmelserna i kapitlet inte utgör hinder för utförande av anläggningar som behövs för totalförsvaret.

5.2 Skyddsavstånd vid buller

Förändringar i mark- och vattenanvändning kan medföra att förutsättningarna för försvarsmaktens verksamheter, etablerade eller planerade, går förlorade. Förändringar kan innebära att verksamhet som åstadkommer skott eller flygbuller måste upphöra, att krigsorganisationens anläggningar måste överges när nödvändiga skydds- och säkerhetszoner inte längre kan innehållas eller att militärgeografin blir operativt omöjlig att hantera.

Det ligger i försvarsmaktens intresse att i möjlig mån skydda sig mot sådana förändringar som kan befaras medföra att den militära verksamheten skulle kunna påtagligt försvåras. Verksamheternas behov är

en väsentlig förutsättning som måste beaktas vid olika beslut om mark och vattenanvändning.

I samband med redovisningarna av skott och flygbuller lämnades uppgifter om att riksintresset för totalförsvarets militära del sträcker sig intill bullernivåerna 65 dBA Imp, 90 dBCLx för skottbuller respektive FBN 55 dBA för flygbuller.

Riksintresset omfattar primärt ett avgränsat inre område som behövs för den militära verksamheten. För att verksamheten skall kunna bedrivas inom detta inre område erfordras ofta även ett yttre område med en markanvändning som inte utgör hinder för försvarets verksamhet.

Befintliga övnings- och skjutfält är liksom flottiljflygfälten och vissa av krigsorg anläggningar så etablerade att de måste betraktas som omöjliga att flytta till något annat område. En avveckling kan eventuellt aktualiseras då förbandet läggs ned eller det sker någon annan genomgripande förändring av grund- eller krigsorganisationen. Vissa områden måste dock med hänsyn till miljömässigt goda förutsättningar bibehållas trots organisatoriska förändringar. Förutsättningarna för att bedriva miljöstörande verksamhet måste därför säkerställas.

Tillkomst av bostadsbebyggelse eller annan störningskänslig verksamhet inom bullerstörda områden som kan komma att begränsa möjligheterna att utnyttja övnings-, skjut- eller flygfält eller andra etablerade områden kan därför inte accepteras.

6. Försvarsmaktens åtgärder för en bättre bullermiljö

6.1 Pågående arbete

Försvarsmakten har sedan länge anpassat sin verksamhet efter miljömässiga förutsättningar enligt miljöskyddslagstiftningen. Prövning av skjutfält och skjutbanor har pågått kontinuerligt sedan 1978.

Försvarsmakten genomför även miljökonsekvensutredningar särskilt vad gäller buller- och markpåverkan.

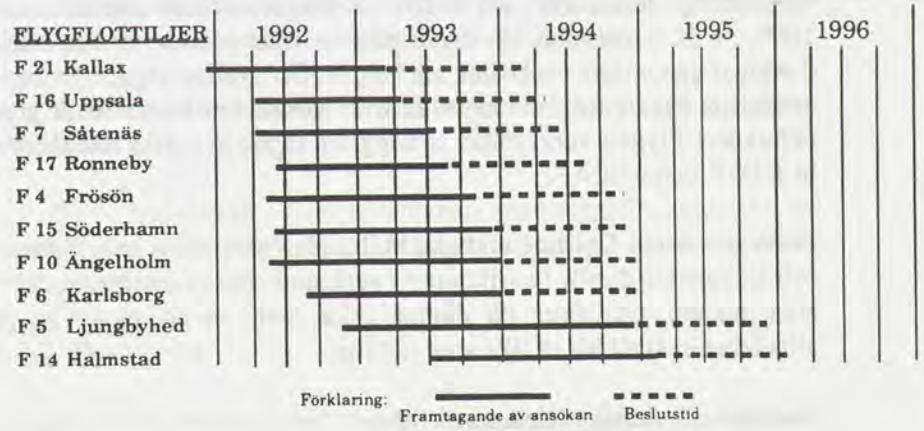
Sedan 1990 har det drivits bland annat en flygplatsmiljöutredning med uppgift att kartlägga miljöproblem vid flygplatser samt föreslå åtgärder för att minska miljöpåverkan. Utredningen behandlar både buller, luft- och vattenföroreningar och slutredovisades hösten 1992.

Möjligheterna till tekniska lösningar både på flygplan och genom markbundna åtgärder för att minska bullerstörningarna är begränsade. Inriktningen måste därför främst avse reglering av flygvägar och flygbeteende i övrigt utan åsidosättande av flygsäkerhetskrav. Piloters och flygledares medvetenhet om miljöskyddskrav och rätt flygbeteende bör härvid ökas genom utbildning. Reglering av tider och förläggning av totalt flygtidsuttag bör studeras noggrannare.

Inom försvarsmakten finns instruktioner och bestämmelser vilka inriktar verksamheten mot så små negativa miljökonsekvenser bl a buller som möjligt. Genom lämplig information från verksamhetsansvariga myndigheter om kommande störningar kan också omgivningens accentens ökas och eventuella negativa konsekvenserna upplevas som mindre. Sådan information kan gälla buller, natt- och helgdagsverksamhet m m.

Utredningar och arbete med tillståndsprövningar (miljöprövning) för flygplatser och skjutfält pågår. Tidplanen för koncessionsbehandling av flygfält redovisas i nedanstående bild. Beträffande tillståndsprövning av övnings- och skjutfält sker detta kontinuerligt efterhand som verksamheten förändras.

Tillståndsprövning
Tidsplan



För närvarande har 15 miljöprövningar genomförts av skjutbanor m m. Ytterligare 19 är under handläggning fram till och med 1994. Enligt den preliminära plan som föreligger kommer härefter cirka 15 frivilliga prövningar att genomföras fram till 1997.

Under arbetet har verksamheten anpassats för att minska bullerstörningar. Denna anpassning består i ändrade nyttjandetider, avlysning av skjutfält genom anslag och annonser i ortspress, användning av grovkalibrig ammunition endast vissa tider och vid särskilda platser m m.

Som ett underlag i den kommunala fysiska planeringen har bullerkartor utarbetats för flygplatser och skjutfält vilka har distribuerats till berörda länsstyrelser och kommuner.

Vid behov har praktiska bullermätningar genomförts vid bland annat övningsfälten som ett komplement till de teoretiska beräknade bullermattorna.

Viss inlösen eller bullerisolering av fastigheter har genomförts om fastlagda gränsvärden för buller inte har kunnat innehållas.

6.1.1 Flygbuller

Till skillnad från civilflyget bedrivs övningar normalt dagtid, 0900-1600, då de flesta människorna är på sina arbetsplatser. Det är sällan övningar genomförs veckoslut och helger. Geografiskt ligger övningsområdena i skärgård, till havs eller över sådana områden som är glest befolkade. Flygets verksamhet är noggrant reglerad i olika föreskrifter bl a OSF och MILAP.

Försvarsmakten kan inte undvika bullrande verksamhet och planerar och ålägger sig därför restriktioner i verksamheten i känsliga områden eller under vissa tider på dygnet eller året, så att påverkan på allmänheten skall bli så lika som möjligt.

Exempel på vidtagna åtgärder är bl a

- Anpassning av in- och utflygningsvägar samt uppdragsprofiler i samband med start och landning så att minskad ljudutbredning erhålls.

- Aktiv uppföljning genom flygledning.

- Minimering av starter med EBK (efterbrännkammare).

- Undvika överflygningar på låg höjd av känsliga områden typ fågelskyddsområden, pälsfarmer eller motsvarande.

- Undvika övningar i frekventerade friluftsområden - skärgårdar och fjällterräng under semestertid.

- Välja flygvägar över glest befolkade områden.

- Anpassa flyghöjden m h t bebyggelse m m för att minska passagebuller.

- Genomföra övningar m m på hög höjd och/eller till havs.

- Förlägga bombfällning och annan skjutningar med vapen till dagtid.

- Simulator övningar.

- utbildning av piloter och flygledare så att medvetenheten om miljöskyddskrav och rätt flygbeteende erhålls.

- Information till allmänheten vid större övningar, krigsförbandsövningar eller vid avvikelser från normal flygbilden.

- Särskilda samrådsgrupper med lsty, kommuner och andra intressen.

- Aktiv medverkan i dem kommunala planeringsprocessen för att undvika intressekonflikter och förhindra olämplig lokalisering av ny bebyggelse.

6.1.2 Skottbuller

Många av de restriktioner försvarsmakten ålägger sig beträffande flygverksamheten tillämpas även i samband med skjutningar- och sprängövningar för att minska omgivningspåverkan bl a:

- övningar i huvudsak dagtid

- Simulatorövningar

- Utnyttjande av instickspipor både för fin- och grovkalibrig ammunition, samt speciell övningsammunition.

- Skjutningar med grovkalibrig ammunition på särskilda skjutfält.

- Utbildning av vpl- och befäl för att öka miljömedvetenhet.

- Information till allmänheten vid avvikelser från normalbilden och vid större övningar.

- Undvikande av större sprängningar vid ogynnsam vidriktning.

- Regional och lokal samverkan i de särskilda skötselråd som finns vid de 13 största övnings- och skjutfälten.

- Aktiv medverkan i den kommunala planeringsprocessen.

6.1.3 Miljörapporter

Försvarsmakten har påbörjat arbetet med att lämna miljörapporter till länsstyrelser för den verksamhet, som är tillståndspliktig enligt miljölagstiftningen bl a skjutbanor, skjutfält och flygverksamhet.

I rapporten redovisas bl a förbrukad ammunition och sprängmedel, antalet skjutningar under året och när under dygnet dessa genomförts samt eventuella tillbud och klagomål.

Motsvarande gäller antalet flygplansrörelser, övningstider m m.

6.1.4 Buller i marinens fartyg - en arbetsmiljöfråga

Arbetsmiljömässigt är buller ett av de största problemen ombord på marinens fartyg.

Efter överenskommelse mellan parterna i "Fartygsmiljönämnden" har Statshälsan genomfört en bullerkartläggning ombord på marinens fartyg.

Chefen för marinen har därefter uppdragit år Försvarets Materielverk att med ledning av ovan nämnda kartläggning lämna förslag till bullerdämpande åtgärder - tekniskt och organisatoriskt.

Förslaget skall innehålla en åtgärdsplan med tider, kostnadsuppskattningar och en prioritering av åtgärderna.

FMV har lämnat en delredovisning i januari 1993. Slutrapporten kommer att presenteras under 3:e kvartalet 1993 då arbetet kan presenteras officiellt.

6.1.5 Övrig verksamhet

Försvarsmakten har under våren 93 utarbetat en informationsfolder benämnd "Försvaret för miljön" vilken spritts i ca 50 000 exemplar till myndigheter och miljöorganisationer. Foldern informerar bl a om flyg- och skottbuller och är avsedd att öka förståelsen för försvarsmaktens verksamhet i det civila samhället.

Försvarsmakten har också i samarbete med Boverket utarbetat ett sk PBL/NRL underlag benämnt "Försvarsmaktens deltagande i fysisk planering del II". Underlaget distribuerades under våren 93 till ett stort antal myndigheter både inom försvaret och i det civila samhället.

I underlaget redovisas bl a sektorintresset, miljölagstiftning med kommentarer, försvarsmakten påverkan på mark och vatten samt övrig påverkan på omgivningen bl a buller.

I bilagor kommer att presenteras länsvis, de nya och tydliga kartor i färgtryck över försvarsmaktens övningsskjutfält och flottiljflygfält som är under utarbetande.

6.2 Inriktning av det fortsatta arbetet inom bullerområdet

6.2.1 Försvarsmaktens miljöpolicy

I överbefälhavares programplan för perioden 1993-1998 bil 5 (öB 93) redovisades pågående miljöarbete och inriktningar av det fortsatta miljöarbetet. Där redovisades även ett förslag till miljöpolicy för den yttre miljön med mål och handlingsprogram på kort och lång sikt.

Regering och riksdag har fastställt den presenterade inriktningen och förslag till miljöpolicy.

Nedan redovisas de mål och handlingsprogram på kort och lång sikt som är relevanta i detta sammanhang.

Mål för arbetet med den yttre miljön

Det övergripande målet för försvarsmakten är att vara krigsavhållande och därmed undvika den katastrofala miljöförstöring som ett krig medför.

I övrigt är målet att:

- vidmakthålla och förbättra ett positivt miljötänkande hos all personal så att miljöhänsyn tas med i all planering och verksamhet,

- minimera och koncentrera buller från farkoster, vapen, ammunition och sprängmedel,

- i användning och anskaffning av mark, anläggningar och lokaler i samråd med lokala, regionala, centrala miljöorgan ta största möjliga miljöhänsyn så att bland annat friluftsliv, flora och fauna gynnas.

Handlingsprogram

På kort sikt

Den höga miljökompetensen inom skilda specialområden som finns inom försvarets område skall samlas i en "försvarets miljöberedning".

Information om miljöarbetet skall lämnas inom hela organisationen.

Arbete med en försvarets miljöplan skall påbörjas.

Bullerutredningar och koncessionsansökningar för flygplatser samt övnings- och skjutfält skall påskyndas.

På längre sikt

Miljöplanen skall fullföljas och dess resultat skall beaktas. Detta innebär:

- att utbildning i miljöfrågor anpassas och utvecklas på alla nivåer inom det militära utbildningssystemet,

- att en handbok för försvarsmaktens miljöarbete utarbetas,

- att särskilt utbildad personal, officerare och civila, får hel- eller deltidsbefattningar på olika nivåer inom organisationen,

6.2.2 Fortsatt arbete inom bullerområdet

Det fortsatta arbetet i försvarsmakten kommer att relateras till redovisad miljöpolicy och handlingsprogram samt till de nationella miljömål riksdagen har ställt upp.

Arbetet kommer i huvudsak att ledas av den särskilda miljösektion som kommer att inrättas i det nya högkvarteret fr o m 1993-09-01 och inriktas mot bl a följande delområden:

- utarbeta en miljöplan med verksamhetsbeskrivningar, dokumentation av miljöpåverkan, förslag till åtgärdsprogram, rollspel- och ansvarsförhållande på olika nivåer i försvarsmakten, samverkan med det civila samhället m m.

- kartlägga behovet av och genomföra utbildning på alla nivåer i försvarsmakten för att förbättra miljömedvetande.

- Klarlägga den konkreta innebörden för försvarsmakten av de nationella miljömålen.

- Påbörja arbete och utveckling av interna miljörevisioner enligt SNV förslag.

Beträffande möjligheterna att minska och/eller koncentrera buller från farkoster, vapen, ammunition och sprängmedel samt omgivningspåverkan av buller bör arbetet inriktas mot följande åtgärder.

Flygbuller

- Anpassa flygvägar, uppdragsprofiler m m m h t vunna erfarenheter efter introduktionen av JAS 39 Gripen.

- Förbättra gällande instruktioner efterhand som nya rön framkommer och kontrollera efterlevnaden.

- Följa upp teoretiska beräkningar av flygbullerutbredning med praktiska mätningar för att vinna ytterligare erfarenheter och underlag för att minimera omgivningspåverkan.

- överväga möjligheten att inskränka och/eller detaljreglera flygklubbsverksamhet inom flottiljområden.

- Undersöka möjligheterna att i störningshänseende och bullerutbredning skilja den civila och militära flygbullertrafiken vid aktuella flottiljer.

Skottbuller

- Utreda möjligheterna att dämpa ljudutbredningen genom ljudfällor vid fasta skjutbanor i anknytning till tätort.

- Utreda möjligheterna att utnyttja ljuddämpare på handeldvapen och artilleri pjäser.

- Undersöka möjligheterna att utveckla och anpassa befintlig ljudutbredningsmodell för storskalig sprängning så att den kan utnyttjas vid grovkalibrig skjutning för att minska omgivnings-påverkan m h t gällande meteorologiska förhållanden.

- Medverka och utarbeta miljökrav vid utveckling och produktion av nya vapen m m.

- Undersöka ekonomiska möjligheter och utbildningspåverkan om skjutningar med grovkalibrig ammunition koncentreras till färre men större skjutfält.

- Undersöka möjligheterna att inskränka och/eller detaljreglera civilt utnyttjande av militära övnings- och skjutfält.

Marina farkoster

- Fortsätta påbörjad utveckling mot mindre bullrande framdrivningsmaskineri för fartyg och båtar.

- Genomföra program för bullerbegränsande åtgärder i äldre fartyg.

7. Sammanfattning och förslag

Försvarsmaktens buller och omgivningspåverkan styrs ytterst av verksamhetens krav att i fred förbereda sig för sin förstahandsuppgift, som är att förhindra att Sverige angrips. Detta syfte måste överordnas

alla andra mål. Försvarsmakten skall också kunna uppträda och ingripa mot kränkningar av svenskt territorium redan i fred.

Försvarsmakten är en del av samhället men har delvis skilda förutsättning av än andra samhällssektorer beträffande sina möjligheter att undvika bullerstörningar och omgivningspåverkan från framförallt flyg- och skottbuller.

Försvarsmakten har god miljökunskap och anpassar sin verksamhet m h t naturresurslagen och efter de miljömässiga förutsättningar miljöskyddslagstiftningen ställer upp.

Miljöprövningar och miljökonsekvensutredningar, särskilt vad gäller buller och markpåverkan har genomförts och fortsätter.

Försvarsmakten har också under lång tid pålagt sig själva restriktioner i uppträdande och verksamhet för att minimera bullerstörningar och omgivningspåverkan.

Försvarsmaktens verksamhet är alltså redan idag väl integrerad i samhället i övrigt även när det gäller bestämmelserna om miljön.

Försvarsmakten kan enligt min bedömning inte undvika bullerstörningar i viss omfattning utan en väsentlig effektminskning i sina huvuduppgifter, d v s produktion av krigsförband och upprätthållande av incidentberedskapen.

Försvarsmakten strävar dock efter att begränsa verkningen särskild vad gäller flyg- och skottbuller samt försöker planera verksamheten så att påverkan inom övriga samhällssektorer och för allmänheten skall bli så liten som möjligt, vilket framgår av tidigare redovisning och förslag till åtgärder för en bättre bullermiljö.

Det fortsatta miljöarbetet inom försvarsmakten bör nu drivas vidare i enlighet med den inriktning som redovisats.

Trots de restriktioner försvarsmakten ålägger sig förekommer klagomål från allmänheten, både från fastboende och fritidssysselsatta, gällande framförallt bullerstörningar från flyg- och skottbuller.

I förhållande till verksamhetens omfattning bedöms klagomålsfrekvensen vara låg och har uppskattats till under 20 st anmälningar

per år. Med redovisade förslag till åtgärder bedöms möjligheterna till ytterligare reduceringar som goda.

Det har under utredningens gång konstaterats vissa konflikter mellan Försvarsmakten och lokala bebyggelseintressen/kommuner beträffande möjligheten till planering av bebyggelse och/eller byggnation inom bullerstörda område.

Konfliktorsaken beror i första hand på avsaknad av bedömningsgrunder för olika bebyggelse och planeringssituationer.

Frågan uppmärksammades redan under den sk JAS-utredningen vilket föranledde Boverket att i rapporten "JAS - Konsekvenser för bebyggelsemiljön, bostadsförsörjningen och övrig markanvändning", dnr 401-1855/90, redovisas överväganden och förslag till bedömningsgrunder för olika bebyggelse- och planeringssituationer.

Enligt Boverkets uppfattning bör bostadsbebyggelse inte etableras ens som enstaka husgrupp inom områden där störningsnivån överstiger 65 dB(A) FBN. I områden med störningsnivåer på 100 dB(A)L Amax och därutöver bör bebyggelse inte alls etableras. I området mellan 55 och 64 dB(A) FBN bör särskild utredning göras från fall till fall att användas vid bedömning om just den bebyggelsen är lämplig eller inte. Boverket har också presenterat sitt förslag till bedömningsgrunder i tabellform (se ovanstående sida):

Boverkets förslag har enligt tillgängliga uppgifter inte tagits upp till prövning. Detta bör göras för att undvika onödiga intressekonflikter.

Under utredningens gång har det också uppmärksammats en bristande avvägning mellan uppgifter och inriktning av miljöverksamheten och ställda uppgifter till det militära försvaret från regering och riksdag.

Detta innebär i vissa fall, att det saknas balans mellan de miljökrav som ställs på försvarsmaktens verksamhet och möjligheterna för försvarsmakten att förbereda sig i fred för sin huvuduppgift.

Ett exempel i sammanhanget är SNV krav, att 70 dBA maxbuller skall tillämpas som bullernivå vid flottiljflygplatser. Frågan har nu behandlats i utredningen men är ett exempel på frågor med så stora konsekvenser att det inte en fråga mellan den statliga tillsynsmyndigheten SNV och sektorsmyndigheten försvarsmakten utan en regerings-

fråga, vilken borde lämnats till regering och riksdag redan innan denna utredning tillsats.

Avvägningen mellan olika intresseområden - och sektorer bör tydliggöras av regering och riksdag särskilt beträffande miljöområdet.

BOSTÄDER	dB(A) FBN		dB(A)LAmax 100
	55-64	≥ 65	
I. Befintlig bebyggelse	Ingen åtgärd	Fråga om isolering kan bli aktuell	Fråga om isolering eller inlösen kan bli aktuell
II. Planerad bebyggelse			
1. Antagen plan med återstående genomförandetid			
- större område	Förhandlingar om ersättning enl PBL*	Förhandlingar om ersättning enl PBL	
- kompletteringsbebyggelse	Ingen åtgärd eller förhandling om ersättning enl PBL	Förhandling om ersättning enl PBL	
2. Planering pågår			
- större nyexploatering	Fullföljs ej *	Fullföljs ej	
- kompletteringsbebyggelse			
= enstaka husgrupp	Prövas i detaljplan. Avtal om kommunalt ansvar kan bli aktuellt	Fullföljs ej	
= flera husgrupper inom samma tätortsområde	Prövas i fördjupad översiktsplan. Avtal om kommunalt ansvar kan bli aktuellt	Fullföljs ej	

* Särskilda bullerstudier krävs i vissa fall för att avgöra om bebyggelse är lämplig

1993 08 04
STOCKHOLM

Statens offentliga utredningar 1993

Kronologisk förteckning

1. Styrnings- och samarbetsformer i biståndet. UD
2. Kursplaner för grundskolan. U.
3. Ersättning för kvalitet och effektivitet. – Utformning av ett nytt resurstilldelningssystem för grundläggande högskoleutbildning. U.
4. Statligt stöd till rehabilitering av tortyrskadade flyktingar m. fl. S.
5. Bensodiazepiner – beroendeframkallande psykofarmaka. S.
6. Livsmedelshygien och småskalig livsmedelsproduktion. Jo.
7. Löneskillnader och lönediskriminering. Om kvinnor och män på arbetsmarknaden. Ku.
8. Löneskillnader och lönediskriminering. Om kvinnor och män på arbetsmarknaden. Bilagedel. Ku.
9. Postlag. K.
10. En ny datalag. Ju.
11. Socialförsäkringsregister. S.
12. Vårdhögskolor – kvalitet – utveckling – huvudmannaskap. U.
13. Ökad konkurrens på järnvägen. K.
14. EG och våra grundlagar. Ju.
15. Svenska regler för internationell omfördelning av olja vid en oljekris. N.
16. Nya villkor för ekonomi och politik – ekonomikommissionens förslag. Fi.
16. Nya villkor för ekonomi och politik – ekonomikommissionens förslag. Bilagor. Fi.
17. Ägandet av radio och television i allmänhetens tjänst. Ku.
18. Acceptans Tolerans Delaktighet. M.
19. Kommunerna och miljöarbetet. M.
20. Riksbanken och prisstabiliteten. Fi.
21. Ökat personval. Ju.
22. Vad är ett statsråds arbete värt? Fi.
23. Kunskapens krona. U.
24. Utlänningslagen – en partiell översyn. Ku.
25. Sociala åtgärder för jordbrukare. Jo.
26. Handläggningen av vissa säkerhetsfrågor. Ju.
27. Miljöbalk. Del 1 och 2. M.
28. Bankstödsnämnden. Fi.
29. Fortsatt reformering av företagsbeskattningen. Del 2. Fi.
30. Rätten till bistånd inom socialtjänsten. S.
31. Kommunernas roll på alkoholområdet och inom missbrukarvården. S.
32. Ny anställningsskyddslag. A.
33. Åtgärder för att förbereda Sveriges jordbruk och livsmedelsindustri för EG. Jo.
34. Förarprövare. K.
35. Reaktion mot ungdomsbrott. Del A och B. Ju.
36. Lag om totalförsvarsplikt. Fö.
37. Justitiekanslern. En översyn av JK:s arbetsuppgifter m.m. Ju.
38. Hälso- och sjukvården i framtiden – tre modeller. S.
39. En gräns för filmcensuren. Ku.
40. Fri- och rättighetsfrågor. Del A och B. Ju.
41. Folk- och bostadsräkning år 1990 och i framtiden. Fi.
42. Försvarets högskolor. Fö.
43. Politik mot arbetslöshet. A.
44. Översyn av tjänsteinkomstbeskattningen. Fi.
45. Trosa bryter sig loss. Bytänkande eller demokratins räddning. C.
46. Vissa kyrkofrågor. C.
47. Konsekvenser av valmöjligheter inom skola, barnomsorg, äldreomsorg och primärvård. C.
48. Kommunala verksamheter i egen förvaltning och i kommunala aktiebilag. En jämförande studie. C.
49. Ett år med betalningsansvar. S.
50. Serveringsbestämmelser. S.
51. Naturupplevelser utan buller – en kvalitet att värna. M.
52. Ersättning vid arbetslöshet. A.
53. Kostnadsutjämning mellan kommuner. Fi.
54. Utvisning på grund av brott. Ku.
55. Det allmännas skadeståndsansvar. Ju.
56. Kontrollen över export av strategiskt känsliga varor. UD.
57. Beskattning av fastigheter, del I – Schablonintäkt eller fastighetsskatt? Fi.
58. Effektivare ledning i statliga myndigheter. Fi.
59. Ny marknadsföringslag. C.
60. Polisens rättsliga befogenheter. Ju.
61. Överföring av HIV-smitta genom läkemedlet Preconativ. S.
62. Rättssäkerheten vid beskattningen. Fi.
63. Person och parti – Studier i anslutning till Personvalskommitténs betänkande Ökat personval (SOU 1993:21). Ju.
64. Frågor för folkbildningen. U.
65. Handlingsplan mot buller. Handlingsplan mot buller. Bilagedel. M.

Statens offentliga utredningar 1993

Systematisk förteckning

Justitiedepartementet

En ny datalag. [10]
EG och våra grundlagar. [14]
Ökat personval. [21]
Handläggningen av vissa säkerhetsfrågor. [26]
Reaktion mot ungdomsbrott. Del A och B. [35]
Justitiekanslern. En översyn av JK:s arbetsuppgifter m.m. [37]
Fri- och rättighetsfrågor. Del A och B. [40]
Det allmännas skadeståndsansvar. [55]
Polisens rättsliga befogenheter. [60]
Person och parti – Studier i anslutning till Personvalskommitténs betänkande Ökat personval (SOU 1993:21). [63]

Utrikesdepartementet

Styrnings- och samarbetsformer i biståndet. [1]
Kontrollen över export av strategiskt känsliga varor. [56]

Försvarsdepartementet

Lag om totalförsvarsplikt. [36]
Försvarets högskolor. [42]

Socialdepartementet

Statligt stöd till rehabilitering av tortyrskadade flyktingar m. fl. [4]
Bensodiazepiner – beroendeframkallande psykofarmaka. [5]
Socialförsäkringsregister. [11]
Rätten till bistånd inom socialtjänsten. [30]
Kommunernas roll på alkoholområdet och inom missbrukarvården. [31]
Hälso- och sjukvården i framtiden – tre modeller. [38]
Ett år med betalningsansvar. [49]
Serveringsbestämmelser. [50]
Överföring av HIV-smitta genom läkemedlet Preconativ. [61]

Kommunikationsdepartementet

Postlag. [9]
Ökad konkurrens på järnvägen. [13]
Förarprövare. [34]

Finansdepartementet

Nya villkor för ekonomi och politik – ekonomikommisionens förslag. [16]
Nya villkor för ekonomi och politik – ekonomikommisionens förslag. Bilagor. [16]
Riksbanken och prisstabiliteten. [20]
Vad är ett statsråds arbete värt? [22]
Bankstödsnämnden. [28]
Fortsatt reformering av företagsbeskattningen. Del 2. [29]
Folk- och bostadsräkning år 1990 och i framtiden. [41]
Översyn av tjänsteinkomstbeskattningen. [44]
Kostnadsutjämning mellan kommuner. [53]
Beskattning av fastigheter, del I – Schablonintäkt eller fastighetsskatt? [57]
Effektivare ledning i statliga myndigheter. [58]
Rättssäkerheten vid beskattningen. [62]

Utbildningsdepartementet

Kursplaner för grundskolan. [2]
Ersättning för kvalitet och effektivitet. – Utformning av ett nytt resurstilldelningssystem för grundläggande högskoleutbildning. [3]
Vårdhögskolor – kvalitet – utveckling – huvudmannaskap. [12]
Kunskapens krona. [23]
Frågor för folkbildningen. [64]

Jordbruksdepartementet

Livsmedelshygien och småskalig livsmedelsproduktion. [6]
Sociala åtgärder för jordbrukare. [25]
Åtgärder för att förbereda Sveriges jordbruk och livsmedelsindustri för EG. [33]

Arbetsmarknadsdepartementet

Ny anställningsskyddslag. [32]
Politik mot arbetslöshet. [43]
Ersättning vid arbetslöshet. [53]

Kulturdepartementet

Löneskillnader och lönediskriminering. Om kvinnor och män på arbetsmarknaden. [7]
Löneskillnader och lönediskriminering. Om kvinnor och män på arbetsmarknaden. Bilagedel. [8]
Ägandet av radio och television i allmänhetens tjänst. [17]
Utlänningslagen – en partiell översyn. [24]
En gräns för filmcensuren. [39]
Utvisning på grund av brott. [54]

Näringsdepartementet

Svenska regler för internationell omfördelning av olja vid en oljekris. [15]

Statens offentliga utredningar 1993

Systematisk förteckning

Civildepartementet

Trosa bryter sig loss. Bytänkande eller demokratins räddning. [45]
Vissa kyrkofrågor. [46]
Konsekvenser av valmöjligheter inom skola, barnomsorg, äldreomsorg och primärvård. [47]
Kommunala verksamheter i egen förvaltning och i kommunala aktiebilag. En jämförande studie. [48]
Ny marknadsföringslag. [59]

Miljö- och naturresursdepartementet

Acceptans Tolerans Delaktighet. [18]
Kommunerna och miljöarbetet. [19]
Miljöbalk. Del 1 och 2. [27]
Naturupplevelser utan buller – en kvalitet att värna. [51]
Handlingsplan mot buller.
Handlingsplan mot buller. Bilagedel. [65]

Medicinska synpunkter på bullerproblem

Omgivningsbullers effekter på människor

Talkommunikation i buller

Buller och inlärning

Priset på tystnad, en enkätstudie om människors värdering av bullerdämpande åtgärder

Flygbullermått och krav på mätförhållanden

Bullerexponerade i Sverige, Hur många är det egentligen? En jämförelse mellan TBU, 1973 och Wittmark 1992

Trafikbullerutveckling 1974 - 2010, Historia och tekniska möjligheter

Åtgärder mot däck/vägbanebuller

Flygbullret i Sverige - en underlagsrapport

Spårtrafikbuller, förslag till handlingsprogram

Synpunkter på reglerna för industrins omgivningsbuller-störningar

Byggbuller, förslag till handlingsprogram

Tekniska aspekter på bullret som arbetsmiljöproblem

Buller i det militära försvaret. Ett underlag till utredningen 'Handlingsplan mot buller"

ALLMÄNNA FÖRLAGET

BESTÄLLNINGAR: FRITZES KUNDTJÄNST, 106 47 STOCKHOLM
FAX 08-20 50 21, TELEFON 08-690 90 90