

Bilagadel B till Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande SOU 2007:

Bakgrund

2005-06-30 beslutade regeringen att tillsätta en särskild utredare för att kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar och de regionala och lokala konsekvenserna av dessa förändringar.

Uppdraget kan kort sammanfattas enligt följande:

En särskild utredare skall

- Kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar och de regionala och lokala konsekvenserna av dessa förändringar samt bedöma kostnader för skador som klimatförändringarna kan ge upphov till.
- Föreslå åtgärder som minskar samhällets sårbarhet för både successiva klimatförändringar och enstaka extrema väderhändelser samt redovisa om det finns behov av ändrade uppgifter och förbättrad beredskap vid berörda myndigheter.

Av särskilt intresse är klimatförändringarnas påverkan bland annat på

- Infrastruktur, t.ex. vägar, järnvägar, telekommunikation, byggnadsbestånd, energiproduktion och elförsörjning, areella näringar, vattenförsörjning och avloppssystem.

I uppdraget ingick också att inhämta så bred erfarenhet och sakkunskap som möjligt och att utredaren skall samråda med berörda aktörer, bl.a. myndigheter.

Till utredare för uppdraget utnämndes Bengt Holgersson, då landshövding i Skåne län.

För att få fram underlag till utredningen inrättades ett stort antal arbetsgrupper. I arbetsgrupperna ingick experter från myndigheter, forskningsinstitutioner, näringslivet och organisationer. Arbetsgrupperna, vissa myndigheter, forskningsinstitutioner, forskare, experter och intresseorganisationer har tagit fram underlagsrapporter.

Denna bilaga består av dessa rapporter samt några konsultrapporter.

Bilageförteckning B

Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhets- utredningen – gruppen transporter

Vägverket **Bilaga B 1**

Klimat- och sårbarhetsutredningen – Påverkan på järnvägssystemet

Banverket **Bilaga B 2**

Underlag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (M 2005:03) om sjöfartssektorn

Sjöfartsverket **Bilaga B 3**

Redovisning av sårbarhetsanalys inom flygsektorn

Luftfartsverket och Luftfartsstyrelsen **Bilaga B 4**

Elektronisk kommunikation – Tele- och datakommunikationssystem

**Möjlig påverkan av förändrade klimat- och väderbetingelser i ett
längre perspektiv**

Post- och telestyrelsen **Bilaga B 5**

Rapport för Klimat- och sårbarhetsutredningen från Teracom AB – Radio- och TV-distribution

Teracom AB **Bilaga B 6**

Konsekvenser för Svenska Kraftnäts anläggningar p.g.a. klimatförändringar

Svenska Kraftnät **Bilaga B 7**

**Klimat- och sårbarhetsutredningen, elförsörjning
i Sverige**

Svensk Energi.....Bilaga B 8

Klimatet och dammsäkerheten i Sverige

Arbetsgruppen om dammsäkerhet Bilaga B 9

**Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat
klimat – rapport till Elforsk och Klimat- och
sårbarhetsutredningen**

SMHI.....Bilaga B 10

**Analys av värme- och kylbehov för bygg- och
fastighetssektorn i Sverige**

IVL Svenska Miljöinstitutet Bilaga B 11

Fjärrvärme

Svensk Fjärrvärme AB.....Bilaga B 12

Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat**– Sårbarheter för klimatförändringar och extremväder,
samt behov av anpassning och anpassningskostnader**

Arbetsgruppen för dricksvatten Bilaga B 13

**Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred,
ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat**Arbetsgruppen för översvämning, ras, skred och
kusterosion Bilaga B 14**Inventering av kommunernas hantering av över-
svämning, ras och skred****Inom den kommunala planeringsprocessen**

Inregia AB Bilaga B 15

Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem – Problembeskrivning, kostnader och åtgärdsförslagArbetsgruppen för va-system **Bilaga B 16****Byggnader i förändrat klimat****Bebyggelsens sårbarhet för klimatförändringar och extrema väder exkluderat översämningar, ras och skred samt dagvatten**Boverket **Bilaga B 17****Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar**Skogsstyrelsen **Bilaga B 18****Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket**Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, Arbetsrapport 34 **Bilaga B 19****Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket**Skogforsk **Bilaga B 20****Vegetationsbrand 2020, 2050 och 2080**Räddningsverket med stöd av SMHI och SLU **Bilaga B 21****Omvärldsanalyser och skogsnäringens utveckling.****Skogsnäringens utveckling – strukturomvandling, rationalisering, internationell konkurrens, efterfrågan på olika skogsprodukter inklusive bio-bränslen (2020 med utblick mot 2050 och 2080)**Skogsindustrierna **Bilaga B 22****Modellering av vegetationsförskjutningar i Sverige under framtida klimatscenarier**Lunds universitet, Centrum för geobiosfärsvetenskap, Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys **Bilaga B 23**

**Bedömningar av klimatförändringars effekter på
växtproduktion inom jordbruket i Sverige**

Sveriges Lantbruksuniversitet **Bilaga B 24**

**Klimatförändringarnas påverkan på markavvattning
och bevattning**

Jordbruksverket..... **Bilaga B 25**

Klimat effekter på svenskt fiske

Fiskeriverket..... **Bilaga B 26**

Rennäringen

Klimat- och sårbarhetsutredningen **Bilaga B 27**

Naturbaserad turism och klimatförändring

ETOUR **Bilaga B 28**

Öland – Turism, algblomning och klimatförändring

**En fallstudie av 3 klimatscenariers ekonomiska
effekter på turismen till Öland på 2020-talet**

Resurs AB..... **Bilaga B 29**

Biologisk mångfald och klimatförändringar

Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra?

Centrum för Biologisk Mångfald **Bilaga B 30**

Klimatförändringar och resiliens

– Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen

Environmental Change Institute, Oxford University Centre
for the Environment

Beijerinstitutet för ekologisk ekonomi, Kungliga

Vetenskapsakademien

centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning (CTHM),

Stockholms universitet

Institutionen för Systemekologi, Stockholms universitet

Stockholm Resilience Centre, Stockholms universitet **Bilaga B 31**

Klimatförändringars påverkan på ytvattenkvalitetenSveriges Lantbruksuniversitet..... **Bilaga B 32****Klimat effekter på Östersjön – resultat från ett seminarium**Naturvårdsverket och Klimat- och sårbarhets-
utredningen **Bilaga B 33****Hälsoeffekter av en klimatförändring i Sverige****En nationell utvärdering av hälsokonsekvenser hos
människa och djur. Risker, anpassningsbehov och
kostnader**Arbetsgruppen för hälsa..... **Bilaga B 34****Anpassningsåtgärder i andra länder**Klimat- och sårbarhetsutredningen..... **Bilaga B 35**

Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter

Vägverket
Håkan Nordlander, Per Löfling, Ove Andersson

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
april 2007

Innehåll

1	Bakgrund	5
2	Inledning.....	7
3	Systembeskrivning	9
3.1	Anläggningsdelar, livslängder.....	9
3.2	Geografisk beskrivning.....	15
3.3	Systemets redundans.....	16
3.4	Känsliga klimatfaktorer och konsekvenser av dagens klimat	17
3.5	Systemförändringar/utveckling.....	21
3.6	Vidtagna åtgärder och pågående forskning	21
4	Ansvarsförhållanden och regelverk i dag.....	22
5	Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser.....	26
5.1	Förändring av nederbörd och flöden	26
5.2	Förändring av temperatur.....	36
5.3	Förändring av vindhastigheter	43
5.4	Förändring av havsvattennivåer	45
6	Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder.....	46
6.1	Skred, ras, bortspolad väg och översvämningar	46
6.2	Nedbrytning av vägöverbyggnader.....	47

6.3	Vinterväghållning	48
6.4	Broar.....	48
6.5	Tunnlar.....	52
6.6	Färjelägen.....	53
7	Anpassningsåtgärder samt kostnaderna för dessa	53
7.1	Förebyggande åtgärder.....	53
7.2	Ansvar och förändring av regelverk	59
7.3	Forsknings- och utvecklingsbehov	59
8	Slutsatser	61
	Konsekvenser av ett förändrat klimat	61
	Förslag till åtgärder för att anpassa vägtransportsystemet till ett ändrat klimat	64
	Underbilaga.....	65

1 Bakgrund

2005-06-30 beslutade regeringen att tillsätta en särskild utredare för att kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar och de regionala och lokala konsekvenserna av dessa förändringar.

Uppdraget kan kort sammanfattas enligt följande:

En särskild utredare skall

- Kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar och de regionala och lokala konsekvenserna av dessa förändringar samt bedöma kostnader för skador som klimatförändringarna kan ge upphov till.
- Föreslå åtgärder som minskar samhällets sårbarhet för både successiva klimatförändringar och enstaka extrema väderhändelser samt redovisa om det finns behov av ändrade uppgifter och förbättrad beredskap vid berörda myndigheter.

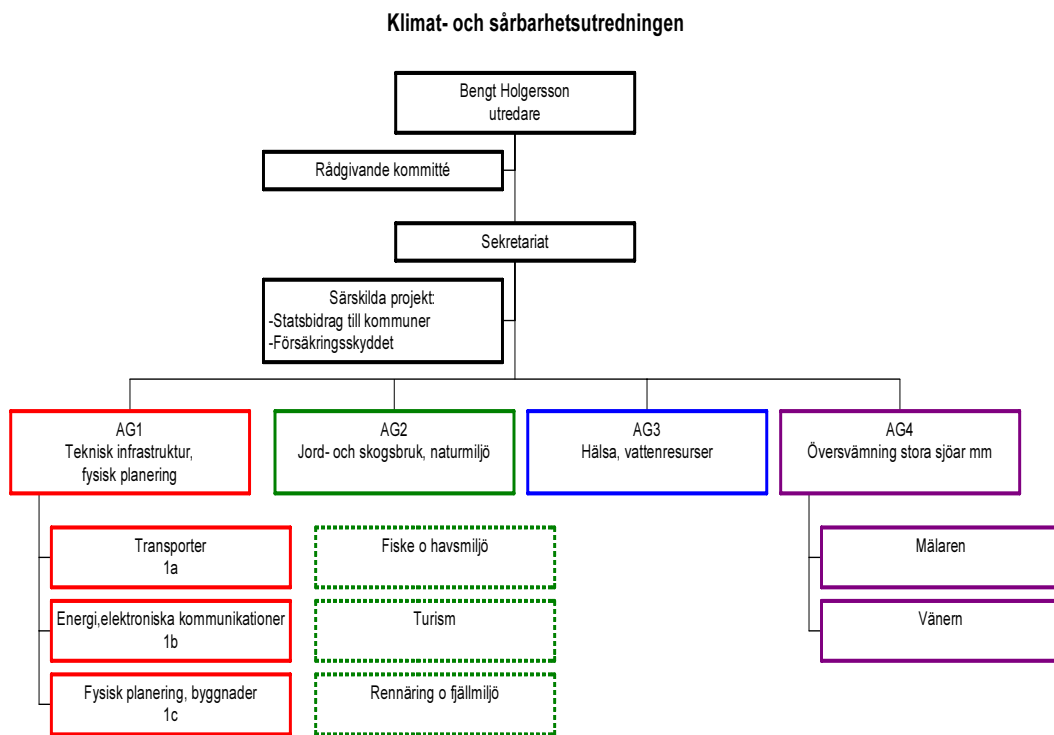
Av särskilt intresse är klimatförändringarnas påverkan bland annat på

- Infrastruktur, t.ex. vägar, järnvägar, telekommunikation, byggnadsbestånd, energiproduktion och elförsörjning, areella näringar, vattenförsörjning och avloppssystem.

I uppdraget ingick också att inhämta så bred erfarenhet och sakkunskap som möjligt och att utredaren skall samråda med berörda aktörer, bl.a. myndigheter.

Till utredare för uppdraget utnämndes Bengt Holgersson, tidigare landshövding i Skåne län och som huvudsekreterare förordnades Tom Hedlund.

Utredningen ska studera klimatförändringar med hjälp av 3 olika globala modeller baserat på två olika utsläppsscenarier, A2 och B2, samt för tre olika tidsperioder. Tidsperioderna som ska behandlas är 2010–2040 (kort sikt), 2040–2070 (medellång sikt) samt 2070–2100 (lång sikt). Arbetet utförs via nedanstående organisation:



Av dessa grupper lämnade arbetsgrupp 4, som behandlat översvämningsspörsmål kring Mälaren, Hjälmaren och Vänern, sitt delbetänkande före jul 2006. Övriga arbetsgrupper ska vara klara med sitt arbete i mars för att utredningen sedan ska kunna lämna sitt slutbetänkande senast den 1 oktober 2007.

Ansvarig sekreterare för Arbetsgrupp 1 (Teknisk infrastruktur, fysisk planering) har varit Christina Frost. Arbetsgrupp 1 har sedan arbetat i undergrupper där transporter utgjort en av dessa. Deltagande myndigheter i undergruppen transporter har förutom Vägverket varit Banverket, Sjöfartsverket, Luftfartsstyrelsen, Luftfartsverket, Krisberedskapsmyndigheten, SMHI samt SGI.

2 Inledning

Vägverkets projektgrupp för arbetet i klimat- och sårbarhetsutredningen har letts av Håkan Nordlander, beredskapshandläggare på upphandlingssektionen (VSju) vid Vägverket Support på uppdrag av Per-Erik Westman, HKp. Per Löfling, Vägverket Konsult och Ove Andersson, Vägverket Region Mitt, har också ingått i projektgruppen samt inledningsvis även Lena Elvin, Vägverket Konsult.

När arbetet framskridit att börja behandla konkreta frågeställningar kring klimatets påverkan på vägtransportsystemet knöts en arbetsgrupp med experter från Samhälle och trafiks teknikavdelning, sektionerna Väg (Stev), Drift (Sted) samt Bro och tunnel (Steb) till projektet. Från dessa sektioner deltog ett brett spektra av kompetens till och från i arbetet men arbetsgruppen bestod av Torbjörn Svensson, Magnus Billberger, Lars Persson och Klas Hermelin samtliga från Stev, Dan Eriksson och Pontus Gruhs från Sted samt Ebbe Rosell från Steb.

Inledningsvis lämnades en beskrivning av de händelser som drabbat vägtransportsystemet negativt under den senaste tioårsperioden på grund av extrema väderhändelser till utredningen. Bland de större störningar som skett kan nämnas de höga flöden som drabbade Mellannorrland och Vänernområdet år 2000–2001 samt verkningarna av stormen Gudrun år 2005. Därefter gjordes en systembeskrivning över vägtransportsystemet vilken sedan under arbetets gång delvis omarbetats. Systembeskrivningen redogörs närmare för under punkt 3 samt biläggs. Ovan beskrivna arbete skedde via projektgruppen vilken även deltog i arbetsmöten med klimat- och sårbarhetsutredningens arbetsgrupp transporter.

När så effekterna på vägtransportsystemet närmare skulle analyseras knöts tidigare beskrivna arbetsgrupp från enheten Samhälle och trafik till arbetet. Respektive sektion har analyserat de sammanställda klimatindex vi fått från SMHI utifrån sitt ansvarsområde men gruppen har också gemensamt tittat på effekterna utifrån en helhetssyn på förändringarna. Till sin hjälp hade arbetsgruppen också ur SMHI:s kartmaterial framtolkade värden från Projektgruppen med tillhörande förändringsdiagram som redovisas i bilaga.

Efter inledande möten och diskussioner kunde konstateras att det främst var nedanstående klimatfaktorer som påverkade vägtransportssystemet:

- Isbeläggning
- Flöden
- Havsnivå
- Temperatur
- Nederbörd
- Vind

Under arbetets gång konstaterades tämligen snabbt att det inte var möjligt utifrån tid och resurser att fördjupa sig inom alla vägtransportsystemets delar, alla modeller, alla tidsperspektiv och på båda utsläppsscenarierna. Gruppen beslöt därför, efter samråd med utredningssekreteraren för transportgruppen, att i huvudsak arbeta utifrån nedanstående förutsättningar:

- Som modell välja Echam4 (den tyska modellen)
- Som klimatscenario välja A2 (det scenario som pekar på kraftigare utsläppsökningar)
- Som tidsperspektiv använda perioden 2070–2100

Dock har även de andra givna förutsättningarna beaktats och sker markanta förändringar över tiden har detta analyserats och tagits upp i rapporten. Tonvikten i det fortsatta arbetet har också fokuserat på de delar av Vägverkets verksamhet som gruppen bedömt påverkas mest av klimatförändringarna.

Som en viktig del i utredningen ingår givetvis vilka kostnader, ökande eller minskande, som klimatförändringen innebär för vägtransportssystemet. Där har gruppen försökt att i möjligaste mån se på de kostnader Vägverket har, och har haft under den senaste perioden, med dagens klimat, både för drift och underhåll samt vid om- och nybyggnad.

Sammantaget kan sägas att rapporten behandlar klimatförändringens påverkan på vägtransportssystemet, utifrån Vägverkets väghållaransvar, på en övergripande nivå. Tid och resurser har inte funnits för djupstudier. Utifrån Vägverkets sektorsansvar kan också nämnas att rapporten inte behandlar skogsbilvägnät eller kommunala gator och vägar eftersom det förutsätts att grupperna fysisk planering och areella näringar behandlar den problematiken i sitt arbete inom utredningen.

Frågeställningarna är många och området viktigt för framtiden, därför lämnas i slutet på rapporten också förslag på hur Vägverket kan gå vidare med klimatfrågorna utifrån ett anpassningsperspektiv.

3 Systembeskrivning

3.1 Anläggningsdelar, livslängder

Riksdagen har år 2002 beslutat om inriktningen av transportinfrastrukturen ”Infrastruktur för ett långsiktigt hållbart transportsystem”. I denna har ett övergripande mål och ett antal delmål satts upp.

Det övergripande målet för transportpolitiken är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgare och näringsliv i hela landet. Nedan följer en kort beskrivning av några av delmålen.

Tillgängligt transportsystem:

I detta breda mål ligger tillgänglighet för gång- och cykeltrafik, kollektivtrafik. Personbilstrafik, tung fordonstrafik, tillgänglighet för funktionshindrade, barn och äldre. I delmålet ligger också flexibilitet mellan färdssätt och transportslag samt markanvändning.

Hög transportkvalitet (framkomlighet):

Delmålet avser transportsystemets utformning och funktion för såväl medborgarna som näringslivet. Exempel på kvaliteter som ingår är systemets tillförlitlighet, bärighet och vägytors standard. Vägar med exempelvis varierande ÅDT medför olika krav på utformning.

Säker trafik:

Det långsiktiga målet är att ingen ska dödas eller skadas allvarligt till följd av trafikolyckor. Transportsystemets utformning och funktion ska anpassas till de krav som följer av detta.

Vägkategorier

Sveriges vägar kan delas in på flera olika sätt beroende på syfte. Ett sätt att dela in vägarna är beroende på vem som ansvarar för vägen. Sveriges vägnät består av ca 9 800 mil *statliga vägar*, 3 700 mil *kommunala vägar* och ca 28 000 mil *enskilda vägar*. Ca 15 000 mil av de enskilda vägarna består av skogsbilvägar. Statsbidrag ges till ungefär 24 000 enskilda väghållare för att sköta ca 7 500 mil väg. Väghållare för de enskilda vägarna kan exempelvis vara vägföreningar, vägsamfälligheter och samhällighetsföreningar. Väghållaren har det juridiska ansvaret för vägen och ska se till att vägen är farbara även för främmande/genomgående trafik på det bidragsberättigade vägnätet. Vid större katastrofer, såsom stormen Gudrun, kan väghållare för enskilda vägar söka ekonomisk kompensation för exempelvis körskador hos Vägverket.

Enskilda vägar kan även delas in i vägkategorier (A-F) beroende på hur mycket vägen används, till vad den används och avstånd till allmänna vägnätet.

De statliga vägarna kan även delas in efter vägens betydelse, *europaväg*, *riksväg* och *länsväg*. Riksväg är en klassifikation av vägar som finns i flera länder. Betydelsen varierar mellan olika länder, men betyder ofta att vägen är betydelsefull för landets infrastruktur. Riksvägar numreras från 1–99. Generellt sett har vägarna hög standard och passerar ibland genom flera län.

Inom gruppen riksvägar finns också europavägarna. Dessa vägar bedöms vara viktiga för Europa och binder samman Europas länder. FN:s Europakommission (ECE) fattar beslut om en väg ska vara europaväg efter framställning från regeringen. Att en riksväg klassas som europaväg behöver inte vara kopplat till vägens standard. Europavägnätet pekades ut på 1970-talet och har inte ändrats sedan dess, förutom att riksväg 45 uppgraderades till ny europaväg under 2006.

De vägar av det statliga vägnätet som inte är europaväg eller riksväg är länsvägar. Dessa vägar delas in i undergrupper. De

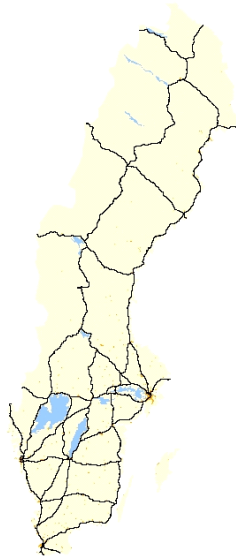
primära länsvägarna numreras från 100–499 och går ibland genom flera län. De sekundära och tertiära länsvägarna har egna nummer-serier inom respektive län samt en efterföljande länsbokstav. De sekundära vägarna numreras från 500–2999 och de tertiära numreras från 3000–9999.

I Sverige finns även ett nationellt stamvägnät, som fastställs av regeringen. Syftet med det utpekade vägnätet är att ge stabilitet och långsiktighet i väginvesteringarna. Stamvägnätet består av vägar som bedöms vara betydelsefulla för riket som helhet. Vägarna ska fylla en mångsidig funktion för landets ekonomi och välfärd. Vägnätet ska vara sammanhängande med en hög och jämn standard. Stamvägnätet utgör ett riksintresse för kommunikationsanläggningar enligt Miljöbalken 3 kap. En stor del av nätet består av europavägar och riksvägar.

Varje region har pekat ut ett antal vägar som bedöms vara särskilt viktiga för näringslivets transporter. Detta vägnät används främst som underlag vid framtagandet av länsvisa planer.

I Europa finns ett utpekat vägnät för att säkerställa framkomlighet för personer och varor, erbjuda användarna infrastruktur av hög kvalitet, vara baserat på alla transportslag samt möjliggöra ett optimalt utnyttjande av befintlig kapacitet. Detta vägnät heter transeuropeiska transportnätverket, TEN. I Sverige ingår alla europavägar i TEN, men det behöver inte vara så i andra europeiska länder. Exempel på övriga vägar som ingår i TEN är RV40. Beslut om vilka vägar som ska ingå i TEN fattas av EU. Nätet pekades ut i början av 1990-talet.

Huvudstrukturen i vägnätet framgår av karta i figur 1 över det nationella stamvägnätet. Fasta förbindelser finns till Danmark, Norge och Finland. Förbindelse genom bilfärjor finns till Finland, Baltikum, Polen, Tyskland, Danmark och Storbritannien. De stora stråken löper av naturliga skäl i nord-sydlig riktning med tvärförbindelser. I den mer tätbefolkade södra landshalvan finns dessutom en del diagonala förbindelser. I framförallt södra och västra Sverige och i Mälardalsområdet finns utöver de stora stråken ett finmaskigt statligt vägnät. I övriga delar av landet, särskilt Norrland, är det statliga vägnätet glesare. I dessa områden är i stället skogsbilvägnätet utbrett. Färjeleder finns framförallt i Bohuslän och Stockholms skärgårdar.

Figur 1 Nationellt stamvägnät

Broar och trummor

I den följande texten används uttrycken broar och vägtrummor. I Vägverkets benämningar är ett byggnadsverk med en fri öppning större än 2,0 m en bro oavsett utformning. På samma sätt är ett byggnadsverk med en fri öppning mindre än 2,0 m en vägtrumma oavsett utformning. Broar med den för vägtrummor typiska ringformen kallas rörbroar. Gränsen mellan vägtrumma och bro ändrades i början av nittioalet från 3,0 till 2,0 m.

Med utgångspunkt från klimatets påverkan har vägnätet i analysen delats in i anläggningstyper och anläggningsdelar enligt nedanstående tabell 1.

Tabell 1 Anläggningstyper- och delar

Anläggningstyp/anläggningsdel	Klimatberoende konsekvens
Väg	Skred, ras och erosion
Väg	Översvämning
Väg	Snöhinder och ishalka
Vägöverbyggnad	Deformation och sprickor (bärighetsförlust)
Vägtrumma	Dämning, erosion och bortspolning av väg
Bro	Temperaturalstrade spänningar
Stora broar	Vindalstrade svängningar, vindlast på bro och fordon
Häng- och snedkabelbroar	Nedisning
Betongbro	Försämrade beständighet
Träbro	Försämrade beständighet
Lågt liggande bro	Dämning, erosion, bortspolad väg
Broöverbyggnad	Dämning, förskjutning av broöverbyggnad
Brostöd	Erosion
Tunnelpåslag	Översvämning i tunnel, upplyftning av tunnelkonstruktion
Färjläge	Höga och låga vattenstånd

Vid nybyggnad dimensioneras konstruktionerna med tekniska livslängder enligt tabell 2. Teknisk livslängd är ett begrepp som används för att precisera beställningen vid investering. Den faktiska livslängden är normalt betydligt längre om genomgripande reparationer görs.

Tabell 2 Normal teknisk livslängd på olika delar av investeringsprodukter (Hämtad från VGU, VV publikation 2004:80, Vägar och gators utformning)

Klass	Median (år)	Minst (år)	Anläggningsdel
TLK 120	150	120	Bro med spännvidd >200 m eller längd >1000m
TLK 80	100	80	Tunnel med längd >1000m
TLK 40	50	40	Övriga broar och tunnlar
TLK 20	25	20	Vägunterbyggnad
			Vägöverbyggnad
			Vägutrustning typ betongfundament och betongbarriärer
			Trafikteknisk funktion (kan vara kortare vid förbättringsåtgärder)
			Vägbeläggning
			Övrig vägutrustning

Den trafiktekniska funktionen för nybyggnadsobjekt dimensioneras för det 20:e året efter trafiköppning. Dimensionerande livslängd för förbättringsåtgärder bestäms från fall till fall – normalt 10–20 år.

För färjeleder gäller särskilda dimensioneringsbestämmelser.

De statliga vägarna delas in efter bärighetsklasser. Ca 92 % av det allmänna vägnätet tillhör den högsta bärighetsklassen (BK1). Inom tätorter är andelen vägar tillhörande BK1 lägre. I tabell 3. redovisas maximalt tillåtna axeltryck i BK1, BK2 och BK3. Utöver de krav som redovisas i tabellen finns exempelvis krav på boggitryck, trippelaxeltryck och bruttovikt.

Tabell 3 Maximalt tillåtna axeltryck i olika bärighetsklasser

Tryck	BK1	BK2	BK3
Axeltryck, ej drivande	10 ton	10 ton	8 ton
Axeltryck drivande	11,5 ton	10 ton	8 ton

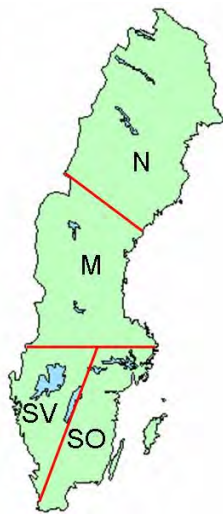
Andra egenskaper som kan anges är upplåten axel- och fordonsvikt (A/F), vägbredd och fri höjd. För vägar är fri höjd i allmänhet 4,5 meter och för GC-vägar 3,5 meter. Avvikelse för delar av vägnätet förekommer för:

- nedsatta axeltryck/fordonsvikt (exempelvis vid tjällossning)
- dispenstrafik
- begränsad storlek/fri höjd

3.2 Geografisk beskrivning

För att kunna hitta användbara kostnadsuppgifter har gruppen använt en indelning av landet i fyra delar som grovt sammanfaller med Vägverkets organisation, figur 2 och 3. Med hjälp av olika metoder har sedan gruppen nyttjat differenskartorna och de av projektgruppen framtolkade tabellerna och diagrammen för en uppskattning av förändringen i kostnad för drift, nybyggnation mm baserat på ovanstående fyra delar av landet. De framtolkade tabellerna och diagrammen utifrån erhållet klimatförändringsunderlag från SMHI redovisas i bilaga.

Anledningen till val av indelning är att vid studier av de förändringar som kommer att ske finns naturliga gränser mellan sydöstra och sydvästra delen av landet och en tydlig gränsszon mellan syd och norr vid Mälardalen. Mitt och norr har delats i två områden på grund av den stora skillnaden i värden från längst i syd till längst i norr, även om ingen lika tydlig gräns kan urskiljas som i de andra avgränsningarna.



Figur 2



Figur 3

För vissa konsekvenser, t.ex. skred, ras och erosion, har dock en annan indelning använts. Som utgångspunkt för bedömning av förändringar har SGU:s översiktskartor över skred- och rasfrekvens och förutsättningar för erosion använts. En särskild arbetsgrupp har analyserat hur ett förändrat klimat kan komma att påverka skred, ras och erosion. Denna analys har utgjort underlag för bedömning av konsekvenser för vägtransporter, se avsnitt 5.1. Arbetsgruppens rapport, SGI, Översiktlig bedömning av jordrörelser vid ett förändrat klimat biläggs.

3.3 Systemets redundans

Möjligheten av att använda alternativa vägförbindelser (trafikomledning) då en väglänk stängs varierar mycket inom vägnätet. I tätbefolkade delar där större topografiska barriärer saknas finns i regel goda möjligheter att leda om trafiken vid vägabrott. Särskilt i och intill tätorter finns många omledningsalternativ men kapaciteten kan vara begränsad. Nybyggda vägar på landsbygden har goda alternativ om den äldre vägen finns kvar i ursprungligt skick. Stora delar av det glesa statliga vägnätet saknar goda omledningsalternativ. Även om enskilda vägar skulle kunna utnyttjas har de i regel bärighetsbegränsningar och för låg kapacitet och kan därför ofta bara användas av lätt närtrafik. Tunga fordon och fjärrtrafik tvingas till längre omvägar.

När långvariga avbrott inträffar kan provisoriska broar och vägar byggas för att minska samhällsförlusterna. Möjlighet att inrätta tillfällig färjeled för BK1 finns också, dock med begränsad kapacitet.

Beskrivning av hur sårbar transportförsörjningen är för avstängning av olika väglänkar kan redovisas i *sårbarhetskartor*, se avsnitt 3.6

3.4 Känsliga klimatfaktorer och konsekvenser av dagens klimat

3.41 Nederbörd och flöden

Vägar

Klimatförändringar påverkar långsiktig nedbrytning av väg både med avseende på bärighet respektive beständighet. De viktigaste klimatfaktorerna för förändring av denna nedbrytning bedöms vara temperatur och vattentillgång, särskilt representerad av medeltemperatur, höga temperaturer, förekomst av tjäle och vattentillgång vilket antas ges av avrinning.

Inverkan på spårbildning och deformationer av höga grundvattennivåer och vatteninnehåll i vägöverbyggnad är svår att särskilja från inverkan av andra klimatfaktorer och redovisas samlat under klimatfaktorn temperatur. Inverkan och konsekvenser av extrema vattennivåer (översvämningar) på vägöverbyggnad behandlas dock i avsnitten 5.13 respektive 6.1.

Nederbördens påverkan på vinterväghållningen beskrivs tillsammans med inverkan av temperatur i avsnitt 3.42.

Nederbörd påverkar väganläggningarna i första hand genom grundvattenbildning och genom avrinning i vattendrag antingen direkt efter regn eller genom snösmältning. Nederbörd i form av snö eller underkyllt regn på vägbana påverkar framkomlighet och trafiksäkerhet.

Långvarigt regn höjer grundvattenytan och ger förhöjda porvattryck i jorden vilket minskar stabiliteten hos naturliga slänter. Höga flöden innebär också erosionsrisk i vattendrag som försämrar stabiliteten för slänter intill vattendrag. Skred intill vattendrag inträffar ofta då vattennivåerna efter ett högt flöde sjunker undan eftersom vattnets stabiliserande effekt då minskar samtidigt som de höga portrycken i slänten inte hunnit återgå till normala nivåer.

Beroende på vattendragens storlek och geografiska läge inträffar de högsta flödena under olika väderförhållanden. Stora och medelstora vattendrag i södra Sverige får ofta sina största flöden efter rika och långvariga regn på senhösten, förvintern eller tidig vår. I övriga stora och medelstora vattendrag norröver inträffar maximala flöden i samband med snösmältningen. I små vattendrag som avvattnar områden på upp till något 10-tal kvadratkilometer ger intensiva regn under sommar eller höst de högsta flödena. Höga flöden kan ge skador på broar genom att plattgrundlagda

brostöd skadas av erosion. Intensiva regn ger höga flöden i de mindre vattendragen som spolat bort vägar. Särskilt känsliga är korsande trummor och mindre rörbroar genom att de kan sättas igen av sten, block och träd som förs med av extrema flöden. Nederbörd och höga flöden orsakar även översvämningar.

En inventering av skador orsakade av höga flöden under de nederbördsrika åren 1994–2001 visar på ca 200 större skador på det statliga vägnätet. Dessa fördelar sig antalsmässigt enligt följande:

- Översvämning ca 25 %
- Bortspolad väg ca 50 %
- Skred och ras ca 20 %
- Underspolade brostöd ca 5 %

Största delen av skadorna finns i ett område från västra Götaland och Värmland upp till mellersta Norrland. Utfallet är i första hand en kombination av extrema väderförhållanden och de geologiska och topografiska förhållandena.

Efter 2001 har ytterligare skador av höga flöden och skred inträffat. De flesta skadorna ger måttliga konsekvenser, < 0,1 Mkr. I några fall har skadorna varit mera omfattande:

- Flera höga vägbankar på väg 240 och väg 824 söder om Hagfors spolades bort efter ett intensivt regn i augusti 2004. Väg 240 återställdes efter fyra veckor. Totalkostnaderna översteg 20 Mkr.
- E12 vid Ånn spolades bort efter intensivt regn i augusti 2006. Provisorisk förbifart för personbilar anordnades efter två dygn. Vägen återställdes för all trafik efter två veckor. Totalkostnaderna översteg 6 Mkr. Även intilliggande järnväg spolades bort.
- E6 söder om Munkedal stängdes efter ett stort skred i december 2006. Efter omfattande återställningsarbeten kunde trafiken återgå 57 dygn efter skredet. I dagsläget finns ingen uppskattning av de totala kostnaderna. Den intilliggande järnvägen skadades också.

I inget fall har dödsfall eller allvarliga miljöskador inträffat. Skadorna utgörs till största delen av direkta kostnader för återställning av anläggningen och av indirekta kostnader för trafiken på grund av trafikomledning. Återställningskostnaden dominerar klart i de flesta fall. Möjligen kan de samhällsekonomiska kostnaderna för

trafikstörningen efter det senaste skredet söder om Munkedal bli större än återställningskostnaderna på grund av långvarigt trafikavbrott, stort trafikflöde och dåliga omledningsmöjligheter.

De totala kostnaderna för skador på grund av höga flöden och skred de senaste 12 åren kan uppskattas till 1000 Mkr, skredet på E6 söder om Munkedal oräknat.

Broskador på grund av vattenflöden

Skador på broar och på vägar vid brolägen orsakade av vattenflöden kan i huvudsak delas in enligt följande tre scenarier:

- Vattennivån kan stiga upp över en broöverbyggnads undersida så att bron dämmer vattendraget, se 5.14.
- På grund av intensiva regn på små avrinningsområden kan broar över små vattendrag utsättas för mycket höga flöden med kort varaktighet och kort förvarningstid, se 5.15.
- Broar med stöd i vatten eller nära stranden kan skadas genom att den jord stöden är grundlagda på eroderar bort, se 5.16.

De tre problemen ovan kan förekomma tillsammans i ett och samma broläge.

Skadebilden är beroende av vilket av de tre problemen som är aktuellt, se nedan. I samtliga fall kan en skada innebära att en väg behöver stängas för en tid. Vägtransportsystemets redundans för en avstängning av en väg beror på lokala och regionala förhållanden som till exempel trafikmängder, möjlighet till omledning eller möjlighet att upprätta en tillfällig förbindelse på platsen.

Om skadan består i att en vägbank spolats bort kan en reparation av förbindelsen normalt utföras inom några dagar eller inom några veckor. Att byta ut en mindre bro som skadats allvarligt tar normalt 6–12 månader. Rörbroar går dock att ersätta betydligt snabbare. För mindre broar kan tillfälliga förbindelser ordnas relativt enkelt med hjälp av reservbromateriel. Om en stor bro skadas allvarligt och måste bytas ut kan det röra sig om 2 å 3 år innan en ny bro finns på plats. För att åstadkomma tillfällig ersättning av en stor bro kan i vissa fall färjor eller reservbromateriel användas. En sådan förbindelse klarar dock inte stora trafikmängder.

3.42 Temperatur

Inverkan av temperatur (och nederbörd) på vägöverbyggnad beskrivs allmänt i avsnitt 5.21.

Dagens klimat innebär mer varierad temperatur runt noll i de södra delarna av landet och mer konstanta förhållanden i de norra delarna. Det innebär i sin tur att antalet halktillfällen (så kallad svart halka) är högre i de södra delarna än i de norra. De södra delarna är också de delar där mest trafik finns vilket innebär att det finns fler vägar med högre klassning enligt de så kallade vinterväggklasserna. I region Norr finns exempelvis inga vägar med klass 1 eller 2. Vägverket använder vinterväggklasser enligt följande tabell.

Tabell 4 Vägverkets vinterstandardklasser

Trafikflöde, ÅDT	Vinterstandardklass enligt Vinter 2003
≥16 000	1
8 000–15 900	2
2 000–7 900	3
500–1999	4
<500	5

I regelverket för vinterväghållning, ATB Vinter 2003 framgår vilka åtgärdstider och startkriterier som gäller för respektive vinterstandardklass. Dessa bygger enbart på hur mycket trafik som går på vägarna (ÅDT). I regel så används inte salt mer än i sandningssand norr om Dalarna, förutom väg E4.

3.43 Vind

Se kap 5.31 om vind på stora broar

3.44 Havsnivå

Havsnivån orsakar i dag vissa problem för Vägverkets färjetrafik. Vid, i dagens mått mätt, extrema högvattennivåer är det inte möjligt att upprätthålla viss trafik. Störningarna innebär dock inga långvariga eller bestående problem vid dagens nivåer.

För vissa tunnlar, främst i Göteborgsområdet, har extremt hög havsvattennivå orsakat störningar.

3.5 Systemförändringar/utveckling

Några nya metoder för vinterväghållningen är inte direkt aktuellt även om en utveckling hela tiden är nödvändig och också sker. Exempel på detta är utveckling av alternativa tömedel, bättre plogar etc.

3.6 Vidtagna åtgärder och pågående forskning

Väganläggningar dimensioneras med utgångspunkt från historiska klimatdata, för närvarande perioden 1961–1990. Med anledning av ökande skadefrekvens till följd av höga flöden utarbetas för närvarande nya dimensioneringsbestämmelser för nybyggnad och förbättring inom Vägverket. Dessa kommer att innehålla riskbaserade funktionskrav med avseende på höga flöden och mera konsekvent ta hänsyn till konsekvenser av en skada. Både egendomsskada, personskada, miljöskada och samhällsekonomisk skada till följd av trafikstörningar kommer att beaktas.

För det befintliga vägnätet har en omfattande inventering och analys av risker påbörjats. Alla typer av risker behandlas i detta arbete, men tyngdpunkten läggs på de delar av vägnätet som är särskilt sårbart för avstängningar och på erosions-, ras- och skredrisker. Inventeringen ger underlag för prioritering av åtgärder i den ordinarie planeringen.

Som ett led i översiktliga riskanalyser av det befintliga vägnätet har Vägverket analyserat hur sårbar transportförsörjningen är för avstängning av olika väglänkar. Den enklaste varianten av sårbarhetskarta anger den totala restidsförlängningen per dygn då en länk stängs. Sårbarhetskartor som anger total samhällsekonomisk förlust per dygn då en eller flera länkar stängs är möjliga att ta fram, men kräver mera omfattande analyser. Diagram för över-

siktlig bedömning av kostnader för trafikstörning finns också framtagna.

Inom höga flöden och skredrisker pågår en del forskning och utveckling. Några projekt har klar koppling till klimatets inverkan. ”Prognosmetoder för grundvattentryck och portryck vid ett förändrat klimat” tas fram och väntas ge mera tillförlitliga stabilitetsanalyser för slänter både vid dagens förhållanden och vid framtida förändringar i klimatet.

”Metoder för att finna vägtrummor med höga risknivåer i samband med intensivt regn och att beskriva riskreducerande åtgärder” har påbörjats. Detta krävs för att på ett kostnadseffektivt sätt kunna inventera och reducera riskerna. Här är det aktuellt att tillämpa för Sverige delvis nya tekniska lösningar varför omvärldsbevakning och erfarenhetsutbyte med länder som har svåra förhållanden blir nödvändig.

4 Ansvarsförhållanden och regelverk i dag

Vägar

Vid nybyggnad dimensioneras väg med hänsyn till säkerhet mot skred från och med mitten av 1990-talet i tre säkerhetsklasser med en förenklad styrning utifrån konsekvenserna. Samtidigt infördes krav på kombinerad analys, vilket innebär att även kombinationen av dränerat och odränerat brott skall beaktas. Tidigare tillämpades en och samma säkerhet oavsett konsekvens och normalt antingen odränerad eller dränerad analys. Inverkan av höga portryck beaktades då inte fullt ut vilket medfört att många äldre vägkonstruktioner inte uppfyller dagens krav på säkerhet mot skred. För befintliga konstruktioner saknas uttalade krav på säkerhet mot skred. Där säkerhetsnivån bedöms för låg utformas förstärkningsåtgärder normalt efter en sammanvägning av kostnader och effekt av möjliga åtgärder. Dagens krav vid nybyggnad används dock alltid som utgångspunkt men är inte alltid möjlig att uppnå.

Vägtrummor har under lång tid oavsett konsekvens dimensionerats för att kunna avbörda ett femtioårsflöde utan nämnvärd dämning. Vägkonstruktionen som helhet är dock mycket sårbar för flöden som ger större dämning. Dämningssituationer kan inträffa

antingen på grund av flöden som väsentligt överstiger det dimensionerande flödet eller för lägre flöden om truminlopp sätts igen. Det förutsätts visserligen att inspektion och underhåll sker så att inloppen inte sätts igen. I verkligheten är det inte praktiskt möjligt att säkra inloppen under Extremsituationer.

Krav på vägars höjdläge i förhållande till höga vattennivåer saknas. I de flesta fall medför dock andra krav, t ex. krav på dränering av överbyggnaden, att nybyggda vägar får tillräcklig säkerhet mot översvämning. Många äldre vägar har dock små marginaler mot översvämning.

Vinterväghållning

Till nu gällande regelverk för vinterväghållning ATBVinter 2003 (VV Publ. 2002:148) finns publikation 2002:147 framtagen som beskriver vad som styr valet av vinterväghållningsstandard. De kapitel som finns beskrivna är:

Samråd

Vinterväghållning ska planeras i samråd med trafikhuvudmannen och länsstyrelsen i respektive län, berörda kommuner och Vägverkets regionala handikappråd. Av kontinuitetsskäl skall samråd även ske med angränsande regioner så att eventuella standardförändringar lokaliseras där det inte upplevs överraskande av trafikanterna.

Definitioner

Särskild beredskapsnivå:

Med särskild beredskapsnivå avses en varning för en svårare vädersituation. Se "VÄDERVARNINGSKRITERIER". Väghållningsregionen ska upprätta rutiner för icke normala förhållanden. Vid läget särskild beredskapsnivå ska beställaren arbeta efter dessa rutiner. I väghållningsregionens rutiner för icke normala förhållanden ska det framgå när beställaren går in och leder verksamheten.

Val av standard

Väghållningsstandarden, dvs. vilka standardklasser som ska användas på respektive vägnät i en region, läggs fast i planeringsprocessen.

Vägbana och sidoanläggning

En väg ska utifrån sitt trafikflöde hänföras till en vinterstandardklass enligt tabell 4 kap 3.42

Motiv för val av annan vinterstandardklass

Nedan ges exempel på motiv för val av annan vinterstandardklass. De angivna motiven är inte att betrakta som avsteg. Speciella förhållanden kan motivera att annan väghållningsstandard väljs. Exempel på detta är stora variationer mellan sommar- och vinterdygnstrafik, hög andel tunga fordon, viktiga näringslivstransporter samt omfattande kollektivtrafik.

Av säkerhets- och komfortskäl eftersträvas en jämn standard. Standardförändringar ska ske där det inte upplevs överraskande av trafikanterna.

Särskilt olycksdrabbade vägar kan prioriteras och hänföras till en högre standardklass.

Prioriterade busshållplatser

Busshållplatser som ska prioriteras är mycket frekvent nyttjade hållplatser vid t.ex. serviceboende, skolor och resecentra. Även busshållplatser som används frekvent av personer med funktionsnedsättning ska vara prioriterade.

Broar

Vägverkets krav vid nybyggnad av broar framgår av "Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggnad och förbättring av broar, Bro 2004", VV publ. 2004:56. Erosionsskydd vid broar utformas och dimensioneras enligt "Erosionsskydd i vatten vid väg- och

brobyggnad", VV publ. 1987:18 samt utförs enligt "Utförande av erosionsskydd i vatten", VV publ. 1987:91.

Broar och erosionsskydd vid broar dimensioneras normalt för vattenflöden och vattenstånd med 50 års återkomsttid. Sedan mitten av nittioalet dimensioneras dock erosionsskydd för broar med längd större än 25 m för 100 års återkomsttid.

För broar som byggs över vattendrag krävs en fri höjd mellan brons undersida och vattnet. Det mått som har krävts har varierat genom åren och framgår av tabell 5. HHW bestäms enligt rådande praxis för 50 års återkomsttid.

Tabell 5 Krav på fri höjd under bro

Period	Spännvidd	Krav på fri höjd över;		Anmärkningar
		HHW	MW	
1989	Alla	0,3 m	1,2 m	1989–1994 fick rörbroar byggas med 0,5 m fri höjd över MW
1989	> 8 m ¹	0,7 m 0,3 m	Inget krav	I spannens mellersta hälft. I spannens yttre fjärdedelar.
	< 8 m ¹	0,3 m 0,0 m	0,7 m 0,3 m	I spannens mellersta hälft. I spannens yttre fjärdedelar.

¹⁾ Tidigare var gränsen 5 m. Ändringen gjordes någon gång under femtioalet.

Hård vind från sidan har en stjälpande effekt på broar. I våra dimensioneringsregler har vi därför använt följande vindlaster, tabell 6.

Tabell 6 Dimensionerande vindlaster

År	Små och medelstora broar		Stora broar
1960–1988	h < 25 m	p = 1,25 kN/m ²	För broar med stora spännvidder bestäms vindlasten i varje enskilt fall.
	h > 45 m	p = 1,75 kN/m ²	
1989–	h < 10 m	p = 1,8 kN/m ²	För broar med stora spännvidder bestäms vindlasten i varje enskilt fall.
	h > 30 m	p = 2,6 kN/m ²	
Interpolering för mellanliggande höjder.			

Ovanstående vindlaster är valda väl på säkra sidan och broar dimensionerade efter dessa laster kan antas klara en ökning av vindhastigheterna med 10 %. Utöver vindlast mot brons sida tillkommer en vindlast mot trafik som står på bron.

Inom de närmaste åren kommer vi att övergå till att dimensionera broar enligt Eurokoder. I dessa bestäms vindtrycket mot en konstruktion för en vindhastighet med 10 minuters varaktighet och 50 års återkomsttid vid 10 meters höjd. För vindkänsliga detaljer i konstruktionen som till exempel hängstag i en hängbro används ett värde med kortare varaktighet.

I förvaltningen av vårt brobestånd samlar vi informationen om våra broar i broförvaltningssystemet BaTMan som är gemensamt för Vägverket, Banverket och ett antal kommuner och hamnar. Systemet är webbaserat och ger snabb åtkomst till tekniska uppgifter, inspektionsresultat, ritningar, placering i vägnätet etc.

Broar inspekteras regelbundet. Våra driftentreprenörer har en kontinuerlig tillsyn av bron i samband med att vägen inspekteras. Två gånger per år görs en översiktlig inspektion av en broingenjör. Var sjätte år utförs en s.k. huvudinspektion. Denna ska utföras på handnära avstånd och det ingår också att brons undervattensdelar och grundläggning ska inspekteras av dykare. En viktig del av den inspektionen är att kontrollera om det finns någon begynnande erosion.

5 Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser

5.1 Förändring av nederbörd och flöden

Generellt förväntas ökade nederbördsmängder vinterhalvåret tillsammans med ökad avrinning. Om dessutom perioden med tjäle minskar kommer detta att kunna leda till betydande ökning av grundvattenbildning under vinterhalvåret. Det torde också vara rimligt att över längre perioder (flera år, årtionden) anta en ackumulerande effekt med successivt stigande grundvattennivåer. Det framgår inte av givna klimatdata om och i så fall hur man inkluderat detta förhållande.

Underlag för bedömning av den förväntade klimatförändringens inverkan på skred och erosion har tagits fram av SGI, "Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat". Denna bedömning grundas på förväntade klimatförändringar på lång sikt (2071–2100) enligt ECHAM/A2. Statistik och prognoser över förväntade extrema grundvatten- och portrycksnivåer saknas vilket krävs för att göra en kvantitativ bedömning av skredrisker. Vid bedömningen har i stället delvis osäkra samband mellan klimatfaktorer och portryck används för att kvalitativt beskriva förväntade förändringar i skredfrekvens. Det är också värt att påpeka att jämförelsen görs med perioden 1961–1990. Perioden därefter, som uppvisat många klimatorsakade skador, innehåller de två nederbördsrikaste åren under den senaste 150-årsperioden.

5.11 Skred och ras

Den viktigaste klimatberoende orsaken till att skred utlöses i ler- och siltterräng är förhöjda porvattentryck. På sikt förutses att medelårsavrinningen ökar i hela Sverige med undantag för östra Götaland och Svealand samt sydligaste Norrland. Ökad medelårsavrinning leder till att grundvattennivåerna generellt stiger. Extremvärdena för lokal vattentillrinning till vattendragen förutses på lång sikt öka väsentligt i västra Götaland och västligaste Svealand medan ökningen är måttlig för kustområdena i mellersta Norrland. I övriga delar av Sverige förväntas lägre extremvärden för lokal tillrinning. Den lokala tillrinningen till vattendragen avspeglar grundvattenutflödet, dvs. porvattentrycket i jorden och är därför tillsammans med generella grundvattennivåförändringar den viktigaste indikatorn på skredfrekvens i naturmark. Extrem lokal tillrinning till vattendrag och intensiva regn som ger höga flöden i små avrinningsområden avgör erosionsutvecklingen i vattendrag och påverkar således även skredfrekvensen för slänter intill vattendrag.

Sammantaget förväntas skredfrekvensen i ler- och siltterräng på lång sikt öka i västra Götaland, västra Svealand och längs mellersta och norra norrlandskusten. I östra Svealand kan skredfrekvensen förväntas minska något medan övriga delar av Sverige får små förändringar.

Ravinbildning i sand och siltområden bedöms i första hand påverkas av extremvärden för lokal vattentillrinning och av

intensiva regn. Ravinbildning förväntas på lång sikt öka längs mellersta norrlandskusten och i Värmland. I övriga områden sker inga påtagliga förändringar jämfört med nuvarande förhållanden. Stabiliteten hos branta nipor påverkas av klimatförändringar på samma sätt som skred i ler- och siltterräng

Konsekvensen av skred beror i första hand av skredets utveckling och omfattning och av hur transportförsörjningen påverkas. Flertalet skred är relativt ytliga. I många fall föregås ett skred av deformationer och sprickbildning. I dessa fall är möjligheterna att upptäcka ett kommande skred stor och vägen kan stängas av i tid så att inga personskador riskeras. Många skred är också begränsade i omfattning så att åtminstone en del av vägen kan trafikeras efter en inledande undersökning. Störst konsekvens blir det vid djupa lerskred. Vid djupa lerskred och skred i nipor kan höga nivåskillnader uppstå med stora risker för personskador som följd om vägen inte hinner stängas. Är skredgropen dessutom vattenfylld är drunkningsrisken uppenbar. Vid kvicklereförekomst kan skredet gripa bakåt och omfatta mycket stora jordvolymmer. Konsekvenserna ökar mångfalt vid stora skred jämfört med mindre skred. Återställningskostnaden ökar väsentligt och dessutom tar det längre tid innan trafiken kan återgå. Områden med förutsättningar för stora skred är Göta älvdalen, Bohuslän och en del av Vänerns tillflöden där stora nivåskillnader och djupa lersediment finns i anslutning till vattendrag och kvicklera förekommer.

I normala fall är de direkta konsekvenserna för vägsystemet i form av skador på anläggningen den klart dominerande vid skred. Vid skred med stor omfattning kan dock de indirekta konsekvenserna för samhället i form av störningar i transportförsörjningen och skador på annan infrastruktur eller byggnader bli förhållandevis stora och överstiga de direkta konsekvenserna.

Redan i dagsläget är stabiliteten otillfredsställande för en del av det äldre vägnätet eftersom dimensionering inte fullt ut tagit hänsyn till de höga portryck som kan uppstå under ogynnsamma förhållanden. Vilka vägavsnitt som har för låga säkerhetsmarginaler är till stor del okänt. Att skredsäkerheten i de områden som i dag har förhöjda skredfrekvenser på lång sikt kommer att försämrats i och med den förväntade klimatförändringen är oroande. För en del vägavsnitt i västra Götaland, västra Svealand och längs mellersta och norra norrlandskusten är eller kommer förhållandena redan på kort sikt bli oacceptabla med hänsyn till skredsäkerheten, fortskridande ravinutveckling eller ras i nipor. Särskilt allvarligt är läget

för vägavsnitt intill vattendrag i Göta älvdalen, Bohuslän och en del av Vänerns tillflöden eftersom konsekvenserna kan bli mycket stora och även beröra bebyggelse, industrier och annan infrastruktur.

5.12 Bortspolad väg

Med bortspolad väg menas att hela eller delar av vägen skadas av erosion vid höga vattenflöden. Mest vanligt är att vägen skadas vid korsande vägtrummor, men även flöden i vägdiken och vattendrag parallellt med vägen kan skada vägkonstruktionen genom erosion.

Större vägtrummor och mindre rörbroar avvattnar normalt områden med en till något tiotal kvadratkilometers yta och är därför känsliga för lokala intensiva regn. Särskilt höga flöden kan uppstå då terrängen är brant och marken har tunt jordtäckte och sparsam växtlighet. Vid brant bergbunden terräng kommer en stor del av den intensiva nederbörden rinna av på ytan. Vid stora lutningar hos vattendraget ger höga flöden höga vattenhastigheter som lätt kan riva med sig sten, block och träd som täpper till truminlopp och åstadkommer dämning. Vägbankar är inte dimensionerade för att tåla en sådan belastning vilket ofta medför att hela vägbanken spolats bort.

Den klimatfaktor som i första hand bestämmer extrema flöden i små och medelstora avrinningsområden är lokala intensiva regn och extrem lokal tillrinning (100-årsflöden). Förväntade förändringar hos dessa klimatfaktorer används därför att bedöma hur frekvensen av stora erosionskador på vägar förändras på lång sikt.

Enligt det valda klimat- och utsläppsscenarioet (ECHAM/A2) kommer lokala intensiva regn (antal dagar med nederbörd > 25 mm) att öka något i hela landet med undantag av mindre delar av norra Norrland. Extrem lokal tillrinning beräknad med HBV-modeller visar en helt annan förändringsbild med stora ökningar i västra Götaland och västra Vänerområdet samt i fjällkedjan, delar av norra Norrland och norrlandskusten. Inom dessa områden kan hundraårsflöden på lång sikt komma att bli tjugoårsflöden, dvs de kommer fem gånger oftare. I övriga delar av Sverige förutspås minskningar av den extrema lokala tillrinningen. Förklaringen till denna skillnad är att den första klimatfaktorn visar effekten av extrema kortvariga sommar- och höstregn medan den andra klimatfaktorn åskådliggör extrema flöden i mindre vattendrag efter flera

dygns riklig nederbörd. Lokala intensiva regn är bestämmande för höga flöden i de minsta vattendragen, dvs. för vägdiken, vägtrummor och mindre rörbroar medan extrem lokal tillrinning bestämmer extremflödena i de något större avrinningsområden vilket i första hand påverkar större broar och vägar intill vattendrag. Extremflödena i de något större vattendragen påverkar också översvämningar och erosionsskador vid broar.

På lång sikt kan alltså en viss ökning av skador på vägar vid trumlägen förutses över hela landet. Ökningen kommer att vara störst inom de områden som redan nu har hög skadefrekvens, dvs. i ett område från västra Götaland och Värmland upp till mellersta Norrland, bl a beroende på de topografiska förhållandena. Den regionala klimatmodell som använts vid prognoser om framtida klimat består av rutor med 2 500 kvadratkilometers yta. Det är möjligt att förändringar av frekvensen intensiva regn med mindre utsträckning inte fångas upp i denna modell fullt ut. Med vetskapen om att temperaturen generellt förutses öka tydligt och en varmare atmosfär förmår hålla en större mängd vattenånga är det troligt att frekvensen vägsador på grund av lokala intensiva regn kommer att öka påtagligt.

För större broar och vägar intill vattendrag kan skadorna öka väsentligt inom framförallt västra Götaland och västra Vänernområdet. I inre Götaland, norra Svealand och södra Norrland förväntas skadorna kunna minska. Förändringen sker dock från en relativt låg skadenivå i dag.

Merparten av de skador som inträffar idag leder inte till några större konsekvenser. Skadorna kan återställas snabbt med måttliga olägenheter för trafiken. Om vägar med större bankhöjder spolats bort ökar konsekvenserna väsentligt. Även de indirekta konsekvenserna kan bli stora om rimliga omfartsalternativ saknas eftersom avbrottstiden i många fall kan handla om veckor. Vid bankhöjder över fem – sex meter vid trumlägen som är sårbara för höga flöden är förhållandena redan nu oacceptabla. Eftersom extrema flöden i små vattendrag förväntas öka i stort sett i hela Sverige är det angeläget att identifiera och åtgärda sårbara trummor under höga vägbankar.

Ett annat fall där konsekvenserna kan bli allvarliga är då erosion i ett djupt intilliggande vattendrag skadar en väg. Om det inte är möjligt att flytta vägen krävs omfattande och kostsamma åtgärder för att erosionsskydda undervattenslanten. Dessutom finns det vid

sådana åtgärder risk för att erosionsproblemen flyttas till en annan del av vattendraget.

Från risken för personskador går inte att bortse. Om höga nivåskillnader skapas kan på samma sätt som vid skred fordon köra ned och allvarliga personskador inträffa. Det är inte acceptabelt att som nu i praktiken överlåta till allmänheten att bevaka och stänga vägen vid skada. Eftersom stora erosionsskador föregås av intensivt regn bör väghållaren ha möjlighet att klara av en sådan uppgift.

5.13 Översvämningar

Översvämningar drabbar i första hand lågt liggande vägar i anslutning till vattendrag. Men även äldre vägar på mossmark där stora sättningar inträffat och djupa planskilda korsningar kan översvämmas. Översvämningar kring de stora mellansvenska sjöarna har behandlats i Klimat- och sårbarhetsutredningens delrapport 1.

Vägar intill små vattendrag och underfarter översvämmas efter lokala intensiva regn. Enligt samma resonemang som förts för bortspolad väg kan då översvämningar komma att öka påtagligt på dessa ställen. Mindre och medelstora vägar kommer att drabbas mest, men även en del större och viktiga vägar ligger med små marginaler redan nu.

Flödena i de mellanstora vattendragen kan i första hand utläsas av prognoserna av förändringar för extrema lokala tillrinningar genom att summera över aktuella avrinningsområden. Stora förändringar förväntas, se områdesbeskrivning under 5.12. Översvämningar av vägar på mossmark inträffar efter riklig nederbörd under flera dygn, dvs. prognoser över extrema lokala tillrinningar kan användas vid bedömning av förändrade förutsättningar.

För de största vattendragen kan en grov bedömning av flödesförändringar för oreglerade vattendrag göras på samma sätt som för mellanstora vattendrag. Stora flödesökningar bedöms inträffa i södra och västra Götalands större vattendrag, exempelvis Nissan, Viskan och Ätran. För oreglerade vattendrag i övriga Sverige förutses minskade eller oförändrade extremflöden. För de större reglerade vattendragen i Norrland är det svårare att bedöma framtida extremflöden. Vattenmagasinen kan ju också komma att regleras på annat sätt i framtiden. Klart är dock att de förväntade flödesvolymerna vid snösmältningen som för närvarande ger

maxflöden för dessa vattendrag bedöms komma att minska med klimatförändringen med undantag av de allra nordligaste älvarna.

Sammanfattningsvis förväntas på lång sikt ökad frekvens av översvämningar av vägar intill små vattendrag och av vägunderfarter i hela Sverige. För vägar som ligger lågt intill medelstora och stora vattendrag i södra och västra Götaland ökar översvämningsrisken väsentligt på lång sikt. I övriga Sverige minskar översvämningsrisken eller blir oförändrad för vägar med motsvarande belägenhet.

Konsekvenser för väghållaren av översvämningar av vägar blir i regel begränsade till bärighetsskador som ger ett ökat underhållsbehov. För trafiken blir konsekvenserna större om vägen måste stängas och beror till stor del av vilka omfartsmöjligheter som finns. Vägavstängningar i samband med översvämningar blir dock med undantag för vägar intill de stora sjöarna sällan längre än en vecka, och högst något dygn för vägar intill de minsta vattendragen, varför de indirekta konsekvenserna normalt ändå är måttliga utom för högtrafikerade vägar i de fall då rimliga omfartsalternativ saknas.

Förhållandena är i stort acceptabla i dagsläget, men förutses försämrats i södra och västra Götaland. Sårbara vägavsnitt är relativt väl kända och kan åtgärdas med måttliga insatser (höjning av väg) utom på de platser där grundförstärkning krävs. Kostnaderna för underhåll ökar.

5.14 Dämning vid lågt liggande broar

Lågt liggande broar förekommer i vattendrag i hela landet.

Om en liten bros undersida ligger för lågt och dämmer ett vattendrag består skadan normalt av att vägbanken spolats bort. Broförbindelsens redundans vid en liten bro som dämmer ett vattendrag beror framförallt på vägbankens möjlighet att klara en situation med olika vattennivå på uppströmssidan och nedströmssidan tillsammans med en strömning genom eller över banken. Vid bron uppstår dessutom höga vattenhastigheter i det vatten som strömmar under bron vilket ger en extra stor belastning på erosionsskydden vid in- och utlopp från bron.

Om en större bro dämmer ett vattendrag kan också broöverbyggnaden förskjutas i sidled av det vattentryck som verkar mot överbyggnadens sida. Brons förmåga att klara denna belastning beror till stor del av överbyggnadens tyngd och bronns konstruk-

tion. Betongbroar med överbyggnaden ihopgjuten med stöden kan i princip inte skadas på detta sätt. För broar med lager mellan brostöd och överbyggnad kan betongbroar på grund av sin större egenvikt generellt antas ha en bättre möjlighet att klara detta än stålbroar. I övrigt beror konstruktionens kapacitet för ett horisontellt tryck på många för bron individuella detaljer i brostöden och grundläggningen vilket gör att ytterligare generella slutsatser är svåra att dra.

För broar som byggs över vattendrag krävs en fri höjd mellan brons undersida och vattnet. Det mått som har krävts har varierat genom åren och framgår av kapitel 4. HHW bestäms enligt rådande praxis för 50 års återkomsttid. Med de fria höjder som framgår av kapitel 4 som bakgrund förefaller sannolikheten för att en bro dämmer ett vattendrag vara större för broar byggda efter 1989 samt äldre broar med spännvidder mindre än 8 m. Rörbroar byggda 1989–1994 kan vara en särskilt utsatt grupp eftersom kravet på fri höjd över MW för dessa är lägre än för andra broar. Det är dock långt ifrån alla broar över vatten som byggs med undersidan på den nivå som krävs. Vägens höjdläge, som i sin tur beror på den omgivande terrängens höjd, leder ofta till att bron placeras högre än vad som krävs med hänsyn till fri höjd över vatten.

Hur stor ökning av vattennivån en viss ökning av flödet ger är beroende av lokala förhållanden och det är därför svårt att dra generella slutsatser om det.

5.15 Broar över små vattendrag

Mindre vattendrag med korsande vägar förekommer i hela landet. Problemen är till en del samma som de som har beskrivits under ”Dämning vid lågt liggande broar”. Typiskt för små broar är att de går över vattendrag från små avrinningsområden och att de därmed kan bli utsatta för vattenflöden från kortvariga intensiva regn. Vi har på senare år haft mer problem än tidigare med den typen av regn och små vattendrag. Detta är dock inte verifierat i bakgrundsmaterialet för klimat och sårbarhetsutredningen vilket till en del kan bero på att klimatmodellerna baseras på ett större rutnät.

Med ”små broar” menas här broar med spännvidder mindre än ca 10 m. Idag byggs en stor del av sådana passager över vattendrag med hjälp av rörbroar. Tidigare användes uteslutande plattrambroar av betong för denna uppgift. Gemensamt för dessa brotyper är att

bron är robust och en skada på grund av ett högt vattenflöde kan förväntas bli en bortspolning av vägbanken. Vid bron uppstår dessutom höga hastigheter i det vatten som strömmar under bron vilket ger en stor belastning på erosionsskydden vid in- och utlopp från bron. En skada på brons erosionsskydd utvecklas lätt till en bortspolning av vägbanken vid bron. Om vägbanken vid en rörbro spolas bort flyttas bron också ur sitt läge.

Broförbindelsens redundans beror framförallt på vägbankens möjlighet att klara en situation med olika vattennivå på uppströms- sidan och nedströmssidan tillsammans med en strömning genom eller över banken. Utformning och tillstånd hos erosionsskydden vid in- och utloppen inverkar också.

5.16 Erosion vid brostöd

Problemet förekommer där vägar korsar strömmande vattendrag i hela landet. Problemet är beroende av geologin på följande sätt.

- I vattendrag med dåliga grundförhållanden grundläggs broar normalt med pålar vilket innebär att brostöden blir relativt okänsliga för erosion.
- I vattendrag med bergbotten eller med berg nära under botten grundläggs brostöd ofta direkt på berget vilket gör brostödet okänsligt för erosion.
- I vattendrag med en botten av morän eller av fasta friktions- jordar grundläggs brostöd med bottenplattor på jordmaterialet. Sådana brostöd är känsliga för erosion och förses därför med ett erosionsskydd av sprängsten på botten runt stödet.

Den typiska skadebilden för en erosionsskada på ett brostöd består i att erosionen skapar en grop intill bottenplattan. I denna grop fås en förhöjd vattenhastighet på grund av virvelbildning och denna virvel äter sig in under stödet så att detta undermineras och sätter sig. Sättningen kan vara kombinerad med en rörelse i sidled. I extremfall kan stödet stjälpas. Figur 4 visar en skada pga erosion.

Figur 4 Erosionsskada vid Kangosfors i Lainio älv 1975



Brons redundans beror också på typ av broöverbyggnad. Vi eftersträvar sedan några decennier att bygga broar med en överbyggnad som är kontinuerlig över mellanstöden. Med kontinuerlig menas att broöverbyggnaden inte har något avbrott över mellanstöden. Sådana broar har en inbyggd robusthet som innebär att bron inte havererar helt vid en stor stödrörelse. Även om bron inte havererar helt så kommer den att vara så skadad att den inte kan trafikeras.

Enspanssbroar och ett antal äldre broar i flera spann saknar kontinuitet, dvs. broarna har bara ett balkspann eller flera spann där spannen inte är kopplade till varandra över mellanstöden. Vid stora stödrörelser kan en sådan bro haverera genom att brospann faller ned.

För de kontinuerliga broarna spelar också valet av material i överbyggnaden en viss roll. Broar med huvudbalkar av stål tål större stödrörelser än motsvarande broar med betongbalkar. Betongbroar med spännvidder längre än ca 30 m är ofta utförda i förspänd betong. Dessa broar är särskilt känsliga för sättningar.

Om en erosionsskada upptäcks innan den blivit så stor att brostödet rört på sig kan den ofta åtgärdas inom några veckor. Arbetet består då i att fylla igen hålet med lämpliga massor.

Eftersom arbetet ska utföras i vatten och från en brobana eller från pråmar är det ett långsamt arbete jämfört med andra schakt- och fyllarbeten.

5.2 Förändring av temperatur

5.21 Nedbrytning av vägöverbyggnad

För att kunna skapa en bild av konsekvensen av klimatförändringar behövs kännedom om nuläget, det vill säga vilket underhållsbehovet och kostnaderna är idag. Det verkliga (bedömda) underhållsbehovet kan fås ur tillståndsmätningar och skiljer sig från det faktiskt utförda underhållet. Redan här stöter man på en viktig skiljelinje mellan bedömt behov av och faktiskt utförda underhållsåtgärder. Om bedömt behov och faktiska åtgärder skiljer sig väsentligt tillför detta flera oklarheter om hur förväntade konsekvenser av förändrat klimat kan kvantifieras och användas. Konsekvenserna av ett förändrat klimat kan rimligtvis bara bedömas utifrån det verkliga underhållsbehovet.

Med utgångspunkt av statistiken från tillståndsmätningar har vi kategoriserat följande avvikelser/brister som leder (ska leda) till åtgärd; spårbildning, ojämnheter och beständighet. Dessa har i sin tur delats upp i vägkonstruktionsdelar för vilka vi skattat klimat-effekterna del för del. Dessutom har vi uppskattat hur stor andel av utförda åtgärder som är kopplade till de olika konstruktionsdelarna.

Ur denna analys har vi sedan dels kunnat räkna fram en uppskattning på åtgärdsbehovet vid förändrat klimat samt kunnat identifiera vilka klimatfaktorer som är viktigast avseende förändrat åtgärdsbehov.

- Högre temperatur och därmed kortare vinter och mindre tjäle kommer att minska på slitaget särskilt då man kan förvänta en minskning i användande av dubbdäck. Minskar inte dubbdäcksanvändningen leder det till ökat slitage.
- Kortare tjälad period och därmed minskad tjällyftning bidrar också till minskning av deformation i överbyggnad och underbyggnad. Det leder även till minskad förekomst av tjälsprickor.
- Den kortare tjälperioden kan dock ge problem vid de fall då vi använder tjälen som en resurs. Vägen har alltså en högre bärighet när den är tjälad. Detta kan medföra större underhålls-

kostnader på t.ex. Regionalt viktiga näringslivsvägar. Detta under förutsättning att samma tillgänglighet för tunga transporter skall råda.

- Ökade temperaturer och ökad förekomst av extremt varma dagar kommer att ge ökade deformationer av beläggning i spårbildningshänseende. Detta kan dock motverkas genom att styvare bindemedel kan användas.
- Ökade grundvattennivåer till följd av högre avrinning (skillnaden mellan nederbörd och avdunstning) ökar risken för deformationer.
- Dessutom förväntas ett ökat behov av underhåll för diken och andra avvattningssystem som en följd av intensivare och ökad nederbörd och höjda grundvattennivåer.

De förväntade behoven av åtgärder på spårbildning sammanfattas i tabell 7. Med en grov uppskattning att ökning eller minskning av behovet av åtgärd ligger på 10 (liten) respektive 20 % fås för både låga och höga ÅDT att klimatförändringar leder i söder till att åtgärdsbehovet ökar med ca 5 %. I norr ser det likadant ut för höga ÅDT, alltså en ökning på ca 5 % medan åtgärdsbehovet vid låga ÅDT minskar med 5 %. Åtgärder på ojämnheter redovisas i tabell 8. Med motsvarande grova skattning som ovan, men utan tillgång till statistik på nuvarande åtgärdsfördelning kan vi ändå göra en uppskattning på framtida åtgärdsbehov eftersom riktningen för alla faktorer är densamma. Alltså uppskattar vi att åtgärdsbehovet minskar med ca 10 %.

För beständighet (t ex. åldring av bitumen) kunde ingen entydig riktning mot minskning eller ökning anges.

Tabell 7 De förväntade behoven av åtgärder pga spårbildning

Spår	Orsak	Riktning som följd av klimat- förändring	Andel utförd åtgärd vid Låg ÅDT	Andel utförd åtgärd vid Hög ÅDT
Slitage	Dubbanvändning Barkmarksväg Fuktig vägbana Vinterns längd	Minskning	5 %	30 %
Deformation beläggning	Extrem värme Medeltemperatur	Ökning	10 %	40 %
Deformation överbyggnad	Medeltemperatur Vatten	Liten ökning	35 %	20 %
Deformation underbyggnad	Vatten i terrass Tjäle	Liten ökning i S Liten minskning i N	50 %	10 %
Sprickor (lastberoende)§	Temperatur	Liten minskning	0 %	0 %

Tabell 8 Åtgärder pga ojämnheter

Ojämnheter	Orsak	Riktning som följd av klimatförändring	Andel utförd vid Låg ÅDT	Andel utförd vid Hög ÅDT
Tjäle	Vinterns längd Grundvattentillgång	Minskning	1)	1)
Deformation beläggning	Tjäle, regn, lokal fukt + last	Liten minskning	1)	1)
Deformation överbyggnad	Tjäle	Liten minskning	1)	1)
Sättning	Grundvattenyta	Ingen ändring	1)	1)
Sprickor		Minskning	1)	1)

1) Inga uppgifter tillgängliga.

5.22 Nedbrytning av betongkonstruktioner

Betongkonstruktioner utsatta för klorider och upprepad frysning och upptining åldras betydligt fortare än annan betong. På broar utsätts kantbalkar och andra konstruktionsdelar av betong som befinner sig nära vägbanor för vägsalt och temperaturväxlingar nära noll grader. Kombinationen av klorider från saltet och upprepade fryscyklar har en nedbrytande effekt på betongen samtidigt som klorider som tränger in i betongen orsakar korrosion på armeringen. Idag är kostnaden för reparationer av sådana skador cirka 30 % av våra kostnader för brounderhåll.

En ökning av antalet nollgenomgångar ger både fler fryscyklar och mer vägsalt och därmed en ökning av problemen med nedbrytning av betong och korrosionsskador på armering. Dessa skador leder till ökade underhållskostnader för broar men skadorna är normalt inte av sådan art att broarna behöver stängas av.

Eftersom vissa delar av landet förutspås få fler nollgenomgångar medan andra delar av landet förutspås få färre nollgenomgångar är det svårt att avgöra om problemen med betongkonstruktioners beständighet vid tösaltade vägar kommer att öka eller minska. Den betong som har använts vid nybyggnad de senaste 20 åren har dessutom en bättre beständighet mot saltinträngning och frost än betongen i de broar som repareras idag. I de delar av landet som har tösaltats sedan 1960-talet kan vi anta att merparten av de äldre broar som har en betong med dålig beständighet mot tösaltning

och frysning och som har utsatts för denna klimatbelastning nu är upptäckta och åtgärdade.

Vägverket reparerar för närvarande skador av detta slag för ca 200 Mkr per år. Skadorna upptäcks normalt vid inspektioner innan bärförmågan blir kritiskt nedsatt. Om betongkonstruktioners beständighetsproblem ändras kommer det att märkas som ett ändrat behov av betongreparationer på våra broar. Ändringen kommer att vara långsam och en anpassning av insatserna kommer att ske naturligt inom det löpande arbetet med inspektioner och underhållsplanering.

Enligt simuleringarna av klimatförändringen kommer antalet nollgenomgångar att minska betydligt i södra och mellersta Sverige vilket torde leda till minskade kostnader för betongreparationer på grund av saltfrostskaador. I Norrlands inland kan införandet av tösaltning leda till att äldre broar som inte haft sådana problem snabbt förfaller vilket då leder till ökade kostnader. Det är dock möjligt att dessa broar kommer att vara utbytta av andra skäl innan klimatförändringarna har nått så långt. Eftersom vägnätet är glesare i Norrlands inland än i södra och mellersta Sverige kan den tillkommande kostnaden i norr vara mindre än inbesparingen i söder. Vi bedömer att förändringen i kostnaden för betongreparationer på broar på grund av en förändring i antalet nollgenomgångar kan vara en minskning med 50–100 Mkr/år. I ett övergångsskede kan dock kostnaderna öka. Den ökningen inträffar i så fall ca 20 år efter att tösaltning som halkbekämpning införts i Norrlands inland.

Ovanstående resonemang grundar sig på det brobestånd och den kunskap om betongbeständighet som vi har idag. Eftersom äldre och därmed mindre beständiga broar kontinuerligt byts ut samtidigt som betongtekniken fortfarande utvecklas inom detta område så kan problemen antas minska i framtiden. Användningen av vägsalt för halkbekämpning är ständigt ifrågasatt och en minskning av tösaltning både vad avser vilka vägar som saltas och vilka mängder som används har redan skett. En stor del av de beständighetsproblem vi har idag kan antas bero på tösaltningen före denna minskning. Det är därför mycket osäkert att extrapolera dagens problem med betongbeständighet långt in i framtiden. Det ständigt pågående utbytet av broar, forskningen inom betongbeständighet och valet av halkbekämpningsmetoder kommer sannolikt att ha större betydelse för förvaltningen av broar än förändringen av antalet nollgenomgångar.

5.23 Nedisning av broar

Ett litet antal stora broar av typerna hängbro och snedkabelbro, till exempel Älvsborgsbron, Uddevallabron, Tjörnbron och Högakustenbron drabbas ibland av problem med nedisning vid fuktig väderlek vid temperaturer nära noll grader.

Vid kall och fuktig väderlek bildas ett islager på kablar och pyloner. Vid förändring av temperatur eller rörelser i bron bryts islagret loss och faller ned. På speciellt Uddevallabron har detta blivit ett trafiksäkerhetsproblem. Isstycken har vid ett antal tillfällen träffat passerande bilar. Uddevallabron har en utformning med uppåt avsmalnande pyloner vilket gör att snedkablarna går in över körbanan. Detta gör att is som lossnar faller på körbanan i större utsträckning än på broar med kablarna liggande i ett vertikalplan vid sidan om körbanan. Bron övervakas nu med avseende på nedisning och stängs av då nedisningen blir farlig. Försök har också utförts med avisningsutrustning för att kunna få isen att släppa innan den växt till en farlig tjocklek. Tjörnbron ligger nära Uddevallabron men har inte problem med nedisning, problemet tycks därför vara mycket beroende av lokala förhållanden. Även från Högakustenbron har nedisning rapporterats men i mindre omfattning.

Vägtransportsystemets redundans med avseende på detta problem beror på lokala och regionala förhållanden som till exempel trafikmängder, möjlighet till omledning eller möjlighet att upprätta en tillfällig förbindelse på platsen. För Uddevallabron finns det möjlighet till omfart med lägre standard och denna utnyttjas idag vid avstängningar pga. nedisning. För Högakustenbron är det svårare att åstadkomma en omfartsväg med en godtagbar längd.

Vi har antagit att nedisningsproblemet kan vara beroende av antalet nollgenomgångar eftersom underkylt regn, blötsnö och underkyld dimma förknippas med temperaturer nära noll grader. Antalet nollgenomgångar på Västkusten kommer enligt SMHI att minska vilket bör leda till färre tillfällen med nedisning på Uddevallabron. Förändringen är dock långsam, vid mitten av seklet förutspås en halvering av antalet nollgenomgångar. Vid Högakustenbron har nedisning också observerats vid sträng kyla vid tillfällen då älven saknar istäcke. Vi har inget prognosunderlag för sträng kyla men medeltemperaturen under vintermånaderna antas öka vilket bör minska den stränga kylan. Antalet nollgenomgångar

per år vid Högakustenbron kommer att minska men antalet sådana dagar under vintermånaderna kommer att öka. Den sammantagna effekten av detta för nedisningsproblem på Högakustenbron är svår att bedöma.

5.24 Temperaturpåverkan på broar

Broar påverkas av säsongsmässiga eller dagliga förändringar av temperaturen eftersom de material som ingår i bron utvidgar sig vid uppvärmning och drar ihop sig vid avkylning.

Den säsongsmässiga förändringen består av att bron blir kortare på vintrarna och längre på sommaren. Broar utformas och dimensioneras för att klara denna inverkan. Vi bedömer att de förutspådda klimatförändringarna inte påverkar detta eftersom temperaturintervallet från högsta till lägsta temperatur inte blir större.

Den dagliga förändringen består i att olika delar eller olika sidor av samma del i bron värms upp eller kyls av vid stark solstrålning eller vid hastig avkylning på klara höst- och vårnätter. Stora betongbroar är på grund av sin styvhet och sprödhet speciellt utsatta för detta problem och ett antal av våra stora betongbroar har haft skador på grund av detta vilket har lett till omfattande reparationer. Exempel på detta är Alnöbron och Farstasundsbron. Vi saknar idag tillräcklig kunskap om denna klimatpåverkan för att kunna göra optimala beräkningsregler. För nya broar innebär det inga stora extra kostnader att dimensionera på säkra sidan men för bärighetsutredningar av våra befintliga broar kan ett antagande som är alltför mycket på säkra sidan leda till att bron döms ut i onödan.

5.25 Temperatur och fuktpåverkan på träbroar

De senaste decennierna har limträkonstruktioner blivit allt vanligare vid nybyggnad av broar. Det är framförallt gångbroar som byggts av trä men ett mindre antal vägbroar har också byggts. Träkonstruktioner måste skyddas mot fukt genom inklädnad eller impregnering för att inte ruttna eller mögla. I delar av landet som får ett fuktigare klimat kan träbroars livslängd bli kortare än avsett på grund av röta och mögel.

Skador av detta slag kommer att upptäckas vid inspektioner innan bärförmågan blir kritiskt nedsatt. En anpassning till ett

klimat med sämre beständighet kan därför antas ske genom en löpande anpassning antingen genom att andra byggnadsmaterial väljs vid utbyte av träbroar eller genom att träkonstruktionerna skyddas bättre.

5.26 Vinterväghållning

Redan i dagsläget så syns konsekvenserna av mildare vintrar och därmed ett ökat inslag av snabbare växlingar i temperaturer och väglag. De problem som uppstår framförallt för tung trafik vid snabba temperaturväxlingar gör sig mest påmind på de s.k. 2+1 vägarna med separerade körfält. Ett behov av en ändring i gällande lagstiftning är troligen nödvändig inom en snar framtid för att undvika att fordon p.g.a. felaktig utrustning blockerar körfält under längre perioder. Krav på att samtliga fordon skall bära med sig någon form av friktions höjande redskap/ material och alltid vara utrustade med vinterdäck för att inte bli stående på olämpliga platser är således redan i dagsläget aktuellt. Att kunna förflytta ett fordon en kortare sträcka för att ge fri väg för utrycknings- och väghållningsfordon är troligen det krav som alla måste uppfylla i framtiden. Vår slutsats att antal dagar med vinterklimat succesivt kommer att bli färre i södra delarna av landet och bli mera varierande i de norra delarna kommer inte att medföra att kostnaderna för vinterväghållning minskar. Att vi upphör med vinterväghållning i södra Sverige spar givetvis kostnader men ett mera växlande vinterklimat i mellersta och norra delarna av landet medför totalt sett en förflyttning av kostnader och maskiner norrut och troligen samma omslutning i ekonomiska termer.

5.3 Förändring av vindhastigheter

5.31 Stora broar

Ett litet antal stora broar av typerna hängbro och snedkabelbro, till exempel Älvsborgsbron, Uddevallabron, Tjörnbron och Höga-kustenbron kan drabbas av svängningsproblem vid hårda vindar.

Hängstag och kablar utsätts för vindinducerade vibrationer. Samtidig nederbörd kan förstärka vibrationerna. Detta är ett egensvängningsproblem och uppstår vid vissa vindstyrkor men inte nödvändigtvis vid de allra högsta vindstyrkorna. Om svängningarna

är måttliga som till exempel ett vibrerande hängstag ger den upprepade böjningen av staget en utmattning av materialet. Sådana vibrationer kan normalt undvikas genom att stagets egenfrekvens ändras genom en mindre ombyggnad. I svårare fall sätts hela bron i svängning och måste då stängas av vid hårda vindar. Detta problem är svårare att åtgärda.

Vägtransportsystemets redundans för detta problem beror på lokala och regionala förhållanden som till exempel trafikmängder, möjlighet till omledning eller möjlighet att upprätta en tillfällig förbindelse på platsen. För Uddevallabron finns det möjlighet till omfart med lägre standard och denna utnyttjas idag vid avstängningar pga. nedisning. För Högakustenbron är det svårare att åstadkomma en omfartsväg med godtagbar längd om nedisningsproblemen där ökar.

Uddevallabron, Tjörnbron och Högakustenbron är dimensionerade enligt moderna principer och kan därför antas klara en mindre ökning av vindhastigheterna. Älvsborgsbron är dock dimensionerad enligt äldre principer och en nu pågående utredning av brons bärighet visar att den saknar marginaler för någon ökning av lastpåverkan vare sig av vind eller trafik. Brons hängstag är dessutom känsliga för utmattning och har redan idag hållfasthetsproblem på grund av utmattningspåverkan från vind- och trafiklast.

Höga broar utsätts dels för högre vindhastigheter än låga broar och dels är vindlastens angreppspunkt belägen högt över grundläggningen. För höga broar med stora spännvidder är därför vindlast, och därmed vindhastighet, en viktig parameter. Detta gäller framför allt slanka konstruktioner som hängbroar, snedkabelbroar och vissa större bågbroar. För mindre slanka men ändå höga broar som till exempel Ölandsbron har vindlasten mindre betydelse. Vi uppskattar 10–20 broar påverkas av högre vindhastigheter.

Vid höga vindhastigheter finns två problemställningar för höga broar:

- *Vindens inverkan på trafiken.* Vid ett fåtal höga broar finns det idag av trafiksäkerhetsskäl restriktioner för hur bron får trafikerats vid hårda vindar. Restriktionerna kan bestå i att brons stängs helt eller att vissa fordonstyper, t.ex. lastbilar och husvagnar, inte tillåts vid vind över en viss styrka. Vid ett ökat antal tillfällen med sådana vindstyrkor ökar också antal tillfällen med sådana restriktioner.

- *Vindens inverkan på bron.* Broar dimensioneras för en i sidled verkande vindlast som har en stjälpande effekt. En ökning av antal tillfällen med samma vindstyrkor som de vi har idag innebär ingen skillnad i detta avseende. Om däremot den förväntade högsta vindstyrkan under en viss återkomsttid ökar markant så uppfylls inte längre samhällets krav på stabilitet för höga broar. Typiska skador skulle, på ett fåtal stora broar vid en sådan ökning, kunna vara att grundläggningen eller pelarnas nedre delar ger vika så att bron börjar luta eller stälper eller att broöverbyggnaden glider i sidled på stöden.

En hög bros redundans för ökade högsta vindstyrkor beror på vilken vindlast den har dimensionerats för. De vindlaster vi under senare decennier har använt vid nybyggnad av broar framgår av kapitel 4.

Hur snabbt en skada kan åtgärdas beror på i vilket skede den upptäcks. Om skadan har ett långsamt förlopp och upptäcks vid en inspektion kan den troligen åtgärdas utan större inverkan på möjligheten att trafikera bron. Om skadan däremot har ett så hastigt förlopp att den leder till ett haveri kan broförbindelsen förväntas vara stängd under en längre tid (2–3 år) eftersom dessa skador bara kan förväntas på stora broar.

5.4 Förändring av havsvattennivåer

5.41 Tunnlar och vägar

En allmän höjning av havsvattennivån kombinerat med vind och lufttryck förutses ge problem för vägtunnlar under vatten och lågt liggande vägar i södra Sverige där landhöjningen inte fullt ut kompenserar havsnivåhöjningen. Exempel på anläggningar som kan påverkas är Tingstadstunneln och Götatunneln i Göteborg och väg E6 vid Ljungskile.

5.42 Färjelägen

En havsnivåhöjning kan medföra att ett större antal färjelägen, främst på västkusten, behöver anpassas för att fortsatt kunna nyttjas.

6 Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder

6.1 Skred, ras, bortspolad väg och översvämningar

En uppskattning av kostnaden för framtida skador innehåller stora osäkerheter. De scenarier över klimatets utveckling som uppskattningen grundas på redovisar stora skillnader sinsemellan, särskilt beträffande förändring av nederbörd som är den klimatfaktor som betyder mest för frekvensen av skred, erosion och översvämningar. En annan osäkerhet är hur de indirekta skadorna kommer att värderas i framtiden, t ex. störning av transportförsörjningen och personskador. En tredje svårighet är att bedöma hur frekvensen av stora allvarliga händelser förändras eftersom de skenbart inträffar slumpvis.

Följande uppgifter om skador bygger på enkätsvar från regionerna och omfattar enbart större skador. Kostnader för normalt underhåll och återställning av mindre skador ingår inte.

I dagsläget uppgår de totala erosions- och översvämningsskadorna under den senaste 12-årsperioden till ca 65 Mkr per år. Enbart i undantagsfall överstiger skadekostnaden för ett enskilt objekt 10 Mkr. Andelen indirekta skador bedöms ligga mellan 5 och 15 % av totalskadekostnaderna.

Motsvarande skadekostnader för skred och ras är i medeltal ca 15 Mkr per år. Ca 1/3 av skadekostnaderna kan hänföras till objekt med skadekostnader > 10 Mkr. Andelen indirekta skador bedöms ligga mellan 5 och 25 % av totala skadekostnaderna. I dessa kostnader ingår inte det senaste skredet på väg E6 söder om Munkedal.

En grov bedömning är att kostnaderna för större erosions- och översvämningsskador på lång sikt ökar med 50–150 Mkr/år i dagens penningvärde och vid dagens värdering av indirekta skador. Motsvarande ökning av kostnaderna för skred och ras uppskattas bli 20–50 Mkr/år. Dessa kostnader avser den typ av händelser som inträffar årligen eller med några få års mellanrum på vägnätet som helhet. Utöver dessa mera vanliga skadehändelser kan man på goda grunder anta att frekvensen stora skred med skadekostnader över 100 Mkr kommer att öka. Sådana händelser har hittills varit mycket få inom vägsektorn.

Bedömning av skadekostnaderna har gjorts utifrån de förändringar av frekvensen intensiva regn (>25 mm/dygn), hundraårsflöden (lokal tillrinning) och medelårsavrinning som redovisats för scenariet ECHAM/A2 på lång sikt. Bedömning av hur erosions- och skredfrekvens kan komma att förändras på lång sikt inom olika geografiska områden redovisas närmare i SGI "Översiktlig bedömning av jordrörelser vid ett förändrat klimat".

6.2 Nedbrytning av vägöverbyggnader

Från åtgärdsbehoven i kap 5.21 har vi gjort ansatsen att nuvarande faktiska åtgärder exakt motsvarar behovet för att utifrån detta försöka skatta kostnaderna för underhåll vid förändrat klimat. Denna analys pekar på en liten minskning av kostnaderna. Med tanke på osäkerheten hos bakomliggande antaganden och resonemang måste dock slutsatsen bli att vi från vår analys inte kan dra några slutsatser om hur och om de totala underhållskostnaderna kommer att förändras vid förändrat klimat. Vi kan dock göra uppskattningen att åtgärdsbehovet kommer att förskjutas från tjäle-relaterad mot mera värme- och vattenbelastningsrelaterad nedbrytning.

Nu återstår att väga in möjliga konsekvenser av att faktiskt genomförda åtgärder inte är tillräckligt omfattande för att motsvara det verkliga behovet. Antaget att underhållsåtgärder genomförs med en fördelning motsvarande behoven förändras inte slutsatsen i föregående stycke med annat än ökande kostnader för att uppfylla behovet. Om vi idag har en förskjutning mot tjäle-relaterade åtgärder så kan vi vänta oss att framtida kostnader ökar ytterligare utöver vad som krävs för att faktiskt möta behoven. Är det istället redan idag en förskjutning mot värme- och vattenbelastningsrelaterade åtgärder kan vi vänta oss att kostnaderna inte ökar riktigt lika mycket som skulle krävas för att täcka upp skillnaden mellan behovet och faktiskt genomförda åtgärder idag.

6.3 Vinterväghållning

En eventuell ökad användning av vägsalt i de norra delarna av Sverige kan leda till ett ökat behov av att skydda grundvattentäcker och grundvattenförekomster mot påverkan av klorid vilket innebär kostnader för förebyggande åtgärder.

6.4 Broar

Om det visar sig att broar har för liten kapacitet för att släppa igenom högre flöden eller att broar skadas av höga flöden eller höga vattennivåer kommer detta att uppmärksammas i vår förvaltning av broarna. Eftersom klimatförändringen är en långsam process kan vi anta att problemen vanligen upptäcks vid vår vanliga förvaltning av brobeståndet. Vissa broar kommer därigenom att prioriteras för ombyggnad vid en tidigare tidpunkt än vad som annars varit fallet.

Vårt broförvaltningssystem saknar idag sökbara uppgifter om vilka broar som går över vatten och broarnas fria höjder över vatten. Vi har ur en något äldre databas sökt fram hur många broar över vatten Vägverket äger. Sökningen har också förfinats med avseende på konstruktionslängder och fria höjder över HHW enligt följande.

- För att kunna bedöma hur stort problemet med lågt liggande broar är har resultatet bearbetats med avseende på fri höjd mellan brons undersida och högsta högvatten så att broar med en fri höjd $\leq 0,5$ m resp. $\leq 1,0$ m samt broar med en fri höjd $< 0,3$ m framgår.
- I ett försök att uppskatta hur många broar som går över mindre vattendrag har vi räknat antal broar med konstruktionslängd mindre än 15 m. I begreppet konstruktionslängd ingår också vingmurar vilket innebär att en konventionell bro med konstruktionslängd lika med 15 m har en fri öppning lika med 8–10 m. Även broar med mycket liten öppning kan dock få en konstruktionslängd längre än 15 m om vägen korsar vattendraget i en sned vinkel eftersom konstruktionslängden mäts vinkelrätt mot väglinjen.

Vägverket äger totalt ca 15000 broar och vår sökning visar att ca 8400 av dessa går över vattendrag. Resultatet redovisas i detalj i

tabell 9. Enligt den förväntade förändringen av 100-årsflöden som vi fått som underlag kommer delar av södra och västra Sverige att få ökade flöden. Den delen utgörs av Blekinge län, Skåne län, Hallands län, Västra Götalands län och Värmlands län samt hälften av Jönköpings län och Kronobergs län. I denna del av landet äger Vägverket ca 3300 broar över vattendrag.

Av sammanställningen framgår att 190 broar har en fri höjd över HHW som är mindre än 0,3 m. Flertalet av dessa är rörbroar som tidigare varit klassificerade som vägtrummor och därmed byggts enligt andra regler. Problemet är koncentrerat till Västra Götalands län och Västerbottens län. Något tiotal konventionella broar med en mindre fri höjd än 0,3 m finns dock i vårt brobestånd. Dessa är antingen gamla eller har byggts med avsteg från våra regler om fri höjd. I vissa fall avser uppgiften om fri höjd ett uppmätt exceptionellt vattenstånd vid ett angivet tillfälle men broritningen anger då också ett lägre 50-årsvärde.

Tabell 9 Sammanställning över Vägverkets broar över vattendrag

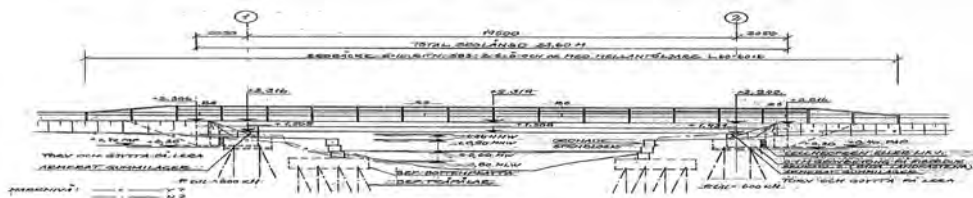
	Antal broar oavsett längd				Antal broar med konstruktionslängd ≤ 15 m.		
	Totalt antal	Fri höjd över HHW ≤ 1,0 m	Fri höjd över HHW ≤ 0,5 m	Fri höjd över HHW < 0,3 m	Totalt antal	Fri höjd över HW ≤ 1,0 m	Fri höjd över HHW ≤ 0,5 m
<i>Hela landet</i>	8409	3319	966	190	5625	2574	749
Stockholms län	203	62	21	4	125	52	20
Upplands län	249	106	35	5	183	79	29
Södermanlands län	192	81	25	1	138	63	17
Östergötlands län	288	118	31	2	209	99	29
Jönköpings län	292	173	51	7	197	125	39
Kronobergs län	259	142	36	7	184	107	26
Kalmar län	300	165	62	6	212	127	44
Gotlands län	74	40	10	2	66	38	10
Blekinge län	129	44	14	2	87	32	8
Skåne län	711	278	67	16	571	232	53
Hallands län	369	172	49	2	267	126	35
Västra Götalands län	1332	635	222	48	981	511	179
Värmlands län	459	153	36	8	308	119	26
Örebro län	326	146	39	6	247	112	31
Västmanlands län	243	105	47	10	177	78	35
Dalarnas län	364	121	21	2	209	86	15
Gävleborgs län	396	169	51	8	249	126	38
Västernorrlands län	439	114	17	0	233	85	10
Jämtlands län	434	128	30	0	195	87	20
Västerbottens län	769	222	71	42	476	182	60
Norrbottnens län	581	145	31	12	311	108	25
<i>De delar Sverige där ökade flöden väntas¹⁾</i>	3276	1440	432	83	2405	1136	334
Övriga Sverige	5133	1879	534	107	3220	1438	415

¹⁾ Blekinge län, Skåne län, Hallands län, Västra Götalands län, Värmlands län samt hälften av Jönköpings län och Kronobergs län.

I den del av landet där högre flöden förväntas äger Vägverket ca 3300 broar över vattendrag. En noggrannare indelning av dessa broar visar följande:

- Ca 430 broar har en fri höjd över högsta högvatten som är mindre än eller lika med 0,5 m. Ett hundratal av dessa broar har en konstruktionslängd större än 15 m. Vid låga broar kan vattendraget dämmas upp om vattennivån stiger upp på överbyggnaden, se 5.14.
- Ett åttiotial broar har en fri höjd över högsta högvatten som är mindre än 0,3 m. Med något undantag utgörs dessa broar av rörbroar i spännviddsintervallet 2–3 m som byggdes enligt reglerna för vägtrummor. Sannolikheten för att dessa broar ska dämna ett vattendrag och därmed orsaka översvämningar eller bortspolning av vägbankar är extra stor.
- Bland broarna som har en fri höjd över högsta högvatten mindre än 0,3 m återfinns enstaka broar av andra typer än rörbroar. Ett exempel är en bro över en gren av Mörrumsån i Elleholm byggd 1990 med en fri höjd av 0,14 m, figur 5. Bron är belägen på den sista allmänna väg som korsar Mörrumsån innan den rinner ut i havet. Bron över Mörrumsåns andra gren på denna plats har en fri höjd av 0,38 m.
- Ca 2400 broar går över små vattendrag och ca 330 av dessa har en fri höjd över högsta högvatten lägre än 0,5 m. Dessa broar är speciellt känsliga för kortvariga höga flöden från små avvattningsområden, se 5.15.

Figur 5 Bro över Mörrumsån (Lillån) vid Elleholm, Kalmar län



Med ett genomsnittligt anskaffningsvärde av 1,3 miljoner kronor representerar de 2400 mindre broarna ovan broar ett nyanskaffningsvärde av ca 3,1 miljarder kronor. Nyanskaffningsvärdet för det hundratal broar som har en konstruktionslängd större än 15 m och en fri höjd mindre än eller lika med 0,5 m har uppskattats till

0,5 miljarder kronor. Den tid som återstår fram till mitten av perioden 2071–2100 motsvarar nästan en broslivslängd, följaktligen bör en stor del av anskaffningsvärdet omsättas en gång fram till dess. Högre 100-årsflöden på grund av klimatförändringar kan leda till att en andel av dessa broar behöver bytas ut tidigare än vad som annars hade varit fallet. En grov uppskattning av merkostnaden är 20 % av anskaffningsvärdet, dvs. 700 miljoner kronor fördelat över perioden 2010–2100.

I övriga delar av landet finns ca 110 broar som har en registrerad fri höjd över högsta högvatten som är mindre än de 0,3 m som idag föreskrivs vid nybyggnad. Med något undantag utgörs dessa broar av små rörbroar. Sannolikheten för att dessa broar ska dämra ett vattendrag och därmed orsaka översvämningar eller bortspolning av vägbankar vid kortvariga intensiva regn på små avvattningsområden är extra stor. Ett antal av dessa kan behöva bytas ut av denna orsak. Anskaffningsvärdet för en liten rörbro är ca 0,9 miljoner kronor. En grov uppskattning av merkostnaden för utbyten på grund av risken för höga flöden är 20 % av anskaffningsvärdet, dvs. 20 miljoner kronor fördelat över perioden 2010–2100.

De broar som kan få problem med ökade vindstyrkor är av naturen stora konstruktioner. Att åtgärda problemen för befintliga broar kan därför vara svårt och kostsamt räknat per åtgärdad bro men det är troligen ett litet antal broar som behöver åtgärdas. Vid nybyggnad kan problemet åtgärdas genom att dimensioneringsregler löpande anpassas till aktuell väderstatistik. Merkostnaden för en ökning av vindlasten vid dimensionering av en ny bro är marginell.

6.5 Tunnlar

Vi förutsätter att anpassningsåtgärder utförs så att skadorna inte ökar.

6.6 Färjelägen

Några direkta skadekostnader uppstår troligen inte. Däremot uppstår samhällsekonomiska konsekvenser ifall färjetrafiken inte kan upprätthållas med anledning av för hög havsvattennivå.

7 Anpassningsåtgärder samt kostnaderna för dessa

7.1 Förebyggande åtgärder

7.11 Skred, ras, bortspolad väg och översvämning

Det påbörjade arbetet med riskanalys av vägnätet kommer att intensifieras och i första hand inriktas mot skredrisker med allvarliga konsekvenser och mot identifiering och analys av vägtrummor under höga vägbankar som är sårbara för höga vattenflöden inom de utpekade områdena. Även översvämningar som ger stora konsekvenser för trafikförsörjningen bör analyseras.

Aktuella åtgärder för att minska skredrisknivån för vägsnitt med oacceptabel säkerhet kan vara grundförstärkning, installation av skredvarningssystem och förberedelser/förbättring av omledningsvägar. För att minska risken för bortspolning av höga vägbankar kan åtgärder som skyddar truminlopp mot igensättning, förstärkning av vägbankar så att de tål ett tillfälligt dämmande flöde och installation av reservtrumma vara aktuella. En utökad tillsyn av sårbara trumlagen vid extrem nederbörd och förberedelser för att snabbt anordna provisorisk förbifart och återställa bortspolade vägbankar kan också vara aktuella.

På grund av stora och ökande skadekostnader på lång sikt kommer omfattande åtgärder att behövas framöver. Det är därför viktigt att åtgärderna inte sätts in för tidigt och med för höga ambitioner för att samhällets kostnader ska kunna begränsas. Åtgärder som kan vänta till dess att planerat utbyte eller förstärkning av anläggningsdelen genomförs kan göras mera kostnads-effektiva. I uppdraget ingår att beskriva de åtgärder som kan komma att krävas med hänsyn till förväntade klimatförändringar. Om åtgärder krävs av andra skäl ska de inte ingå i kostnadsuppskattningen. Av denna anledning finns det skäl för att allmänt kommentera orsaker till åtgärdsbehov på kort sikt.

Åtgärder som genomförs omgående eller på kort sikt kan ha olika motiv:

- Dagens funktionskrav kan behöva skärpas med hänsyn till konstruktionernas sårbarhet och konsekvenser av skada. Riskbaserade funktionskrav med hänsyn till höga flöden håller för närvarande på att tas fram. I många fall kommer kraven att skärpas, men vissa lindringar kan motiveras utan att underhållskostnaderna blir för höga. Exempel på konstruktioner som kommer att få skärpta krav är vägtrummor och mindre rörbroar under höga vägbankar.
- Dagens krav uppfylls inte av konstruktionerna. Detta kan vara fallet för många äldre konstruktioner som inte dimensionerats enligt dagens krav. I något fall kan även nyare konstruktioner ha fått undermåliga utformningar på grund av förbiseenden vid dimensioneringen eller brister vid utförandet. Exempel på konstruktioner som inte uppfyller dagens krav är äldre vägavsnitt med för låg säkerhet mot skred.
- Dagens klimat har redan förändrats så mycket att skadekostnaderna blir för höga. Klimatförändringar slår igenom i regelverken med fördröjning. Dagens regelverk innehåller klimatlaster härledda från väderstatistik under åren 1961–1990. Denna period är också utgångspunkten för beskrivning av förväntade förändringar av klimatindex i de olika klimat- och utsläppsscenarierna. I oktober 2006 redovisade SMHI en jämförelse av temperatur och nederbörd under 1991–2005 med 30-årsperioden tidigare. Jämförelsen visar att framförallt temperaturen har ökat, men även nederbörds mängden har ökat. I de nya riskbaserade funktionskraven kommer prognoser över klimatberoende laster att ingå som förutsättning för dimensioneringen.

Vid bedömningen av åtgärdsbehovet på kort sikt har inget försök gjorts att konsekvent särskilja kostnader för åtgärder efter de beskrivna orsakerna. En grov bedömning är att enbart en mindre del av åtgärderna kan motiveras på grund av inträffad och förväntad klimatförändring. De åtgärder som här har bedömts nödvändiga på medellång och lång sikt är däremot alla orsakade av den förväntade klimatförändringen.

Kostnaderna för åtgärder på kort sikt för att förebygga större erosions- och översvämningskostnader har uppskattats till

150–500 Mkr. Uppskattningen bygger på följande beräknings-exempel. Objekt som svarar för 10–30 % av kostnaderna för erosion och översvämning kan identifieras och åtgärdas. Åtgärderna reducerar risknivån med 90 %. Skadekostnaderna minskar då med 6–18 Mkr/år, ($\{0,1-0,3\} \times 65 \times 0,9$). Antas vidare att åtgärderna är samhällsekonomiskt motiverade och av engångskaraktär och inte medför ökade underhållskostnader blir kostnaderna för åtgärderna $< 150-500$ Mkr, (nettonuvärdeskvot > 0 ger åtgärds-kostnad $<$ nuvärdet av de diskonterade årsriskkostnaderna $= 25 \times \{6-18\}$ Mkr).

Med samma beräkningsförutsättningar som ovan skulle kostnaderna för åtgärder på kort sikt för att förebygga skred uppgå till 35–100 Mkr. Denna beräkning utgår från medelvärdet av de senaste årens kostnader för skred och ras. I dessa ingår inga kostnader för personskador. Vid en riskanalys måste även utfall med möjliga personskador beaktas. Mera omfattande åtgärder kan därför motiveras. Dessutom krävs åtgärder oavsett kostnader om risknivån är hög. En samlad bedömning slutar då med att åtgärds-kostnaderna på kort sikt för att förebygga skred åtminstone uppgår till 200 Mkr.

En uppskattning av kostnaderna på lång sikt för att förebygga erosion, översvämning och skred blir mycket osäker. Om förebyggande åtgärder görs i samband med ordinarie utbyte av anläggningsdel eller vid ombyggnad av vägen blir kostnadsökningarna på grund av förväntad klimatiförändring väsentligt lägre än om åtgärderna görs isolerat. Men eftersom konstruktionerna utsätts för större belastningar, t.ex. högre flöden och portryck, är en kostnadsökning ofrånkomlig. En kostnadsuppskattning kan göras genom följande beräkningsexempel:

1. Åtgärder som förebygger 50 % av skadekostnaderna kan utföras i samband med ordinarie utbyte eller vägombyggnad till 10 % av kostnaden vid isolerad åtgärd. Förutsättningar i övrigt är desamma som ovanstående beräkningsexempel. Kostnad: $0,5 \times (70-200) \times 0,9 \times 25 \times 0,1 = 80-225$ Mkr
2. Åtgärder som förebygger 25 % av skadekostnaderna utförs som isolerade åtgärder. Detta är åtgärder som inte blir väsentligt billigare om de görs i samband med ombyggnad av vägen, t.ex. förstärkning med hänsyn till skredrisk eller skydd för igensättning av truminlopp. Kostnad: $0,25 \times (70-200) \times 0,9 \times 25 = 400-1125$ Mkr

Beräkningarna ger totalt 500–1500 Mkr i åtgärds kostnader, åtgärder för att förebygga stora skred oräknat. Beräkningsexemplet tyder på att kostnaderna kan bli i storleksordningen 1000–2000 Mkr.

Rutiner bör tas fram för bevakning och påverkan av markanvändning som förändrar infiltration, portryck, vattenavrinning och tillförsel av jord och växtmaterial till vattendrag och vägdiken intill sårbara konstruktioner. Skogsbruk och exploatering för bebyggelse är exempel på markanvändning som kan ha negativ påverkan. Särskild uppmärksamhet bör ägnas åt risken för läckande VA-ledningar i anslutning till väganläggningar med låg säkerhet mot skred. Uppföljning av portryck och erosion några år efter nybyggnad av känsliga konstruktioner kan också motiveras.

Analys av skredrisker som berör flera infrastrukturer och bebyggelse bör samordnas mellan respektive huvudmän. De skredriskkarteringar Statens Räddningsverk ansvarar för över utsatta bebyggda områden kan förslagsvis utökas till att även omfatta infrastrukturen däremellan.

Analys av översvämningsrisker i de större vattendragen bör samordnas mellan regleringsföretagen och andra berörda, lämpligen kan Älvgrupperna nyttjas i detta arbete.

7.12 Nybyggnad

Nybyggnad styrs av gällande normer och krav, dessa revideras fortlöpande för att anpassas till dagens förhållanden. För att kunna dimensionera vägkonstruktionen för hela dess livslängd behövs en analys av klimatförhållandet under vägens livslängd för dess olika komponenter.

- Styvare bindemedel för beläggning påverkar inte kostnaden nämnvärt.
- Tunnare överbyggnad på grund av minskade tjäldjup ger lägre kostnader.
- Längre byggsäsong leder till lägre kostnader.
- Byggnadsarbeten, både beläggnings- samt schaktarbeten kan försvåras om nederbörds mängderna ökar.

7.13 Vinterväghållning

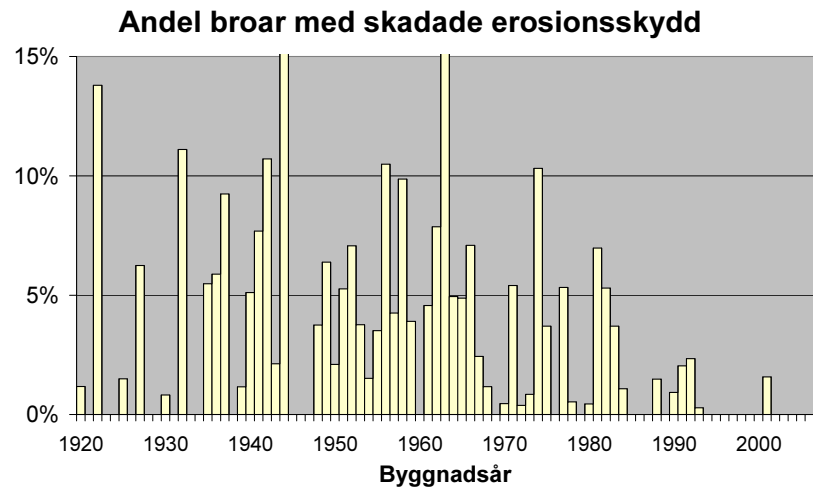
Ett exempel på anpassningsåtgärder är att en högre beredskap måste finnas i de norra delarna av landet. Eftersom det kan bli fler halktillfällen på grund av exempelvis regn på kall vägbana (mera regn vintertid) i norr så behöver dessa vägar klassas om så att åtgärdstiderna kortas och startkriterierna bli lägre. Temperaturen kommer att variera runt noll i de norra delarna. Kostnaden för denna standardökning kommer dock inte att överstiga minskningen av kostnader i de södra delarna på grund av mindre stränga samt kortare vintrar. Kostnaden beräknas bli totalt noll kronor.

7.14 Broar

En utredning av hydrologiska förhållanden och sårbarhet för de 190 broar som enligt i vår databas registrerade uppgifter har en fri höjd över högsta högvatten som är mindre än 0,3 m bör utföras.

Omfattningen av skador på erosionsskydd för broar inspekterade under åren 1987–2005 finns registrerat i vår broförvaltningsdatabas. Skadefrekvensen (antal skador/antal broar, år) uppgår till ca 5 % för broar byggda före 1985 för att därefter sjunka. 1986 gavs en ny publikation ut som behandlade erosionsskydd. Nedgången i skadefrekvens kan ses som ett resultat av ett förbättrat regelverk eller kan vara ett utslag av att dessa broar är yngre. Statistiken visar dock att i storleksordningen var tjugonde bro har skador på erosionsskydden, figur 6. En utredning som identifierar vilka av dessa broar som har hög sårbarhet med avseende på höga flöden följt av ett åtgärdsprogram för att reparera och eventuellt förbättra dessa broar bör genomföras.

Figur 6 Andel broar med skadade erosionsskydd



Uddevallabrons snedkablar utsätts vid kallt och fuktigt väder för nedisning. Sedan något år pågår försök med olika metoder att förhindra att islagret blir så tjockt att fallande isbitar är farliga.

7.15 Tunnlar

Behov av särskilda åtgärder för vägtunnlar med hänsyn till förväntade förhöjda havsvattennivåer bör utredas.

7.16 Färjelägen

För att möta en höjd havsvattennivå krävs ombyggnation av ett antal färjelägen, främst på västkusten. Då vi inte fått värden för detta i Göteborgsområdet är det i nuläget inte möjligt att kvantifiera antal eller kostnad. Som en fingervisning kan dock nämnas att en genomsnittskostnad för ombyggnation av ett färjeläge uppgår till c:a 10 Mkr. Denna siffra varierar dock beroende på det enskilda färjelägets unika förutsättningar.

7.2 Ansvar och förändring av regelverk

Underbyggda prognoser över framtida förändringar av nederbördsintensitet och höga flöden bör tas in som dimensioneringsförutsättningar i regelverket, se även Forsknings- och utvecklingsbehov. Förväntade livslängder hos anläggningarna kommer att styra valet av prognosperiod.

Dimensionering av konstruktioner med hänsyn till risken för skred och ras bör anpassas till ett tydligare risktänkande. En mera detaljerad konsekvensanalys bör styra både val av säkerhetsklass och noggrannheten vid dimensionering och utförandekontroll.

Vi har i tidigare utredningar identifierat ett behov av revidering av våra regelverk för nybyggnad och förbättring av broar, se VV Publ. 2002:156.

För närvarande utvecklar vi en modell för "riskbaserade funktionskrav" för höga flöden. Syftet med denna är att skapa ett system som kan identifiera vilka vägförbindelser som särskilt viktiga för samhället eller särskilt dyra att återställa efter en skada och höja kraven på erosionskydd etc. vid nybyggnad eller förbättring av sådana. Metoder för att minska risken för skador på viktiga nya förbindelser kan t.ex. vara att

- bestämma HHW och flöden för en längre återkomsttid,
- kräva högre fri höjd över vatten eller
- föreskriva att vissa konstruktionslösningar inte ska användas i lägen med stor sårbarhet.

En modernisering av våra metoder för bestämning av dimensionerande vattenflöden och vattennivåer i ett vattendrag pågår. En modernisering av våra regler för erosionskydd är också planerad och utförs 2007–2008.

7.3 Forsknings- och utvecklingsbehov

Fortsatt utveckling av metoder och åtgärder som krävs för att hantera ett förändrat klimat inom vägsektorn bör samordnas med våra grannländer, särskilt Norge som i många fall har liknande men svårare geologiska, topografiska och meteorologiska förutsättningar.

Pågående projekt "Släntstabilitet vid ett förändrat klimat – prognosmetoder för grundvattentryck och portryck" bör breddas

till att omfatta även prognosmetoder för portryck vid förändrad markanvändning. Markanvändningen påverkar avvattning och infiltration och har därför stor betydelse för släntstabilitet. Nybyggnad av väg innebär ändrad markanvändning. Resultatet av detta projekt är kritiskt för att uppnå hög kvalitet vid stabilitetsanalyser även med oförändrat klimat.

Pågående projekt med syfte att beskriva åtgärder som förhindrar igensättning av truminlopp och mindre broar bör fördjupas och påskyndas så att resultaten direkt kan användas i den förestående åtgärdsplaneringen.

En länge efterfrågad samlad databas över geotekniska och hydrogeologiska undersökningar bör tas fram. En sådan databas är nödvändig för att översiktliga riskanalyser och projektering i tidiga skeden ska kunna utföras kostnadseffektivt och med hög kvalitet.

En inventering av de broar som har en lägre fri höjd över högsta högvatten än 0,3 m bör genomföras, se 7.14.

En utredning som identifierar vilka av broarna med registrerade skador på erosionsskydd som har hög sårbarhet med avseende på höga flöden följt av en åtgärdsprogram för att reparera och eventuellt förbättra dessa erosionsskydd bör genomföras, se 7.14.

För att underlätta uppföljningen av våra broar över vattendrag bör databasen i vårt broförvaltningssystem BaTMan kompletteras med

- uppgifter om vilka broar som går över vatten,
- uppgifter om fria höjden över MW och HHW för broar över vatten samt
- med sökbara uppgifter som identifierar vattendragen, t.ex. i form av namngivna avvattnings- eller regleringsområden.

Kunskapen om hur stora betongkonstruktioner påverkas av temperatursvariation över dygnet, speciellt med avseende på soluppvärmning efter en kall natt eller avsvälning under kalla klara nätter behöver förbättras. Det finns sedan tidigare FUD-projekt föreslagna inom detta område men dessa har tidigare inte prioriterats tillräckligt högt för att kunna startas.

En förbättrad rikstäckande höjddatabas behövs för att kunna djupstudera olika klimatscenarier, främst kring vattenfrågor men även vid frågeställningar kring ras och skred.

När det gäller vinterväghållning kommer inga speciella forsknings- och utvecklingsbehov att behövas på grund av förändrat klimat utöver de löpande behoven som alltid behövs

8 Slutsatser

Konsekvenser av ett förändrat klimat

Analysen av klimatscenarierna visar att väghållningen kommer att påverkas påtagligt framför allt på lång sikt. Störst negativ påverkan kommer den förväntade ökningen av nederbörd och efterföljande höga vattenflöden ge. Om de beskrivna klimatscenarierna blir verklighet kommer antalet skred och ras, bortspolningar av vägar och översvämningar öka väsentligt. De skred och översvämningar som skett i västra Sverige under senare delen av 2006 illustrerar det vi kan förvänta oss i framtiden. Även skador på lågt liggande broar och broar vars grundläggningar är sårbara för erosion kommer att öka. Den förväntade havsnivåhöjningen kommer att medföra kostnader för anpassning av färjelägen och lågt liggande vägtunnlar. Norr om Stockholm kommer dock den pågående landhöjningen fullt ut kompensera för havsnivåhöjningen.

I nedanstående tabell anges uppskattade kostnadsökningar för skador på grund av erosion, översvämning och skred/ras och kostnader för förebyggande åtgärder. I beloppen ingår inte kostnader för mindre erosions- och översvämningsskador eller mindre skred och ras som åtgärdas genom normalt underhåll.

Skadetyper	Förebyggande åtgärder på kort sikt ¹⁾	Förebyggande åtgärder på lång sikt	Kostnadsökning för skador på lång sikt (utan åtgärder)
Större erosions- och översvämningsskador (nuvarande skadekost ca 65 Msek/år)	150–500 Msek	Totalt 1000–2000 Msek, förebyggande åtgärder mot större erosions- och översvämningsskador samt skred och ras ²⁾	50–150 Msek/år
Skred och ras (nuvarande skadekostnad ca 15 Msek/år)	>200 Msek		20–50 Mkr/år
Stora skred (är för närvarande sällsynta)			Ökat antal stora skred
Förtida utbyte av broar		Ca 720 Mkr under perioden ³⁾	

¹⁾ Uppskattningen av kostnaderna bygger på följande *beräknings-exempel*:

- Objekt som svarar för 10-30 % av kostnaderna för erosion och översvämning kan identifieras och åtgärdas. Åtgärderna reducerar risknivån med 90 %. Skadekostnaderna minskar då med 6–18 Msek/år, ($\{0,1-0,3\} \times 65 \times 0,9$). Antas vidare att åtgärderna är samhällsekonomiskt motiverade och av engångskaraktär och inte medför ökade underhållskostnader blir kostnaderna för åtgärderna < 150-500 Msek, (nettonuvärdeskvot >0 ger åtgärds-kostnad < nuvärdet av de diskonterade årsriskkostnaderna = $25 \times \{6-18\}$ Msek).
- Med samma förutsättningar blir åtgärds-kostnaderna för att minska skredrisker <35-100 Msek. Beräkningen utgår från medelvärde av de senaste årens kostnader för skred och ras. I dessa ingår inga kostnader för personskador. Vid en riskanalys måste även utfall med möjliga personskador beaktas. Mera omfattande åtgärder kan därför motiveras. Dessutom krävs åtgärder oavsett kostnader om risknivån är hög. En samlad bedömning slutar då med att åtgärds-kostnaderna åtminstone uppgår till 200 Msek.

²⁾ Om förebyggande åtgärder görs i samband med ordinarie utbyte av anläggningsdel eller vid ombyggnad av vägen blir kostnads-

ökningarna på grund av förväntad klimatförändring väsentligt lägre än om åtgärderna görs isolerat. Men eftersom konstruktionerna utsätts för större belastningar, t ex högre flöden och porttryck, är en kostnadsökning ofrånkomlig. Uppskattningen av kostnaderna bygger på följande *beräkningsexempel*:

- Åtgärder som förebygger 50 % av skadekostnaderna kan utföras i samband med ordinarie utbyte eller vägombyggnad till 10% av kostnaden vid isolerad åtgärd. Förutsättningar i övrigt enligt 1). Kostnad: $0,5 \times (70-200) \times 0,9 \times 25 \times 0,1 = 80-225$ Msek
- Åtgärder som förebygger 25% av skadekostnaderna utförs som isolerade åtgärder. Detta är åtgärder som inte blir väsentligt billigare om de görs i samband med ombyggnad av vägen, t ex förstärkning med hänsyn till skredrisk eller skydd för igen-sättning av truminlopp. Kostnad: $0,25 \times (70-200) \times 0,9 \times 25 = 400-1125$ Msek
- Beräkningarna ger totalt 500–1500 Msek i åtgärds-kostnader, åtgärder för att förebygga stora skred oräknat. Beräknings-exemplet tyder på att kostnaderna kan bli i storleksordningen 1000–2000 Msek.

³⁾ Kostnaden för broar är beräknad som kostnaden för att i förtid ersätta 20 % av de broar i sydvästra Sverige som har en fri höjd över HHW mindre än 0,5 m samt 20 % av de broar i hela landet som har en fri höjd över HHW mindre än 0,3 m.

Förebyggande åtgärder på kort sikt med hänsyn till risken för erosionsskador och skred motiveras i första hand av att inte alla konstruktioner uppfyller dagens krav och att dagens krav i vissa fall bör skärpas med hänsyn till konstruktionernas sårbarhet och konsekvens av skada. I mindre grad motiveras åtgärderna av den förväntade klimatförändringen och av att dagens klimat redan förändrats jämfört med det som förutsatts vid dimensioneringen. När resultaten av de påbörjade riskanalyserna finns tillgängliga kan en säkrare uppskattning av åtgärdsbehovet göras.

Inverkan av de antagna klimatförändringarna bedöms höja kostnader för underhåll av vägöverbyggnader med hänsyn till spår-bildning med 5% utom i norra delen av landet där kostnaderna förutses minska med 5% för vägar med låga ÅDT. Med hänsyn till ojämnheter har underhållskostnaderna bedömts minska med 10%. Sammantaget bedöms alltså klimatförändringen medföra något lägre kostnader. Denna jämförelse har gjorts med utgångspunkt från

faktiskt utfört underhåll. Det verkliga underhållsbehovet som bedöms ur tillståndsmätningar skiljer sig från det faktiskt utförda. Hur kostnaderna för framtida underhåll förändras beror därför i första hand på i vilken grad tillståndsmätningar ska styra underhållet och mindre på eventuella klimatförändringar.

Kostnaden för vinterväghållning bedöms i stort bli oförändrade med en förskjutning norrut av insatserna. Med en övergång till mildare vintrar och flera växlingar i temperatur och väglag förväntas problemen med tunga fordon som blockerar vägar vid dåligt väglag öka.

Förslag till åtgärder för att anpassa vägtransportsystemet till ett ändrat klimat

För att anpassningen ska kunna göras på ett effektivt sätt krävs att kompetens inom området byggs upp och samordnas. Anpassningen utförs med samhällsekonomiskt optimerade åtgärder i den ordinarie planeringen. Förslag till åtgärder som har ett brett allmänintresse:

1. Inrättande av en nationell instans med ansvar för klimatfrågor. Instansen bör ansvara för analyser av klimatscenarier, fastställa vilket scenario som ska anses mest trovärdigt och därmed planeras utifrån samt framtagande av relevant underlag för samhällets olika aktörer utifrån detta. Instansen bör även få till uppgift att bistå samhällsaktörerna med expertkunskap inom området.
2. En nationell databas över geotekniska och hydrologiska undersökningar bör tas fram
3. En förbättrad nationell höjddatabas bör tas fram
4. Kompetens inom klimatområdet byggs upp inom Vägverket
5. Interna projekten under punkt 7.2 och 7.3 genomförs
6. Djupstudier inom särskilt utsatta områden, geografiskt eller systemdelar, genomförs

Kostnaden för punkt 4–6 ovan bedöms uppgå till 65 Mkr som engångskostnad och till detta kommer en årlig driftkostnad på c:a 6 Mkr.

Underbilaga

Underbilaga till Vägverkets bilaga om klimatunderlag

Vägverket har förfinat och analyserat SMHI:s klimatscenarier som underlag till bedömningar för framtida klimatförändringars påverkan på vägtransportsystemet. De klimatfaktorer som mest påverkar vägsystemet har bedömts vara temperatur, nederbörd, vind, isbeläggning, flöden och havsnivån.

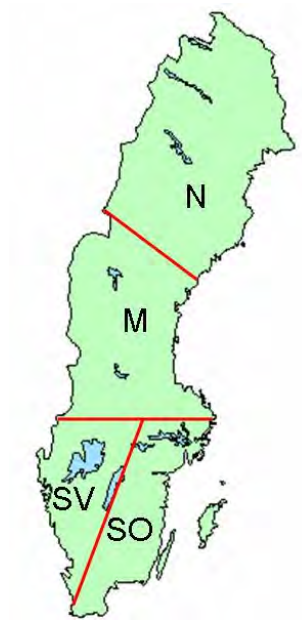
Dessa faktorer är indelade i klimatindex vilka SMHI levererat framtidsscenarier för till tre olika tidsperioder, 2011–2040, 2041–207 och 2071–2100. Index som använts mest som underlag i Vägverkets rapport är temperaturer, nollgenomgångar (antal dygn när temp är både över och under 0°C), frostdagar, nederbörd, snötäcke, dygn med snö, avrinning (nederbörd minus avdunstning), hundraårsregn. I redovisningarna har enbart globalt utsläppsscenario A2 använts vilket i princip betyder måttliga ökningar av utsläpp. Samtliga beräkningar av modeller kommer från Rossby Centre, SMHI

Vägverkets rapport om klimatets påverkan på väganläggningarna består av tre delar som berör väg inklusive beläggning, bro och drift/underhåll av vägnätet. Vägsystemets ingående delar är undergrund, överbyggnad, beläggning, trummor, höga broar, låga broar, hängbroar och tunnlar. Vägverket har också ett stort antal färjor som kan beröras av främst havsnivåhöjningar.

Vägverkets rapport baseras på ett urval av klimatindex som har granskats lite noggrannare och de mest betydelsefulla har översatts från kartor till numeriska värden för fyra delar av landet för att göra det lite lättare med analysen. Många index visar tydlig skillnad t.ex. vid Mälardalen och mellan sydväst och sydost, figur 1.

Dessa områden sammanfaller också grovt med Vägverkets administrativa regioner och även möjligheterna att använda befintliga databaser om vägnätet. Vägverkets är indelat i sju regioner enligt figur 2.

Figur 1



Figur 2

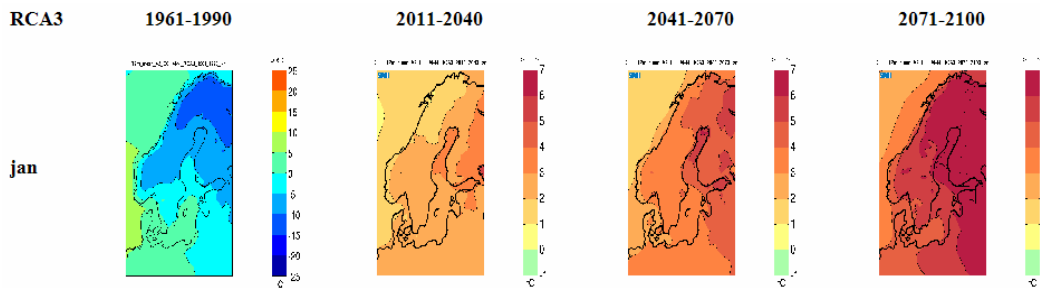


Klimatindexutveckling för framtida perioder av betydelse för vägtransportsystemet

Temperatur

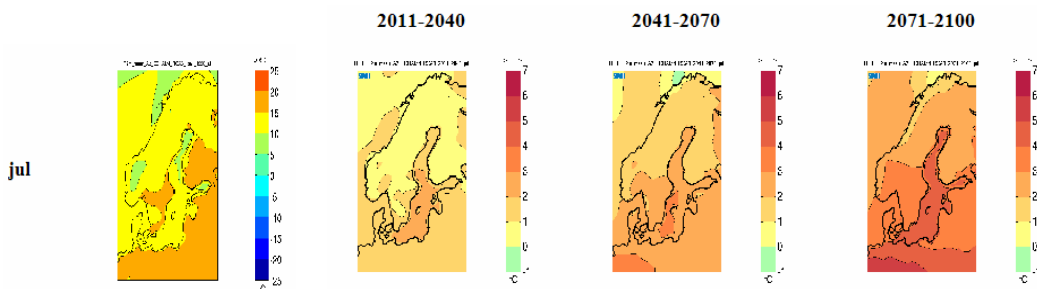
SMHI:s kartor för januari och juli (figur 3 och 4) visar den beräknade temperaturförändringen för månadsmedeltemperaturen i °C till de olika tidsperioderna enligt den tyska globala modellen Echam4 och utsläppsscenario A2 (i princip kraftiga utsläppsökningar).

Figur 3 Temp för januari månad i förhållande till 1961–1990



Källa: Rossby Centre, SMHI.

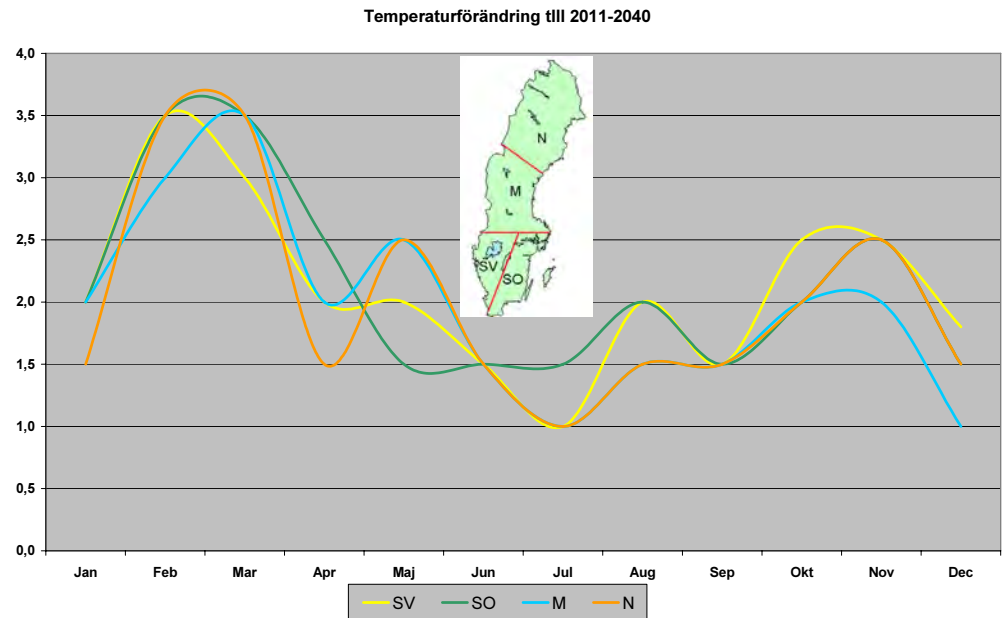
Figur 4 Temp för juli månad i förhållande till 1961–1990

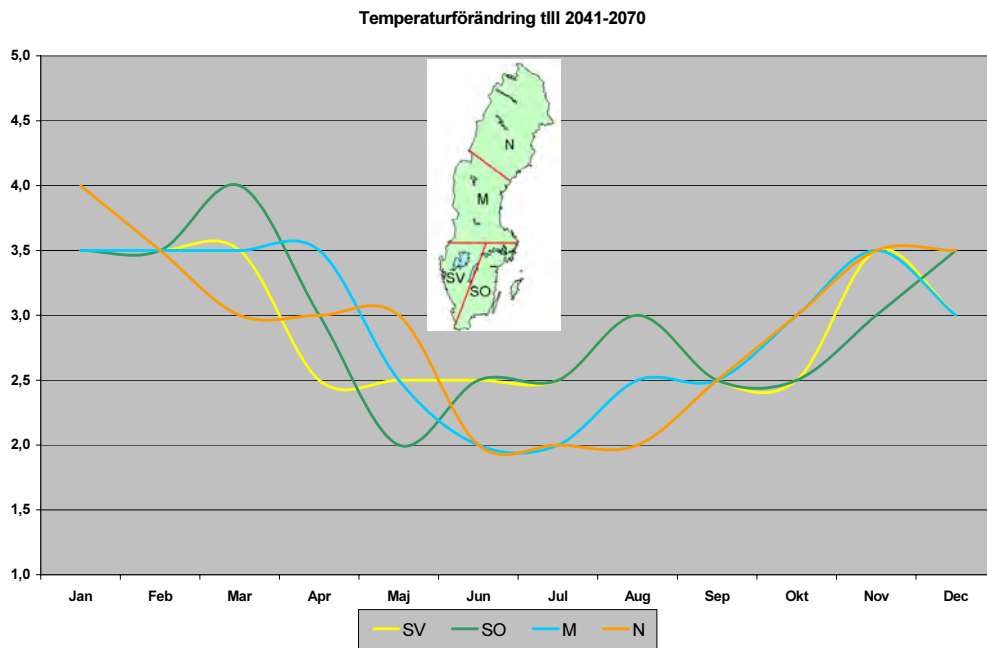
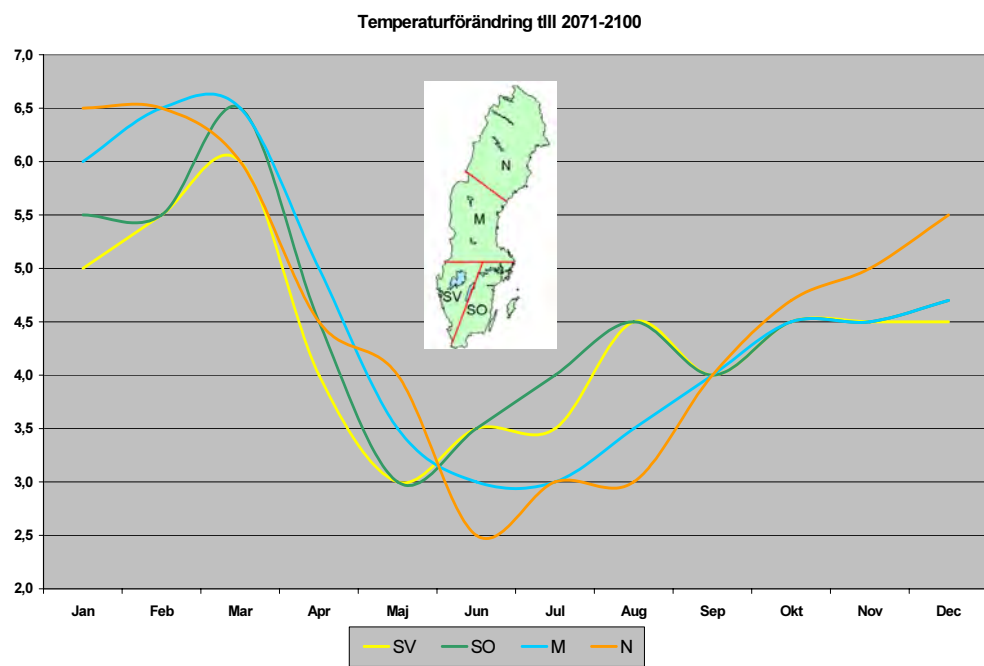


Källa: Rossby Centre, SMHI

Förändringarna i temperatur för årets alla månader beskrivs för fyra områden i landet i figur 5, 6 och 7. Noterbart kan vara att enligt SMHI:s uppföljning av temperaturutvecklingen fram till 2005 i förhållande till 1961–1990 så har mellersta och norra delen av landet en uppmätt ökning på vintern med upp emot 2°C, figur 8 (från SMHI:s faktablad nr 29).

Figur 5 **Temperaturförändringar till 2011–2040**



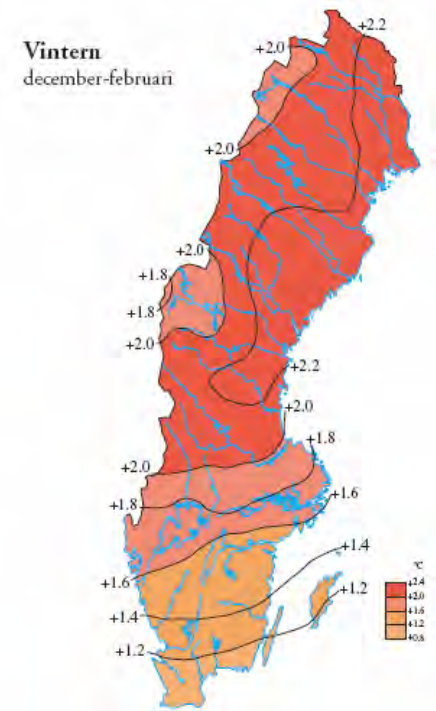
Figur 6 Temperaturförändringar till 2041–2070**Figur 7** Temperaturförändringar till 2071–2100

Figur 8

Bilden visar den observerade förändringen i medeltemperatur under vintern från perioden 1961–1990 till 1991–2005 enligt SMHI:s faktablad nr 29 från oktober 2006.

OBS, detta är alltså statistiskt medelvärde för 15 år och det jämförs med 30-årsperioden 1961–1990 vilket innebär att när medelvärdet av observationerna görs för hela innevarande period (1991–2020) kan resultatet vara annorlunda.

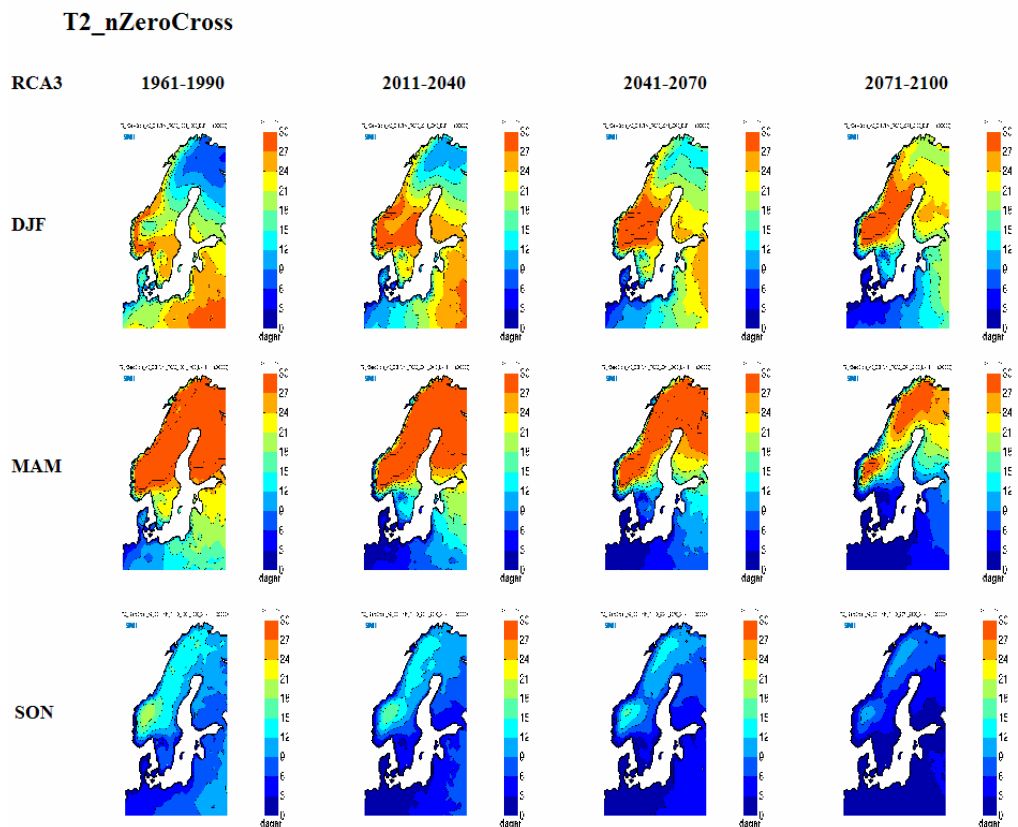
Detta visar att vi redan nu *kan* ha erhållit den beräknade uppvärmningen för 2011–2040 i Norrland.



Nollgenomgångar

Detta är ett mått på hur ofta vi får dagar med både frysning och upptining, beräkningar ger antal dygn per säsong då temperaturen är både över och under 0°C (alltså $T_{\text{max}} > 0^{\circ}\text{C}$ och $T_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C}$), figur 9. Indexet har betydelse för flera analyser av hur vägnätet och broar kommer att påverkas och även vinterväghållningen i form av snö och halkbekämpning.

Figur 9 Nollgenomgångar för vinter-, vår- och höstsäsongen



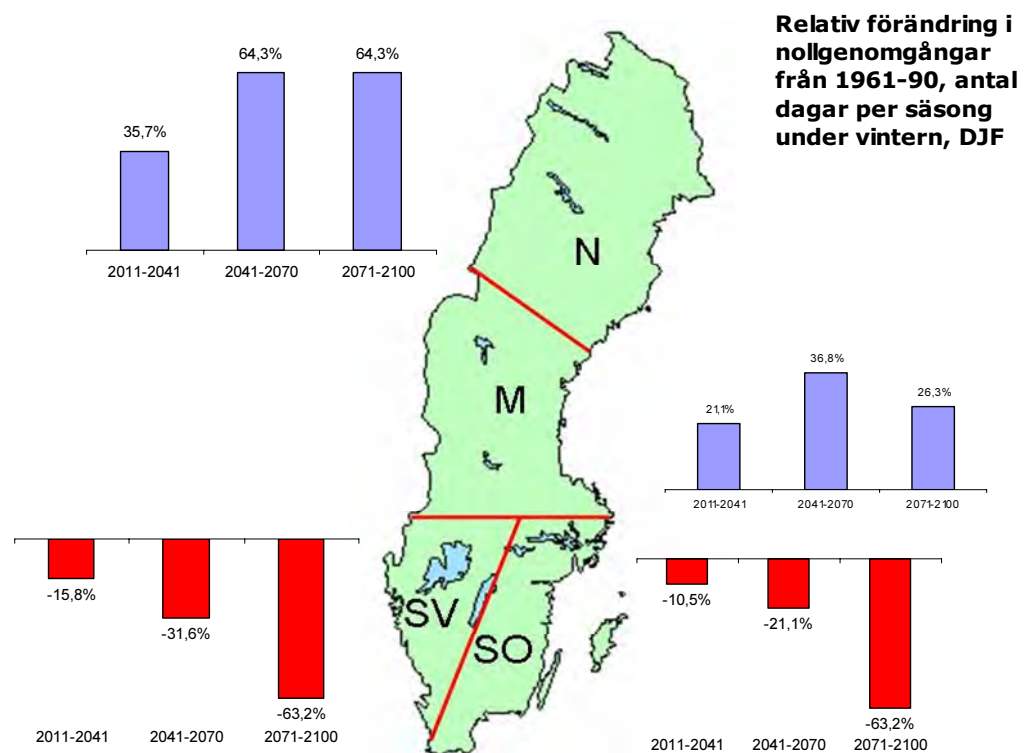
Källa: Rossby Centre, SMHI.

Förändringarna i antal dagar med nollgenomgångar har också tolkats från kartorna i relation till indelningen av landet i fyra områden, förändringen i antal dagar per säsong och relativa andelen i % till perioden 2071–2100 blir enligt tabell 1 och figur 10–12.

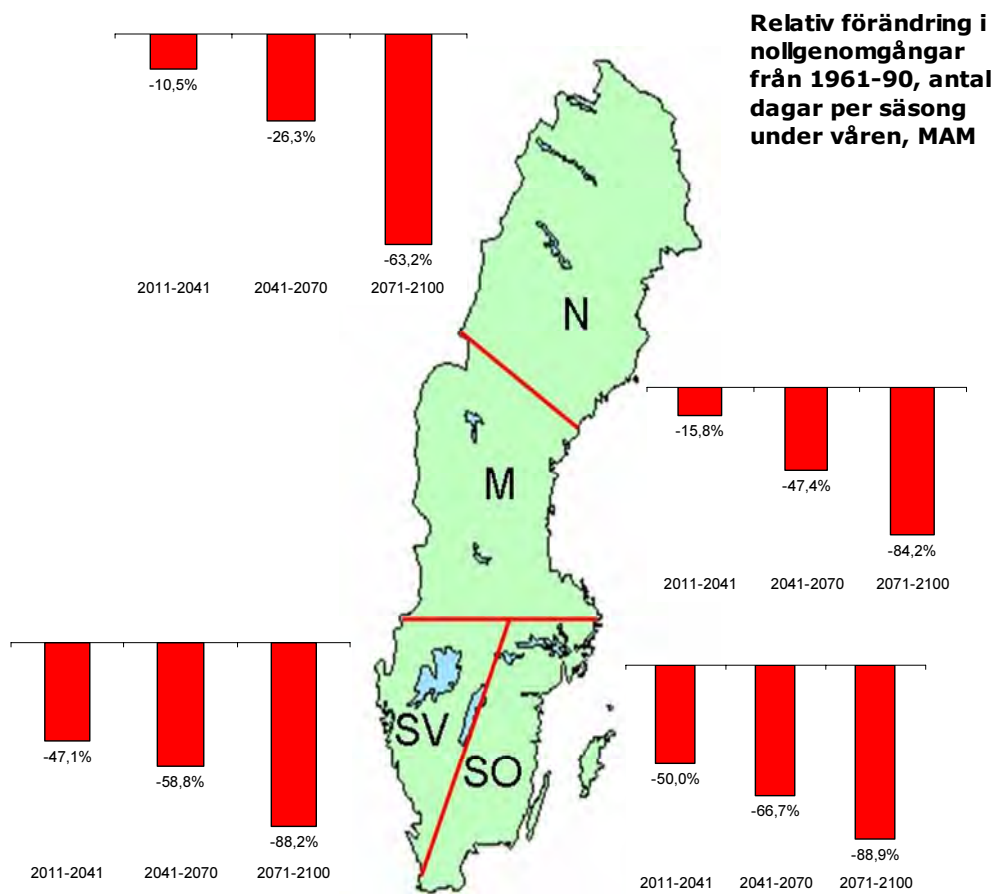
Tabell 1 Förändring i antal dygn/säsong med nollgenomgångar

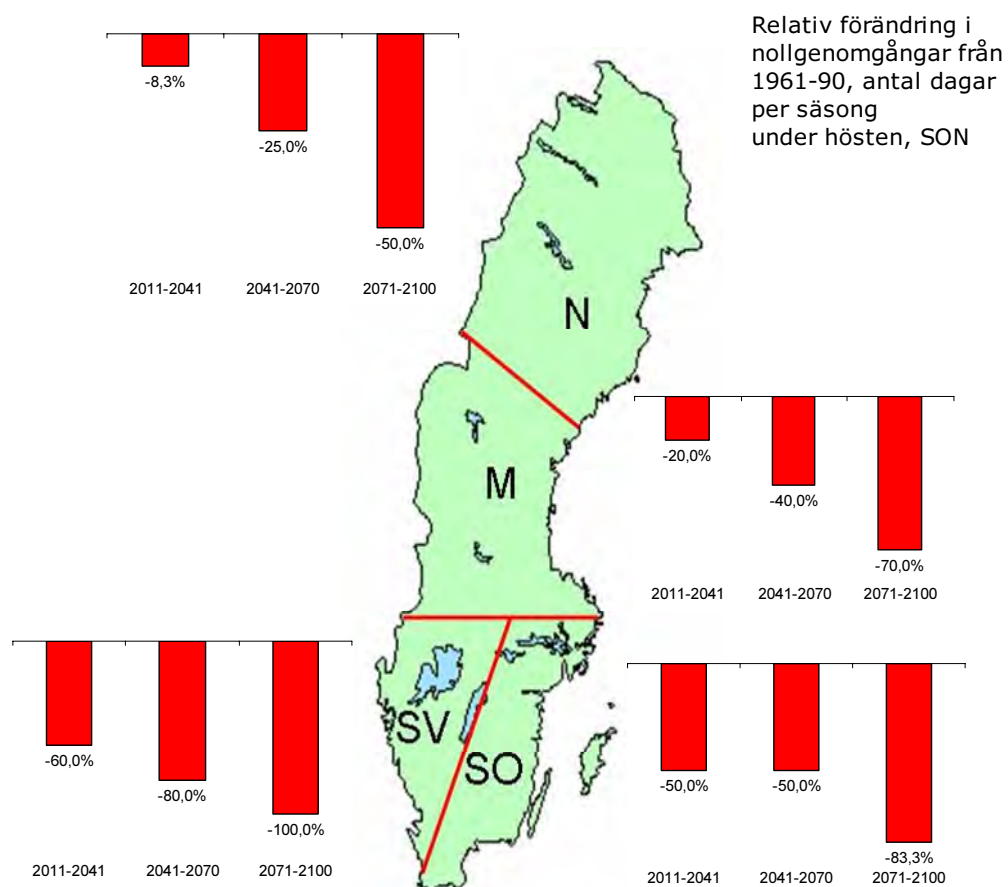
		CTRL	Område				2071-2100	Diff till CTRLperiod		
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	
T2_nZeroCross, antal dygn/säsong	DJF	19	19	19	14	-12	-12	5	9	
	MAM	17	18	19	19	-15	-16	-16	-12	
	JJA	0	0	0	0	0	0	0	0	
	SON	5	6	10	12	-5	-5	-7	-6	
		CTRL	Område				2071-2100	Diff till CTRLperiod		
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	
T2_nZeroCross, antal dygn/säsong	DJF	19	19	19	14	-63,2%	-63,2%	26,3%	64,3%	
	MAM	17	18	19	19	-88,2%	-88,9%	-84,2%	-63,2%	
	JJA	0	0	0	0					
	SON	5	6	10	12	-100,0%	-83,3%	-70,0%	-50,0%	

Figur 10 Relativ förändringar i nollgenomgångar för vintern



Figur 11 **Relativ förändringar i nollgenomgångar för våren**



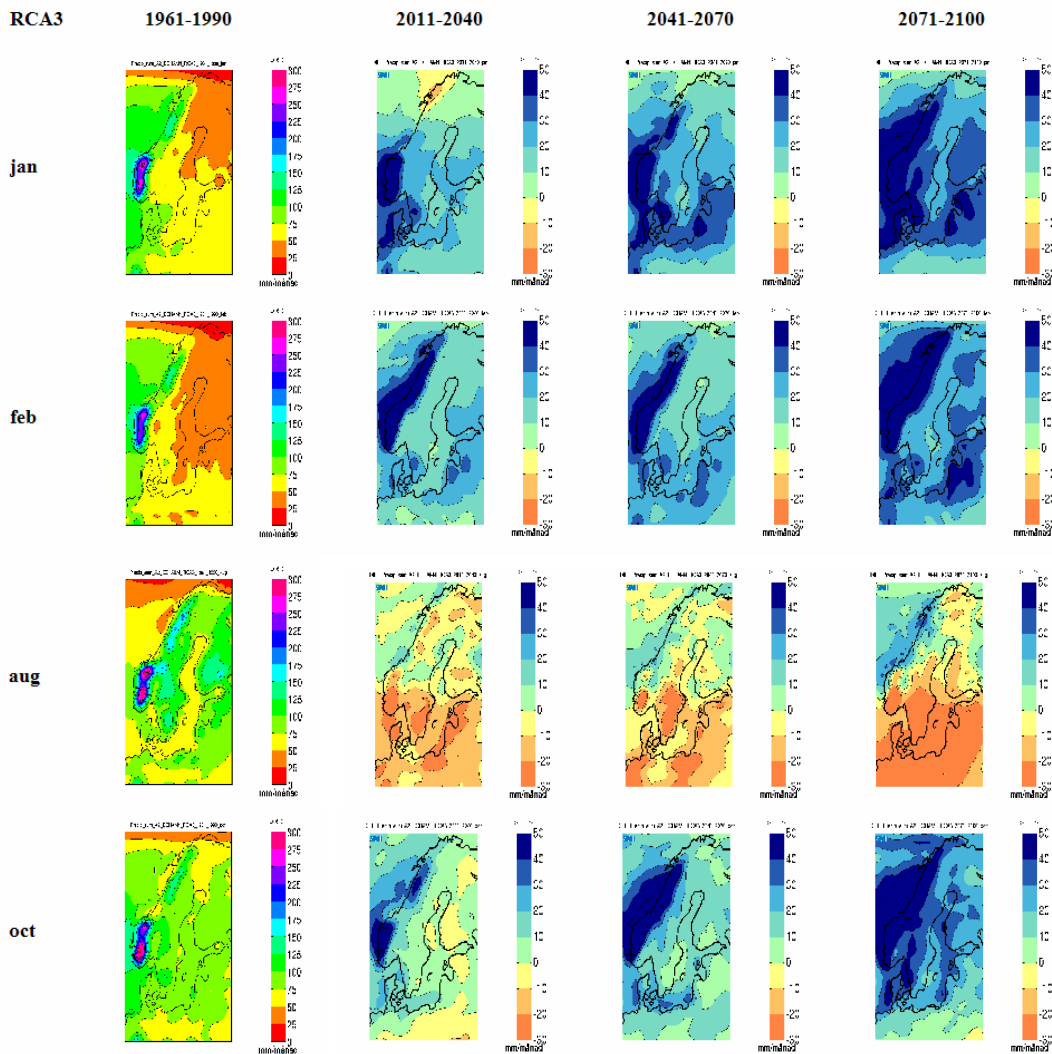
Figur 12 Relativ förändringar i nollgenomgångar för hösten

Nederbörd

Nederbörden förväntas öka under hösten och vinterperioden mest i väster och norr. I figur 13 visas några kartor över nederbördens förväntade förändring. Tabell 2 och figur 14 är tolkning av kartorna och visar förväntade differenser i landets olika delar till perioden 2071-2100.

Figur 13 **Nederbördens förändring för några månader under vinter, sommar och höst**

DIFF_Precip_sum

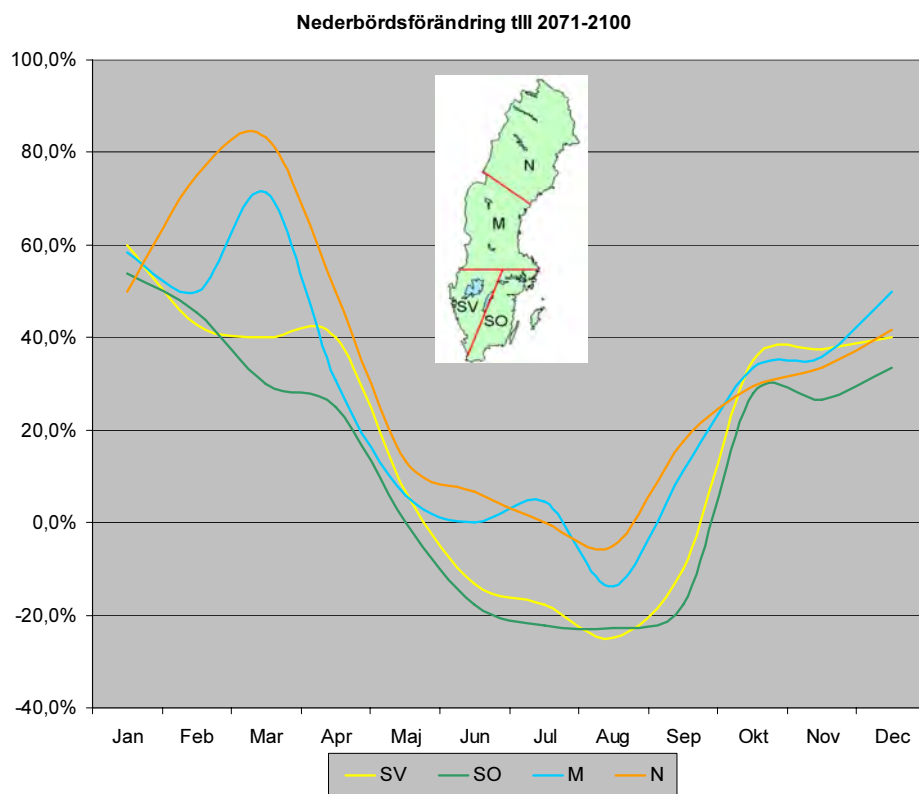


Källa: Rossby Centre, SMHI.

Tabell 2 Differenser i nederbörd till perioden 2071–2100

		CTRL	Område				2071-2100	Diff till CTRLperiod		
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	
Precip_sum, mm/mån	Jan	75	65	60	50	45	35	35	25	
	Feb	70	55	60	40	30	25	30	30	
	Mar	50	50	35	30	20	15	25	25	
	Apr	50	60	65	50	20	15	20	25	
	Maj	75	75	85	75	5	0	5	10	
	Jun	75	85	80	75	-10	-15	0	5	
	Jul	85	90	110	100	-15	-20	5	0	
	Aug	100	110	110	100	-25	-25	-15	-5	
	Sep	100	85	90	85	-10	-15	10	15	
	Okt	100	90	90	85	35	25	30	25	
	Nov	80	75	70	60	30	20	25	20	
	Dec	75	60	60	60	30	20	30	25	
		CTRL	Område				2071-2100	Diff till CTRLperiod		
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	
Precip_sum, mm/mån	Jan	75	65	60	50	60,0%	53,8%	58,3%	50,0%	
	Feb	70	55	60	40	42,9%	45,5%	50,0%	75,0%	
	Mar	50	50	35	30	40,0%	30,0%	71,4%	83,3%	
	Apr	50	60	65	50	40,0%	25,0%	30,8%	50,0%	
	Maj	75	75	85	75	6,7%	0,0%	5,9%	13,3%	
	Jun	75	85	80	75	-13,3%	-17,6%	0,0%	6,7%	
	Jul	85	90	110	100	-17,6%	-22,2%	4,5%	0,0%	
	Aug	100	110	110	100	-25,0%	-22,7%	-13,6%	-5,0%	
	Sep	100	85	90	85	-10,0%	-17,6%	11,1%	17,6%	
	Okt	100	90	90	85	35,0%	27,8%	33,3%	29,4%	
	Nov	80	75	70	60	37,5%	26,7%	35,7%	33,3%	
	Dec	75	60	60	60	40,0%	33,3%	50,0%	41,7%	

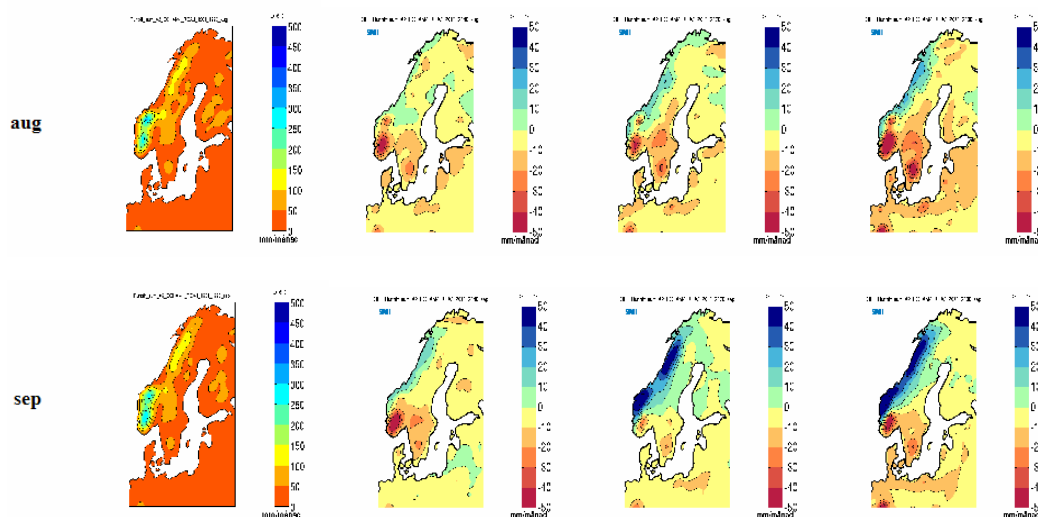
Figur 14 Nederbördens förändring per månad till 2071–2100 i olika delar av landet



Avrinning

Den ökade nederbörden ger mera avrinning speciellt på vintern då avdunstningen är låg, avrinning definieras som nederbörd minus avdunstning. SMHI har kartor på avrinningen för månaderna april till september, pga. att den perioden på året blir varmare och får mindre nederbörd så blir avrinningen lägre under denna period, se figur 15 som visa april och september.

Figur 15 Avrinningens förväntade förändring för april och september i mm/mån



Källa: Rossby Centre, SMHI.

Tittar man på hela året så ger den ökade nederbörden under vintern, figur 13, tillsammans med en lägre avdunstning mera avrinning under denna period. Detta har varit viktigt för Vägverkets analyser av riskerna för skred och ras. Avrinningen på vintern finns ej beräknad per månad utan man använder ett index SMHI har tagit fram för Elforsk och SGU som heter PminusE_sum och beskriver effektiv nederbörd = nederbörd (P) minus avdunstning (E), summerad i mm per säsong. Man ser en tydlig ökning i detta index på vintern men hur stor del av detta som verkligen är vatten som rinner av på marken beror på snömängden. Det finns anledning att betrakta detta index tillsammans med regn och snöindex som också

tagits fram . I tabell 3, 4 och 5 visas regn, snö och "P-E" tolkade från SMHI:s kartor. Perioden 2041–2070 saknas i beräkningarna. Snön minskar hela året, regnet ökar under vinter, vår och höst och "P-E" ökar vinter och höst.

Tabellerna är också redovisade i diagram, figur 16, 17 och 18.

Tabell 3 Förändring i regn

Indexnamn	Intervall	CTRL				Värde CTRLperiod				2011-2041				Förändring till CTRLperiod				2071-2100				Förändring till CTRLperiod			
		SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
Rainfall_sum	DJF	150	130	50	30	80,0	60,0	40,0	25,0	130,0	110,0	70,0	20,0	130,0	110,0	70,0	20,0	130,0	110,0	70,0	20,0	130,0	110,0	70,0	20,0
mm/säsong	MAM	150	130	150	120	15,0	12,0	0,0	0,0	15,0	12,0	0,0	0,0	15,0	12,0	0,0	0,0	15,0	12,0	0,0	0,0	15,0	12,0	0,0	0,0
	JJA	300	370	330	300	-40,0	-50,0	0,0	10,0	-40,0	-50,0	0,0	10,0	-40,0	-50,0	0,0	10,0	-40,0	-50,0	0,0	10,0	-40,0	-50,0	0,0	10,0
	SON	300	250	200	200	0,0	-15,0	25,0	20,0	0,0	-15,0	25,0	20,0	0,0	-15,0	25,0	20,0	0,0	-15,0	25,0	20,0	0,0	-15,0	25,0	20,0
Regn		900	880	730	650	55	7	65	65	55	7	65	65	55	7	65	65	55	7	65	65	55	7	65	65
Indexnamn	Intervall	CTRL				Värde CTRLperiod				2011-2041				Förändring till CTRLperiod				2071-2100				Förändring till CTRLperiod			
		SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
Rainfall_sum	DJF	150	130	50	30	53,3%	46,2%	80,0%	83,3%	53,3%	46,2%	80,0%	83,3%	53,3%	46,2%	80,0%	83,3%	53,3%	46,2%	80,0%	83,3%	53,3%	46,2%	80,0%	83,3%
mm/säsong	MAM	150	130	150	120	10,0%	9,2%	0,0%	0,0%	10,0%	9,2%	0,0%	0,0%	10,0%	9,2%	0,0%	0,0%	10,0%	9,2%	0,0%	0,0%	10,0%	9,2%	0,0%	0,0%
	JJA	300	370	330	300	-13,3%	-13,5%	0,0%	3,3%	-13,3%	-13,5%	0,0%	3,3%	-13,3%	-13,5%	0,0%	3,3%	-13,3%	-13,5%	0,0%	3,3%	-13,3%	-13,5%	0,0%	3,3%
	SON	300	250	200	200	0,0%	-6,0%	12,5%	10,0%	0,0%	-6,0%	12,5%	10,0%	0,0%	-6,0%	12,5%	10,0%	0,0%	-6,0%	12,5%	10,0%	0,0%	-6,0%	12,5%	10,0%
ARET		900	880	730	650	6,1%	0,8%	8,9%	10,0%	6,1%	0,8%	8,9%	10,0%	6,1%	0,8%	8,9%	10,0%	6,1%	0,8%	8,9%	10,0%	6,1%	0,8%	8,9%	10,0%

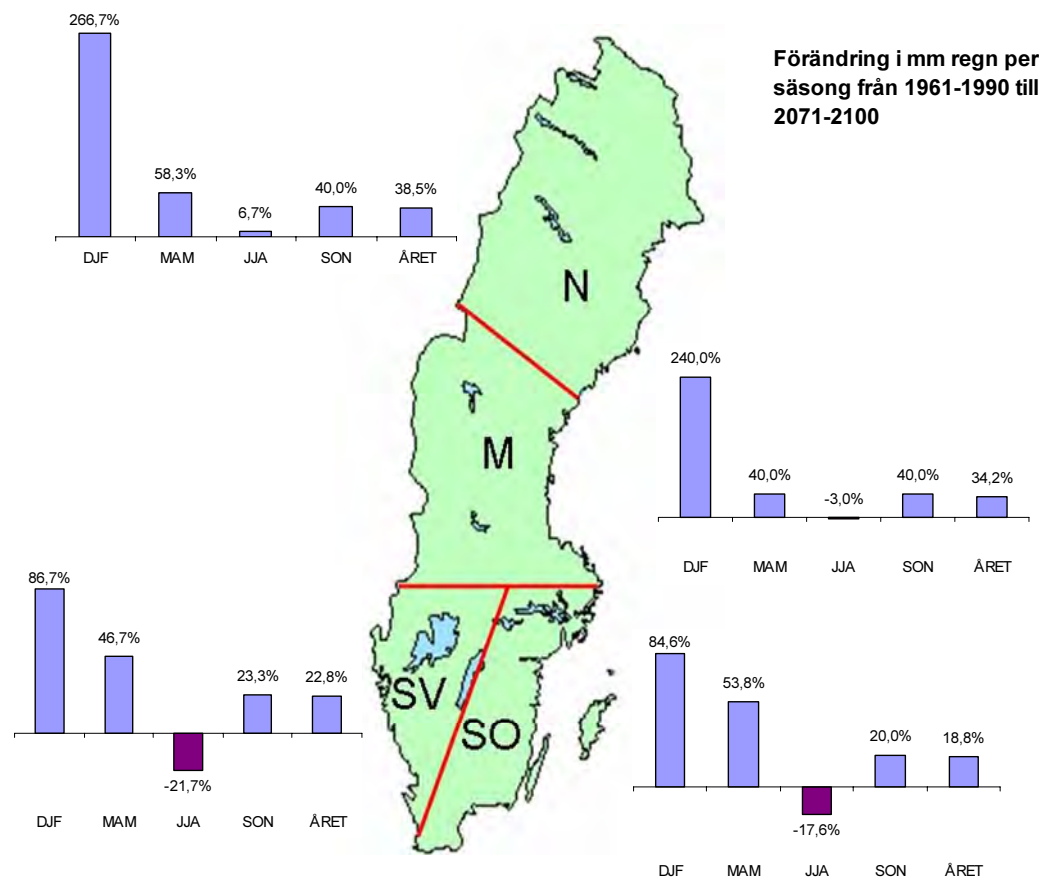
Tabell 4 Förändring i snö

Indexnamn	Intervall	CTRL				Värde CTRLperiod				2011-2041				Förändring till CTRLperiod				2071-2100				Förändring till CTRLperiod			
		SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
Snowfall_sum	DJF	30	40	100	125	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0
mm/säsong som vatten	MAM	25	25	30	40	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0	-10,0	-15,0	-5,0	5,0
	JJA	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	SON	0	0	20	30	0,0	0,0	0,0	-15,0	0,0	0,0	0,0	-15,0	0,0	0,0	0,0	-15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-15,0	0,0	-20,0
Snö		55	65	150	195	-20	-30	-27	-20	-20	-30	-27	-20	-20	-30	-27	-20	-20	-30	-27	-20	-20	-30	-27	-20
Indexnamn	Intervall	CTRL				Värde CTRLperiod				2011-2041				Förändring till CTRLperiod				2071-2100				Förändring till CTRLperiod			
		SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
Snowfall_sum	DJF	30	40	100	125	-33,3%	-37,5%	-5,0%	4,0%	-33,3%	-37,5%	-5,0%	4,0%	-33,3%	-37,5%	-5,0%	4,0%	-33,3%	-37,5%	-5,0%	4,0%	-33,3%	-37,5%	-5,0%	4,0%
mm/säsong som vatten	MAM	25	25	30	40	-40,0%	-60,0%	-50,0%	-25,0%	-40,0%	-60,0%	-50,0%	-25,0%	-40,0%	-60,0%	-50,0%	-25,0%	-40,0%	-60,0%	-50,0%	-25,0%	-40,0%	-60,0%	-50,0%	-25,0%
	JJA	0	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	SON	0	0	20	30	0,0%	0,0%	-35,0%	-50,0%	0,0%	0,0%	-35,0%	-50,0%	0,0%	0,0%	-35,0%	-50,0%	0,0%	0,0%	-35,0%	-50,0%	0,0%	0,0%	-35,0%	-50,0%
ARET		55	65	150	195	-36,4%	-46,2%	-18,0%	-10,3%	-36,4%	-46,2%	-18,0%	-10,3%	-36,4%	-46,2%	-18,0%	-10,3%	-36,4%	-46,2%	-18,0%	-10,3%	-36,4%	-46,2%	-18,0%	-10,3%

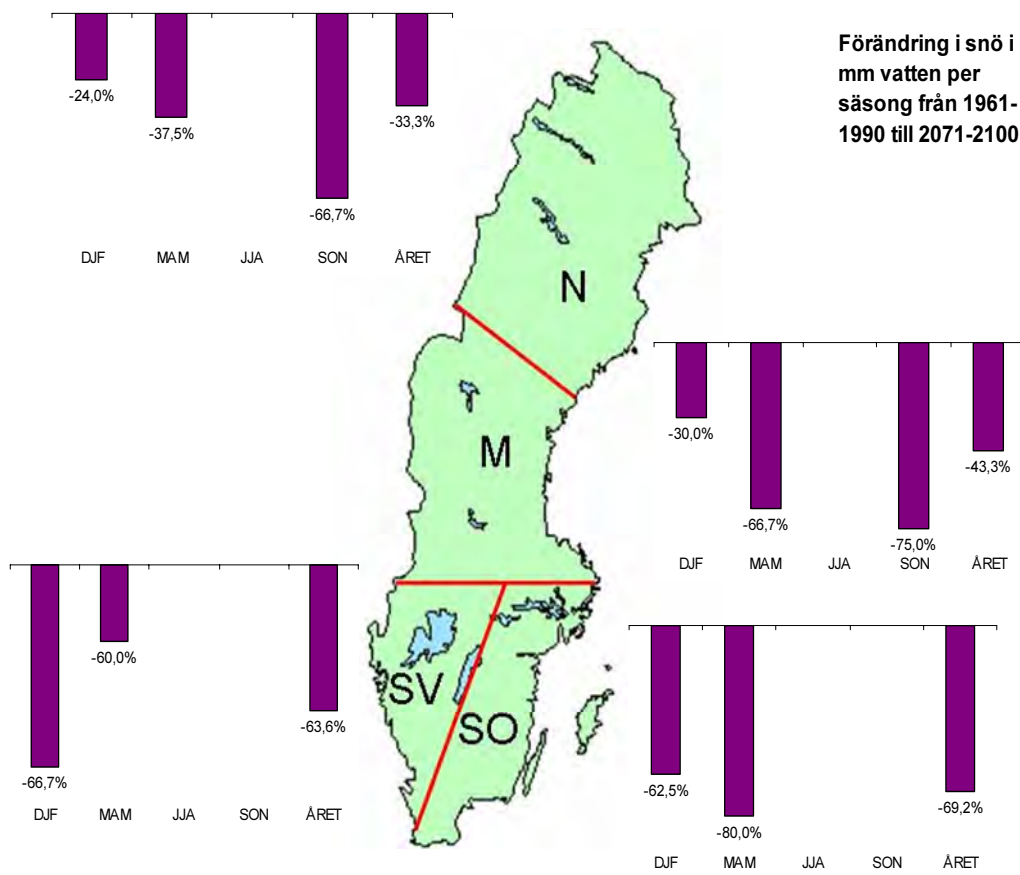
Tabell 5 Förändring i effektiv nederbörd = nederbörd minus avdunstning

		CTRL				Värde CTRLperiod				2011-2041				Förändring till CTRLperiod				2071-2100				Förändring till CTRLperiod			
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
DIFF_Pminuse mm/säsong	DJF	150	150	150	125																				
	MAM	50	50	100	80																				
	JJA	50	70	100	75																				
	SON	150	150	175	150																				
	ARET	400	420	525	430																				
P - E																									
Indexnamn	Intervall	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N	SV	SO	M	N
	DJF	150	150	150	125																				
	MAM	50	50	100	80																				
	JJA	50	70	100	75																				
	SON	150	150	175	150																				
mm/säsong	ARET	400	420	525	430																				

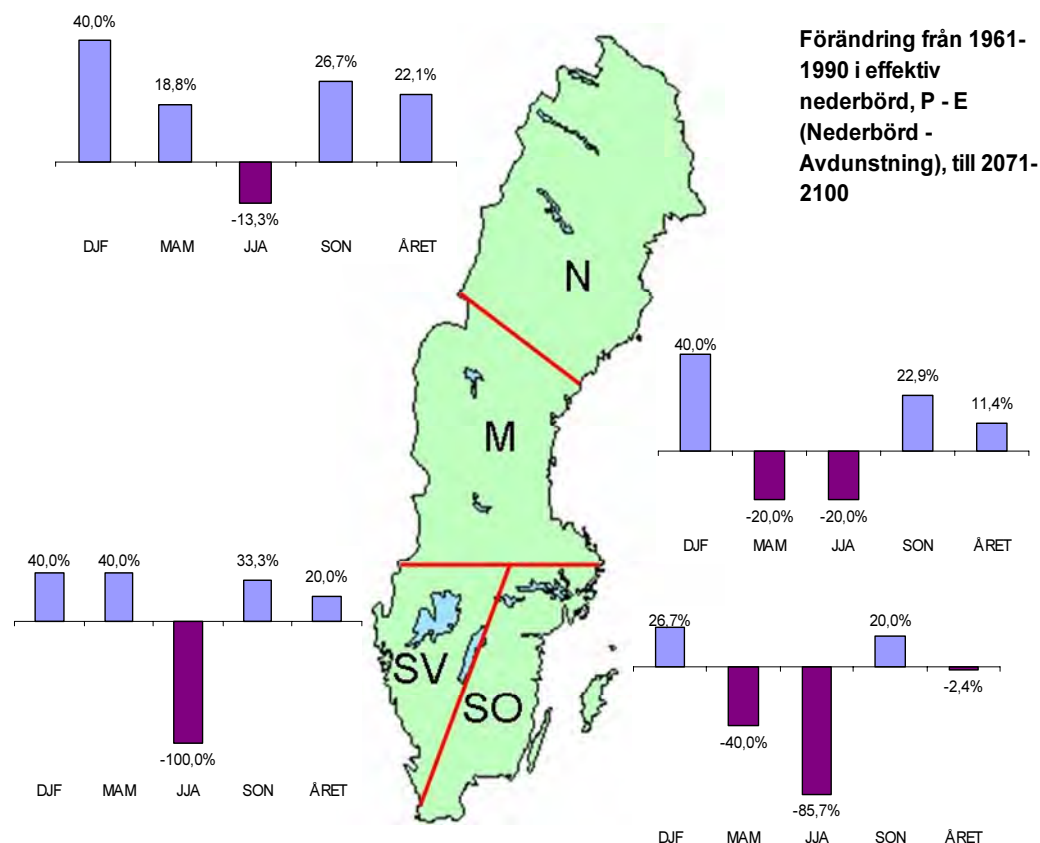
Figur 16 Relativ förändring i regn till 2071–2100, mm/säsong



Figur 17 Relativ förändring i snö till 2071–2100, mm vatten/säsong



Figur 18 Relativ förändring i effektiv nederbörd till 2071–2100, mm/säsong



Avrinning och nederbörd är också beräknad enligt den s.k. HBVmodellen som utvecklades vid SMHI i början av 70-talet, modellen har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snösmältning och snöackumulation, en för beräkning av markfuktighet och den tredje rutinen för beräkning av vattnets vägar genom grundvatten, vattendrag och sjöar.

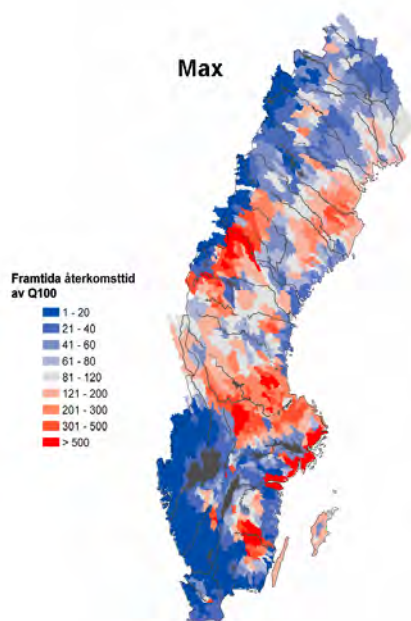
Framtida förändringar i avrinning räknas på rutor 20x20 km vilket ger bättre upplösning än förändringskartorna i tidigare figurer som är på rutor 50x50 km.

I figur 17 visas maximalt beräknad förändring i lokal tillrinningen till perioden 2071–2100, dvs. flödet lokalt från varje litet område. För de större vattendragen beräknas förändringen utifrån figur 18.

En nyligen gjord analys i Umeälven om hur reglerade älvar kan ta emot ökad nederbörd ger följande slutsats. (Från *Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat klimat – rapport till Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen.*)

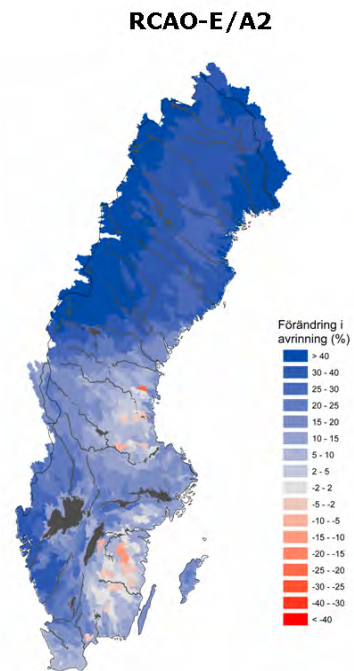
”Beräkningarna visar att den stora ökningen av de framtida nederbördsvärdena i fjälltrakterna, också påverkar flödena längre ner i Umeälven. Speciellt stor blir effekten om A2-scenariet antas gälla (ca 20 %).”

Figur 17 Återkomsttider av dagens 100-årsflöden 2071–2100, lokal tillrinning



Källa: SMHI.

Figur 18 **Förändring i medelårsavrinning, 2071–2100 i förhållande till 1961–1990**

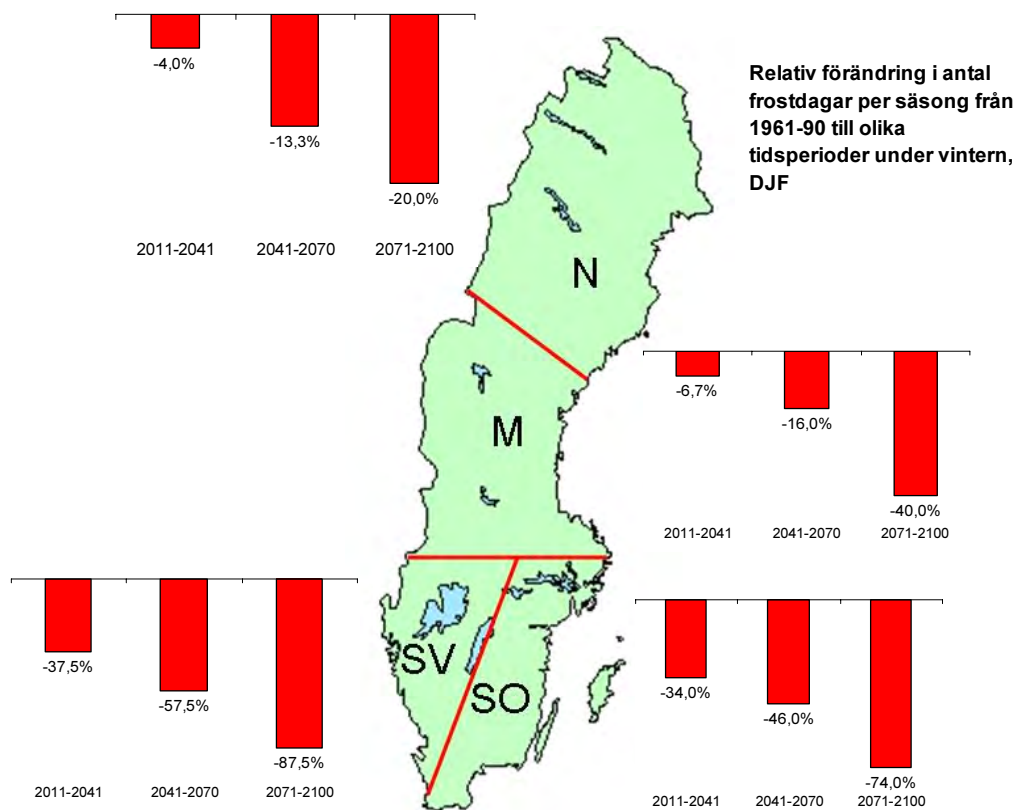


Källa: SMHI.

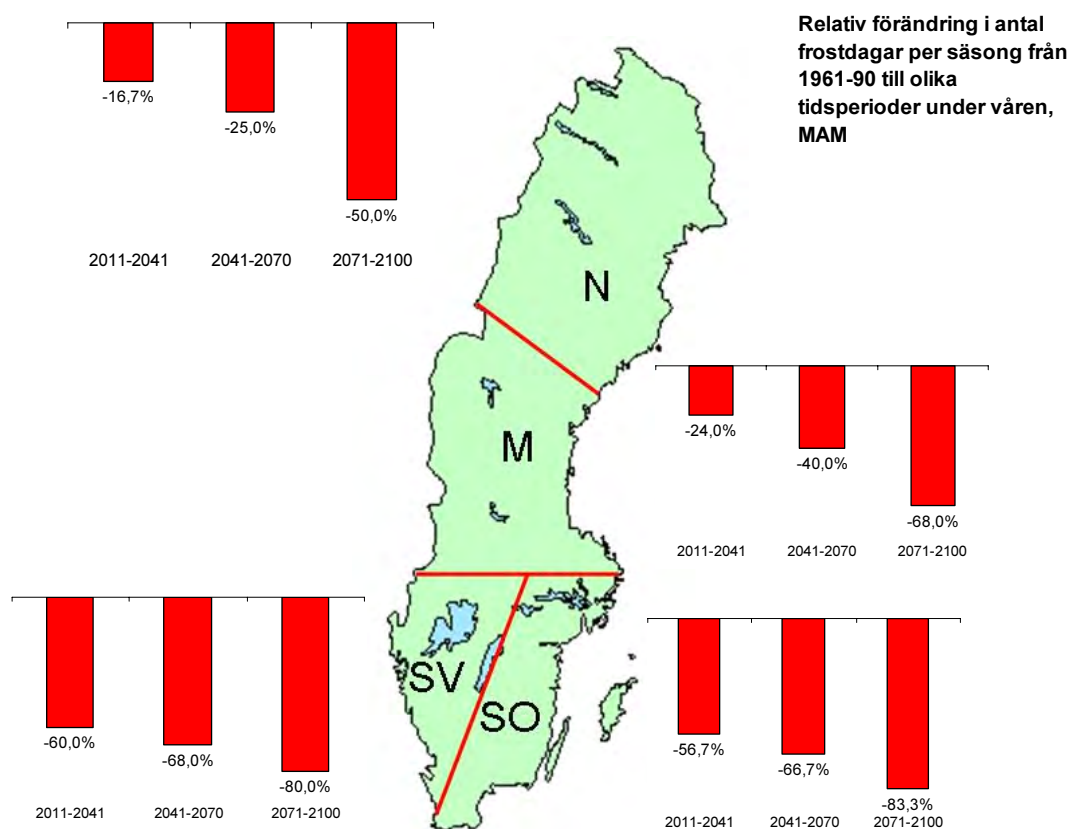
Frostdagar

Frostdagar är ett index som beskriver antal dagar då dygnets lägsta temperaturen $<0^{\circ}\text{C}$, tidsperioden är säsong. En tydlig minskning är klar för hela landet under olika säsonger, figur 19, 20 och 21

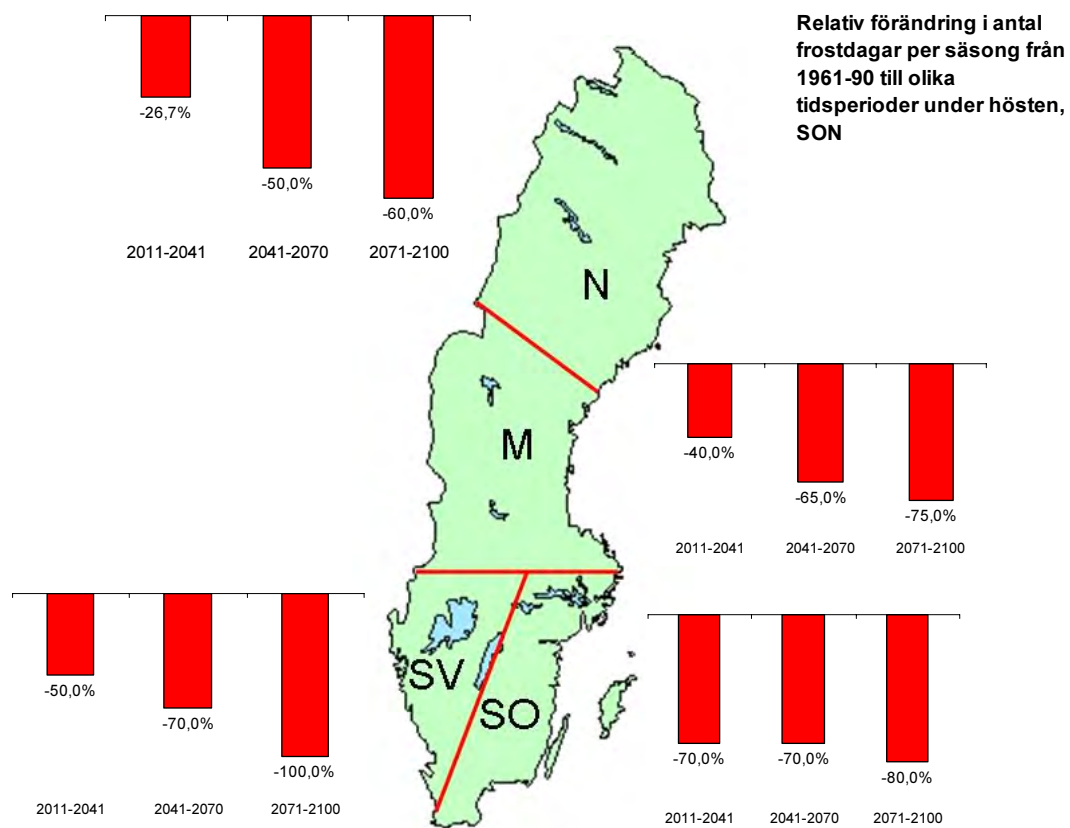
Figur 19 Frostdagar under vintern



Figur 20 Frostdagar under våren



Figur 21 Frostdagar under hösten

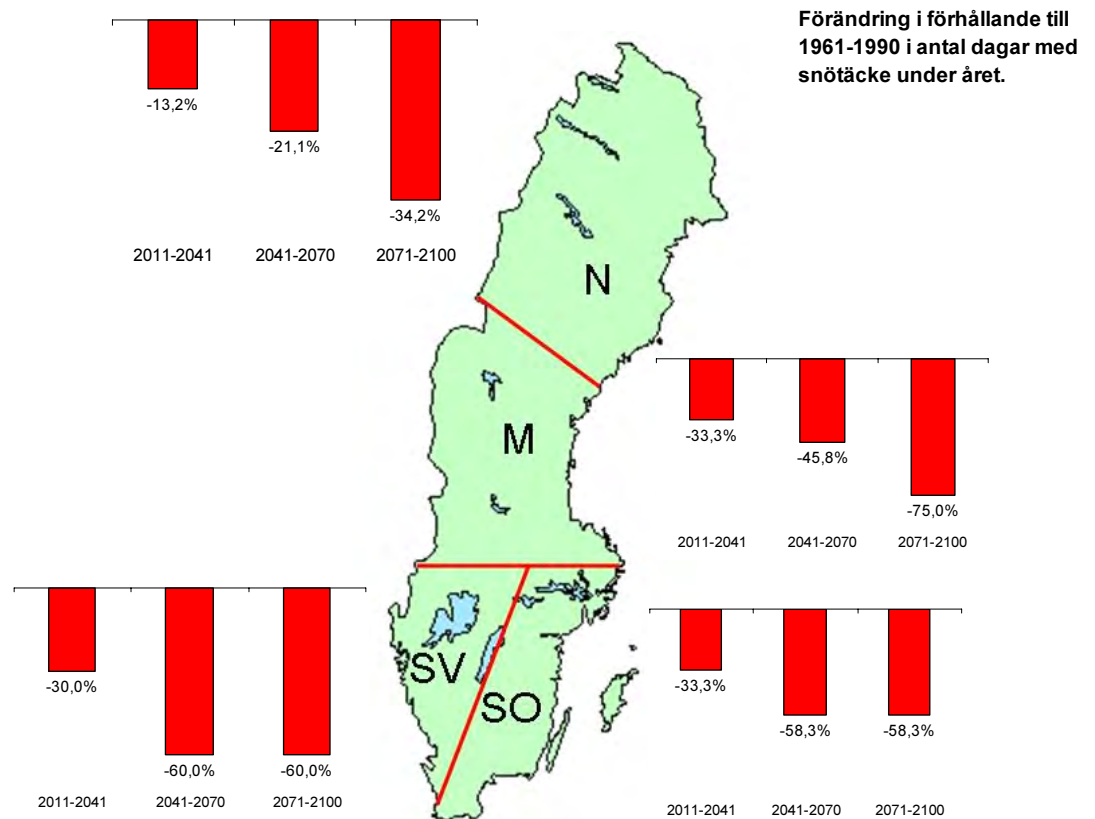


Snötäcke

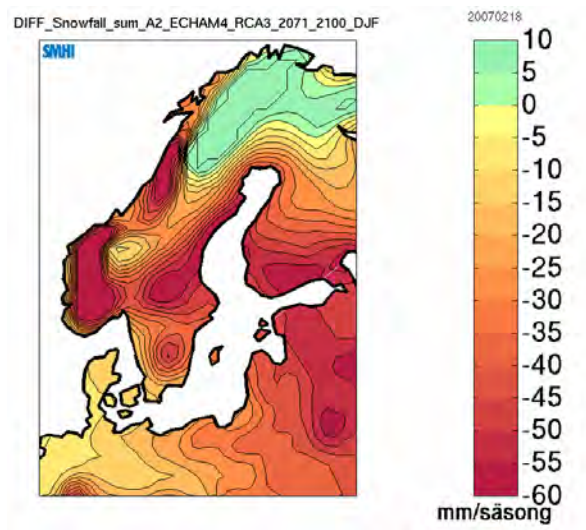
Snötäcket utbredning visas här som förändring i antal dagar med snötäcke per år i förhållande till perioden 1961–1990, figur 22.

I SMHI:s beräkningar finns också differensen i snömängd (i mm vatten) per säsong, den enda säsong som uppvisar en ökning är vintern, december–februari, i övre Norrland på 10–15 mm, figur 23.

Figur 22 Förändring i antal dagar med snötäcke i förhållande till 1961–1990



Figur 23 Förändring i snömängd i mm vatten för vintersäsongen 2071–2100 i förhållande till 1961–1990



Källa: Rossby Centre, SMHI.

Isbildning

Ett nytt index har tillkommit som behandlar isbildning, (FreezRain_GT05LEO), vilket innebär antal dagar under året då maxtemperaturen är under noll grader och nederbörden i form av regn är över 0,5 mm (underkyllt regn). Kartorna visar på i stort sett en minskning i hela landet av antalet dagar per år med underkyllt regn, detta beror troligen på att varmare klimat ger färre dagar med förutsättningar för underkyllt regn, figur 24.

Figur 24 Differens i antal dagar med underkyllt regn per år

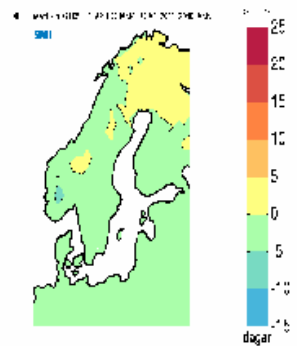
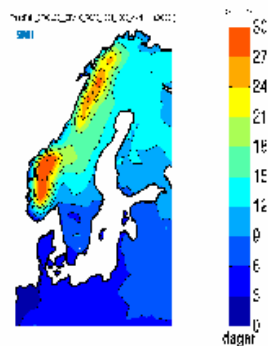
DIFF_FreezRain_GT05LEO

RCA3

1961-1990

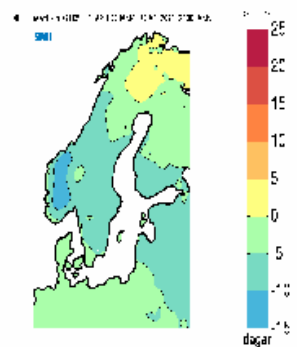
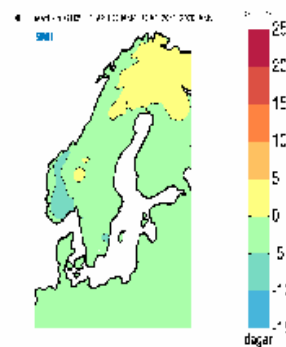
2011-2040

A2



2041-2070

2071-2100



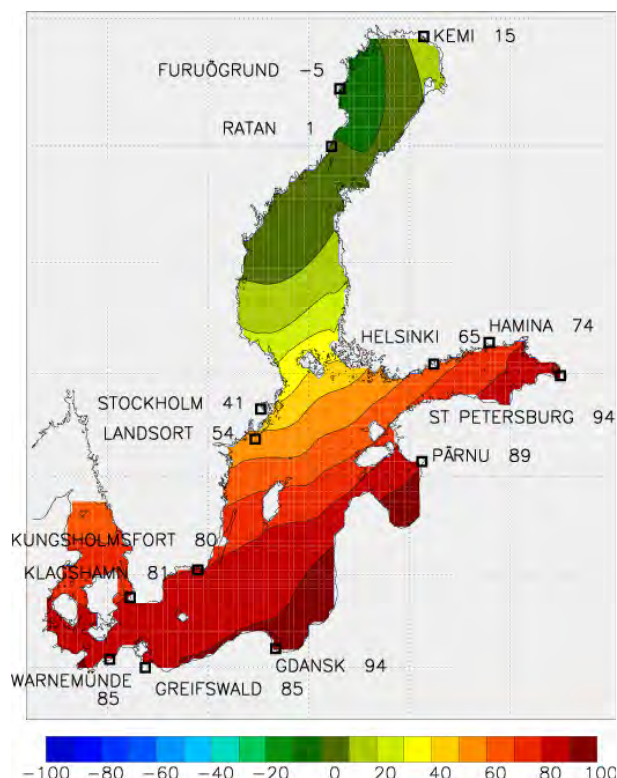
Källa: Rossby Centre, SMHI.

Havsnivåhöjningar

Varmare klimat ger en förväntad höjning av havsnivåerna, i senaste IPCC-rapporten har maximala förväntade höjningar sänkts från max ca 88 cm till ca 59 cm till 2090 i förhållande till 1990. Underlaget är består av betydligt mera forskning i frågan om glaciärernas uppträdande och värdet 59 anses betydligt säkrare än 88.

Fördelningen av höjningen i Sveriges farvatten är enligt 88cm-scenariot enligt figur 25. För Vägverkets del innebär detta främst risk för ombyggnader av färjelägen och inträngande vatten i tunnlar.

Figur 25 Förändring av havets medelvattennivå vid en global höjning av havsnivån med 88 cm



Källa: Rossby Centre, SMHI. (Meier, 2006).

Klimat- och sårbarhetsutredningen – Påverkan på järnvägssystemet

Banverket
Anders Svensson, Erica Lidman, Anki Ingelström,
Erik Sandhill, Magnus Karlsson, Johan Bergkvist

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
april 2007

Innehåll

1	Bakgrund och utformning.....	5
2	Inledning.....	6
2.1	Syfte	6
2.2	Metod.....	6
2.3	Avgränsningar	6
2.4	Målgrupp	7
3	Systembeskrivning	7
3.1	Geografisk beskrivning.....	12
3.2	Systemets redundans.....	12
3.3	Känsliga klimatfaktorer	13
3.4	Systemförändringar/Utveckling	13
3.5	Vidtagna åtgärder med relevans för klimatet inklusive pågående forskning	13
4	Ansvarsförhållanden och regelverk idag	14
5	Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser.....	15
6	Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa	18
7	Slutsatser	19

1 Bakgrund och utformning

Denna rapport har utarbetats som svar på infordrade uppgifter från Statens Offentliga Utredningar – Klimat och Sårbarhetsutredningen.

Uppdraget kan kort sammanfattas enligt följande:

En särskild utredare skall :

Kartlägga det svenska samhällets sårbarhet för globala klimatförändringar och de regionala och lokala konsekvenserna av dessa förändringar samt bedöma kostnader för skador som klimatförändringarna kan ge upphov till.

Föreslå åtgärder som minskar samhällets sårbarhet för både successiva klimatförändringar och enstaka extrema väderhändelser samt redovisa om det finns behov av ändrade uppgifter och förbättrad beredskap vid berörda myndigheter.

Av särskilt intresse är klimatförändringarnas påverkan bland annat på Infrastruktur, t.ex. vägar, järnvägar, telekommunikation, byggnadsbestånd, energiproduktion och elförsörjning, areella näringar, vattenförsörjning och avloppssystem.

I uppdraget ingick också att inhämta så bred erfarenhet och sakkunskap som möjligt och att utredaren skall samråda med berörda aktörer, bl.a. myndigheter.

Utredningen ska studera klimatförändringar med hjälp av 3 olika globala modeller baserat på två olika utsläppsscenarier, samt för tre olika tidsperioder. Tidsperioderna som ska behandlas är 2010–2040 (kort sikt), 2040–2070 (medellång sikt) samt 2070–2100 (lång sikt).

Ansvarig sekreterare för Arbetsgrupp 1 (Teknisk infrastruktur, fysisk planering) har varit Christina Frost. Arbetsgrupp 1 har sedan arbetat i undergrupper där transporter utgjort en av dessa. Deltagande myndigheter i undergruppen transporter har förutom Banverket varit Vägverket, Sjöfartsverket, Luftfartsstyrelsen, Luftfartsverket, Krisberedskapsmyndigheten, SMHI samt SGI.

Banverket har i arbetsgruppen transporter representerats av Anders Svenson, Expertstöd Beredskap och Erica Lidman, Expertstöd, Trafik och elsäkerhet. Vid enstaka tillfällen har även Anki Ingelström, Expertstöd Samhälle deltagit.

2 Inledning

Inom Banverket har arbetet med underlag till klimat- och sårbarhetsutredningen letts av Anders Svenson, Expertstöd Beredskap i Borlänge på uppdrag av Anders Backman, Expertstöd Beredskap. Erica Lidman, Expertstöd Trafik och Elsäkerhet i Borlänge har också ingått i utredningen. Anki Ingelström, Expertstöd Samhälle, Erik Sandhill Expertstöd Beredskap, Magnus Karlsson Expertstöd Teknik och Johan Bergkvist Expertstöd Samhälle har deltagit i delar av arbetet.

2.1 Syfte

Syftet med denna analys är att redovisa Järnvägssektorns sårbarhet vid framtida klimatscenarier som SMHI har tagit fram. Rapporten presenterar känsliga klimatfaktorer, konsekvenser och kostnader.

2.2 Metod

Påverkan på järnvägssystemet och konsekvensbeskrivningar har framtagits genom korsbefruktning av kompetenser vid avdelningarna Järnväg och Samhälle och Järnvägssystem. Arbeta har drivits genom att kvalificerade generella diskussioner har verifierats mot systemkunniga. Sektionen Beredskap och Säkerhetsskydd vid Administrativa avdelningen har bidragit med stabsarbetsstruktur, allmän järnvägs kunskap och insyn i det Svenska krishanteringssystemet.

2.3 Avgränsningar

Tredjepartskostnader, dvs. transportköpares förluster, och andrapartskostnader i form av ersättningar från järnvägsföretag till transportköpare/kund har inte kunnat bedömas då dessa varierar från företag till företag och skyddas av företagshemlighet.

De tekniska delsystemen rullande materiel (lok och vagnar) samt styr och reglerutrustning för trafikledning och bandrift placerad i inomhusmiljö har inte berörts i systembeskrivningen.

Vidare har framtida kostnader bedömts mot dagens penningvärde, dvs. ingen bedömning av förstärkning eller regression av den Svenska ekonomin har gjorts.

2.4 Målgrupp

Då målgruppen består främst av regeringen, riksdagsmän och tjänstemän vid departementen har de järnvägstekniska beskrivningarna hållits på en generell nivå. Om fördjupad inblick i systemen önskas hänvisas till handläggaren. Mycket information kan också återfinnas på www.banverket.se samt diverse andra hemsidor med järnvägsanknytning.

3 Systembeskrivning

Systemets uppbyggnad i systemtyper, m a p livslängd

Livslängden på flertalet av nedanstående systemtyper påverkas av utnyttjandet (trafikintensiteten) och underhållsfrekvensen samt i vissa fall av ursprungligt anläggningsår.

Som utgångspunkt/typanläggning för angiven livslängd har valts anläggningar på stambanor utanför pendeltågszonerna med största tillåten hastighet 200 km/h och största tillåten axellast 25 ton.

Spår

Spåret består utav räls, slipers, skarvförbindelser och befästningar. Räls varierar bl.a. beroende på anläggningsår i grovlek och bärighet. Storleken uttrycks i vikt per löpmeter och förekommer från 38 kg/m till 60 kg/m. Slipers förekommer både som träslipers (oftast bok) och betongslipers. Skarvförbindelser utgörs av olika modeller av mekaniska klämmor samt svetsade skarvar. Rälsbefästningar förekommer som spikar (äldsta varianten och bara i träslipers), skruvar eller specialklämmor och nu för tiden alltid i kombination med underläggsplattor.

Med fortlöpande underhåll kan spårets livslängd bli upp till 40 år.

Ballast

Ballasten är det materiel som spåret ligger i och utgörs av grus på äldre banor eller olika klasser av makadam. Ballasten underhålls genom efterfyllning och ompackning runt och under sliprarna (s.k. spårriktning) för att få ett jämnt och rätt doserat spår. På banor med mycket lövskog vid sidan eller där träflis och liknande transporteras måste makadamballast ibland renas för att humusinslaget skall försvinna och förutsättningarna för ogräs undanröjas.

Banunderbyggnad

Underbyggnaden består av underballast och bankfyllning. Underballasten och bankfyllningen består av jord- eller krossmaterial av stigande grovlek. Undergrunden kallas den del av mark till vilken last överförs från en grundkonstruktion för en byggnad, en vägkropp eller dylikt. Undergrunden kan vara förstärkt med kalkcementpelare, bankpålning, vertikaldränering m.fl. eller vara oförstärkt. Bankar kan även förstärkas med hjälp av användandet av lätta material i banken (lättklinker eller cellplast), genom anläggandet av tryckbankar etc.

Huvuddelen av texten ovan gäller nybyggda banor. Äldre banor har särskilt vad gäller underballast annan utformning, ofta oklart vad.

Växlar

Växlar konstrueras av i princip samma materiel som de spår som de ansluter till med undantag av växeltungorna. Växlar varierar i längd och vinkel med den hastighet de avses att passeras med när växeln leder till kurvspår. Specialvarianter finns av växlar främst i äldre anläggningar som Y- eller X-växlar (utläses "kryss-"). Till växeln kan även höra en värmeanläggning som har till uppgift att hindra snö från att påverka tungornas rörlighet. Denna värme är inte hög nog att smälta bort nedfallen is då den erfordrade energin skulle skada växeln.

En växel behöver bytas efter ca 20 år.

Broar och stödmurar

I det svenska järnvägsnätet finns 3 629 broar, fasta eller öppningsbara. Till brokonstruktionen räknas brospann, landfästen och mellanstöd.

Vid öppningsbara broar tillkommer lyft- och förreglingsutrustning (låsanordning). Broar konstrueras av stål eller armerad betong eller kombinationer av stål och armerad betong. Vid broar med tidigt anläggningsår kan landfästen och mellanstöd vara utförda i huggen sten.

Stödmurar är beroende på anläggningsår utförda i huggen sten, betong, stålspons eller gabioner (nätkorgar fyllda med stenkross).

Vad gäller undergrund är vad som beskrivs under banunderbyggnad ovan tillämpligt. Såväl stödmurar i huggen sten som broar kan ingå i eller utgöra byggnads- eller kulturminnesmärken.

Broar konstrueras för en livslängd om 100 år.

Tunnel

En järnvägstunnel är en för tågtrafik anordnad passage som omges av berg, jord eller vatten. Tunnlar är vanligen antingen enkelspårs- eller dubbelspårstunnlar. En tunnel där det bärande huvudsystemet säkerställs enbart av bergmassan eller genom samverkan mellan bergmassan och förstärkningskonstruktionen kallas bergtunnel. Utgörs det bärande huvudsystemet i en tunnel till största delen av betong eller stål kallas tunneln för betongtunnel resp. ståltunnel. Tunneln i Hallandsås blir till största delen inklädd med bärande betongelement, s.k. segmenterad lining, och är alltså en betongtunnel.

Avvattningsanläggning

Avvattningsanläggningen består av trummor (max 2 m spännvidd eller diameter), dräneringar, diken, brunnar etc. Uppgiften hos avvattningsanläggningen är främst att samla upp och avleda dagvatten från bankroppen och järnvägskonstruktionens omgivning. Bantrumorna utgörs till största delen av rektangulära stentrummor från tiden för banornas byggande. Nya trummor utgörs vanligen av betong- eller ståltrummor. Diken kan utgöras av exempelvis bandiken eller överdiken.

Med underhållsintervall om 4 år skall trummor hålla 100 år.

Kontaktledning

För överföring av elektrisk energi till tågen finns på 80 % av det svenska järnvägsnätet en kontaktledningsanläggning på 5,5 m normalhöjd ovan spåret. Denna varierar i utformning med hänsyn till hastighet på banan och anläggningsår. I vissa fall har anpassningar gjorts till högre vindlast. I anläggningen ingår också en återgångsledning (ansluten till rälen) och en hjälpkraftledning som levererar el till lågspänningsanläggningar längs banan, t ex vägskyddsanläggningar eller bangårdsbelysning.

Anläggningen beräknas till 25 års livslängd.

Kraftmatning

Denna rubrik inbegriper energileveranser, omformarstationer, Banverkets transformatorstationer och matarledningar.

På grund av dåtida elektrotekniska begränsningar fastställdes under det tidiga nittonhundratalet växelströmmens frekvens till 16 2/3 Hz. För att omforma den ström som levereras från energileverantörerna krävs roterande omformare (motor-generator) eller statiska omriktare (halvledarteknik). Sådana anläggningar finns på 48 platser kopplade till det regionala elnätet via transformatorer. Längs 1 900 km av banor med tung godstrafik i Svealand och Norrland finns ett utjämningssystem med kraftledning och transformatorer som balanserar tillgång och belastning mellan olika delar av järnvägsnätet. Dessa kraftledningar löper i terräng långt från järnvägen och omfattas av samma omständigheter som ledningar ingående i stom- och regionalnät.

På några håll finns dessutom matarledningar mellan eller längs banor med normal kontaktledningsspänning, 15 kV. Ovan beskrivna anläggningar styrs och kontrolleras från åtta stycken driftledningscentraler.

Signalsystem

Signalsystemen används för trafikreglering på och mellan driftsplatser (stationer) samt för att skydda plankorsningar och rörliga broar. Dessutom finns ett mindre antal skred-, lavin- och renvarningsanläggningar.

För driftplatserna finns 848 signalställverk varav 158 är hel-datoriserade. Ett stort antal driftplatser fjärrstyrs från de åtta driftledningscentralerna.

3 000 plankorsningar (av 8 100) är utrustade med vägskyddsanläggning.

Signalsystemen har hög underhållsintensitet (främst av säkerhetsskäl) samt relativt låg systemlivslängd med hänsyn till teknikutveckling. På lågtrafikerade banor får dock äldre system leva kvar så länge de uppfyller tillförlitlighetskraven.

Kablar, kabelgravar och kabeltrummor

En mängd kablage löper längs banorna i kabelgravar och trummor eller nedplogade i banunderbyggnaden. Dessa utgörs av allt mellan högspänningskablar och svagströmsledningar samt optofiberförbindelser med både egna och externa tele- och dataförbindelser.

Enbart tele- och optokabelnätet utgör 52 000 km av starkt varierande ålder och livslängd.

Förorenade områden (miljöskuld)

Banverket förvaltar ca 23 000 fastigheter åt staten. Inom och i anslutning till dessa fastigheter kan föroreningar förekomma i mark och grundvatten. Föroreningarna kan härröra från anläggningar inklusive utfyllnader, drift och underhåll av anläggningar och rullande material eller från gods som har hanterats och transporterats.

Föroreningar från järnvägsverksamhet kan uppdelas i två huvudgrupper. Den ena gruppen utgörs av föroreningar från källor som är "diffusa", dvs. de är icke-stationära eller ej klart avgränsade föroreningskällor. Exempel på sådana källor kan vara smörjoljestänk från fordon. Den andra gruppen utgörs av föroreningar från källor som är avgränsade i yta och volym, s.k. punktkällor. Exempel på

sådana föroreningskällor kan vara uppställningsplats för impregneringsutrustning, tankställen, transformatorer etc.

3.1 Geografisk beskrivning

Det svenska järnvägsnätet omfattar 11 697 kilometer spårkilometer, varav drygt 80 % är elektrifierat. Cirka 70 % av nätet är enkelspårigt. Norr om Bräcke i Jämtland är samtliga linjer enkelspåriga och norr om Hällnäs i Västerbotten finns ingen omledningsmöjlighet med tillräcklig banstandard för trafiken på övre Norrland.

Största delen av det svenska järnvägsnätet, ca 90 %, förvaltas av Banverket. Övriga förvaltare är bl.a. Inlandsbanan AB, Arlanda-banan och Öresundsbrokonsortiet. Det kapillära nätet, industrispår o dyl., ägs av privata intressen eller kommunerna.

Gränsövergångar finns över Öresundsbron mot Danmark och på fyra ställen mot Norge varav Malmbanan mot Narvik är en samt mot Finland med spårviddsväxling till finsk/rysk spårvidd. Vidare finns tre färjeförbindelser; Göteborg till Jylland, Trelleborg till Tyskland och Ystad till Polen.

3.2 Systemets redundans

Den generella redundansen i järnvägssystemet finns främst inte i delsystemen utan i järnvägsnätets möjlighet till omledningar på andra linjer, förekomst av dubbelspår och täthet mellan stationer där trafikreglering kan ske.

Om bortfall av elkraftmatning inträffar helt eller delvis erfordras dieseldragkraft för att avveckla och ersätta trafiken. Då ca 96 % av trafiken sker med eldrivna fordon beräknas denna endast till liten del kunna ersättas med diesellok.

Störningstoleransen i järnvägssystemet är redan utan extrema väderhändelser relativt låg, bland annat beroende på att cirka en tredjedel av nätet har trafikmängder som tangerar kapacitetstaket. En viktig åtgärd för att skapa robusthet är därför att tillskapa redundans och omledningsmöjligheter både i den fysiska infrastrukturen och i trafikstyrningen.

3.3 Känsliga klimatfaktorer

De klimatfaktorer eller väderhändelser som bedöms ge störst konsekvenser samt är sannolikast att inträffa är;

- Högre temperaturer
(I kombination med mer nederbörd ger detta dessutom högre luftfuktighet och därmed större korrosion)
- Flera nollgenomgångar under vinterperioden
- Vanligare förekomst av och kraftigare åska
- Större mängd nederbörd
(Surt regn ger dessutom ökade korrosionsskador samt leder till övergödning)
- Vanligare förekomst av plötsliga stora flöden
- Större snömängd (Främst i Övre Norrland)
- Kraftiga regn av tropisk karaktär
- Ökad vind

3.4 Systemförändringar/Utveckling

Den tekniska utvecklingen av järnvägssystemet och inriktningen på robusthet och säkerhetshänsyn i järnvägsplanering vilken beskrivs i Banverkets handbok 806.07 bedöms positivt påverka den allmänna motståndskraften mot påverkan genom klimatförändring.

Strävan att driva större del av trafiken med eldrift samt överflyttning av landsvägstransporter till järnväg bidrar enligt Banverkets uppfattning till att påverka klimatförändringarna i positiv riktning.

3.5 Vidtagna åtgärder med relevans för klimatet inklusive pågående forskning

Forskning bedrivs sedan länge avseende material och utformning av anläggningar. Denna forskning har främst sin grund i kraven på ökade axellaster och högre hastigheter men föranleds också av att

dimensioneringen av infrastrukturen måste förändras för att hantera t ex ökad nederbörd.

Vidare bedrivs forskning om övervakning av infrastrukturen med hjälp av sensorer som kan mäta tillståndet i bankar, spår och broar och ge en förvarning om sättningar eller skred.

Järnvägstransportsystemets redundans mot en avstängning beror på lokala och regionala förhållanden som till exempel trafikmängder, möjlighet till omledning eller möjlighet att upprätta en tillfällig förbindelse på platsen.

Om skadan består i att en järnvägsbank spolats bort kan en reparation av förbindelsen normalt utföras inom några dagar eller inom några veckor. Att byta ut en mindre bro som skadats allvarligt tar normalt 6–12 månader. Om en stor bro skadas allvarligt och måste bytas ut kan det röra sig om 2 å 3 år innan en ny bro finns på plats. För de flesta fasta broar kan tillfälliga förbindelser ordnas relativt enkelt med hjälp av reservbromateriel.

Banverket är med och finansierar projektet Include. Där ingår forskning om gränsöverskridande samverkan för att uppnå hållbarhet. Fungerande samverkan i samhällsplaneringen är förmodligen viktigare än tekniska arrangemang om man ska klara av klimatförändringarnas samhällseffekter på mer generell nivå.

4 Ansvarsförhållanden och regelverk idag

Planering av järnvägsbyggande följer en process i vilken både Banverket och samhället i övrigt medverkar. Detta regleras i 1 kap. 4 § i Lagen om byggande av järnväg (Banlagen). Planeringsprocessen syftar till att ge förfarandet vid byggande av järnvägar en god anknytning till övrig samhällsplanering och miljölagstiftning. Genom processen tillgodoses behovet av att redan i tidiga skeden förankra planeringen av järnvägar i länsstyrelsernas och kommunernas planering. Detta omfattar också en möjlighet att involvera erforderliga aspekter med hänsyn till påverkan av klimatförändringar.

I vissa fall ska tillkomsten av järnvägar tillåtlighetsprövas av regeringen. Detta regleras i miljöbalken och gäller nya järnvägar för fjärrtrafik och nya spår längre än fem kilometer för befintliga järnvägar för fjärrtrafik. Ett regeringsbeslut omfattar tillåtligheten

av järnvägen inom ett visst område. Härvid ges möjlighet till hänsynstaganden inom ramen för identifierade samhällsövergripande anpassningsåtgärder.

Som stöd i projekteringsarbetet har en handbok framtagits med namnet "Robusthets- och säkerhetshänsyn i Järnvägsplanering". Denna avhandlar till del åtgärder visavi totalförvar och skydd mot antagonistiska hot men också normativ grund för att vidta åtgärder för att minska åverkan från naturkrafter.

5 Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser

Spår

Högre temperaturer ger ökad risk för solkurvor. Högre lövinslag i skogen ger mer lövhalka vilket kan ge upphov till trafikstörningar samt slirsår och vågbildning. På den positiva sidan kan nämnas minskad risk för temperaturrelaterade rälsbrott.

Avseende risker vid stora mängder nederbörd eller plötsliga stora flöden se "Banunderbyggnad" nedan.

I Övre Norrland kan trots generellt sett mildare klimat förläggningen av medelvintertemperaturer till "snöspektrat" ge större snömängd inklusive större röjningsbehov och högre volym på avsmältning.

Ballast

Mer lövinslag i skogen vid höjda medeltemperaturer ger mer humusinblandning i ballasten vilket innebär behov av tätare ballastrening.

Avseende risker vid stora mängder nederbörd eller plötsliga stora flöden se "Banunderbyggnad" nedan.

Banunderbyggnad

Större mängd nederbörd medför risk för infiltration och erosion och därmed minskad bärighet.

Plötsliga stora flöden innebär risk för genomspolning av bankroppen samt ras och skred. Vid vissa fjällnära sträckningar skall särskilt risken för s.k. slamströmmar beaktas.

Växlar

Vid en vintermedeltemperatur närmare 0°C lossnar is lättare från nedisade fordonsunderredet. Detta inträffar särskilt vid skakningar som uppstår när fordon passerar växelgator på stationer. Därvid uppstår risk för driftstörningar om isen blockerar växeltungornas rörlighet.

Broar och stödmurar

Stora flöden medför starkt ökad risk för skador på landfästen, mellanstöd och anslutande bankar inklusive urspolning av undergrunden.

Kontaktledning

Vid ökade vindlaster erfordras kraftigare konstruktioner av kontaktledningen. Dessutom ökar risken att fallande träd skadar anläggningen.

Om förutsättningarna för nedisning ökar (främst i ÖN) kan detta (särskilt i kombination med kraftiga vindar) ge ökad risk för trafikstörningar och förstörd anläggning.

Kraftmätning

Med åskfrekvensen ökar risken för tillfälliga störningar av energileveranser.

Om nedisningen ökar finns risk för brott på kraftledningar och matarledningar enligt samma problembild som för energiföretagen.

Som positiv effekt av ökad nederbörd kan nämnas större tillgång på vattenkraftsproducerad el.

Tunnel

Tunnlar är relativt opåverkbara av klimatförändringar med undantag av lågt liggande objekt som kan riskera att översvämmas vid stora flöden eller stor mängd nederbörd.

Avvattningsanläggning

Händelsekedjan ökad medeltemperatur – större lövinslag – ökat humusmängd i avrinningen medför större krav på underhåll. Större nederbördsmängder ställer krav på dimensionering för detta.

Signalsystem

Fler och kraftigare åskväder medför större risk för utslagning av icke EMP-skyddade elektronisksystem.

Risken för skador på elektronik vid översvämningar bör beaktas vid placering av anläggningarna.

Förorenade områden (miljöskuld)

Vid höga flöden eller större mängd nederbörd kan det finnas risk för urlakning av farliga ämnen eller utvidgning av förorenat område genom skred.

Järnvägsnära mark

Dåligt skött mark kan ge dräneringsproblem. Träd på annans mark kan behöva fällas för att minska riskerna för trafikstörning eller skada på kontaktledning genom vindfälle.

6 Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa

De åtgärder som i ett första bedömande prioriteras är:

- Fortsatt implementering av ”Robusthets- och sårbarhetshänsyn i Järnvägsplaneringen”.
- Gallring av ”riskträd” intill elektrifierad bana. (Se nedan)
- Erosionsskydd vid broar, trummor och andra platser där stora flöden kan uppträda.
- Utvecklat underhåll av avvattningsanläggningar.
- Fortlöpande översyn på standarder för dimensionering av kontaktledningsanläggning.

Kostnader för utbildning av medarbetare involverade i planering av nyanläggning eller omfattande uppgradering av järnväg beräknas till 1 miljon per år tills tankesättet på dessa frågor hunnit bli permanentat.

För att minska risken för elavbrott har Banverket tagit fram ett program för trädsäkringsskador som innebär att träd utmed banan avverkas eller hålls låga. Kostnaden för programmet täcks inte av nuvarande anslag, varför Banverket begärt tilläggsanslag med totalt 50 miljoner kr per år under åren 2008–2009. När denna första insats är genomförd blir kostnaden för vidmakthållande ca 10 % dvs. 5 miljoner per år.

Banverket underhåller och utvecklar järnvägen för att möta det ökade krav som omgivningen ställer på vår produkt. De ökade kraven är främst krav på ökade hastigheter, längre tåg, tyngre tåg, ökad ”hänsyn” till miljön (buller, vibrationer, EMC mm). För att klara de ökade kraven utvecklas järnvägen med nya anläggnings typer, standarder och normer.

Banverket fick efter skredet i Ånn under 2006 i uppdrag att redovisa åtgärder för skred och ras med nuvarande klimatpåverkan. I uppdraget redovisades en rad konkreta åtgärder för att förbättra underhåll och på sikt förändra dimensioneringsgrunder

Avseende avvattningsanläggning och erosionsskydd består den ökade kostnaden består av ökade underhållskostnader samt ökade kostnader vid utbyte på grund av dimensioneringsförändringar. Ett övergripande försök till att ange en kostnad för detta är att utbytes-

kostnaden ökar med 10 mkr årligen. När det gäller underhållskostnaden är det främst besiktning och ökade åtgärds-kostnader som måste till. En grov uppskattning är att det rör sig om 15 mkr årligen.

De sammanlagda extrakostnaderna blir därför 31 miljoner om året inledningsvis.

7 Slutsatser

Behovet av systemförändringar omfattar främst den tekniska utvecklingen av järnvägssystemet med inriktning på robusthet och säkerhetshänsyn i järnvägsplaneringen. Strävan att driva större del av trafiken med eldrift samt flytta över landsvägstransporter till järnväg bidrar enligt Banverkets uppfattning till att påverka klimatförändringarna i positiv riktning.

Eftersom klimatförändringarna ökar risken för oförutsebara och plötsliga skador på banan krävs att järnvägssystemet utformas för att tåla störningar i högre grad än idag. Det går alltså inte grantera framkomlighet i ett framtida klimat med ett slimmat system. Platser där ökad kapacitet (redundans) och omlednings-möjligheter av främst godstrafik, men också långväga persontrafik, på sikt skulle behövas är Västra Svealand och Götaland samt Norrlands-kusten.

SMHI:s klimatscenarier har visat på både positiva och negativa konsekvenser för järnvägen med ett förändrat klimat. Till de positiva konsekvenserna kan nämnas att det förmodligen blir färre snöstormar, minskad risk för temperaturrelaterade rälsbrott och större tillgång på vattenkraftsproducerande el. Till de negativa konsekvenserna kan följderna bli ökad frekvens av stormar, kraftig nederbörd, nollgenomgångar samt kraftiga åskväder etc.

Banverket uppfattar sig inte vara färdigt med dessa frågor i och med att underlaget till rapporten insänds. Nu börjar det verkliga arbetet med att skapa förståelse för problemen och lägga grunden för anpassning av den tekniska anläggningen.

Underlag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (M 2005:03) om sjöfartssektorn

Sjöfartsverket

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-08-16

Innehåll

Inledning	5
Sjöfartssektorn	5
Hamn- och farledsgeografin	6
Högt vattenstånd	8
Starka vindar	9
Temperaturökning	9

Inledning

I en PM (2006-12-13) anger Klimat- och sårbarhetsutredningen några utgångspunkter för det underlag avseende sårbarhetsanalyser för resp. system/sector som utredningen efterfrågar.

Sjöfartsverket vill i bifogade PM så långt möjligt beskriva sjöfartssektorns situation enligt de förutsättningar som utredningen arbetar med.

Sjöfartssektorn

Här liksom i andra sammanhang (se bl.a. de årliga sektorrapporterna) definierar Sjöfartsverket sjöfartssektorn, eller med ett modern begrepp sjöfartsklustret, som i huvudsak bestående av tre delsystem:

- Hamnar (allmänna i huvudsak kommunägda hamnar, industriägda lastageplatser samt fritidsbåtshamnar och marinor)
- Sjöfartsverkets ansvarsområde i form av farleder, kanaler som behandlats i delbetänkandet, isbrytning, sjögeografisk information, sjötrafikinformation, lotsning, sjöräddning och sjöfartsinspektion
- Kanaler, Mälaren och Vätern har beskrivits i delbetänkandet
- Rederinäringen (svensk och utländsk) samt underleverantörer och serviceföretag)

Från utredningens synpunkt torde det främst vara sjöfartens infrastruktur som är av intresse, d.v.s. hamnar, farleder, kustradiönät, sjögeografisk information och isbrytning samt i någon mån den service till sjötrafiken som ges i form av sjötrafikinformation, lotsning och sjöräddning och de effekter som ändrade förutsättningar ger för sjöfarten och hela transportsektorn.

Det kan emellertid finnas anledning att först något beröra de allmänna konsekvenserna av störningar för sjöfarten som en del av den svenska ekonomin och folkhushållet och som en allt mer integrerad del av sammanhängande internationella och nationella transportflöden.

Sjöfarten svarar för ca 90 % av den svenska utrikeshandel som går över svenska hamnar. Inräknas malmexporten över Narvik blir

siffran ca 95 %. För importen av råolja, oljeprodukter och annan energiråvara finns knappast något alternativ. Samma förhållande gäller export av malm, stål- och skogsprodukter.

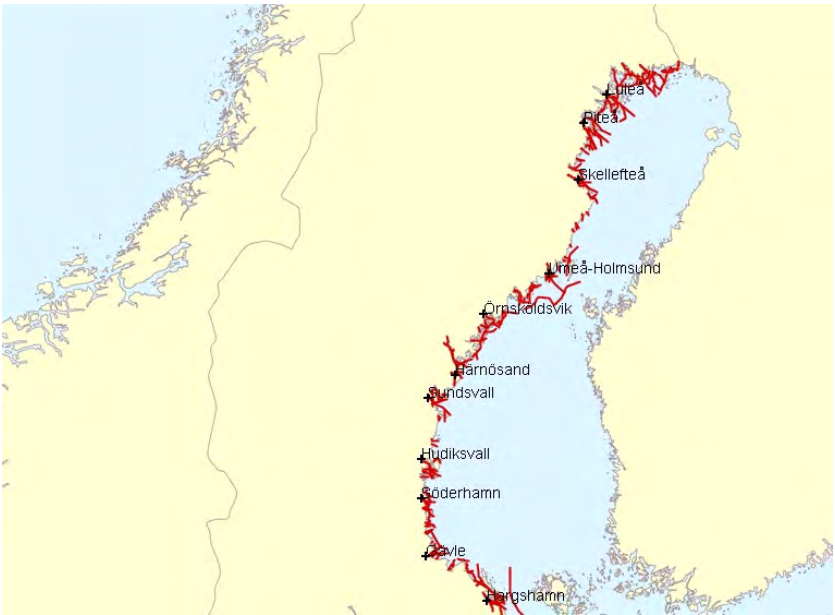
I takt med att logistik- och transportsystemen har utvecklats och allt mer integrerats i s.k. intermodala transportlösningar med bl.a. krav på säkra, regelbundna och tidsanpassade flöden, bl.a. för att undvika lageruppbyggnad, har hela transportkedjan blivit mer känslig för störningar oavsett vad de beror på. Exempel på sådana störningar är skredet i Munkedal som medförde att hamnen i Lysekil fick stängas då väg och järnvägstrafiken slogs ut. Riskanalyser för följdverkningar i andra transportslag bör ingå i infrastrukturplaneringen.

När det gäller klimat- och väderförhållanden ser vi redan idag hur transport-, energi- och kommunikationssystemen lokalt i stort sett slås ut av tillfälliga och mer eller mindre oförutsedda oväder.

Hamn- och farledsgeografin

I nedanstående kartor framgår de allmänna hamnarna och de allmänna farleder som går längs kusterna och in till såväl de allmänna hamnarna som industrihamnar och i många fall också marinor. Som framgår finns ett 50-tal allmänna hamnar väl utspridda längs Sveriges långa kust. Till dessa skall läggas ett betydande antal industriägda hamnar 40 av vilka åtminstone ett 10-tal är av stor betydelse för industrin och det svenska näringslivet. Som exempel kan nämnas hamnarna i Brofjorden, Stenungsund, Mönsterås, Slite och Husum.

Det svenska farledsnätet i form av kustleder och skärgårdsleder omfattar ca 6000 nautiska mil. Till detta kommer ca 300 nautiska mil insjöleder. Säkerhetsanordningarna i dessa farleder utgörs av ca 1100 fyrar och knappt 5000 bojar och prickar. Hamnarna ansvarar normalt för verksamheten inom ett fastställt hamnområde och ett stort antal säkerhetsanstalter ungefär i samma numerär som Sjöfartsverket förvaltar sköts av de allmänna hamnarna eller annan huvudman ex kommuner vid sidan av Sjöfartsverket.



För en bedömning av konsekvenserna av olika klimatscenarier för sjöfarten och framför allt ett säkert framförande av fartygen in mot och längs kusterna och genom skärgårdsfarlederna samt hamnverksamheten är de viktigaste faktorerna högre vattenstånd, starkare vindar och för vintersjöfarten även temperaturhöjningen.

Högt vattenstånd

Allmänt kan sägas att högt vattenstånd från sjösäkerhetssynpunkt är bättre än lågt. Det är bl.a. av det skälet som landhöjningen i norra Sverige, allt annat lika?, på viss sikt skapar problem när det gäller de för farleden tillåtna största fartygen genom att säkerhetsmarginalerna mellan fartygets lägsta punkt och farledsbotten blir allt mindre. För särskilt känsliga farledsavsnitt finns därför kontrollprogram utarbetade för att tillgodose säkerhetsmarginalerna. I några fall, t.ex. på avsnitt i farlederna i Mälaren, har tillåtet leddjupgående fått sänkas.

På motsvarande sätt kan man säga att ett högre vattenstånd ökar säkerhetsmarginalerna i farleder och hamnbassänger.

Hamnarna kan inte fungera om vattennivån når över kajkrönen. Då ligger inte bara kajer, utan också tillfartsvägar under vatten. Kajkrönen ligger på ungefär ca 2,0–2,5 m över medelvattennivån, i vissa mindre hamnar kan kajkrönet vara något lägre. Av säkerhetsskäl skulle fartyg inte ligga kvar vid förtöjningsanordningar som ligger under vattenytan.

Inga fasta utmärkning riskerar hamna under vattenytan ens vid mycket höga vattenstånd. Farlederna förblir fullt brukliga även vid mycket höga vattenstånd.

Konsekvenserna av höga vattenstånd, upp till 1,8 meter över medelvattennivån blir således ringa. Vid högre vattenstånd blir konsekvensen däremot att hamnverksamheten upphör, när vattenytan ligger högre än kajkrönet. Vid enstaka störningar torde konsekvenserna kunna bedömas i termer av utebliven produktion, vid återkommande störningar kan det däremot påverka sjöfartens trovärdighet och göra att regionen framstår som riskabel lokaliseringsplats för transportberoende verksamhet. En djupare analys av kostnader är mycket svår att genomföra p.g.a. osäkerhet om vilka industrier som kommer att drabbas vid störningar.

Starka vindar

I dag finns restriktioner för högsta tillåten vindstyrka och våghöjd för olika typer fartyg att anlöpa eller avgå från hamn och passera känsliga farledsavsnitt. Sådana restriktioner, som är beroende av farledens utformning och utsatthet för väder och vind, tillämpas vid lotsning av fartyg. Särskilda restriktioner gäller för passage-rarsjöfart i form av färjetrafik och kryssningstrafik samt för s.k. bilfartyg som genom sin stora överbyggnad är mer vindkänsliga än andra fartyg.

De restriktioner som gäller för lotsning i olika farleder är riktlinjer¹, vars tillämpning i det enskilda fallet i sista handavgörs av resp. lots.

Svenska hamnar, som idag berörs av omfattande färje- och/eller kryssningstrafik är på västkusten Göteborg, Halmstad och Varberg, på sydkusten Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad, Karlshamn och Karlskrona, på östkusten Oskarshamn, Nynäshamn, Stockholm, Kapellskär. Med ökade vindar skulle i första hand trafiken på dessa hamnar tvingas till mer eller mindre långa avbrott med en ökad oregelbundenhet i trafiken som följd. Här kommer vi att studera förändringar med max byvindar.

När det gäller den s.k. kombinationsfärjetrafiken, som svarar för ca 30 % av utrikeshandeln mätt i ton och ca 60 % i värde, leder detta till stora effekter för den svenska utrikeshandeln och fortplantar sig genom de utvecklade logistiska systemen genom hela transportkedjan från producent till konsument. Av dessa hamnar svarar enbart Göteborg, Trelleborg och Stockholm för 2/3 av godsvolymen.

Viktiga hamnar för import och export av bilar är Wallhamn, Göteborg, Malmö och Södertälje.

Temperaturökning

En temperaturhöjning, sedd isolerad, innebär för sjöfartens del knappast något annat än att vintersjöfarten på svenska hamnar och särskilt på hamnarna från Gävle och norrut underlättas. Behovet av isbrytarassistans och därmed såväl Sjöfartsverkets som hamnarnas kostnader för isbrytning minskar. Idag kan kostnaderna för Sjöfartsverkets isbrytning variera från ca 150 mkr en mild vinter,

¹ Se utfärdade riktlinjer.....

200 milj en normal vinter till ca 250 mkr en svår vinter. När det gäller vintersjöfarten kan hänvisas till den av Sjöfartsverket och SMHI gemensamt utgivna årliga publikationen² om isvintern. Till sammans med förhärskande och tilltagande västliga vindar kan man notera att isproblemen successivt tilltar för norra Finland och minskar för norra Sverige. Kostnadseffekterna av minskad isutbredning beror på när beredskapen kan sänkas vilket är svårbedömt med erhållet underlag. Kostnadsminskningen beror på när antalet isbrytare kan reduceras.

En annan positiv effekt är att sjöfart i annars helt eller delvis isbelagda områden kan pågå mer obehindrat och att de tidsfördröjningar som vintersjöfart normalt innebär genom väntetider och reducerad fart vilket minskar behovet av bl.a. lageruppbyggnad.

En mer allmän kommentar är att samhällets räddningstjänst, bl.a. den sjöräddning som Sjöfartsverket ansvarar för, kommer att bli utsatt för hårdare påfrestningar. Detsamma gäller den sjötrafikinformation som syftar till att öka sjösäkerheten och det förebyggande miljöskyddet.

Sjöfartsverket är regleringsansvarig för Byälven, detta uppdrag erhöll Sjöfartsverket när Trollhättekanalverk upphörde. Uppdraget som ligger långt från Sjöfartsverket normala verksamheter bör lämpligen överföras till lokala eller regionala huvudmän.

² Sammanfattning av isvintern och isbrytningsverksamheten 2005/2006.

Redovisning av sårbarhetsanalys inom flygsektorn

Luftfartsstyrelsen, Jenny Ryman
Luftfartsverket, Håkan Jonforsen

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-07-19

Innehåll

Bakgrund	5
Inledning	5
Systembeskrivning	6
Systemets uppbyggnad idag	6
Geografi	7
Extrema väderhändelser	9
Känsliga klimatfaktorer	9
Beroenden	10
Redundans	10
Livslängd	11
Systemförändringar/utveckling – på kort, medel och lång sikt	11
Anpassningsåtgärder, analyser	11
Ansvarsförhållanden och regelverk idag	12
Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser	12
Positiva	12
Negativa	12
Direkta	13
Indirekta	13
Typ av konsekvens	13
Klimatindex	14
Konsekvensutredningar	16
Avisning	16
Bärighetsfrågor	20
Elförsörjning LFFV-flygplatser	27
Översvämningsproblematik	28
Dagvattensystem, känslighet för läckage av förorenat dagvatten till recipienter vid ökade nederbördsmängder	32

Kostnader för skador och skadeavhjälpannde åtgärder.....	34
Successiv anpassning – löpande kostnader	34
Extra kostnader – investeringskostnader.....	37
Samhällskostnader	38
 Slutsatser	 38

Bakgrund

LFV är en central förvaltningsmyndighet som på ett företags-ekonomiskt lönsamt sätt och inom ramen för en samhälls-ekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning ska bidra till att de transportpolitiska målen uppnås.

Verkets huvuduppgifter är att ansvara för drift och utveckling av

1. statens flygplatser för civil luftfart,
2. flygtrafiktjänst i fred för civil och militär luftfart och utbildning av flygledare.

Luftfartsstyrelsen bildades den 1 januari 2005 i samband med delningen av Luftfartsverket. Luftfartsstyrelsen är en renodlad luftfartsmyndighet med ett samlat ansvar för den civila luftfarten, vilket inkluderar ett övergripande ansvar för flygtransportsystemets miljöanpassning. Myndighetens huvuduppgift är att främja en säker, kostnadseffektiv och miljösäker civil luftfart.

Inledning

Syfte

Syftet med denna analys är att redovisa flygsektorns sårbarhet vid de framtida klimatscenarioer som SMHI har tagit fram. Redovisningen presenterar känsliga klimatfaktorer, konsekvenser och kostnader. Redovisningen är ett underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningens slutrapport som ska lämnas i oktober 2007.

Metod

Luftfartsstyrelsen och LFV har tillsammans tagit fram underlaget. SMHI:s framtagna klimatscarietkartor har använts för att bedöma framtida förändringar för de känsliga klimatfaktorerna. LFV har gjort ett antal utredningar inom områden som berör flygplatsernas sårbarhet, dessa utredningar presenteras i kapitlet om konsekvensutredningar.

Systembeskrivning

Systemets uppbyggnad idag

En flygplats består minst av en rullbana och en taxibana. Därefter tillkommer plattor för uppställning av flygplan, faciliteter för passagerare och frakt samt faciliteter för service av flygplan, t.ex. terminaler, hangarer, tankanläggningar och bagageanläggningar.

På de flesta större flygplatser i Sverige finns även faciliteter för flygtrafikledning och navigationshjälpmedel. På de största flygplatserna har man även speciell trafikledning för flygplan och fordon på marken. Det krävs även ofta faciliteter för flygbolag, cargo och flygplatsadministration.

Flygplatsen har ofta områden där även icke-resande allmänhet har tillträde, såsom allmänna ytor utanför terminalbyggnad, områden för taxi, buss och tåg, parkeringsplatser samt hela tillfartsområdet.

En flygplats kräver ofta ett omfattande försörjningssystem. Hanteringen av dagvatten är viktig, så erforderlig vattenavrinning fås på de stora plana ytor som ett flygfält består av och att en flygplats ofta har krav på sig att separera/omhänderta förorenat dagvatten. Andra försörjningssystem som krävs för att ha en fungerande flygplats är t.ex. vatten- och spillvattensystem, elkraft-, data- och telesystem samt tekniska försörjningssystem för flygplan.

Flygtrafiken i luften fram till en flygplats närområde leds från speciella flygkontrollcentraler som finns lokaliserade till Malmö-Sturup flygplats resp. Arlanda flygplats. Själva start- och landningsprocedurerna på flygplatser med flygtrafikledning i torn sköts från dessa.

LFV har idag 14 helägda flygplatser. Det finns även 26 icke-statliga flygplatser i kommunal och/eller privat ägo med reguljärtrafik. Det finns också militära flygplatser som är uppbyggda på samma sätt som de civila.

Flygplatser i Sverige med reguljär passagerartrafik:

Tabell 1 Sammanställning av flygplatsägare

Flygplatsägare/operatör	Antal	Milj passagerare 2005	%
LFV, helägda	14	27,6	86,3
LFV, på militär flygplats	2	1,1	3,4
Icke-statliga flygplatser	26	3,3	10,3
Totalt	42	32,0	100

Instrumentlandningssystem finns i 3 kategorier:

Cat I Låga moln och lättare dimma

Cat II Tätare dimma

Cat III Heltjockt

Tabell 2 Sammanställning av instrumentlandningssystem på svenska flygplatser

	Cat I	Cat II	Cat III
Arlanda med 3 banor	2	1	2
Göteborg Landvetter		2	
Malmö-Sturup		2	
Övriga flygplatser	52	2	

Geografi

De flygplatser som är mest sårbara för långa stopp är Arlanda, Landvetter och Luleå. På dessa flygplatser finns stora flöden och det är svårt att överföra trafiken till andra flygplatser. För Luleå med sitt nordliga läge är det dessutom svårt att överföra till andra transportslag.

Ca 60 % av Sveriges flygplatser där civil flygtrafik bedrivs ligger i närheten av vattendrag. Av dessa är endast ett fåtal direkt berörda av översvämningrisker som påverkar flygplatsen eller några av dess anläggningar.

Främst berörda är (konsekvenser beskrivs längre fram i rapporten):

- Sundsvall-Härnösand flygplats belägen i Indalsälvens delta.
- Kalmar flygplats med Kalmar Dämme.
- Göteborg-Säve flygplats har hög grundvattennivå och berörs av lokala vattendrag.

Övriga flygplatser bedöms inte vara i riskzonen men beskrivs här för fullständighetens skull:

- Luleå har tröskel ca 300 m från havet, med en höjdskillnad på ca 6 m.
- Landvetter har ett VA-system dimensionerat enligt sen 70-tals-standard med infiltrationsbrunnar. Mindre vattendrag närmast flygplatsen.
- Umeå, tröskel 32 ligger ca 300 m från Ume älv. Höjdskillnad ca 5 m.
- Stockholm-Arlanda, tröskel 19L ligger ca 400 m, taxibana till rullbana 08–26 ligger ca 300 m och ett hangarområde ligger ca 100 m från Halmsjön.
- Stockholm-Bromma ligger ca 500 m från Bällstaviken.
- Stockholm-Västerås ligger ca 200 m från Hässlösundet. Höjdskillnad ca 1,6 m.
- Skellefteå, tröskel 10 ligger ca 250 m från Bureälven.
- Kramfors-Sollefteå ligger vid Ångermanälven på Gistgårdsön, ca 50 m från rullbana till älven. Dock viss höjdskillnad mellan bana och älv.
- Örnsköldsvik, tröskel 30 ligger ca 900 m från Eldmarksjön.
- Arvidsjaur har Arvidsjaursjön ca 600 m från rullbanände.
- Borlänge har Långsjön ca 200 m från rullbanan.
- Gällivare har ett vattendrag Kaavajoki, som går runt flygplatsen, som närmast ca 200 m från ena banänden.
- Hagfors ligger vid Rådasjön, ca 800 m från flygplatsen.
- Hemavan ligger vid Umeälven och Anasjön, till viss del en liknande deltsituation som Sundsvall-Härnösand flygplats
- Hultsfred ligger nära Silverån, ca 400 m från rullbanan.
- Idre ligger vid Storån, ca 100 m från rullbanan.
- Jönköping ligger vid Västersjön, ca 50 m från bansystemet.
- Linköping-SAAB, Stångån ligger ca 300 m från delar av flygplatsen.
- Lycksele har tröskel ca 150 m från Ume älv.

- Mora, rullbanan ligger ca 1 000 m från Siljan
- Pajala ligger ca 450 m från Torne älv.
- Ronneby, ca 100 m från bansystem till Sänksjön.
- Storuman ligger ca 100 m från Bränntjärnen.
- Torsby, tröskel 16 ligger ca 150 m från Vassjön.
- Trollhättan, tröskel 15 ligger ca 500 m från Göta älv.
- Vilhelmina, tröskel 28 ligger ca 200 m från Voymån.
- Växjö, tröskel 19 ligger ca 650 m från Helgasjön.

Extrema väderhändelser

År 2007: Januaristormen drabbade främst Landvetter, som inte stängde. De större planen kunde starta och landa, medan mindre flygplan fick vänta några timmar tills vindarna hade avtagit.

År 2005: Januaristormen gjorde att utsatta flygplatser fick minska trafiken under några timmar, men trafiken var snabbt igång igen.

År 2000: Översvämning Sundsvall – Härnösands flygplats. Flygplatsen fick stänga.

År 1995: Snöstorm i Göteborg. Flygplatsen var snabbt igång men det tog viss tid att få igång trafiken till och från flygplatsen.

Känsliga klimatfaktorer

- Häftiga snöfall – kan stänga flygplatser under några timmar och elförsörjningen kan påverkas
- Kraftig nederbörd – problem med dagvattenavrinningen och förändrad bärighet
- Höga flöden – översvämningar kan stänga flygplatsen, orsaka erosion (Sundsvall) samt ge problem med dagvattenavrinningen
- Höjd havsnivå – Kalmar har rening av urea för halkbekämpning vilken kan påverkas vid en höjd havsnivå
- Isbeläggning – avisning av flygplan och halkbekämpning av landningsbanan
- Mycket kraftig sidvind – kan stänga flygplatser eller reducera trafiken. Dock är de totala förseningarna på grund av stark vind vanligtvis mindre jämfört med förseningarna på grund av en normalvinters snöfall.

- Dimma – tät dimma stänger alla flygplatser utom Arlanda (Cat III) och reducerar kapaciteten på samtliga. Förbättrade instrumentlandningssystem underlättar
- Tjäle – bärigheten förändras vid ändrade klimatzoner
- Åska – påverkar elförsörjning och elektronik. Viss reservkraft finns, för flygtrafikledningen och för flygplatsljusen (inflygnings- och banljus)

Beroenden

Flygplatserna är beroende av el, tele, fungerande trafikledningssystem, transporter till och från flygplatsen samt att flygbränsleförsörjningen fungerar.

Elförsörjningen innebär en sårbarhet för terminalerna, många flygplatser har ingen reservkraft så om strömmen försvinner kan man inte hålla säkerhetskontroller etc. öppna och terminalen måste stängas. Dock finns det alltid elförsörjning för flygledningen och för flygplatsens inflygnings- och banljus så att man kan ta ner de plan som finns i luften. Vissa flygplatser har reservkraft för att försörja hela flygplatsen, inklusive terminaler och säkerhetskontroll.

Flygplatserna har liten infrastruktur, men passagerarna måste kunna ta sig till och från flygplatserna, vilket ger ett beroende av att övriga transportsektorn fungerar. Flygbränsleförsörjningen sker idag med tankbil på väg.

Det uppstår svårigheter för alla större flygplatser vid långa stopp. Ur samhällssynpunkt är det extra viktigt att de stora flygplatserna fungerar. För gods är det lättare att hitta alternativ, man kan flyga till en annan flygplats, det rör sig inte om lika många flygplan. Posten däremot har hela systemet uppbyggt via Arlanda, och kan därmed ha svårare att ställa om ifall flygplatsen stängs.

Den ökade mängden elektronik i framtiden kan eventuellt öka sårbarheten i samband med åska.

Prognosverksamheten på SMHI måste fungera.

Redundans

Systemet är inte helt redundant vad gäller elförsörjningen. Terminalerna har inte alltid extra elförsörjning, däremot finns redundans på flygledningssystemen och flygplatsljusen. Reserv-

landningsflygplatser finns med hänsyn till flygsäkerheten men det är inget transportalternativ för de stora flygplatserna. Det finns inte plats på mindre flygplatser att ta över exempelvis Arlandas hela flygtrafik.

Livslängd

Med normalt och kontinuerligt underhåll håller flygplatserna över utredningens tidsperspektiv. Visserligen kan underhållet bli omfattande, men ingen flygplats lokalisering kommer sannolikt att ändras ens i det långa tidsperspektivet.

Flygplanen byts ut efterhand, normal livslängd är ca 30 år.

Flygledningssystemen uppdateras kontinuerligt.

Systemförändringar/utveckling – på kort, medel och lång sikt

- Utbyggnad av instrumentlandningssystemen, dock görs detta i huvudsak för flygsäkerhetens skull och inte för klimatförändringen.
- Utbildning i att hantera dåligt väder
- Mer sofistikerade system för trafiken på marken för att snabbt få undan planen från banan efter en landning, detta är en flaskhals idag.

Till 2020 kommer inget speciellt att hända, långa processer.

Till 2050 är inget planerat ur klimatsynpunkt, normalt underhåll sker liksom en ständig anpassning till det rådande klimatet. Ständig förbättring av flygledning, flygplan etc. sker kontinuerligt.

Anpassningsåtgärder, analyser

Sårbarhet kontra investeringskostnader. Krav på inflygningshjälpmedel kan bli dyrt för många flygplatser. Ur samhällets synvinkel kan det kanske vara värt att investera för att hålla flygplatserna öppna? Sektorn drivs av företagsekonomiska aspekter – ska samhället gå in om fenomen som dimma ökar?

En intressant analys att göra vore att kvantifiera samhällsekonomiska förluster av att stänga en flygplats.

Ansvarsförhållanden och regelverk idag

Det borde finnas ett nationellt sätt att se på flygets sårbarhet ur samhällets synpunkt vad gäller el, tele etc. Det är viktigt med prioriteringsordning och korrekt redundans.

Flyget styrs av internationella regelverk, i dagsläget påverkas dessa inte av klimatförändringarna. Det klimat som i framtiden skulle kunna bli det svenska finns redan nu i andra delar av världen, där flygtrafik också existerar.

Konsekvenser av klimatförändringar och extrema väderhändelser

Fler extrema väderhändelser, såsom snöstormar, häftiga regn och åskväder påverkar flyget negativt. Det handlar ofta om lokala väderhändelser vilket kan vara svårt att se i klimatscenarier. I de framtagna klimatscenarierna finns även positiva förändringar för flygets del.

Positiva

- Färre snöstormar om det blir varmare.
- Mindre problem med isbeläggning och halkbekämpning i södra Sverige i ett varmare klimat, men problemet med temperaturer runt noll grader flyttas norrut. Dock får de stora flygplatserna minskade problem, så den totala mängden avisningsvätskor lär minska.

Negativa

- Fler stormar – kan orsaka problem med eltillförsel och kraftiga vindar
- Fler översvämningar – problem för lågt liggande flygplatser
- Fler kraftiga regn – svårigheter med dagvattenavrinning på flygplatser kan påverka användbarheten av rullbanor och öka kraven på underhåll
- Havsnivåhöjning – kan påverka reningssystemet på Kalmar flygplats

- Mer dimma – problem för flygplatser utan instrumentlandningssystem
- Ändrade klimatzoner påverkar tjälförhållandena och därmed bärigheten på flygfältsytorna
- Ökat antal åskväder påverkar elförsörjning och elektronik

Direkta

- Stängda flygplatser oftare om frekvensen av häftiga regn, snöstormar, översvämningar etc. ökar. Detta påverkar inte bara resenärer utan även posthantering, frakt mm.
- Minskad användning av avisnings- och halkbekämpningsmedel om ökning av temperaturer kring noll grader.
- Rening av urea fungerar ej om reningsanläggningen i Kalmar översvämmas.

Indirekta

- Problem med el och telekommunikation
- Trafiktillförseln till och från flygplatsen med andra transportmedel

Typ av konsekvens

- Stängning av flygplatsen till följd av snöstorm, häftiga regn, översvämning, vind eller dimma. Allvarligt om det blir stängning under en längre tid, särskilt på stora flygplatser. Påverkan på resenärer, frakt, posthantering.
- Elförsörjningen fungerar inte – reservkraft ser till att flygplan kan landa men vid långvariga avbrott fungerar inte terminalerna mm. Allvarligt om långvarigt avbrott.
- Minskad användning av avisnings- och halkbekämpningsmedel. Troligen minskar användningen i södra Sverige vid ett varmare klimat men ökar i norr. Dock får de stora flygplatserna, som Arlanda och Landvetter, mindre problem med avisning och halkbekämpning vilket gör att den totala mängden använda avisningsvätskor minskar i Sverige. Positiv konsekvens.

- Bygga om Kalmars reningsanläggning för urea till följd av högre havsvattenstånd och ökad frekvens häftiga regn. Mindre allvarligt, kan planeras.
- Förändrad bärighet av flygfältsytor till följd av ändrade klimat-zoner och tjälförhållanden. Mindre allvarligt, görs i samband med normalt underhåll.

Klimatindex

Tabell 3 Sammanställning av klimatfaktorer och konsekvenser

Klimatfaktor	Sektordel	Konsekvens	Åtgärd	Kommentar
Häftiga snöfall	Flygplats	Stänger flygplatsen		Index T2m_mean visar på en ökning av medeltemperaturen vilket torde minska risken för snöstorm och istället ge fler regnoväder.
	Elförsörjning	Elförsörjningen fungerar ej		
Kraftig nederbörd	Flygplats, dagvattensystem	Stänger flygplatsen, eller minskar trafiken	Dagvattensystemen behöver ses över redan i dagsläget	Index Precip_n6T10 visar på en viss ökning i Västsverige (ECHAM). Index Precip_n6T25 ökar med 1-2 dagar/år (ECHAM + HADLEY). Index Precip_maxRunSum7 visar en viss ökning på kort sikt, mer på lång sikt. Index Precmax_max visar på en ökning på ca 1,5 mm/h på lång sikt. Lokal företeelse, svårt att se i index.
	Flygfältsytor	Förändrad bärighet	Kontinuerligt underhåll under tiden, anpassas efter nya förutsättningar	
Höga flöden	Flygplats	Stänger flygplatsen	Dagvattensystemen behöver ses över redan i dagsläget	Flödesförändringar: Flöden ökar i norr och väst men minskar i sydöst. Flöden på flygplats lokal företeelse, svårt att se i index.
	Rening av urea	Reningsanläggningen i Kalmar fungerar ej	Reningsanläggningen får byggas om/ersättas	Flödesförändringar: Flödena minskar enligt HADLEY i denna del av Sverige, ökar något enligt ECHAM.

Klimatfaktor	Sektordel	Konsekvens	Åtgärd	Kommentar
	Landningsbanan	Erosion	Förstärkt erosions-skydd i strandlinjen	Flödesförändringar: Kan bli aktuellt på Sundsvalls flygplats om översvämningarna ökar i Indalsälven. Svårt att säga för reglerade vattendrag.
Havsnivåhöjning	Rening av urea	Reningsanläggningen fungerar ej	Reningsanläggningen får byggas om/ersättas	Havsnivåändring High case scenario: Ökning av havsnivån med ca 70 cm i Kalmarregionen vilket kan påverka reningsanläggningen i Kalmar Dämme.
Isbeläggning	Avisning	Minskad användning av avisningsmedel	Positiv konsekvens, ingen åtgärd	FreezRain_GT05LE0 Antalet dagar då avisning behövs minskar i större delen av landet, en liten ökning i Mellan-norrland fram till 2041-2070
	Halkbekämpning	Minskad användning av halkbekämpningsmedel	Positiv konsekvens, ingen åtgärd	FreezRain_GT05LE0 Antalet dagar då halkbekämpning behövs minskar i större delen av landet, en liten ökning i Mellannorrland fram till 2041-2070
Kraftig sidvind	Flygplats	Stänger flygplatsen		Index Gustmax_max visar på en liten ökning på 0,5-1,5 m/s Index Gustmax_nGT21 visar på en ökning på mellan 0-3 dagar. Kartorna med vindriktning visar inte på någon skillnad i förhållande vindriktning Index W10m_mean visar på en ökning av medelvinden på mellan 0 och 0,5 m/s
Dimma	Flygplats	Stänger flygplatsen	Utbyggnad av instrument-landningssystem sker kontinuerligt	Index Cloudbase_nLT100 ökar med 1-3 dagar på vissa håll i landet. Lokal företeelse, svårt att se i index.

Klimatfaktor	Sektordel	Konsekvens	Åtgärd	Kommentar
Tjäle	Flygfältsytor	Förändrad bärighet	Kontinuerligt underhåll under tiden, anpassas efter nya förutsättningar	Inget index har kommit. Vid förändrade klimatzoner kan tjälförhållandena på flygfältsytorna ändras.
Åska	Elförsörjning	Elförsörjningen fungerar ej		Index kommer ej. Ökad åskfrekvens ökar problematiken.

Konsekvensutredningar

Avisning

Bakgrund

Avisning av flygplan är en mycket viktig åtgärd för att upprätthålla flygsäkerheten. Avisning utförs antingen genom att avlägsna befintliga is- och snölager på flygplanet och/eller genom att förhindra bildning av is- och snö på ett ”rent” flygplan. Detta sker genom att spruta en varm blandning av monopropylenglykol och vatten på flygplanets flygkritiska ytor.

Behovet av avisning styrs i princip av temperatur och nederbörd/luftfuktighet men det går inte att säga säkert vilka vädersituationer som kräver avisning eftersom många faktorer spelar in. De flesta avisningar förekommer dock vid temperatur i intervallet $-5 - +3^{\circ}\text{C}$ med samtidig nederbörd eller hög luftfuktighet. Ökar temperaturen faller mer nederbörd som regn och risken för frysning när den träffar ett flygplan minskar. Sjunker temperaturen faller mer nederbörd som torr snö vilken kan avlägsnas genom sopning och en mindre mängd avisningsvätska eller genom att den blåser bort av fartvinden vid start. En ökad temperatur reducerar också antalet avisningar på ett flygplan parkerade över natt (mindre nattfrost).

Nuläge

Den operativa hanteringen av avisning är lika oavsett var i Sverige den utförs. Däremot finns skillnader i de vädermässiga förutsättningarna. Tittar man på flygplatserna Malmö-Sturup och Kiruna så kan man generellt konstatera följande: Avisningssäsongens längd

på Sturup är ca 6 månader, den börjar oktober/november och slutar någon gång i april. I Kiruna startar den normalt i september och avslutas under maj, dvs. den är ca 10 månader lång. Nederbörden på Sturup faller till största delen som regn medan det i Kiruna mest är snö.

På båda flygplatserna förekommer perioder när ingen avisning behövs, på Sturup beror det många gånger på att temperaturen ligger ovanför det intervall där de flesta avisningar förekommer medan det i Kiruna beror på att temperaturen ligger under samma intervall.

Resonemanget är mycket generellt men kan ändå ge en fingervisning om situationen. I södra Sverige ligger många flygplatser inom eller strax ovanför det temperaturmässiga avisningsintervallet. I norra Sverige ligger de flesta flygplatser under samma intervall.

Möjligt framtida scenario

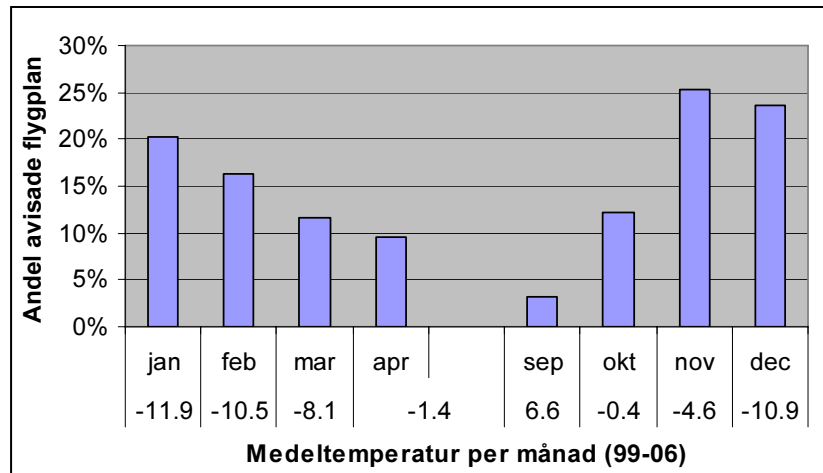
De klimatscenarier som presenteras av SMHI ger indikationer om en höjning av medeltemperaturen. Ett exempel är att sista frostnatten i Malmöregionen normalt infaller under andra halvan av mars medan den i framtiden (2001–2040) beräknas infalla under andra halvan av februari. För Kirunas del antas den ligga kvar som idag dvs. någonstans under maj–juni. En klar tendens är dock att medeltemperaturen kommer att stiga över hela landet och vintern därmed blir kortare.

De effekter detta bör få när det gäller avisning är att den totalt sett kommer att minska. I södra Sverige förekommer det redan perioder där ingen avisning utförs tack vare ”hög” temperatur vintertid. Dessa perioder bör rimligtvis förlängas om medeltemperaturen stiger. Dessutom ligger de tre största flygplatserna (Arlanda, Landvetter och Sturup) inom denna del av landet och en mycket stor del av den svenska flygtrafiken startar eller landar på dessa flygplatser. Här reduceras antalet avisningar avsevärt om scenarierna blir verklighet.

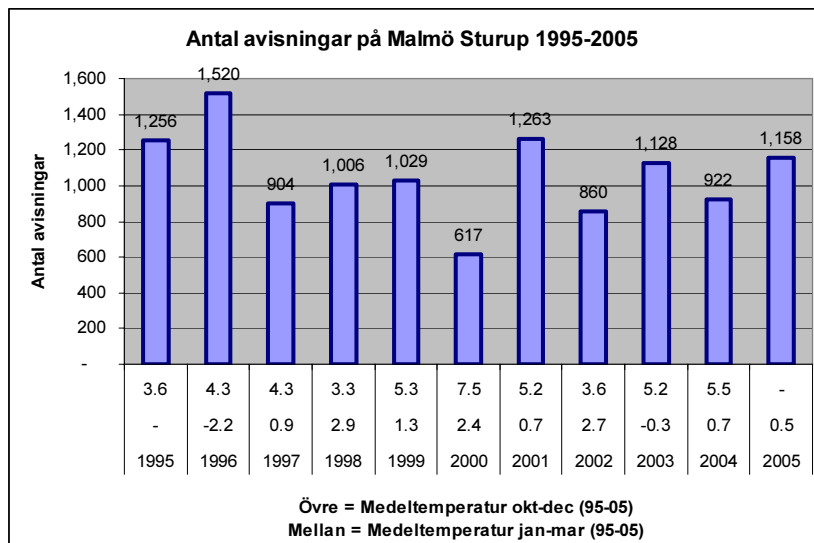
Om Kiruna flygplats studeras syns tydligt att andelen avisningar minskar då temperaturen stiger. I nedanstående graf har andelen avisningar per månad plottats och medeltemperaturen för de olika månaderna visas. Vid en jämförelse mellan februari och december som har en snarlik medeltemperatur syns en skillnad i andelen. Detta kan bero på att en avisning inte är direkt kopplad till enbart

temperaturen utan att även effekter som luftfuktighet och nederbörd spelar stor roll.

Figur 1 Andel avisade flygplan Kiruna flygplats



Om vi tittar på Malmö-Sturup flygplats ger siffrorna även här en indikering om att antalet avisningar sjunker med stigande temperatur. Grafen anger antalet avisningar per år kopplat till medeltemperaturen under januari till mars samt oktober till december. Perioden är för kort för att dra några entydiga slutsatser men tendensen är att stigande medeltemperaturer ger ett färre antal avisningar.

Figur 2 Totalt antal avisningar Malmö Sturup flygplats

Slutsatser

Om de klimatförändringar som förutspås slår in är det mycket troligt att antalet avisningar totalt sett kommer att sjunka. Den största andelen flygplansrörelser sker i södra Sverige och här kommer en kortare period av vintern ligga inom det temperaturmässiga avisningsintervallet. Följden blir färre avisningar.

På flygplatser i norra Sverige kan det i vissa fall vara så att en ökad medeltemperatur medför ett ökat behov av avisning. Om temperaturen stiger så att flygplatsen under längre tid kommer att befinna sig i avisningsintervallet kommer behovet att öka. Denna ökning kommer dock att vara mycket mindre än det minskade avisningsbehovet i södra Sverige.

I ett längre perspektiv med ytterligare höjd medeltemperaturer kommer behovet av avisning att minska ytterligare.

Bärighetsfrågor

Sammanfattning

Ett varmare klimat innebär att klimatzonerna kommer att förändras med minskat tjäldjup till följd. Anläggningskonstruktioner konstrueras för klimatperioder, vars längd förändras. Antal dygn med vinter minskar, medan de varmare perioderna ökar.

När det gäller ingående material och olika lager i en överbyggnad, så varierar elasticitetsmodulen beroende på klimatzon och klimatperiod. En beläggning av asfalt har lägre elasticitetsmodul, dvs. sämre hållfasthetsegenskaper sommartid än vintertid. Elasticitetsmodulen är även lägre i klimatzon 1 som omfattar de sydligaste delarna av Sverige än i klimatzon 5 som omfattar de nordligaste delarna av Sverige. Förenklat kan man uttrycka det som att en lägre elasticitetsmodul innebär att större tjocklek på olika lager krävs för att uppnå bärighet.

När det gäller dimensionering av en överbyggnad i svenska förhållanden blir det ofta tjäldjupet som är den styrande faktorn för hur tjock den totala överbyggnaden måste vara istället för själva lastpåverkan. Ett varmare klimat innebär ett minskat utskiftningsdjup. Färre tjälrörelser och sättningar ger upphov till färre skador på en konstruktion. Med minskat tjäldjup kommer den totala överbyggnadstjockleken för en anläggningskonstruktion att minska, och de övre lagens tjocklek kan komma att bli mer dimensionerande.

Mer nederbörd, högre grundvattennivåer och större vattenflöde kan inverka på bärigheten på flygfältskytor. Dränering av en hårdgjord yta är en avgörande parameter för ytans bärighet.

Med mycket vatten i en överbyggnadskonstruktion som inte kan dräneras bort fås en mjuk och svag konstruktion. Likaså får en vattenmättad undergrund dålig bärighet.

För att se hur klimatförändringarna kan påverka dimensioneringen har LFV utfört beräkningar med olika ingående klimatförutsättningar. På lång sikt kan man se att en nedgång av elasticitetsmodulen, beroende på att det blir varmare, innebär att tjockleken på en asfaltöverbyggnad måste ökas ca 7–9 % för att uppnå erforderlig bärighet. Detta innebär i genomsnitt att det krävs ca 1–2 cm ökad asfalttjocklek på flygfältskytor.

Uppskattningsvis finns det i Sverige ca 7 880 000 m² flygfältskytor såsom rullbanor, taxibanor och uppställningsplattor för civil flyg-

trafik. Då är mindre flygfält undantagna. Rent teoretiskt skulle behov av tjockare överbyggnad på de befintliga asfaltytorna innebära en merkostnad på ca 300 Mkr för perioden fram till år 2080, eller mindre än ca 5 Mkr per år. I realiteten kommer dock en stor del av dessa åtgärder att ingå i det kontinuerliga underhållet och i förbättringsåtgärder eller förändringar av andra skäl. Det finns sålunda teoretiskt sett kostnader för förändrade överbyggnader på flygfält förenade med klimatförändringar, men kostnaderna måste anses bara försumbara i ljuset av andra osäkerheter när det gäller utvecklingen inom det svenska flygplatssystemet.

Ett varmare klimat ger ett lägre PCN-tal (Pavement Classification Number) för en asfaltbeläggning.

Dimensionering av överbyggnad

Dimensionering av en överbyggnad för ett flygfält innebär val av ingående material samt att utifrån detta bestämma erforderliga tjocklekar för att uppnå erforderlig bärighet.

Indata för en överbyggnadsdimensionering är bland annat de geotekniska egenskaperna hos undergrunden, klimatzon, tjälfarlighetsklass, trafiklast och egenskaper hos de ingående materialen i överbyggnaden.

En av överbyggnadens funktioner är att skydda undergrunden mot trafiklast genom sin förmåga att utbreda trafikbelastningarna. Av denna anledning är överbyggnadsmaterialets styvhet, elasticitetsmodul (E-modul), av väsentlig betydelse för vägens bärighets-egenskaper.

Klimatzoner/-perioder

Vägverkets publikation, allmänna tekniska beskrivningar, ATB Väg har delat in Sverige i fem klimatzoner.

Klimatzon 1, som omfattar Skåne, Blekinge, Öland, Gotland och Västkusten, har den minsta köldmängden, ca 0–300 d°C, och klimatzon 5, som omfattar Lappland, Norrbotten, Härjedalen, delar av Jämtland och Ångermanland, har den största köldmängden, <1200 d°C.

En överbyggnad skall dimensioneras för aktuell klimatzon. Ändras klimatet så påverkas detta, liksom längden på de olika

klimatperioderna. Enligt ATB Väg så delas året upp i sex klimatperioder; vinter, tjällossningsvinter, tjällossning, senvår, sommar och höst. Normalt varierar terrassens bärighet med årstiden. Under vårperioden är bärigheten nedsatt på grund av tjällossning.

Ett varmare klimat innebär att klimatzonerna kommer att förändras med minskat tjäldjup till följd. Flexibla konstruktioner (asfalt/grus överbyggnad) konstrueras för klimatperioder, vars längd förändras. Antal dygn med vinter minskar, medan de varmare perioderna ökar.

När det gäller ingående material och olika lager i en överbyggnad, så varierar elasticitetsmodulen beroende på klimatzon och klimatperiod. Förenklat kan man uttrycka det som att en lägre elasticitetsmodul innebär att större tjocklek på olika lager krävs för att uppnå bärighet.

Valet av bindemedel till en asfaltbeläggning är också klimatberoende. Vid kallt klimat används beläggningar med mjukare bindemedel som inte blir så styva vid kyla som de med hårdare bindemedel. LFV brukar använda ett mjukare bitumen på flygplatsbeläggningar i norra Sverige än i södra Sverige. Bitumenbundna lager måste dimensioneras för varmare beläggningstemperaturer, dvs. ökade lufttemperaturer.

Ett bitumenbundet slitlager har lägre styvhetsmodul i klimatzon 1 än i klimatzon 5. Det bitumenbundna slitlagret har högst styvhetsmodul när det är vinter och lägst när det är sommar.

När det gäller obundna lager i en överbyggnad så har både ett grusbärlager och ett krossat förstärkningslager högst styvhetsmodul vintertid och en lägre modul övriga årstider. Lägst modul har lagren under perioden tjällossningsvinter. Ett krossat förstärkningslager beräknas ha samma styvhetsmodul under hela året.

Under vårperioden (tjällossningen) är styvheten i undergrunden lägre varför undergrundens E-modul nedsätts under vårperioden. Storleken på den nedsättningen görs med hänsyn till undergrundens material. Ett icke tjälfarligt väl dränerat material får ingen eller väldigt liten nedsättning i styvhet under tjällossningen medan ett tjälfarligt material får en nedsättning i styvhet på 25–30 %. Längden på vårperioden (tjällossningen) är beroende av fältets geografiska läge. I södra Sverige är vårperioden ca 0,5 månad lång medan i de nordligaste delarna av landet är den ca 2 månader lång.

Genom dimensioneringsberäkningar med olika förutsättningar av klimatpåverkan kan det vara möjligt att se hur olika klimat-scenarier slår.

Tjäle

När det gäller dimensionering av en överbyggnad i svenska förhållanden blir det ofta tjäldjupet som är den styrande faktorn för hur tjock den totala överbyggnaden måste vara istället för själva lastpåverkan. Däremot kan man göra optimering av de övre lagrens tjocklek genom linjär-elastiska beräkningar som tar hänsyn till aktuell flygplansflotta och trafik. Med minskat tjäldjup kommer den totala överbyggnadstjockleken för en anläggningskonstruktion att minska, och de övre lagens tjocklek kan komma att bli mer dimensionerande.

De tjällyftande egenskaperna hos en terrass är beroende av den aktuella jordartens tjälfarlighet, lagertjocklek, vattenmängd och förekomst av sten och block.

Kritiskt för tjälskador är andelen silt i finjorden. Det viktigaste för att undvika problem vid tjällossningen är att överbyggnadsmaterialet inte binder vatten, har låg kapillaritet och hög permeabilitet.

Jordarterna indelas för vägtekniskt bruk i fyra tjälfarlighetsklasser med hänsyn till deras tjällyftande egenskaper enligt ATB Väg kap A11.2. När det gällde anläggandet av bana 3, Stockholm-Arlanda flygplats, så utfördes en hög sprängstensbank helt uppbyggd av icke tjälfarliga massor och då får man inte någon nedsättning av bärigheten under tjällossning. Bergterrassen antas ha samma bärighetsegenskaper hela året. Höjden på bankfyllningen innebär också att avståndet till grundvattennivån blir så stort så att konstruktionen förutsätts opåverkad av grundvatten.

Andra flygplatser har större problem med tjäle, då tjälfarligt material inte skiftats ut innan en bana anlagts. Ett exempel på detta är Skellefteå flygplats där delar av rullbanan anlades i slutet av 1970-talet och man inte tagit bort tjälfarligt material i undergrunden innan överbyggnaden utfördes.

Olikheter hos terrassens tjäleenskaper kan förorsakas av dels varierande tjälfarlighet och tjocklek hos tjällyftande jord, dels varierande vattenmängd och variationer i materialsammansättningen i jorden. För att förhindra besvärande ojämna tjälrorelser hos en vägyta på en sträcka med varierande tjäleenskaper så kan terrassen isoleras, tjälfarligt material skiftas ut eller terrassen rensas avseende sten och block. Utskiftningsdjupet varierar beroende på klimatzon, tjälfarlighetsklass och aktuell typ av trafik.

Ett varmare klimat innebär ett minskat utskiftningsdjup. Färre tjälreoler och sättningar ger upphov till färre skador på en konstruktion.

Påverkan av mer nederbörd, högre grundvattennivåer, större vattenflöde etc.

Dränering av en hårdjord yta är en avgörande parameter för ytans bärighet. Med mycket vatten i en överbyggnadskonstruktion som inte kan dräneras bort fås en mjuk och svag konstruktion. Likaså får en vattenmättad undergrund dålig bärighet.

En igensatt dräneringsledning kan förorsaka stora tjälproblem och kraftigt försämrad livslängd på en väg. Det kan i vissa fall vara värre än utan dränering.

Om undergrunden består av finkornig jord, och vägen går i skärning finns det stor risk för att grundvattenytan mitt under vägen är något högre än vattennivån i diket. Därigenom kan överbyggnaden vara vattenmättad, vilket kan ge upphov till tjäl-skador.

Med högre grundvattennivåer etc. är det ännu viktigare att utföra ett materialskiljande lager av jord eller geotextil mellan jordlager med olika kornstorlek när man bygger t.ex. en bana, så att inte bankroppen förmändras och så att bärighets- och tjälegenskaper inte försämras påtagligt. Speciellt bör beaktas situationer då vatten kan förväntas bidra till materialtransport (t.ex. vid en fluktuerande grundvattenyta).

VTI (Väg- och trafikinstitutet) har tidigare utfört fullskaleförsök för att undersöka i vilken utsträckning bärigheten hos en asfalt-belagd väg med obundet bärlager och starkt tjälfarlig undergrund påverkas av grundvattenytans avstånd från vägytan. Belastningen har dels varit cyklisk, lågfrekvent dels dynamisk (fallviktsbelastning). Provningarna utfördes dels för en överbyggnad av bärlagergrus och dels en överbyggnad av bergkross.

För överbyggnaden av bärlagergrus visade provningar med cyklisk belastning att en höjning av grundvattenytan från -70 till -30 cm minskade bärigheten till $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{10}$ av tidigare värde. Provningar med fallvikt visade på motsvarande sätt en minskning av bärigheten med ca 30 %.

Överbyggnaden av bergkross visade sig mindre känslig vid ändring av vattennivån i och med att bärigheten minskade med en

faktor 1–4 vid cyklisk belastning. Fallviktsmätningarna gav motsvarande minskning på ca 20 %. Ännu större blev inverkan på bärigheten vid ändringen från ett tillstånd utan grundvatten till nivån -70 cm. Då minskade bärigheten till ett värde som var endast ca 3,5 % av ursprungsvärdet (fallviktsprovning). Grundvattenytans läge är således av största betydelse för en vägkonstruktions bärighet.

En markanläggning måste även skyddas mot erosion. Det kan vara erosion dels från strömmande vatten och vågerosion, som t.ex. vid Sundsvall-Härnösand flygplats. Blir det mer nederbörd etc. kan även nivån på grundvatten och ökat ytvattenflöde påverka bärigheten.

Skydd mot jordflytning och ytvattenflöde skall utformas med hänsyn till jordart, slänthöjd, slänthöjd, ytvattenflöde, grundvattennivå och klimatzon. Skydd mot grundvattenflöde i slänt utformas normalt som ett ytskydd med filterverkan vilket eventuellt kombineras med dränerande slitsar. I svåra fall dräneras slänten bakom tjälfronten och vattnet leds bort i täckdiken.

Dimensioneringsberäkningar

Som ett exempel på hur klimatförändringarna kan påverka dimensioneringen så har LFV utfört beräkningar med olika ingående klimatförutsättningar för en aktuell utbyggnad av en uppställningsplatta för fraktflygplan på Umeå flygplats. Dessa beräkningar har utförts med APSDS, Airport Pavement Structural Design System, som är ett program för dimensionering av flexibla överbyggnader. Programmet tillåter användaren att till stor del definiera data som är unikt för varje enskilt projekt. Olika flygplansmodeller, överbyggnadsmaterial och dess sammansättning i olika överbyggnadstyper samt olika undergrunds- eller asfaltkriterier kan läggas in i en databas. Vid beräkningen kan olika värden varieras och resultat jämföras.

Enligt ATB Väg så ligger Umeå flygplats idag i klimatzon 4. Dimensioneringsberäkningarna utförs för sommarperioden, då den är mest kritisk för asfalten på ett flygfält. Olika känslighetsberäkningar visar att om Umeå istället skulle ha samma klimat som klimatzon 1 idag, så påverkar det asfalttjockleken. Klimatzon 1:s lägre E-modul för en asfalt innebär att asfalttjockleken måste öka med ca 7–9 % för att uppnå samma bärighet för konstruktionen.

När det gäller beräkningar av betongkonstruktioner så har tidigare utförda beräkningar för andra objekt, t.ex. utvärdering av alternativ med betongöverbyggnad för den 3:e rullbanan, Stockholm-Arlanda flygplats, visat att en tjockare betongöverbyggnad krävs med lägre E-modul på undergrunden.

Påverkan på PCN-värde

Bärigheten för belagda ytor avsedda att användas av flygplan skall anges med ACN/PCN-metodens bärighetstal och koder (framtaget av ICAO; International Civil Aviation Organization).

I metoden är ACN (Aircraft Classification Number) ett värde som uttrycker ett luftfartygs relativa lastpåverkan på en beläggning. ACN framräknas med beaktande av bl.a. luftfartygets vikt, beläggningstyp och undergrundens bärighetsgrupp.

PCN (Pavement Classification Number) är ett värde som uttrycker en beläggnings bärighet. Förutom det numeriska värdet på PCN framgår typ av beläggning, den bärighetsgrupp som undergrunden tillhör, maximalt tillåtet ringtryck samt utvärderingsmetod.

Det är viktigt att PCN-klassificeringen av en beläggning inte relateras till dimensionering av en överbyggnad. Dimensionering av en beläggning kan inte bestämmas utifrån en PCN klassificering, eftersom PCN är en relativ uppskattning av en beläggnings bärighet i ACN-termer. PCN-värdet indikerar inget om trafikvolym, dimensionerande laster eller beläggningstjocklek vilka är huvudkomponenter vid beläggningsdimensionering.

VTI har tidigare utfört känslighetsanalyser när det gäller variation i ingående parametrar för en flexibel beläggning, avseende beläggnings E-modul, bärlagergrusets E-modul och materialkonstanten i asfaltkriteriet (Kingham's formel). En variation av det bitumenbundna lagrets E-modul med 30 % ger en motsvarande variation av det resulterande PCN-talet med ca 30 %. En variation av bärlagergrusets E-modul med 33 % ger en motsvarande variation i det resulterande PCN-talet med ca 16–18 %. Beräkningarna visar att en liten variation, 1/10 av den nominella materialkonstanten i Kinghams formel påverkar det resulterande PCN-talet väldigt mycket. En sänkning av konstanten med 1/10 resulterar i ett ca 30 % lägre PCN-tal medan en höjning av konstanten med 1/10 resulterar i en höjning av PCN-talet med ca 45–50 %.

Ett varmare klimat ger ett lägre PCN-tal för en asfaltbeläggning.

Elförsörjning LFV-flygplatser

Allmänt

Elförsörjningen på samtliga av LFV:s flygplatser sker via två inkommande matningar som är uppbyggda på sådant sätt att de är så oberoende av varandra som är möjligt med tanke på det nät som elleverantören har.

På varje flygplats finns dieselreservkraft installerad. Reservkraften är i första hand avsedd att klara flygplatsljusanläggningen inkl. radionavigationshjälpmedlen, dock har dessa aggregat en överkapacitet som kan utnyttjas till övrig elförsörjning. Bränsledepån för reservkraften är sådan att den skall klara 24h utan påfyllning.

På de tre största flygplatserna (Arlanda, Landvetter och Sturup) finns även UPS anläggningar som klarar en avbrottsfri försörjning av flygplatsljusen. Detta innebär att man även kan bedriva flygtrafik när flygplatsen ligger på reservkraftdrift.

Stockholm-Arlanda Flygplats

Dieselreservkraften tillsammans med UPS anläggning klarar endast de flygoperativa delarna. Tack vare UPS anläggningen kan flygtrafiken fortsätta även under CAT II förhållanden.

Terminaler mm. saknar reservkraft. Matande nät är dock uppbyggt med två stycken ”oberoende” 70kV matningar för vilka sannolikheten för avbrott på båda samtidigt är relativt låg. Ett totalt strömbrott innebär dock att reservkraften endast klarar att avveckla pågående trafik eftersom terminalerna kommer att bli i det närmaste totalt strömlösa.

Göteborg Landvetter Flygplats

Dieselreservkraften tillsammans med UPS anläggning klarar samtliga hjälpmedel enligt BCL-F kraven. Tack vare UPS anläggningen kan flygtrafiken fortsätta även under CAT II förhållanden. Reservkraften klarar stora delar av terminalen dock ej bagageband,

400Hz anläggning, fraktbyggnader mm. Vissa problem kan även uppstå på datorutrustningarna för bl.a. incheckning då det kan saknas UPS-kraft för dessa system.

Under ett längre avbrott kan man dock manuellt sektionera in det som idag ligger på oprioriterad kraft om belastningsförhållandena så tillåter.

Malmö-Sturup flygplats

Dieselreservkraften tillsammans med UPS anläggning klarar samtliga hjälpmedel enligt BCL-F kraven. Tack vare UPS anläggningen kan flygtrafiken fortsätta även under CAT II förhållanden. Reservkraften klarar även stora delar av terminalen, dock ej 400Hz aggregaten, nosbryggor och samtliga bagageband.

Vissa problem kan även uppstå på datorutrustningarna för bl.a. incheckning då det kan saknas UPS-kraft för dessa system.

Under ett längre avbrott kan man dock manuellt sektionera in det som idag ligger på oprioriterad kraft om belastningsförhållandena så tillåter.

Regionflygplatserna

I stort sett klarar reservkraften av att försörja hela flygplatsen varför den kan vara i drift så länge bränsle finns att tillgå. BCL-F kraven tillåter dock inte fortsatt flygtrafik under dessa förhållanden om de meteorologiska förhållandena är sådana att det råder CAT I vilket kräver en maximal avbrottstid på 15 sek. Med andra ord, ett avbrott i reservkraftdriften medför totalavbrott tills reservkraften är reparerad eller nätdriften är tillbaka.

Vissa problem kan även uppstå på datorutrustningarna för bl.a. incheckning då det kan saknas UPS-kraft för dessa system.

Översvämningsproblematik

Höga flöden, kraftig nederbörd och höjning av havsnivån kan ge upphov till översvämningar och problem med erosion för de flygplatser som ligger nära vatten.

När det gäller översvämningarna i södra Norrland i juli 2000, som bl.a. drabbade Sundsvall-Härnösand flygplats så började det

med att det översvänningsdrabbade området i södra Norrland fick betydligt mer regn än normalt redan under tiden april-juni, och det ostadiga vädret fortsatte även i juli. Regnområden gav den 12–25 juli stora regnmängder i främst de inre delarna av södra Norrland, på sina håll drygt 200 mm. Att ett så stort område får så stora mängder under loppet av endast ett par veckor är mycket ovanligt, uppskattningsvis sker det mindre än en gång vart tionde år i vårt land, och i de drabbade delarna av södra Norrland finns inget lika extremt fall dokumenterat under de mer än 100 år som nederbördsmätningar har förekommit.

De stora nederbördsmängderna medförde att marken blev mättad och bland det första som inträffade var skred och ras på utsatta platser, såsom ras vid hus och underminering av järnvägsbankar. Små och medelstora vattendrag fylldes snabbt och orsakade i första hand skador på vägar och broar samt på bebyggelse nära vattendragen. Problemen förflyttades sedan till de större vattendragen och nedströms i de stora vattensystemen. I de reglerade vattendragen förvärrades situationen av att magasinen i södra Norrland, som var fyllda med vatten från vårfloden och det myckna regnandet, nu började tappas i samband med stor tillrinning för att förhindra överdämning i magasinen. Förutom översvämningsskador på många platser inträffade även problem i grundvattentäkter och brunnar på grund av kontaminering med yt- och älvvatten. När vattenmassorna sedan sjunker ökar igen risken för ras och skred.

Sundsvall-Härnösand flygplats har ett utsatt läge i Indalsälvens delta med utlopp i havet. Flygplatsen påverkades främst av det stora flödet med stora virvelbildningar och som orsakade akuta problem med erosion vid banände. Under denna tid höll flygplatsen på att utföra banförlängning av båda banändarna och dessa arbeten fick snabbt kompletteras med erosionsåtgärder.

Det finns ingen officiell mätning av vattenstånd nedanför Bergeforsens kraftverk som ligger uppströms flygplatsen, så några sådana värden finns inte att tillgå. All time high flöde uppmättes vid kraftverket till 2 121 m³/s den 22 juli 2000, vilket motsvarar en återkomsttid av ca 80 år. Enligt spontana bedömningar av flygplatsens personal så var nog vattennivån någon meter högre än normalt vid flygplatsen.

Tröskelhöjd bana 34 +3.8 m (höjdsystem RH70).

Kalmar Dämme

Naturliga eller anlagda vattensamlingar, som har en vattenspegel under hela eller delar av året kallas våtmark. Angränsande marker till dessa har under äldre tider stor betydelse för svenskt jordbruk. Produktionen av starrhö var stor och våtmarkerna utgjorde också ett av naturens eget reningsverk.

Rationaliseringen av svenskt jordbruk ledde emellertid till att våtmarker dikades ut. De naturliga processerna stördes kraftigt. Tillförsel av handelsgödsel medförde ofta att fosfor och kväve läckte ut i vattendragen. Resultat: en dålig vattenmiljö; inte enbart i åar och sjöar utan också i haven. Orsak: Överproduktion av växtbiomassa, vars nedbrytning ger syrgasbrist.

Törnebybäcken avvattnar större delen av Kalmarslätten strax väster om Kalmar. Avrinningsområdets areal är ca 48 km². Bäckens medelvattenföring är ca 0,2 m³/s och högsta vattenföringen har uppskattats till 5 m³/s. Törnebybäcken är ett av de mest närsaltbelastade vattendragen i Kalmar län.

Den mindre goda vattenmiljön i bäcken beror till större delen på belastningen från jordbruket med utsläckande fosfor och kväve. Men även Kalmar flygplats bidrar till vattnets höga innehåll av främst kväve (ca 1/4). Banorna måste hållas isfria och därför sprids vid behov urea varav knappt hälften är kväve. Smältvattnet som då innehåller kväve, rinner till Törnebybäcken. Även dagvatten från bostads- och industriområdena avleds till bäcken.

Genom ett samarbete mellan LFV och Kalmar kommun har man anlagt Kalmar Dämme som ett försök att skapa en våtmark som kan reducera en betydande del av främst kvävet men även fosfor som annars skulle släppas ut till havet. För LFV:s del är Kalmar Dämme en del av villkoren i det beslut från Koncessionsnämnden för miljöskydd avseende Kalmar flygplats.

Kalmar Dämme har en total vattenareal av ca 18 ha och en vattenvolym av ca 120 000 m³. Vattnets uppehållstid i Kalmar Dämme, vid medelvattenföringen 200 l/s, blir ca 7 dygn. Vatten pumpas till anläggningen från Törnebybäcken, från åkermarkens dräneringssystem samt från Hagbygärdediket som avleder dagvatten från bostads- och industriområdena i nordvästra delen av centralorten. Maximalt kan anläggningen belastas med ca 600 liter per sekund. Under ett kalenderår tillförs anläggningen 35–50 ton kväve. Reduktionen har beräknats uppgå till ca 18 ton kväve per år (vid 50 tons belastning) när anläggningen nått full reduktions-

kapacitet. Även avsevärt minskade utsläpp av fosfor kan påräknas. Ytterligare positiva miljöeffekter bör erhållas främst på dagvattensidan genom reduktion av vattnets innehåll av syreförbrukande organisk substans och metaller.

Kalmar Dämme är byggt på huvudsakligen åkermark, men också på dåligt produktiva områden. De jämna och bördiga fälten omgärdar åkerholmar. Dessa är bevuxna med huvudsakligen ek. Så långt möjligt har slättens karaktär bibehållits. Trädridåer utmed Törnebybäcken har gallrats ur eller tagits bort. Videsnår finns kvar.

Vattenståndet i anläggningens olika bassängenheter kommer att variera med tillförd mängd vatten. Vissa partier kommer därför att tidvis vara översvämmade av vatten. Vegetationen inom sådana områden kommer att anpassas till strandängens specifika förutsättningar.

Genom att plantera dels övervattenväxter, dels undervattenväxter så ska man åstadkomma ett vattenväxtfilter med så stor växyta som möjligt. Därigenom kan en stor biofilm utbildas och medverka till att reningsprocesserna, främst denitrifikationen, blir effektivare.

På grund av den flacka marken måste vattnet lyftas upp i våtmarksområdet (lyfthöjd ca 1,0 m). Utlopp nedströms Kalmar Dämme ligger på +30 cm medan närmaste bantröskel har en nivå på +4,7 m (höjdsystem RH70). Enligt flygplatsen varierar havsnivån mellan ca +50 till -50 cm.

Det är möjligt att lyfta hela anläggningen Kalmar Dämme med ca 40 cm om man dämmer upp. Om det är stora flöden på grund av nederbörd märker man redan idag på flygplatsen att ledningar inte hinner ta undan vattnet.

Luleå-Kallax flygstation

Flygplatsen ligger på Kallaxhalvön med Lule älv som möter Bottenviken. Banan är belägen alldeles vid havet med inflygningsljuslinjen uppbyggd ut i havet, med bantröskel 32 ca 320 m från havet enligt AIP. Höjd tröskel 32 är ca 6,4 m.

Risken för översvämmning på grund av förändrat klimat känns inte akut, då avståndet från hav till bantröskel är relativt stort.

Dagvattensystem, känslighet för läckage av förorenat dagvatten till recipienter vid ökade nederbördsmängder

Dagvattensystemens nuvarande status

De flesta av LFV:s flygplatser byggdes under en period mellan år 1930–1960. Flygplatsernas huvudsakliga dagvattensystem är således från denna period. Materialet i dessa ledningar är huvudsakligen betong, armerad och oarmerad. Erfarenheten visar att dessa ledningar är i stort behov av renovering både på grund av invändigt slitage, åldersnedbrytning samt belastningsskador genom yttre påverkan.

Genom att flygplatserna har byggts ut för att kunna möta flygets expansion har samlingsledningarna i många fall kommit att bli underdimensionerade för att kunna möta de utökade avbördningsområdena. Detta har i sin tur ökat slitaget och möjligheten att klara det ökade flödet. Ledningarnas skarvar riskerar därvid att gå isär under det ökade vattentrycket.

Om nederbörden ökar kan det bli nödvändigt att tidigarelägga förväntade renoveringar. Att bedöma kostnaden för detta är nästan omöjligt då det är alltför många osäkra faktorer som påverkar när en sådan ombyggnad måste ske. Idag finns ingen inventering som fastställer statusen av ledningarna på respektive flygplats. Det kan dock nämnas att på Kiruna flygplats utfördes 2002–2003 en övergripande renovering av befintliga dagvattenledningar och kostnaden för detta var ca 5 500 kkr (ca 1 500 kr/m). Kiruna flygplats kan i detta sammanhang representera en genomsnittsflygplats, exkl de fyra stora Arlanda, Landvetter, Sturup och Luleå. Om det förutsätts att södra Sverige i första hand berörs rör det sig om kostnader i storleksordningen många hundra miljoner, men sannolikt kommer åtgärderna att behövas någorlunda i linje med behovet av renoveringar av åldersskäl. En uppdimensionering av ledningarna på grund av med nederbörd innebär dock i sig merkostnader på uppåt 100 Mkr.

Känslighet för läckage vid ökade nederbördsmängder

Vi har under senare år kunnat konstatera att nederbörden kommer betydligt häftigare med stora mängder samtidigt. Detta har resulterat i att vid nyanläggning och dimensionering av ledningarna måste man justera faktorn regnintensiteten och räkna med ett högre flöde

än tidigare vilket ger att dimensionerna på ledningarna ökar samt att behovet av fördröjningsmagasin blir större. Över huvud taget måste man räkna med att behöva dimensionera upp samtliga ingående delar i dagvattenssystemet t.ex. olje- och slamavskiljare.

Risken för att befintliga äldre ledningar, genom det ökade flödet och vattentrycket, får till följd att skarvarna går isär och utläckaget ökar samt som yttersta konsekvens att ledningen kollapsar.

Att risken för utläckage av förorenat vatten ut i grundvatten och recipienter är därför uppenbar.

Slutsats

Det kan konstateras att behovet av renovering av dagvattenssystemen på LFF:s flygplatser är mycket stort. Renoveringsmetoderna är många men den mest optimala både vad avser ekonomi och funktion är att reliniera ledningarna som då får en sammanhängande, skarvlös ledning inne i den befintliga. Detta ökar givetvis inte ledningens möjlighet att ta emot ökade mängder mer än marginellt på grund av minskad friktion.

Man kan också konstatera att vid framtida expansion av flygplatserna också byggs nya samlingsledningar som om möjligt kan ta emot flöden från det befintliga systemet och därmed minska påfrestningen på detta.

Dimma

Det saknas data när det gäller lokala risker för förhöjd frekvens av tät dimma. De problem till följd av dimma som kan tänkas inträffa kommer sannolikt att delvis kompenseras av moderna och bättre inflygningshjälpmedel. Sannolikt är det dock inte aktuellt för mindre flygplatser att skaffa mer sofistikerade hjälpmedel med hänsyn till kostnadsskäl, och på de mindre flygplatserna kan därför sannolikt tillgängligheten komma att minska något på sikt.

Vindförhållanden

På sikt kommer såväl medelvinden som stormvindstyrkorna att öka. Det är i huvudsak de extrema vindarna och tvärs banornas längsriktning som är ett problem. Stängning på grund av kraftiga

vindar är dock i dagsläget ett mycket marginellt problem för den tyngre luftfarten, vilket bl.a. visades vid stormen Per 2007 då Landvetter kunde upprätthålla viss del av trafiken trots mycket besvärliga förhållanden. För lättare trafik blev avbrottet trots allt endast ett antal timmar. Fenomenet med kraftiga sidvindar innebär sålunda ett relativt marginellt problem, betydligt mindre än t.ex. snöfall i kombination med vind. Det kommer därför aldrig att bli aktuellt att kompensera för höga vindhastigheter genom att anlägga tvärbanor. Det är även högst tveksamt om det skulle vara aktuellt att förlänga banor utöver de banlängder som finns idag och som klarar dagens situation väl.

Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder

Successiv anpassning – löpande kostnader

Inga tydliga brytpunkter finns i flygsystemet, ständig utveckling sker successivt liksom anpassning till rådande klimat.

Ändrade tjälförhållanden

Förändrade tjälförhållanden till följd av flyttade klimatzoner kan påverka bärigheten hos flygfältsytorna. Uppskattningsvis finns det i Sverige ca 7 880 000 m² flygfältsytor såsom rullbanor, taxibanor och uppställningsplattor för civil flygtrafik. Då är mindre flygfält undantagna. Rent teoretiskt skulle behov av tjockare överbyggnad på de befintliga asfaltytorna innebära en merkostnad på ca 300 Mkr för perioden fram till år 2080, eller mindre än ca 5 Mkr per år. I realiteten kommer dock en stor del av dessa åtgärder att ingå i det kontinuerliga underhållet och i förbättringsåtgärder eller förändringar av andra skäl.

Reningsanläggning Kalmar Dämme

Ny reningsanläggning kan behöva byggas i Kalmar Dämme. Om det är stora flöden på grund av nederbörd märker man redan idag på flygplatsen att ledningar inte hinner ta undan vattnet. En havsnivåhöjning skulle också påverka reningsanläggningen negativt.

Enligt beskrivning om Kalmar Dämme, så finns det endast en mindre marginal för att kompensera ökad vattennivå, ca 40 cm. Om vattnet stiger mycket mer, så får flygplatsen anlägga fällor/dammar istället. För att klara Kalmar flygplats kan ca 5–6 dammar behöva anläggas till en total kostnad på ca 15–20 Mkr inkl alla ledningar.

Dagvattensystem

Dagvattensystemen behöver renoveras, men av andra skäl än klimatförändringar. Troligen kommer renoveringsarbetet att styras av hur många kraftiga regn som uppstår på berörda flygplatser, och när man anser att det har blivit ett stort problem som måste tas omhand.

En anpassning till rådande förhållanden är givetvis nödvändig, såsom tidigareläggning av ev. renoveringar/utbyggnader. Om nederbörden ökar, som förväntas, kommer framtida nybyggnader att behöva dimensioneras upp i förhållande till dagens situation. En sådan uppdimensionering förväntas öka anläggningskostnaden med ca 10–20 %. Se dock ovan när det gäller utbytestidpunkter i relation till ledningarnas livslängd.

Avisning av flygplan

För att genomföra avisning av flygplan förbrukade LFV under 2006 ca 2 600 000 liter avisningsvätska. En genomsnittlig flygplans-avisning kräver ca 200 liter vilket ger 13 000 avisningar under säsongen. Ett rimligt antagande är att fast kostnad för varje avisning är ca 1 000 kr (personalkostnad, avskrivning av utrustning, service och underhållskostnad etc.). För avisningsvätskan betalar LFV ca 10–12 kr/liter. Med detta underlag kan följande totala kostnad för avisa flygplan uppskattas:

Total kostnad för avisning av flygplan:

Fast kostnad:	13 000 avisningar á 1 000 SEK	13 Mkr
Rörlig kostnad:	2 600 000 liter á 10–12 SEK ger	26–31 Mkr
SUMMA		8–12 Mkr

Under avisningen rinner ca 85 % av vätskan av flygplanet, denna vätska skall samlas upp. De system som används är markförlagda ledningar eller sugbil och dessa kan anses vara effektiva. Bedömningen är att ca 80 % som träffar marken samlas upp. Den fasta kostnaden för sugbil eller markförlagda ledningar uppskattas till ca 500 kr per avisning. Den rörliga kostnaden består av avgift för att skicka uppsamlad vätska till kommunalt reningsverk och uppgår till ca 1–3 kr per liter.

Följande kalkyl för uppsamling av avisningsvätska kan ställas upp:

Fast kostnad:	13 000 avisningar á 500 SEK	6,5 Mkr
Rörlig kostnad:	2 600 000 liter x 0,85 x 0,8 á 1–3 SEK ger	1,8–5,3 Mkr
SUMMA		8–12 Mkr

Totala kostnader inom LFV för genomförande av avisning och uppsamling och omhändertagande av vätska uppgår därmed till ca 47–56 Mkr. Enligt rapporten så står de statliga flygplatserna för 86,3 % av passagerartrafiken vilket skulle medföra att de totala kostnaderna för hela avisningsprocessen i Sverige hamnar på ca 55–65 Mkr.

Med de temperaturhöjningar som redovisas bedöms avisningsbehovet i Sverige minska med 50–75 %. Detta skulle ge en framtida kostnadssänkning med ca 35–40 Mkr för hela avisningsprocessen jämfört med idag.

Halkbekämpning på bansystem

De kemikalier som använd för halkbekämpning är formiat, acetat och, i speciellt krävande situationer, urea. Pris för respektive kemikalie samt LFV:s totala förbrukning under år 2006 framgår av följande tabell:

Tabell 4: Förbrukning av halkbekämpningskemikalier

Kemikalie	Förbrukning (ton)	Pris SEK/ton
Formiat	2 400	5 000–10 000
Acetat	165	6 000–10 000
Urea	176	3 100

Att prisvariationen är stor vad gäller formiat och acetat beror på i vilken form kemikalien levereras. Flytande form representerar det lägre värdet, granulat det högre.

Det antal tillfällen då utlägg av kemikalier sker uppgår totalt på LFV:s flygplatser till ca 300–600 tillfällen per år. Varje körning bedöms ge en fast kostnad på ca 800 kr vilket totalt ger en fast kostnad på 240 000–480 000 kr.

Den rörliga kostnaden (kostnaden för kemikalier) blir i det här scenariot 20 Mkr, medelvärdet på tonpriset har då använts och den totala kostnaden för halkbekämpning blir därmed ca 20–21 Mkr.

Med beaktande av att de statliga flygplatserna står för ca 86 % av trafiken så bör en rimlig siffra för totalkostnaden för halkbekämpning på svenska flygplatser hamna på ca 23–25 Mkr.

Bedömningen görs att den framtida reduktionen i halkbekämpning på grund av temperaturhöjning kommer att hamna på ca 70–90 %. Detta skulle motsvara en reduktion av kostnader med 18–20 Mkr per år.

Extra kostnader – investeringskostnader

Anpassningsåtgärder vid Sundsvall-Härnösands flygplats vid ökad erosion till följd av ökade översvämningar i Indalsälven skulle kunna bli aktuella. Omfattning anpassningsåtgärder vid Sundsvall-Härnösand flygplats innebär utökade erosionskydd längs den norra och södra vattenlinjen. Erosionsskydden måste utformas så att undergrunden håller för att lägga på ev. sprängstensmassor. Kostnaden är svåruppskattad i brist på bra geotekniskt underlag. En gissning är att det rör sig om några tiotal miljoner kronor.

Samhällskostnader

De kostnader för samhället som kan uppstå vid en stängning av flygplats är svåra att kvantifiera. Det handlar om kostnader både för resenärer och frakt, där det senare kan drabba posthantering, företag etc. Kostnaden varierar mycket beroende på om det rör sig om en stängning under en kortare tidsperiod eller om är det över en längre period.

Erfarenhetsmässigt har LFV:s flygplatser sällan varit stängda, trots snöstormar eller översvämningar. Flygplatsen är ofta öppen, men passagerarna klarar inte att ta sig till flygplatsen. Den vanligaste orsaken att man inte kunnat upprätthålla flygtrafiken är på grund av dimma. En mycket enkel uppskattning av förluster om Arlanda stängs under ett dygn kan utgå ifrån att passagerares tidskostnader medräknas, dvs. inte flygplatsens eller flygbolagens förlorade intäkter. Om varje passagerare blir i snitt fyra timmar försenad eller alternativt måste avbryta en resa eller måste vänta till nästa dag och göra annat arbete innebär det $50\,000 \text{ passagerare} \cdot 4\text{h} \cdot 250\text{kr/h} = 50 \text{ Mkr/dygn}$. Om även intäktsförluster medräknas för flygplatsen rör det sig om ytterligare ca 50 Mkr och för övriga såsom flygbolag och övriga ytterligare lika mycket.

För medelstora flygplatser blir siffrorna ca 1/50 av ovanstående.

Slutsatser

Syftet med analysen är att redovisa flygsektorns sårbarhet vid förändringar av de känsliga klimatfaktorer som identifierats. Ett antal utredningar har gjorts inom de områden som berör flygplatsernas sårbarhet.

Flygplatser som är känsliga för långa stopp är främst Arlanda, Landvetter och Luleå. De senaste 10–12 åren har ett flertal extrema väderhändelser påverkat trafiken på flygplatser lokalt, som till exempel i samband med januaristormen 2005 och översvämningarna i Mellannorrland juli 2000. Dock har flygtrafiken påverkats endast under en kortare tid vid dessa händelser.

Flygplatserna är beroende av fungerande system för el, tele, trafikledning, transporter till och från flygplatsen inklusive bränsleförsörjning. Systemet är inte helt redundant vad gäller elförsörjning. Reservlandningsflygplatser finns alltid men är inget transportalternativ för de stora flygplatserna vid längre stopp.

Systemförändringar inkluderar utbyggnad av instrumentlandningssystem, utbildning i att hantera dåligt väder samt mer sofistikerade system för att ta hand om trafiken på marken. Processerna är långa, det finns inga planerade åtgärder ur klimatsynpunkt, det sker normalt underhåll med en ständig anpassning till rådande klimat.

SMHI:s klimatscenarier visar på både positiva och negativa konsekvenser för flygsektorn av ett förändrat klimat. Bland de positiva kan nämnas minskat totalt behov av avisning och halkbekämpning och eventuellt färre snöstormar i ett varmare klimat.

Negativa konsekvenser kan bli följderna av ökad frekvens av häftiga regn, översvämningar och stormar. Om andelen åskväder ökar blir problemen större för flygtrafiken. Dimma kan påverka flygplatser lokalt. Kalmars reningsanläggning påverkas av en höjd havsvattennivå. Sundsvall-Härnösands flygplats kan påverkas negativt vid högre vattenföring och för att klara erosion från vattnets påverkan måste erosionsskydden utökas. Förändrade klimatzoner påverkar bärigheten på flygfältskytorna. Dagvattenanläggningarna behöver ses över.

Konsekvenserna handlar främst om stängning av flygplatser för kortare eller längre tid, ickefungerande elförsörjning, minskad användning av avisnings- och halkbekämpningsmedel, ombyggnad av Kalmars reningsanläggning, översvämningsproblem vid underdimensionerade dagvattensystem samt förändrad bärighet på flygfältskytorna.

Kostnaderna är främst av skadeavhjälpande karaktär. I samband med normalt underhåll görs många successiva anpassningar, exempelvis ny beläggning på flygfältskytor och översyn av dagvattensystemen. Några stora investeringar utöver vanligt underhåll till följd av ett förändrat klimat verkar inte aktuellt.

Elektronisk kommunikation – Tele- och datakommunikationssystem

– Möjlig påverkan av förändrade klimat- och väderbetingelser i ett längre perspektiv

PTS, Eric Wedin
(med benäget bistånd från TeliaSonera, Telenor och Svenska Stadsnätetsföreningen)

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-06-11

Innehåll

Bakgrund	5
Inledning	5
Systembeskrivning	6
Systemets uppbyggnad i systemtyper, m a p tid samt livslängd	6
Geografisk beskrivning.....	6
Systemets redundans	6
Känsliga klimatfaktorer.....	7
Ansvarförhållanden och regelverk idag.....	8
Konsekvenser av klimatförhållanden och extrema händelser	8
Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder	8
Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa Förebyggande (inkl underhållande) systemåtgärder.....	9
Forskningsbehov	9
Slutsatser	9

Bakgrund

Denna PM avser beskriva bedömningar av möjlig miljöpåverkan av infrastruktur för elektronisk kommunikation inom ramen för Klimat- och sårbarhetsutredningens uppdrag.

Inledning

Sektorn elektronisk kommunikation har förändrats mycket under de senaste 20 åren. Från att varit en monopolverksamhet rörande fast telefoni har både marknaden avreglerats (1993) och de tekniska lösningarna för elektronisk kommunikation formligen exploderat under den senaste tioårsperioden. Det finns idag omkring 500 teleoperatörer registrerade hos Post- och telestyrelsen (PTS) och många fler tillhandahåller olika typer av andra kommunikationslösningar som inte gör att de behöver registreras hos PTS. Antalet operatörer som äger egen infrastruktur är en mindre del av detta, men antalet aktörer ökar för varje år. Likaså ökar antalet accessmetoder stadigt. Alltmer trafik använder sig av Internetprotokollet (IP) och nätet är egentligen hopkopplingar av diverse olika typer av nät (koppar, fiber och mobilt).

Myndigheten PTS har till skillnad mot Svenska Kraftnät (SvK) inga egna nät utan all infrastruktur ägs av privata företag inom sektorn elektronisk kommunikation. PTS uppdrag är i grova drag att tillse att operatörernas elektroniska kommunikationstjänster håller god funktion och teknisk säkerhet, men exakt vad detta innebär får bedömas från fall till fall där tjänsterna inte fungerat tillfredställande. Förutom detta tillsynsarbete bedriver PTS i samverkan med marknadens aktörer även olika typer av robusthetsprojekt i syfte att stärka upp infrastrukturen för att klara extraordinära situationer (svåra påfrestningar i fred, kris och krig), där kommersiella grunder saknas för dylika åtgärder.

Efter att ha tagit del av det mycket omfattande underlag utredningen skickat till PTS, diskuterat förutsättningarna med representanter från Telenor, Svenska stadsnätetsföreningen och TeliaSonera så har vi kommit fram till följande slutsatser avseende väderpåverkan av elektroniska kommunikationer i ett kortare perspektiv (det längre perspektivet inom utredningen är ur vår sektors synvinkel omöjlig att bedöma på grund av den snabba utvecklingen/omsättningstakten inom sektorn).

Systembeskrivning

Systemets uppbyggnad i systemtyper, m a p tid samt livslängd

De finns idag flera olika typer av system för elektronisk kommunikation (fasta nät, mobila nät, optisk fibernät/stadsnät, satellit etc.). Vad gäller de delar av infrastrukturen som är problematiska när det gäller väderpåverkan så byggs de bort (accessnät/luftledning ut till slutkund). Det blir alltmer radiolösningar och optisk fiber vilka inte är väderberoende på samma sätt. Operatörerna erbjuder idag många kunder mobila lösningar mer eller mindre förmånligt som ett alternativ till den gamla fasta accessen som blåst ner. Många abonnenter väljer vidare själva att inte ha något fast abonnemang idag och denna trend tycks växa sig allt starkare. Erfarenheterna från de senaste årens svåra stormar, Gudrun och Per, är tydliga såtillvida att mobilnäten inte alls drabbas lika hårt som fastnäten. De allra flesta mobilnäten var igång efter några timmar (i några fall dagar). Problemet för operatörerna ligger främst i att utlovad leverans av el inte kunde infrias och att hålla igång reservverk som inte är avsedda för längre tids drift.

Det i systemen för elektronisk kommunikation som utsätts för väder och vind begränsas typiskt sett till byggnader på siten liksom antenner, master och luftledningar. Övriga delar befinner sig normalt i skyddade utrymmen.

Geografisk beskrivning

Infrastruktur för elektronisk kommunikation finns spridd över hela Sverige, dock mest frekvent förekommande där människor bor och vistas.

Systemets redundans

Infrastrukturägande operatörer vill inte ha arga kunder utan bygger in redundans och säkerhet i sina lösningar på rent kommersiell basis. I botten finns alltid ett business case som avgör hur långt dessa åtgärder drivs. Ovanpå detta har PTS medel (dryga 200 MSEK/år 2006) för att bygga robusthet. Det kan röra sig om att bygga redundanta förbindelser till kommunhuvudorter, inför-

skaffande av reservkraftverk till siter, mobila basstationer, reservutrustning i form av master etc.

Om det blir avbrott så betyder inte det med automatik att tjänsten försvinner för abonnenterna. Operatörerna och PTS satsar idag på en hel del medel på robusthetsåtgärder (de förra av rent kommersiella skäl). Det kan vara i form av reservkraft till olika anläggningstyper, redundanta förbindelser till kommunhuvudorter, mobila basstationer etc. Arbetet inom den nationella telesamverkansgruppen (NTSG, en nationell samverkansgrupp med de största operatörerna och berörda myndigheter som verkar vid svåra påfrestningar) kommer sannolikt förhindra/förkorta avbrotts-tiderna inom sektorn då de större operatörerna, försvarsmakten, Svenska kraftnät och PTS gemensamt kan lösa problem inom sektorn vid större störningar.

Mångfalden av accessmetoder i sig utgör också form en av redundans. Det är typiskt sett bättre utbyggt i städer än på landsort, men även på landsbygden finns det redan idag ofta mer än ett mobilnät och andra möjligheter dyker upp efterhand (WiMax, WLAN, satellit, CDMA450 etc.). Användaren kan med andra ord själv genom planering förbereda sig för svåra påfrestningar genom att skaffa flera olika abonnemang i beredskap.

PTS har vidare under 1990-talet byggt ut ett antal säkra noder (bergrum) som huserar utrustning och knyter samman olika operatörers nät från norr till söder. Dessa noder är säkrade för flera olika hot, från elavbrott till kärnvapen.

Känsliga klimatfaktorer

Det som typiskt sett påverkar systemen mest är hård vind (nedblåsta träd över luftledningar, kullvälda master etc.), nedisning (av ledningar med avbrott som följd) och åsknedslag (i inte riktigt skyddade anläggningar). Erfarenheterna från de senaste stormarna, Gudrun 2005 och Per 2007, är dock att trenden går mot allt mindre omfattande väderstörningar inom sektorn elektronisk kommunikation. Det kan bero på att robusthetsarbetet har varit framgångsrikt, att man går mot mer nyttjande av mobila system (som både tycks vara stabilare och som prioriteras i återuppbyggnadsarbetet av operatörerna), dels att mängden luftledningar minskar då fler går mot olika typer av radiolösningar.

Ansvarförhållanden och regelverk idag

- Operatörerna ansvarar för sina nät och sina kunder.
- PTS ansvarar för att övervaka att operatörernas tjänster håller god funktion och teknisk säkerhet enligt EkomL.
- Kunderna ansvarar för att förstå vad de upphandlar för tjänster (ett omfattande ansvar idag där man kan se många brister, då användarna inte alltid insett att markanden är avreglerad och att det inte finns någon nationell operatör med särskilt ansvar vid svåra påfrestningar).

Konsekvenser av klimatförhållanden och extrema händelser

Dagens system påverkas vid svåra stormar och åska, som nämnts ovan, men det är som också beskrivits ovan en ständig avvägning mellan tillgänglighet och pris för tjänsterna som måste tas av konsumenterna. För att tillhandahålla det perfekta systemet krävs upphandlare som kan förklara den stora merkostnad man tar för att säkra den sista procenten i tillgänglighet.

Det är tydligt att kostnaderna för tredje man idag kan vara enorma, inte minst för företag som kan vara helt beroende av tillgång till Internet för att sköta processer i tillverkning eller hantera sina kundkontakter. Att räkna på dessa kostnader är sannolikt mycket intressantare än att fundera över vad kostnaden för nedblåsta luftledningar är i sig. Det är dock inte gjort idag (såvitt känt skall sägas, då det kan vara en del i KBM:s studie över beroendeförhållanden).

Kostnader för skador och skadeavhjälpande åtgärder

Gudrun beräknas ha kostat Telia omkring 400 MSEK i direkta kostnader och omkring 100 MSEK i samband med återuppbyggnad. Kostnader för stormen Per är i dagsläget inte klarlagda, men är omfattande.

Anpassningsåtgärder samt kostnader för dessa

Förebyggande (inkl underhållande) systemåtgärder

PTS budget för robusthetshöjande åtgärder är idag omkring 200 MSEK/år. Vad operatörerna lägger faller under affärssekretess (men det är betydligt mer än PTS 200 MSEK). I många fall innebär förstörd utrustning att man väljer att tidigare lägga utrustning av ny teknologi.

Forskningsbehov

En osäkerhet vi hittat rörande vår sektor och som sannolikt behöver utredas ytterligare är det som kom fram i utredningens delbetänkande under hösten 2006. Höga flöden i de stora sjöarna och vattendragen i Sverige kan ställa till det även inom vår sektor. Där kan vi få problem på samma sätt som andra spelare (tunnelbana, vatten/avlopp, el etc.), men det är idag inte klart exakt vad som skulle drabbas och vid vilka nivåer. En studie avseende höjda vattennivåer/flöden och dess eventuella påverkan av anläggningar för elektronisk kommunikation skulle därför kunna vara intressant att genomföra.

Vidare skulle en studie avseende effekter av störningar inom elektroniska kommunikationer för tredje man kunna vara intressant att genomföra (kanske löses genom KBMs pågående studie avseende beroenden).

Slutsatser

Den input som kunde ha varit av intresse (hård vind, nederbörd och pendling runt 0-gradersstreck i kombination respektive åska) har inte SMHI kunnat presentera. Med kännedom om branschen så är perspektivet väldigt långt (i hundraårsperspektiv blir det rena gissningsleken). Alla tillfrågade operatörer var ense om att utrustning byts ut såpass frekvent att det sannolikt inte kommer att bli några överraskningar trots stora förändringar i vädret över tid. Ingen av de tillfrågade operatörerna bedömer att utrustningen kommer bli mer än 10–12 år gammal innan den byts ut och man kommer kunna ta höjd för omställningen i vädret när ny utrustning införskaffas allteftersom.

För övrigt känns det som att de trender vi ser idag, gör att vi kan se framtiden an med viss tillförsikt. Enskilda delar av system kan komma att gå ner på grund av vädrets makter, men mängden lösningar och robusthet/redundans inom de olika systemen kommer sannolikt göra att det blir alltmer sällsynt med helt bortkoplade abonnenter. Det handlar sannolikt mer om att kompetens vad gäller upphandling av tjänster avgör om man har tillgång till elektronisk kommunikation eller ej.

Ett stort antal av de robusthetsåtgärder som vidtagits har skett med klimatfaktorer för ögonen. Andra åtgärder har haft detta som bieffekt, men typiskt sett så är trenden att systemen genom:

- robusthetshöjande åtgärder,
- genom sin blotta mångfald och den diversitet man därför får,
- genom övergång mot IP, vilket gör att fler nät kan nyttjas av samma terminal,
- och inte minst genom övergång mot radiolösningar och nedgrävning av kablar, blivit allt mindre känsligt för väder och vind.

Den enskilt största störningsfaktorn utom operatörernas omedelbara kontroll är uteblivna elleveranser.

Eric Wedin, PTS