

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 avlopps-system – 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**

Klimatförändringars inverkan på allmänna avloppssystem – Problembeskrivning, kostnader och åtgärdsförslag

Svenskt Vatten, Hans Bäckman
Göteborg Vatten, Henrik Kant
Malmö VA-verk, Ulf Thysell
Försäkringsförbundet, Staffan Moberg

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-05-31

Innehåll

FÖRORD.....	5
1 Inledning.....	6
2 Systembeskrivning	6
2.1 Storlek och värde på avloppssystemen	6
2.2 Systemuppbyggnad av avloppsnäten under olika tidsperioder	10
2.3 Långsiktigt hållbar dagvattenhantering	16
2.4 Förnyelseplanering, förnyelsetakt och klimatfrågan	18
3 Myndigheters ansvar och roller för systemen vid olika typer av skador.....	22
3.1 Ansvar och roller i planeringsskedet.....	22
3.2 Ansvar och roller när en översvämning inträffar	24
4 Klimatförändringens inverkan på avloppssystem	25
4.1 Klimatfaktorer som påverkar	25
4.2 Ändrad nederbörd.....	26
4.3 Högre vattenstånd i vattendrag, sjöar och hav.....	31
5 Kostnader.....	38
5.1 Omfattning och kostnader för olika typer av översvämningar	38
Källaröversvämningar	38
5.2 Försäkring av översvämningsskador.....	41

5.3	Kostnader för ”normal” förnyelse och klimatanpassning av avloppssystem	42
6	Slutsatser och förslag till åtgärder	46
6.1	Anpassningsåtgärder mot ökade vattennivåer i hav, vattendrag och sjöar	46
6.2	Anpassningsåtgärder mot ändrad nederbörd.....	47
6.3	Säkerställa vattnets roll i planprocessen och bättre beslutsunderlag.....	49
7	Litteratur och referenslista.....	50

FÖRORD

Denna rapport är framtagen till Klimat- och sårbarhetsutredningen av undergruppen ”Allmänna avloppssystem” till arbetsgrupp 1 ”Teknisk infrastruktur, fysisk planering och byggnader”. Det finns flera undergrupper som behandlar näraliggande frågeställningar för avloppssystemen. För att få en heltäckande bild bör även de övriga undergruppernas rapporter studeras, exempelvis rapporten om ”Översvämning av strandnära bebyggelse”. För att olika rapporter skall kunna läsas fristående så kan viss överlappning förekomma.

I denna rapport i fokuseras mot två konsekvenser av klimatförändringarna för avloppssystemen till följd av:

- Ändrad nederbörd
- Högre vattennivåer i recipienter, dvs. hav, sjöar och vattendrag

Projektgruppen som utformat denna rapport har bestått av Ulf Thysell, Malmö VA-verk, Henrik Kant, Göteborg Vatten, Staffan Moberg, Försäkringsförbundet och Hans Bäckman, Svenskt Vatten. Kapitlet om ändrad nederbörd har utformats i samarbete med en särskild grupp bestående av Gilbert Svensson, Claes Hernebring, DHI och Olle Ljunggren, Göteborg Vatten. Teckningarna är ritade av Mathias de Maré och Amis Halldin.

Rapporten är förankrade i Svenskt Vattens rörnätskommitté, RÖK. Rapporten kommer även att ligga till grund för fortsatta arbeten kring dessa viktiga frågor, exempelvis projekt om ”Översvämningståligt byggande”, ”Förnyelseplanering med klimatperspektiv” samt ”Val av nederbördsdata”.

Stockholm i maj 2007

Svenskt Vatten AB

1 Inledning

De scenarier som presenteras om klimatförändringar kommer att påverka våra tätorters förmåga att avleda dagvatten och dränera bebyggelsen. Omfattningen på de klimatrelaterade problemen kommer att bero på vilket scenario som blir verklighet och hur snabbt som klimatförändringen sker.

Utbyggnaden av våra samhällen har präglats av de förutsättningar som varit gällande under de tidsperioder när utbyggnaden skett. Såväl samhällsstruktur, bebyggelse och avloppssystem har en lång omsättningstid varför förtida ombyggnader och förstärkningar på grund av klimatförändringar kan komma att kosta stora belopp. Vissa konsekvenser av klimatförändringar kan vara lättare att anpassa sig till än andra.

Vid betraktande av konsekvenser och anpassningsförslag för avloppssystemen till klimatförändringar är det lämpligt att ha två perspektiv:

- Vid nybebyggelse: Planera vid nybebyggelse så att problem ej uppstår
- I befintlig bebyggelse: Identifiera problem och möjliga åtgärder i befintlig bebyggelse på kort och lång sikt

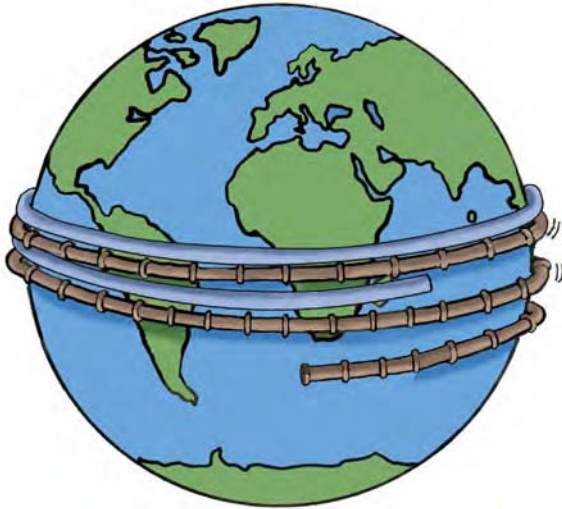
2 Systembeskrivning

2.1 Storlek och värde på avloppssystemen

Den samlade längden av de allmänna vatten- och avloppsledningsnäten i Sverige uppgår till ca 173 000 km vilket motsvarar ca 4,3 varv runt ekvatorn. De allmänna avloppssystemen svarar för ca 60 % av dessa ledningar, dvs. ca 102 000 km. Detta motsvarar ca 2,5 varv runt ekvatorn. Begreppet "avloppsledningsnät" omfattar både spillvattenförande ledningar och dagvattenledningar.

Ansvar för de allmänna avloppssystemen ligger på den kommunala VA-huvudmannen och omfattar ledningarna inom fastställda verksamhetsområden fram till förbindelsepunkten till abonnenterna. Förbindelsepunkten ligger normalt vid tomtgränsen. Innanför förbindelsepunkten ligger ansvaret på respektive fastighetsägare. Längden på servisledningar kan grovt uppskattas till

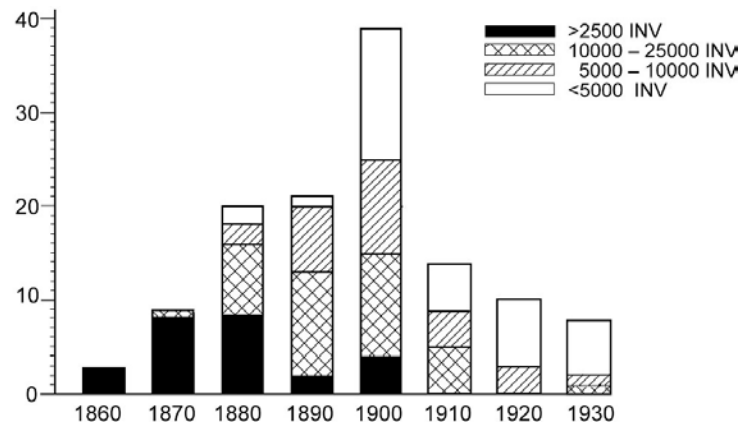
ca 20–30 % av det allmänna vatten- och avloppsledningsnätet, dvs. totalt ca 1 varv runt ekvatorn.



Det allmänna VA-ledningsnätet räcker ca 4,3 varv runt ekvatorn.

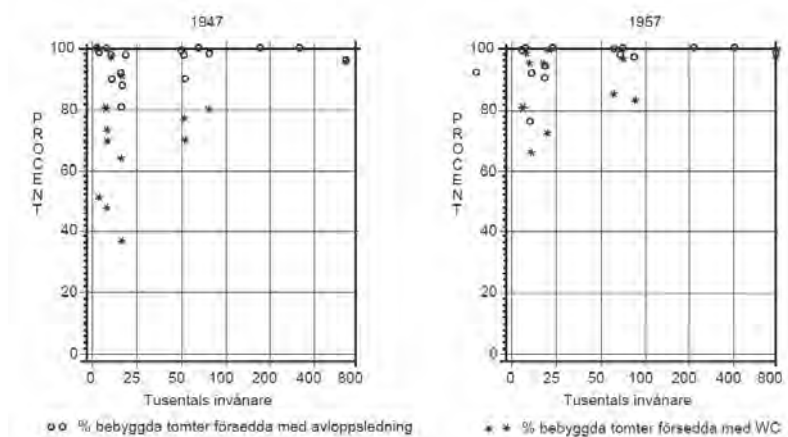
Nyanskaffningsvärdet för det allmänna vatten- och avloppsnätet kan uppskattas till storleksordningen 400 miljarder kronor.

Utbyggnaden av avloppssystemen startade i de större städerna i slutet av 1800-talet. De flesta städer och samhällen hade påbörjat utbyggnaden av avloppssystemen i början av 1900-talet, se figur nedan.



Tidsperiod för den första anlagda avloppsledningen i städer och samhällen uppdelat på olika storleksklasser, SKTF 1952.

Inom samhällena fortsatte utbyggnaden gradvis och allt fler bebyggda tomter försågs med avloppsledningar. I nedanstående figur visas den procentuella andelen av bebyggda tomter som var försedda med underjordisk avloppsledning resp. WC. Där framgår att det 1947 saknades WC för mellan ca 20–50 % av de bebyggda tomterna. Motsvarande siffror var för 1957 mellan ca 5–30 %.

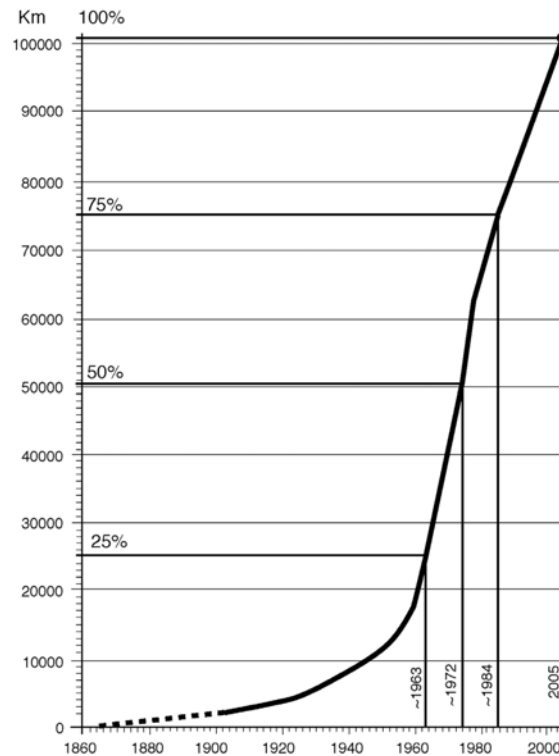


Procent av bebyggda tomter försedda med underjordisk avloppsledning resp. WC 1947 och 1957 som funktion av tätorternas invånarantal. (SKTF-statistik)

I figuren nedan visas längden på de allmänna avloppsledningsnäten under olika tidsperioder. Ledningsnätets längd började öka kraftigt från ca 1950-talet i takt med övrig samhällsutbyggnad. Den dramatiska ökningen i antal km ledningar beror också på att man från ca 1950-talet övergick från det kombinerade ledningsnätet med en avloppsledning för spill och dagvatten till det duplikata avloppsnätet där spill- och dagvatten avleds i olika ledningssystem. Därmed anlades i princip dubbelt som mycket ledningslängd per längd ledningsgrav.

Under den intensiva utbyggnadsperioden för bostäder under 1960–1970 följde även en kraftig utbyggnad av VA-näten. Avloppsledningsnäten växte då med i snitt ca 3 000 km per år.

I diagrammet framgår även att avloppsledningsnätet under de senaste 10 årsperioden vuxit med storleksordningen 1 000 km per år. Denna siffra är något osäker då det saknats nationell VA-statistik från statistikåret 1997 fram till 2005. Uppskattningen av ledningslängder 2005 är utförd genom extrapolering av Driftstatistik som insamlats via Svenskt Vattens webbaserade statistiksystem VASS.



Total längd avloppsledningar under olika år

Det befintliga avloppsnätet består till ca 70–80 % av betongrör. Vid nyanläggning av avloppsledningar idag är dock olika typer av plast-rör det dominerande rörmaterialiet.

2.2 Systemuppbyggnad av avloppsnäten under olika tidsperioder

Tre systemtyper för avloppsnät

Avloppssystemet för avledning av spill, dag och dräneringsvatten har skett efter olika principer under olika tidsperioder. Man kan översiktligt särskilja tre olika systemtyper för avloppsledningsnät:

Kombinerat system:

Spill-, dag och dräneringsvatten avleds i en gemensam ledning. Bräddavlopp är en del av systemfunktionen.

Duplikatsystem:

Spill- och dagvatten avleds i olika avloppssystem. Dräneringsvattnet kan avledas till spill eller dagvattensystemet.

Separatsystemet:

Spillvattnet avleds i eget avloppssystem. Dagvatten hanteras lokalt (LOD) eller avleds i diken. Dräneringsvattnet kan avledas till spillvattenledningen, hanteras tillsammans med dagvatten eller avledas i egen dräneringsledning.

Skifte från kombinerat till duplikatsystem

Utbyggnaden av avloppssystemen utfördes i huvudsak enligt det kombinerade systemet fram till 1950-talet och det duplikata avloppssystemet har sedan mitten av 1950-talet varit det förhärskande systemet.

Under 1960- och 1970-tal beslöt Koncessionsnämnden och Vattendomstolen i samband med fastställelse av utsläppsvillkor för reningsverk att även en separering skulle genomföras för befintliga kombinerade avloppssystemen. Under 1970-talet växte emellertid insikten om att kostnaderna för en separering skulle bli mycket höga och man ifrågasatte om miljönyttan stod i proportion till kostnaderna. Det hade också förts fram alternativa metoder för att minska olägenheterna med de kombinerade systemen, såsom avlastning av avslutna ytor och utjämning av flödestoppar genom utbyggnad av s.k. utjämningsmagasin.

1978 beslutade därför Naturvårdsverket att öppna för en omprövning av separeringsvillkoret (Naturvårdsverket 1978) där kommunerna gavs möjlighet att ansöka om att istället göra en s.k. Saneringsplan för ledningsnäten, (Naturvårdsverket 1983). Länsstyrelserna skulle därefter godkänna dessa saneringsplaner.

I figuren nedan visas att de befintliga avloppsledningarna 2005 består till ca 8 % av kombinerade ledningar. Om man ställer dessa i relation till enbart de spillvattenförande ledningarna utgör de kombinerade ledningarna ca 12 %.



Fördelning mellan olika typer av avloppsledningar, Svenskt Vatten VASS Drift 2005

Det är emellertid stor variation mellan omfattningen på det kombinerade ledningsnätet mellan olika kommuner. I Svenskt Vatten VASS Drift 2005 uppgav ca 30 % av kommunerna (66 av 194 kommuner) att avloppsnätet delvis består av kombinerade delar.

Detaljerade systembeskrivningar av avloppssystem på privat och allmän mark

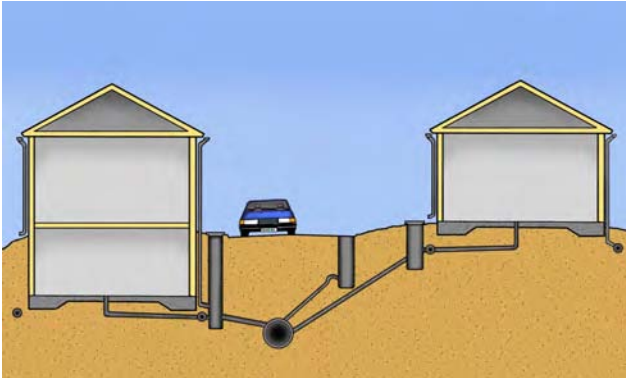
I det följande visas principskisser för olika typer av uppbyggnader av avloppssystemen som tillämpats under olika byggelseperioder. Det är mycket viktigt att ha en helhetssyn omfattande både de privata och allmänna avloppsledningarna för att effektiva åtgärdsförslag skall kunna föreslås. Likaså framgår att källarbebyggelse av naturliga skäl är mer utsatta för översvämningsrisker än källarlös bebyggelse.

Även om skisserna visar på renodlade systemtyper så kan det förekomma att avloppssystemen i ett område kan bestå av kombinationer av nedanstående varianter.

Kombinerade avloppssystem

Fram till början av 1950-talet dominerade det kombinerade ledningsnätet. I ett kombinerat avloppssystem avleds dag-, dränerings- och spillvatten i samma ledning. Till det kombinerade systemet hör även bräddavlopp för att skydda lågt liggande bebyggelse vid kraftig nederbörd. De kombinerade systemen finns av naturliga

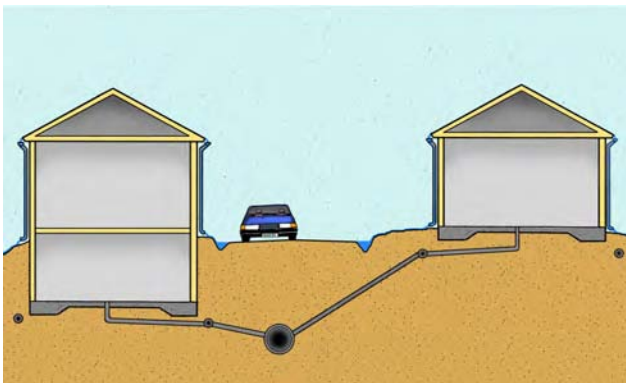
skäl i huvudsak i städernas centrala och äldre bebyggelseområden. Systemet innebär översvämningsrisk för lågt belägna källare.



Det kombinerade avloppssystemet med gemensam avledning av spill, dag och dränvatten.

Separatsystem

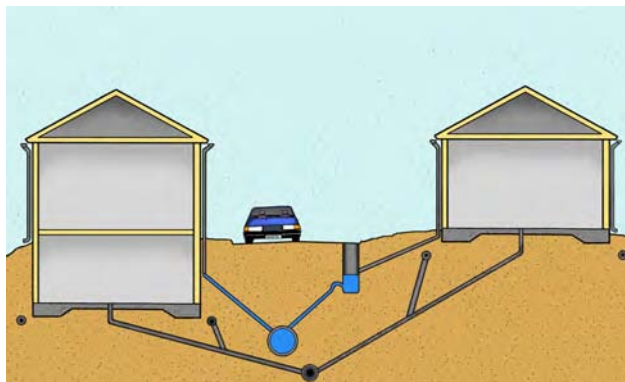
Separatsystemet började tillämpas i villaområden i huvudsak under början av 1900-talet för att reducera anläggningskostnaderna i städernas "egna hemsområden". Här är det av största vikt att exempelvis takvattnet ej leds ned till dräneringssystemet eftersom detta nedför att takvattnet leds till spillvattenledningen. Likaså måste diken för avledning av dagvatten hållas under uppsikt så att dessa med tiden inte blir igenfyllda.



Separat systemet där dagvattnet avleds i diken. Dränering till spillvattenledningen.

Duplikat system med dränering till spill

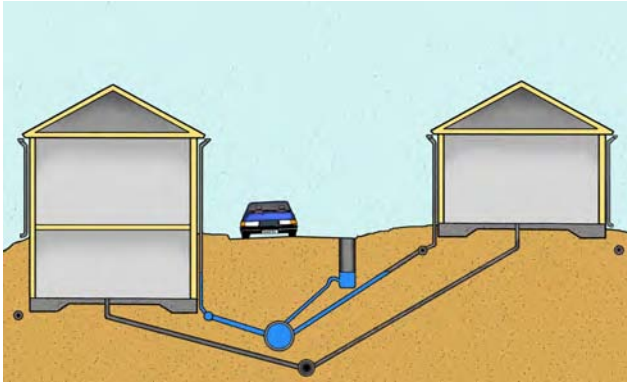
Duplikatsystemet blev det dominerande avloppssystemet från 1950-talet. Dräneringssystemet anslöts av höjdskäl normalt till den lägst belägna spillvattenledningen. Under ca 1970–80-talet ifrågasattes dräneringsvattenanslutningen till spill då man önskade minska flöden av s.k. tillskottsvatten till reningsverken.



Duplikat system där dräneringen ansluter till den lägst belägna ledningen, spillvattenledningen.

Duplikat system där dräneringen ansluts med självfall till dagvattenledningen

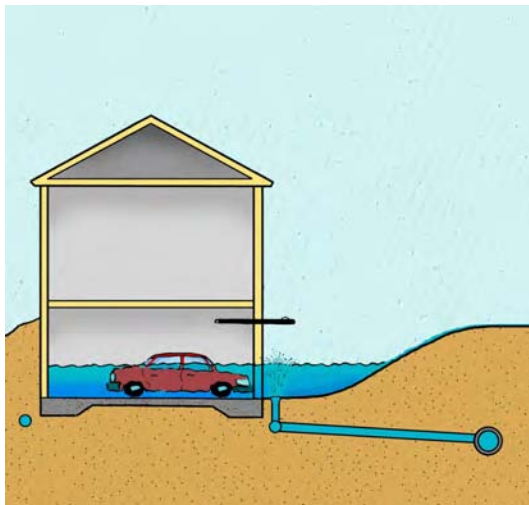
Denna lösning fungerar väl för källarlösa hus där höjdsättning av hus och gata gör att en överbelastad dagvattenledning ej kan drabba fastigheten. För lågt belägna dräneringssystem till fastigheter med källare finns en risk att dräneringssystemet kan belastas med bakåtströmmande dagvatten. Systemet förutsätter att vissa lågt belägna källarmurar skall tåla att stå under kortvarig dämning. I en gemensam skrivelse från Statens Planverk och VAV (numera Svenskt Vatten) från 1986 redogjordes för problematiken kring "Husgrundsdräneringars anslutning till allmän avloppsledning". Där varnade man för att i byggnadslov ge dispenser för detta anslutningssätt såvida man ej vidtog särskilda åtgärder till skydd mot skador vid uppdämning.



Duplikat system där dräneringen ansluter till dagvattenledningen.

Spygatt från garagenedfarter anslutna till dag- eller kombinerad ledning

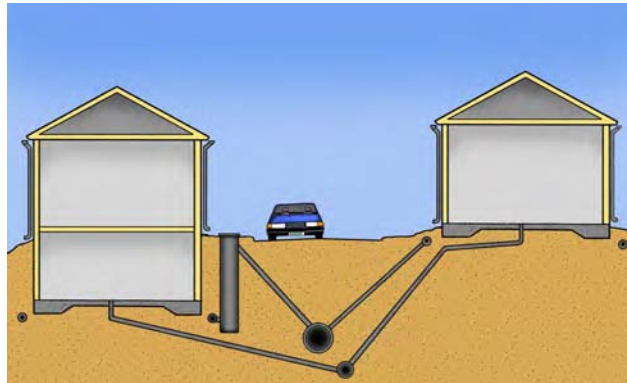
Denna utformning kan medföra problem vid mycket kraftig nederbörd. Översvämning av källare kan ske genom att stora flöden leds ned mot garageporten och det kan finnas risk att spygatten ej kan avbörda flödena. Situationen förvärras givetvis om den allmänna avloppsledningen är överbelastad vilket gör att avledning ej kan ske ut från fastigheten eller att bakåtströmning sker från den allmänna ledningen.



Garagenedfart med spygatt ansluten till dagvattenssystemet.

Duplikatsystem med pumpning från lågt belägna dränvattenledningar till dag

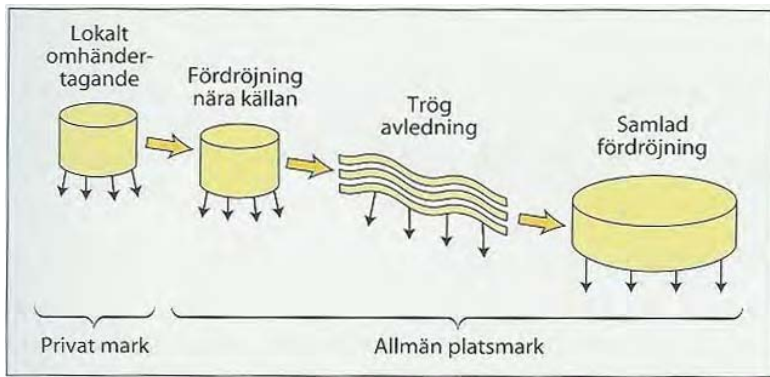
För att undvika skador vid uppdämning i dräneringssystemet i duplikata system där dräneringen skall anslutas till dagvattenssystemet kan pumpning av dräneringsvattnet behöva göras av höjdskäl, huset t.v. i figuren nedan. I de fall höjdsättningen så medger kan dräneringen, utan risk för bakåtströmning, anslutas till med självfall till dagvattenssystemet, huset t.h. i figuren nedan.



Duplikat system med dränering avsluten till dagvattenssystemet utan risk för bakåtströmning till dräneringen.

2.3 Långsiktigt hållbar dagvattenhantering

Det pågår sedan 10–20 år lite av ett ”systemskifte” vad gäller dagvattenhanteringen. Det blir allt vanligare att man i nybyggnadsområden och även i vissa befintliga områden försöker minska mängden dagvatten som behöver avledas i ledningssystem, se vidare ”En långsiktigt hållbar dagvattenhantering” (Svenskt Vatten 2004c).



Schematisk skiss över olika typer av långsiktigt hållbar dagvattenhantering.

Denna teknik bygger på erfarenheter som gjorts vad gäller lokala dagvattenlösningar under årens lopp. Syftet är att minimera de avledda dagvattenflödena, behålla grundvattenbalansen inom bebyggelse områdena och göra bebyggelseområdena mycket tåliga mot kraftig nederbörd.

En minskning av avledda dagvattenflöden minskar föroreningsbelastningarna på recipienten. En lokalt inriktade dagvattenhanteringen med stora inslag av öppna lösningar gör det möjligt att tillsammans med en genomtänkt höjdsättning av hela bebyggelseområdet minimera risken för översvämningar. Dessa lösningar medför också goda förutsättningar att möta en förändrad nederbörd till följd av klimatförändringar. De estetiska värdena för dessa bebyggelseområden upplevs också som mycket positivt.



Exempel på lokalt omhändertagande av dagvatten, LOD, på privat mark.

Denna typ av avloppssystem förutsätter att dag- och dräneringsfrågorna kommer in mycket tidigt i planeringsprocessen och att vattnets förutsättningar får bli styrande för bebyggelseplaneringen.

2.4 Förnyelseplanering, förnyelsetakt och klimatfrågan

Förnyelsen av VA-ledningsnäten är en av de viktigaste frågorna för VA-branschen. Med tanke på den enormt stora omfattningen, både till värde och längder, för de befintliga avloppssystemen är det lätt att inse att framgången i förnyelsearbetet bygger på att göra "rätt" åtgärder i "rätt" tid.

Förnyelsetakt

Ett mått att mäta förnyelsen av VA-ledningsnäten är att beskriva längden ledningar som förnyats under ett år och sätta detta i relation till den sammanlagda längden. Förnyelsetakten är för närvarande låg. Enligt VASS-undersökningen, Drift 2005, redovisas förnyelsetakten hos ett 40-tal kommuner. Förnyelsetakten av spillvattennätet varierade mellan 0 % och upp mot ca 1 % med ett medelvärde på ca 0,4 %. Förnyelsetakten för dagvattennätet var lägre. Även om statistiken för närvarande är bristfällig så bedöms att förnyelsetakten gradvis ökar. Det föreligger en stor brist på motsvarande statistik för de privata ledningsnäten.

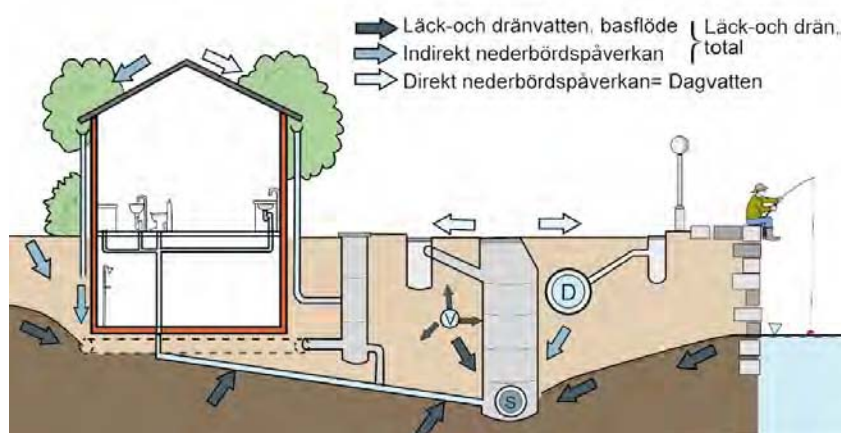
Frågan om när och hur en VA-ledning skall förnyas är en mycket viktig fråga för VA-branschen. Åldern är ett trubbigt mått för att bedöma förnyelsebehovet särskilt som medianåldern för avloppsnätet är ca 35 år. Vid utbyggnad av ledningsnät har man, lite schablonmässigt, angivit en teknisk livslängd på 50 år. En noggrant anlagd rörledning med rör av hög kvalitet bör kunna ha en teknisk livslängd på minst 100 år.

Aggressivt industriavlopp eller svavelväteproblem kan dock snabbt skada korrosionskänsliga rörmaterial. Det är dock vanligt att funktionsproblem kan initiera förnyelseinsatser i avloppsnäten, såsom rotinträngning, inläckage, översvämningar. Inte sällan är det "miljonprogrammets" ledningar från 1960-talet som kan bli föremål för åtgärder.

Tillskottsvatten

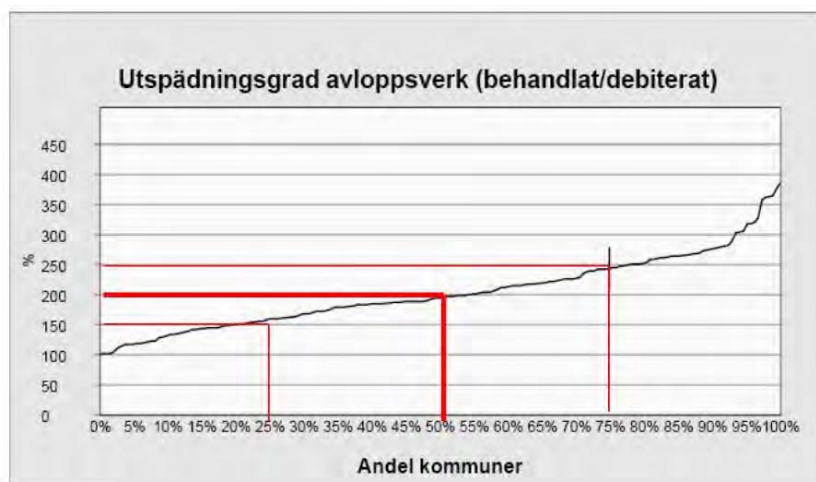
Spillvattensystem belastas även med s.k. "Tillskottsvatten", dvs. läck- eller dräneringsvatten. Dräneringsvattnen från fastigheter via dräneringsledningar anslutna till spillvattensystemet är en följd av vald systemfunktion. Detta har varit historiskt sett en vanlig lösning. Under senare decennier har systemvalet varit att dräneringsvatten normalt ej bör avledas till spillvattensystemet, se även Svenskt Vatten P90.

I figuren nedan visas också vilka fel och brister som orsakar tillskottsvatten till spillvattennätet. Det är ett omfattande detektivarbete för att ringa in, identifiera källor samt föreslå effektiva motåtgärder. Av figuren framgår också tydligt nödvändigheten av att ha en helhetssyn omfattande både privata ledningar och allmänna för att effektiva lösningar skall kunna genomföras.



Olika typer av källor till tillskottsvatten, (Bäckman m.fl. 1997).

Mängden tillskottsvatten kan på årsbasis beskrivas med nyckeltalet "Utspädningsgrad". I Svenskt Vatten VASS Drift 2005 redovisas genomsnittliga värden på utspädningsgraden för alla avloppsverk inom en kommun (baserat på uppgifter från 184 av 290 kommuner). Där framgår att den genomsnittliga utspädningsgraden ligger på 200 %, dvs. andelen tillskottsvatten är lika stor som andelen spillvatten.



Utspädningsgrad till avloppsreningsverk, (Svenskt Vatten VASS Drift 2005).

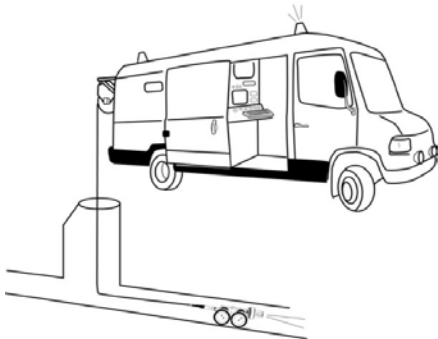
Utspädningsgraden kommer att öka i takt med ökade nederbördsmängder. Även höga vattenstånd i hav, vattendrag och sjöar kan ge stora öknings av volymen tillskottsvatten då samhällena skall dräneras under allt längre tidsperioder. Spillvattenförande ledningsnätet belägna under vattennivån i hav, vattendrag och sjöar är också av naturliga skäl utsatta. De korta intensiva sommarregnen ger ej så mycket volymtillskott på årsbasis men resulterar i flödesstopp som skall avledas genom avloppssystemen. När kapaciteten överskrids däms de nederbördsbelastade ledningarna och kan orsaka källaröversvämningar. Dessa flödestopp kan begränsas genom en avlastning av anslutna hårdgjord ytor och anläggning av utjämningsmagasin.

För att minska den stora volymen tillskottsvatten måste systemfunktionen för dag- och dräneringsvatten analyseras inom olika bebyggelseområden och kritiska områden identifieras. Otäta sektioner där vatten kan strömma in i den spillvattenförande ledningen behöver också åtgärdas.

Vattnet känner inga gränser utan både problem, orsaker och åtgärder måste identifieras på oavsett om de är belägna på privat eller allmänt avloppsnät. De åtgärder som syftar till att minska mängden tillskottsvatten till reningsverken och minska risken för översvämningar med dagens klimat är samma typ av åtgärder som kommer att krävas för att möta ett framtida klimat.

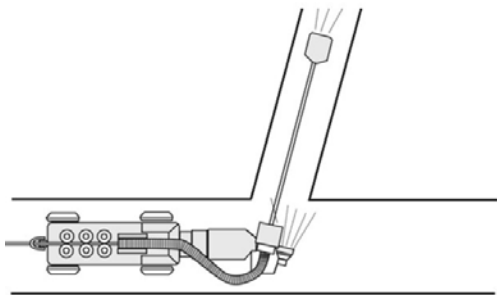
Konditionsundersökningar

Det viktigaste verktyget för konditionsbedömning av avloppsnät är TV-inspektion. Marknaden för TV-inspektion av avloppsledningar uppgår till närmare 100 milj kr per år.



TV-inspektion av huvudledning (Svenskt Vatten 2006)

Det är även möjligt att inspektera servisledningar med fjärrstyrd, s.k. satellit-kamera.



TV-inspektion av servisledning utförd från avloppsledning i gata. (Svenskt Vatten 2006)

Förnyelsen sker i allt högre utsträckning genom att utnyttja schaktfria metoder, sk NO-DIG-teknik. LCA-analyser på VA-ledningar visar på att den största miljöbelastningen hänförs till själva schaktningen och hanteringen av massor.

Det är också viktigt att avloppsnätet spolas och att rännstensbrunnar töms så att avloppsledningens kapacitet ej begränsas till följd av sediment.

3 Myndigheters ansvar och roller för systemen vid olika typer av skador

Kommunen har redan idag ett lagstadgat ansvar via PBL för att förebygga översvämningar.

Av erfarenhet från kommuner runt om i Sverige kan det ofta vara så att rollerna inom kommunen är otydliga inom vattenområdet. Därav handlar detta kapitel i huvudsak om dessa interna ansvar.

3.1 Ansvar och roller i planeringsskedet

Det största och viktigaste ansvaret har kommunens planhandläggare och politiker för att redan i planeringsskedet se till att bebyggelse inte tillåts i områden som kan komma att översvämmas. För detta ändamål är Plan- och bygglagen och kommunens översiktsplan det viktigaste instrumentet.

I planeringsprocessen finns många intressenter. För att peka på några och ge en bild av hur komplex planeringssituationen är kan nämnas Gatukontor, Parkkontor, Fastighetskontor, Miljö och hälsa, VA-verk, Räddningstjänst, Näringslivskontor, privata exploatörer, enskilda markägare, politiker och allmänheten.

För att undvika att planera bebyggelse i områden som riskerar att översvämmas behöver varje kommun gå igenom och se över alla vattendrag och kuststräckor samt bedöma till vilken nivå vattnet kan komma att stiga i dessa på kort respektive lång sikt. Den nya insikten om kommande klimatförändringar måste beaktas då planläggningen sker för bebyggelser som sannolikt kommer att stå i över 100 år. De områden som bedöms vara olämpliga för bebyggelse markeras tydligt i kommunens översiktsplan. Till hjälp för bedömningar av risknivåer på grund av klimatförändringarna kan SMHI:s beräkningar användas, se även kapitel 4.3.

Även andra områden som är olämpliga att bebygga ur va-synpunkt behöver kartläggas. Det kan röra sig om områden där vattnet inte naturligt kan avrinna från ett instängt exploateringsområde, eller områden där va-ledningarna kommer att stå dämnda på grund av de omgivande vattendragens högsta vattennivåer.

För att uppnå en god planering ska alla berörda förvaltningar delta så tidigt som möjligt i planprocessen. Exempel på kommuner där detta fungerar utmärkt är bl.a. Malmö och Göteborg där de va-ansvariga deltar i planläggning både på översiktsplanenivå och detaljplanenivå.

Nedan beskrivs processerna i Malmö och Göteborg för att ge exempel på hur planprocessen kan fungera för att nå ett gott resultat.

I Malmö träffas Stadsbyggnadskontoret, Gatukontoret, Fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, VA-verket och Brandkåren ca 1 gång per månad för att gå igenom alla till kommunen inkomna planärenden. Vid dessa träffar ger alla förvaltningar sina synpunkter på planärendena redan innan det finns ett beslut att påbörja planarbetet. På detta sätt undviks många obehagliga överraskningar.

I Göteborg hålls startmöten och löpande projektmöte med samtliga berörda förvaltningar kring varje detaljplan. En arbetsgrupp formas runt varje detaljplan. Planprogram remitteras ofta också formellt i ett tidigt skede och remitterade texter inom varje fackområde tas in i planbeskrivningen.

På samma sätt som i Göteborg bildas även i Malmö en förvaltningsövergripande grupp som arbetar gemensamt med detaljplanen. Det innebär att t ex att VA-verket skriver all text om va-system och dagvattenhantering. Idag arbetar man framförallt med öppen dagvattenhantering för att skapa översvämningståligen system och områden. För att kunna göra detta måste dagvattenhanteringen beaktas tidigt i planprocessen. Det handlar om höjdsättning av mark, gator och tomter, men även om att skapa vattenvägar där vattnet kan rinna vid kraftiga regn utan att orsaka skador på omgivande bebyggelse. I områden som planerats på detta vis har stora möjligheter att klara framtida klimatförändringar med ökade regnintensiteter och ökad avrinning.

Även sedan planen fastställts och vunnit laga kraft är det viktigt att ha en kontinuitet i planeringen. Det är en fördel om va-förvaltningen/-bolaget/-avdelningen kan remittera samtliga bygglov som har en allmän va-anslutning så att föreskrifter kan skrivas och en långsiktigt hållbar va-lösning kan utformas även på detaljnivå. På

detta sätt kvalitetssäkras intentionerna i detaljplanen. I Göteborg finns ett arbetssätt där ingenjörer på va-förvaltningen genomför granskning av bygglov i de planer de granskat.

3.2 Ansvar och roller när en översvämning inträffar

När det ändå inträffar en översvämning är det många som är inblandade och som har ansvar för olika delar i händelseförloppet. Ofta tar Räddningsverket hand om den akuta insatsen medan kommunen sedan ansvarar för utredning och hantering av skadekrav.

Inom kommunen är ansvarsfördelningen idag otydlig på många håll. Varje kommun bör reda ut och bestämma vem som ansvarar för vad vid olika typer av översvämningar.

Det är viktigt att skilja på marköversvämningar och översvämningar orsakade genom dämning i avloppsledningsnätet, då skador av olika orsak belastar olika kollektiv (va-kollektivet eller skattekollektivet).

Först och främst gäller att översvämningen ska ha uppstått i va-förhållandet för att va-huvudmannen ska vara skadeståndsskyldig, dvs. uppträngning via spillvattenavlopp. Således är det sällan va-huvudmannen (va-verket, va-avdelningen) som ansvarar för att förebygga, utreda och hantera översvämningar som beror på ytledes avrinning. Vid inträngning av ytvatten från gator och annan omgivande mark (allmänna ytor) är det väghållaren eller den ansvariga för de allmänna ytorna som bär ansvaret för översvämningarna, dvs. oftast kommunens gatu-och/eller parkkontor.

I och med den nya vattentjänstlagen finns det dock ett undantag då va-huvudmannen blir skadeståndsskyldig i ett va-förhållande trots översvämning sker till följd av ytledes avrinnande vatten.

Möjligheten finns numera att den allmänna va-anläggningen etableras med öppen dagvattenhantering i ett bebyggelseområde. Fastighetsägare i ett sådant område blir då avgiftsskyldiga för dagvatten från fastigheten utan förbindelsepunkt. Om översvämning sker via en sådan anläggning kan va-huvudmannen bli skadeståndsskyldig.

Om det rinner vatten från en fastighet till en annan är det byggnadsnämnden som ansvarar då bygglov och planfrågor åligger dem att hantera. Eventuellt kan även grannelagsrättsliga regler i Jordabalken tillämpas. Denna situation ska aldrig uppkomma om

planeringen varit bra och genomtänkt från början. Även kontrollen vid bygglov måste vara god.

När vatten tränger in i en fastighet via dess spillvattenförande ledning är det va-huvudmannen (va-verket, va-avdelningen) som bär ansvaret för att utreda skadan. Det är dock inte i alla fall som va-huvudmannen är ansvarig för skadan. Om ledningarna i gatan uppfyller den dimensionerande normen enligt Svenskt Vattens publikation P90 respektive den tidigare P28 är va-verksamheten inte skadeståndsskyldig i enlighet med Lagen om allmänna vattentjänster och de domar som förkunnats av va-nämnden.

Det är ytterst viktigt att ansvarsförhållandena inom kommunen är väl kända av alla inblandade vid översvämningstillfällen. För invånarna i en kommun är alla förvaltningar och enheter samma sak som "kommunen", så ett välutvecklat och väldefinierat samarbete mellan förvaltningar och enheter med en tydlig kontaktperson ut mot den drabbade medborgaren är av yttersta vikt för att kunna ge medborgarna en god service.

4 Klimatförändringens inverkan på avloppssystem

4.1 Klimatfaktorer som påverkar

I detta kapitel diskuteras konsekvenser av två klimatfaktorer:

Ändrad nederbörd

- intensivare kortvariga regn
- risk för ändrad utbredning och karaktär på regnen ex mycket långa regn

vilket kan resulterar i:

- ökad risk för översvämningar och bräddningar vid korta intensiva regn
- ökade regnmängder att avleda
- långvariga regn på årstider med låg avdunstning, vattenmättad mark ger mycket stora vattenvolymer som skall hanteras

Högre vattenstånd i recipienter

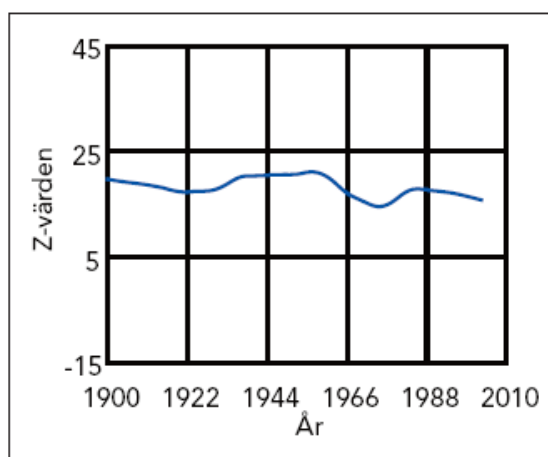
Vilket kan resultera i:

- ökad risk för översvämningar av bebyggelse
- sämre avledning av dagvatten om recipienten dämmer längre in i dagvatten systemen
- Risk för återströmning i brädd- och nödavlöpp

4.2 Ändrad nederbörd

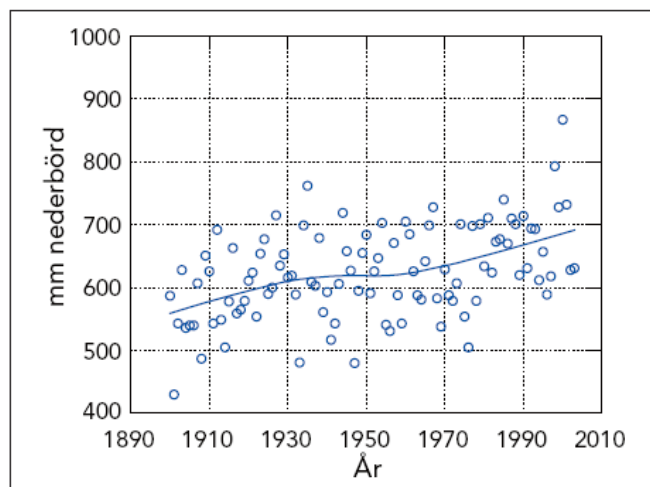
Nederbördens förändring under de kommande 100 åren är starkt kopplad till klimatförändringarna. De prognoser som görs på grund av de förväntade klimatförändringarna pekar alla mot större nederbördsmängder de kommande 100 åren (SMHI, Rossby Centre).

Två VA-Forsk rapporter under 2006, (Hernebring 2006:4 och Dahlström 2006:26) har behandlat korttidsnederbörd under perioden 1980 till 2005 och jämfört med tidigare perioder. Perioden 1980–2005 visar ingen ökning jämfört med tidigare perioder. Z-värdet är en regional parameter som används för att välja ett för varje ort rimligt dimensionerande regn och Dahlström konstaterar att Z-värdet minskade något under slutet av 1900-talet. Han förklarar detta med att regnmängderna omfördelats under sommaren, vilket påverkar Z-värdet.



Figur 11-3. Utjämnad kurva över hur Z varierat totalt för Sverige under 1900-talet.

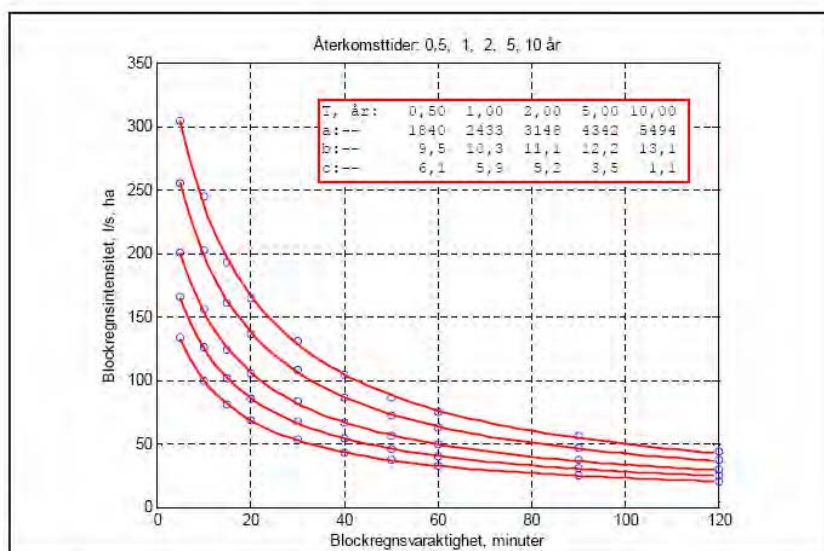
Dahlström visar emellertid att årsvolymer sett som ett medeltal för Sverige ökat under de senaste 100 åren.



Figur 5-1. Årsnederbördens förändring över hela Sverige under de senaste 100 åren.

Det råder stor samstämmighet bland forskare att nederbörds-mängderna kommer att både öka och minska beroende på var man befinner sig och vilken tid på året man avser. För Sveriges del säger Rossby Center vid SMHI att nederbörden under sommarmånader-na (juni, juli och augusti) kommer att minska i större delen av landet. Under vintermånaderna kommer däremot nederbörden och temperaturen att öka.

De prognoser, se bilagorna, som görs av klimatforskarna ger emellertid inte underlag för att bedöma korttidsnederbörd för urbana områden. Den areella upplösningen är 50 km gånger 50 km, vilket ger en arealnederbörd jämnt fördelad över 2500 km². Tids-upplösningen är som bäst 1 timme, men har för specialstudier halverats till 30 minuters upplösning. Konsekvenserna för bedöm-ningen av framtida korttidsnederbörd är uppenbara. De regn som ligger till grund för intensitets-varaktighetskurvorna, som används för att ta fram dimensionerande regn, har inte en utbredning motsvarande 2500 km², utan snarare 1 km². Tidsupplösningen för dimensionerande regn behöver dessutom vara från 10 minuter till 2 timmar, som exemplet från Halmstad nedan visar (Hernebring 2006:4).



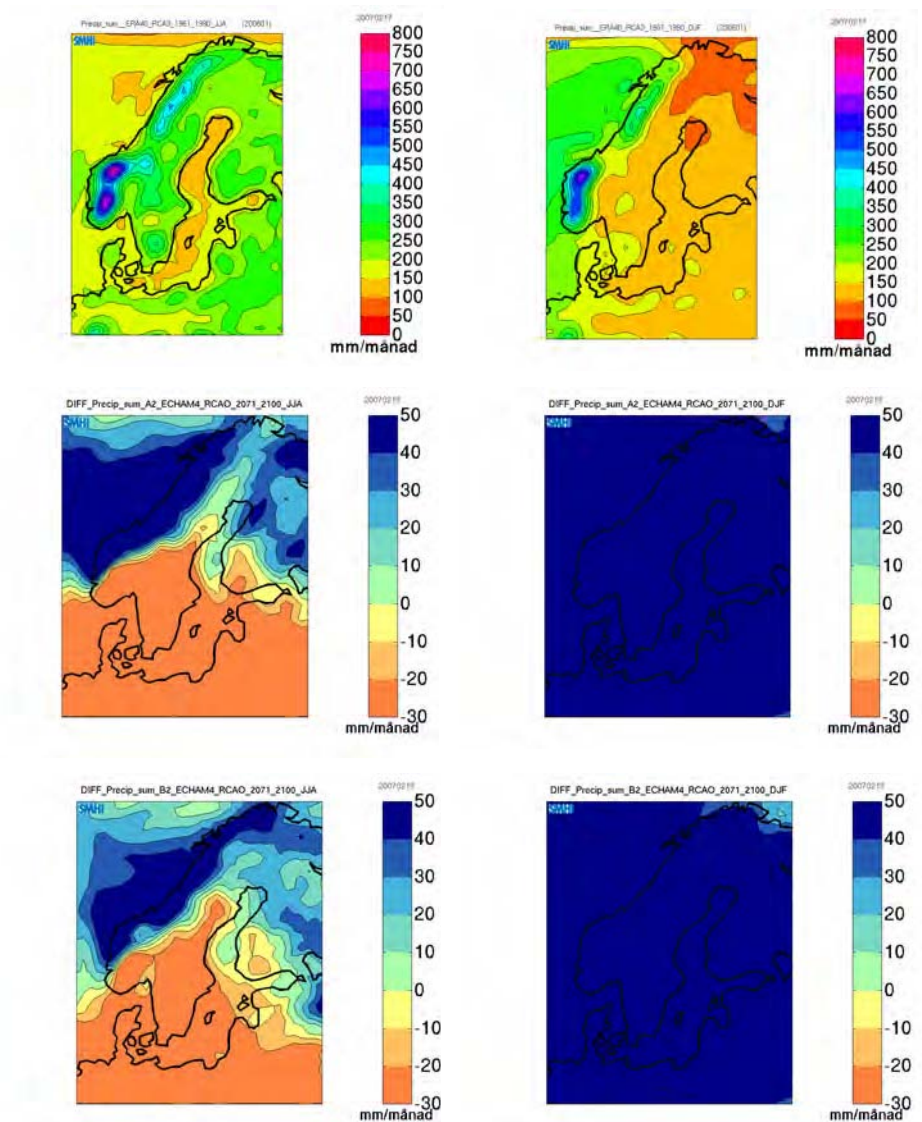
Figur 5-18 Intensitets-varaktighetskurvor för regndata från Halmstad 1992-2004. Återkomsttid 0,5 till 10 år. Regnvaraktighet 5 min – 2 timmar. Kurvor av typen $i = a/(T_e+b) + c$. Datapunkter (från Tabell A-4) är markerade med cirklar.

I ett FORMAS-projekt (Personlig kommunikation med Mats Olofsson och Karolina Berggren, LTU) med deltagande från LTU och SMHI har prognoserna för 2070–2100 från Rossby Center använts för att belysa effekter på bl.a. översvämning i dagvattennät i Kalmar. Används arealnederbörden för att beräkna översvämningens frekvens i detta nät blir översvämningens frekvens lägre än idag även för perioden 2070–2100. Det enda sätt vi idag kan prognostisera översvämningar i dagvattennäten är att använda dagens nederbördsmonster och ta hänsyn till den nederbördsökning som arealnederbördsprognoserna ger. Med den senare metoden visar simuleringar för ett befintligt nät att både frekvens och utbredning av översvämningar kommer att öka.

Konsekvenserna av att förändringarna kommer att ske mycket långsamt ger möjlighet till anpassning av dagens va-system. En långsam förändring mot högre intensiteter, vilket i och för sig skulle innebära ökad frekvens av översvämning, innebär att avloppssystemen kommer att anpassas i motsvarande grad genom de kontinuerliga förbättringsåtgärder som ju alltid sker. Avloppssystemen anpassas successivt till bebyggelsen och de förändringar som sker i denna. De effekter ökad exploateringsgrad och andra förändringar kan innebära för risken för översvämning är sannolikt

oftast större än de långsiktiga climateffekterna. Även om en ökning av nederbördsintensiteterna sker kommer denna ökning endast att drabba delar av existerande avloppssystem. T ex kommer de områden som idag är kritiska att fortsatt vara kritiska och utbredningen av översvämningarna något större. Möjligen kommer nya kritiska områden att uppträda. Detta innebär att åtgärder aldrig kommer att krävas för hela va-systemet utan bara de kritiska delarna.

Rosby Center liksom Dahlström konstaterar att årsnederbördsvolymen ökar (Dahlström anger 7 % ökning under de senaste 15 åren). Samtidigt anges att sommarnederbörden minskar, vilket innebär att nederbörden under resten av året ökar. Det sker således en omfördelning av nederbörden under året jämfört med dagens situation. Omfördelningen av regn till höst-, vinter- och vårperiod med låg evapotranspiration kommer att innebära ökad avrinning och därigenom ökad tillförsel av tillskottsvatten till avloppssystemen. Störst konsekvens kommer detta att få för avloppsreningsverken, som kommer att behöva ta hand om förhöjda flödesvolymen under lång tid. Alla volymer som behöver tas i anspråk i avloppssystemet, som t.ex. utjämningsmagasin, dagvattendammar, pumpstationer, kulvertsystem, tunnlar och avloppsreningsverk kommer att påverkas.



Nederbördens mängd och fördelning under sommarmånaderna juni, juli och augusti till vänster och december, januari och februari till höger. Observera att klimatscenarierna visar differens i förhållande till perioden 1961–1990. Klimatscenarierna som använts är: RCAO-E. Överst perioden 1961–1990, mitten perioden 2071–2100 med emissioner enligt A2 i förhållande till perioden 1961–1990 och nederst perioden 2071–2100 med emissioner enligt B2 i förhållande till perioden 1961–1990. Källa: Rossby Center, SMHI.

4.3 Högre vattenstånd i vattendrag, sjöar och hav

En stads utveckling och välmående har genom historien ofta haft en nära koppling till närheten till havet, en sjö eller något annat större vattendrag.

Förändringar i dessa vatten ger ofta stora konsekvenser på stadens olika tekniska system. Förr i tiden hade ansvariga politiker och planerare ingen tanke på klimatförändringar och därför togs dessa faktorer inte med i beräkningen när en stad växte. Det var andra faktorer som var viktigare för gårdagens planerare.

Idag vet vi att klimatförändringarna är en viktig, om inte den viktigaste, faktorn vid den fortsatta planeringen av våra städer. Gamla områden kommer eventuellt att hamna under vatten och nya områden ska självklart planeras så att inte detta öde drabbar även ny bebyggelse. Det är också så att de områden som är kvar att exploatera är de svåra lågt belägna områden inte sällan nära kust eller vattendrag.

Bedömning av gräns för lägsta nivå för bebyggelse

För att kunna göra en bedömning av vilka områden inom kommunen som är känsliga för översvämningar krävs ett metodiskt arbetssätt och bra underlag. Det är inte bara marköversvämningar som måste vägas in utan även påverkan på stadens va-system måste kartläggas och riskbedömas. Ca 75–80 % av antalet anmälda översvämningsskador till försäkringsbolagen är översvämningar som uppstått genom bakåtströmmande vatten via spillvattenavloppet.

För att kunna bedöma vilka områden som riskerar att översvämmas måste det finnas höjdkurvor över kommunen. När väl dessa finns framme kan arbetet starta med att identifiera områden som påverkas av framtida höjningar av vattennivån.

Kommunen kan välja att själv beställa en utredning som mer specifikt tittar på nivåerna i vattendragen för den egna kommunen, men för en första bedömning kan denna utrednings framtagna havsvattennivåer användas för en grov bedömning.

De flesta kommuner har redan idag statistik på högsta uppmätta vattennivåer till dags dato och om dessa inte stämmer överens med de nivåer som SMHI räknat fram till "Klimat- och sårbarhetsutredningen" ska de egna värdena användas som utgångsnivå för de framtida scenariona. (SMHI:s beräkningar redovisas i bilagor)

Det kan vara svårt att utifrån scenarierna bestämma en lägsta höjd på färdigt golv då de olika scenarierna uppvisar olika nivåer och lokala faktorer skall tas hänsyn till. Dock rekommenderas att försiktighetsprincipen tillämpas. Områden kan planeras så att de klarar scenarierna utan översvämning, görs översvämningståliga eller så att tekniska åtgärder planeras för avledning av dagvatten och skydd från högvatten. Tekniska åtgärder bör i första hand övervägas där befintlig värdefull bebyggelse finns.

Exempel från Malmö

Som exempel visas här vad som händer när det höga scenariot (se kapitel 4.3 i rapport Strandnära bebyggelse) används och appliceras på Malmö.

Enligt SMHI:s beräkningar är Östersjön 100-årsvattenstånd idag (vinter) 88 cm vid Klagshamn i södra Malmö. Den uppmätta högsta nivån är i verkligheten 156 cm.

Genom att använda de av SMHI framräknade skillnaderna mellan dagens beräknade nivå och de framtida beräknade nivåerna i de olika scenariona kan man ändå få ett hyfsat mått på den egna maximala nivån. Högsta möjliga nivå för havsytan vid höga scenariot (Östersjön 100-årsvattenstånd (vinter) motsvarande en global höjning på 88 cm ("high case") 2071–2100 relativt medelvattenstånd 1903–1998 (stormflod); landhöjning och vind inräknat (Rossby Centre)) är 177 cm vid Klagshamn.

Det uppmätta värdet ska således ökas med $177 - 88 = 89$ cm.

För Malmö (Klagshamn) blir det $156 + 89 = 245$ cm.

I det vidare arbetet ska nu kuststräckan inventeras m a p den förmodade högsta framtida vattennivån. Genom att mäta in höjderna på samtliga befintliga gator kan en karta med översvämningsrisker presenteras, se nedan.

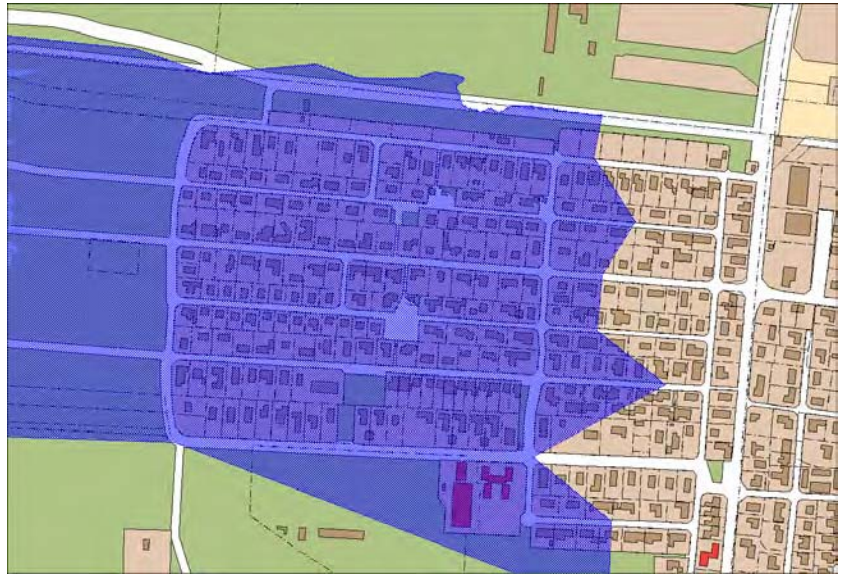
Först studeras vad som händer när havsnivån stiger till dagens högst kända nivå.



Idag – så här ser det ut om havet stiger till +156 cm.

Som vi ser i detta exempel klarar man dagens nivåer utan åtgärder när det gäller marköversvämningar.

Om man nu studerar effekterna av värsta scenariot enligt SMHI:s beräkningar i denna utredning blir vattnets utbredning enligt nedan.

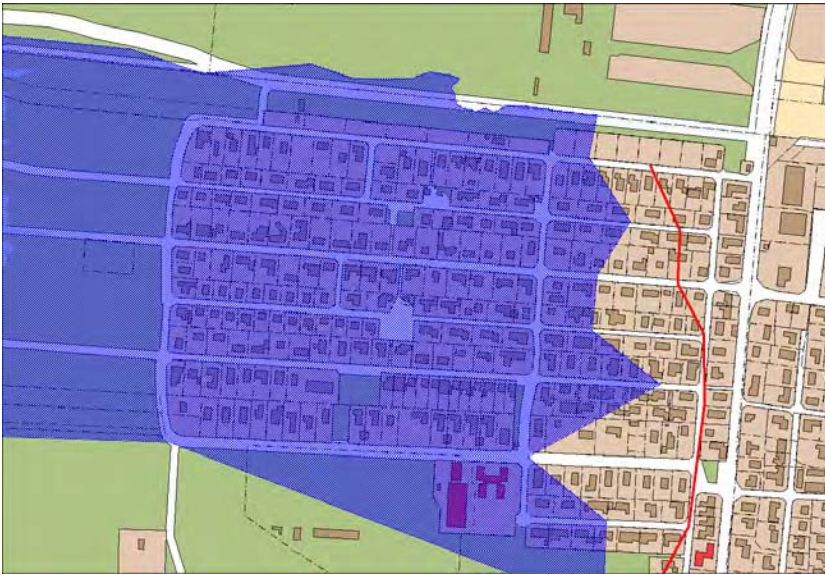


År 2100 – havets utbredning vid värsta scenariot enligt tidigare redovisad beräkning, dvs +245 cm.

Utifrån denna undersökning kan insatser planeras och en lägsta nivå för tillåten bebyggelse räknas fram. Som bilderna visar måste åtgärder sättas in i detta område som planerades och byggdes på 1950-talet.

För Malmö är idag den lägsta nivån för exploateringar satt till +2,5 m.

För att kraftigt minska risken för att framtida bebyggelse ska skadas av stigande havsnivåer i Malmö bör den lägsta nivån för framtida bebyggelse sättas till +3,0 m över dagens medelvattenstånd i havet.

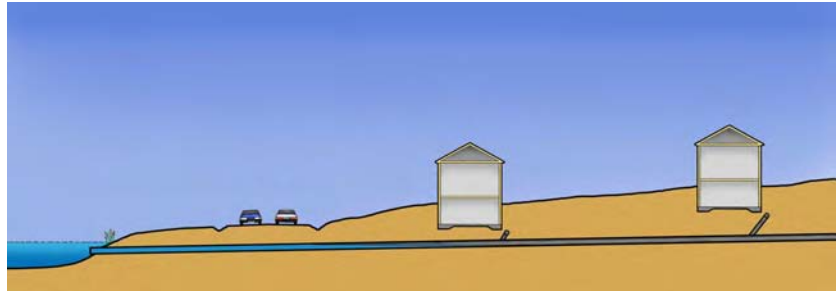


Gräns för exploatering – den röda linjen visar var gränsen för framtida bebyggelse går, det vill säga nivån +3,0 m.

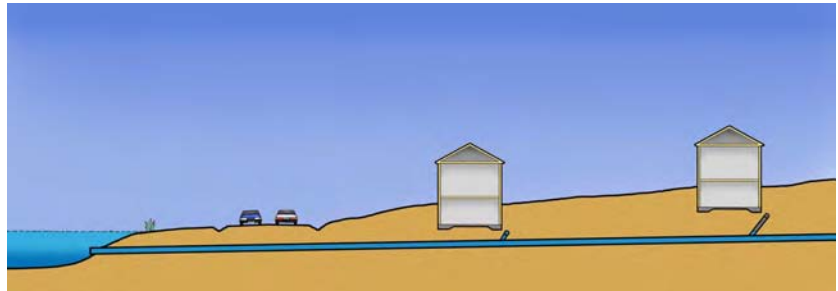
Vid ett par områden ut mot kusten har exploatören valt att höja marken till de i detaljplanen angivna +2,5 m för att få lov att bygga hus. Oftast görs bedömningen att det inte är ekonomiskt lönsamt att modellera marken på detta sätt, men i några fall har det då troligtvis varit lönsamt trots att många m³ massor behövt fraktas till platsen.

När de områden som riskerar att drabbas av marköversvämningar identifierats är det dags att studera hur höjda vattennivåer påverkar de befintliga va-systemen. För att kunna göra detta noga krävs en inventering av lägsta källargolvsnivåer och andra utrymmen som kan komma att översvämmas vid dämningar i ledningssystemet.

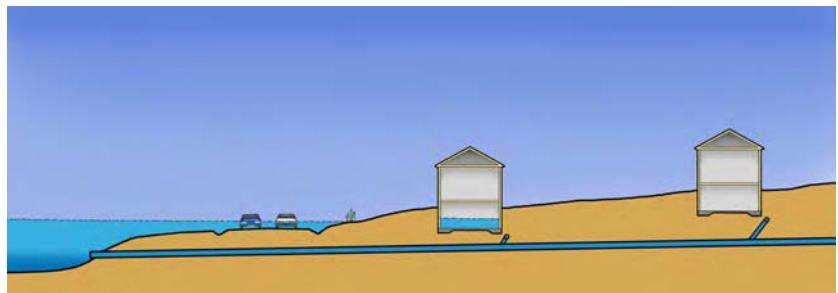
Nedan visas principiellt vad som händer vid ökande havsnivåer.



Idag – vid höga havsnivåer stiger vattnet en bit in i ledningarna.



Imorgon – nivåerna stiger ännu mer och vissa servisledningar blir dämde.



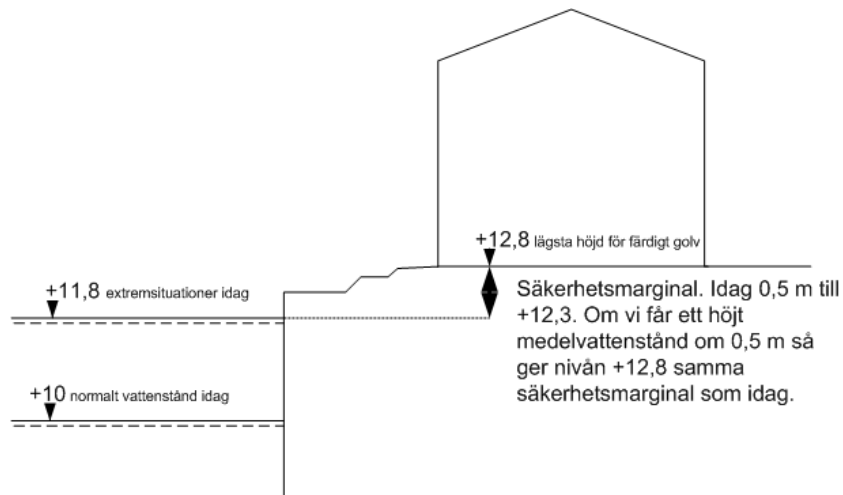
År 2100 – värsta scenariot medför att vattennivån stiger så mycket i hela systemet att källare kommer att översvämmas.

Exempel från Göteborg

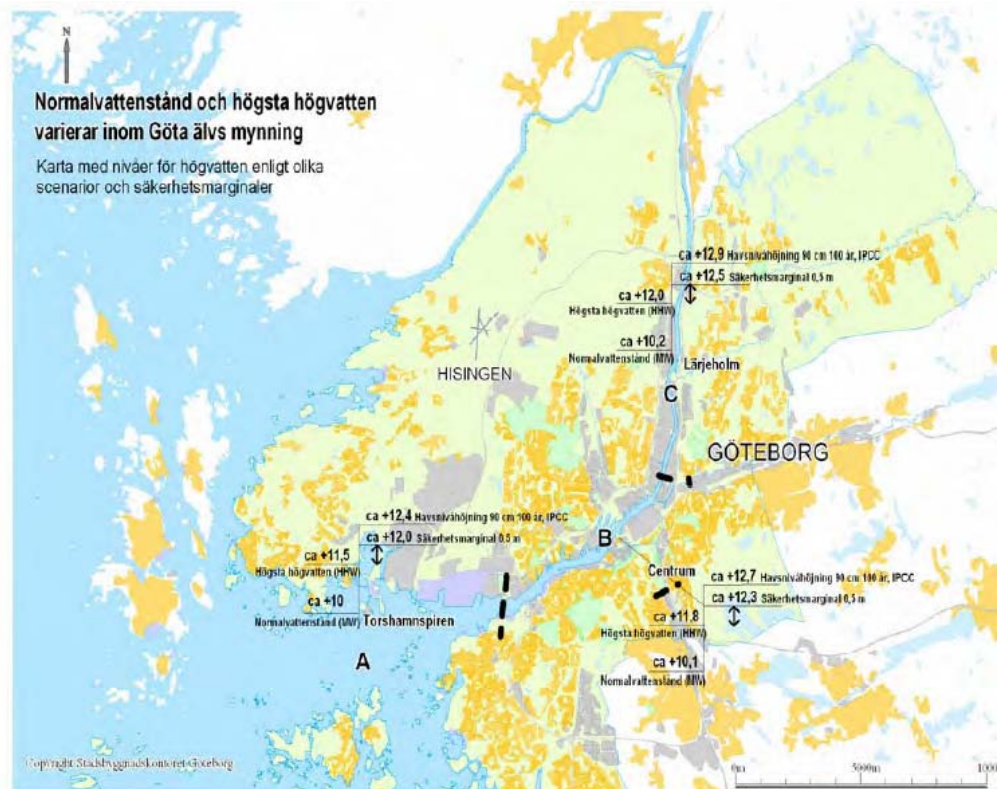
Göteborgs Stad arbetade år 2003 fram en fördjupad översiktsplan inom sektor vatten. Med de scenarier som fanns tillgängliga för tillfället togs en ny dimensionerande nivå för lägsta höjd på färdigt

golv fram för nya byggnader som låg 0,5 meter över den dåvarande gällande nivån. Då scenarierna sa att vattenytan skulle stiga mellan 0,1 till 0,9 meter över nuvarande medelvattenyta gjordes ett pragmatiskt antagande om en ökning av nivån med 0,5 meter. Ett antagande om att tekniska åtgärder också kommer att få genomföras för befintlig lågt liggande bebyggelse gjordes också. Redan idag finns lågt liggande områden bakom "vallar" i Göteborg.

Under år 2005–2006 genomfördes en utredning kring hur robust Göteborg är mot extremt väder. I samband med rapporten togs en ny karta kring tillämpning av lägsta höjd för färdigt golv upp längs Göta älv fram. Ju längre upp längs älven ju högre nivå.



Lägsta höjd på färdigt golv i Göteborg.



Förenklad karta som användes under framtagandet av rapporten extremt väder i Göteborgs Stad.

5 Kostnader

5.1 Omfattning och kostnader för olika typer av översvämningar

Källaröversvämningar

Uppskattningen av framtida kostnadsökningar till följd av risk för mer kraftig korttidsnederbörd är ej möjlig att göra då scenarierna ej omfattar nederbördstatistik med den upplösning i tid och rum som är bestämmande för avrinning på hårdgjorda ytor i samhällena, se vidare kap 4.2. Framtida kostnaderna får därför göras tills vidare

mycket grovt utgående från en uppskattning av kostnaderna för översvämningar enligt dagens situation.

I Svenskt Vattens VASS-system redovisas totalt antal källaröversvämningar sedan statistikåret 2003. I dessa siffror ingår även översvämningar som beror på stopp i avloppsnät vilka ej behöver vara relaterade till kraftiga nederbördstillfällen. Således är nedanstående något överskattade vid bedömningar av översvämningar enbart till följd av kraftig nederbörd.

Tabell Inrapporterade källaröversvämningar (Svenskt Vatten VASS)

Årtal	Antal kom-muner som lämnat svar	Motsvarar % av Sveriges befolkning	Totalt antal källar-översvämningar	Totalt antal källar-översvämningar extrapolerat till hela Sverige
2005	138	70 %	1 130	1 600
2004	108	62 %	1 058	1 700
2003	97	59 %	1 651 *)	1 803+605= 2 400 **)

*) 2003 inkl Kalmar 605 st.

**) Kalmars siffror ej med i extrapoleringen för 2003 utan har lagts till separat.

Det är intressant att notera att en enskild extrem väderhändelse, Kalmar, svarade för ca 1/4 av alla källaröversvämningar i Sverige under 2003. Dagvattenförande avloppssystem är dimensionerade för regn med viss återkomsttid. Lokala extrema regn, långt över de dimensionerande regnen gör tydliga genomslag i statistiken, exempelvis Kalmar 2003.

Det råder stor variation i uppskattningar för skadekostnaderna per fastighet. Variationerna torde bero på användningen av källare i olika områden, från den äldre typen med enklare förråd, av typ ”potatis-källare” till exklusivt inredda källare med parkettgolv, bastu m.m.

En sammanställning av samtliga översvämningskostnader i Göteborg under senare år visade på en genomsnittlig skadekostnad på ca 50 000 kr/fastighet. En motsvarande sammanställning från Malmö från villor i enbart kombinerade områden visade på skadekostnader på mellan 5 000–15 000 kr per fastighet.

I nedanstående tabell visas en grov kostnadsuppskattning för samtliga källaröversvämningar i Sverige baserat på en angiven specifik kostnad per källaröversvämning på 15 000 resp. 50 000 per fastighet.

Tabell Uppskattning av årliga kostnader för källaröversvämningar

Årtal	Uppskattat totalt antal över-svämningar	Total kostnad baserad på 15 kkr/fastighet	Total kostnad baserad på 50 kkr/fastighet
2005	1 600	24 milj	80 milj
2004	1 700	26 milj	85 milj
2003	2 400	36 milj	120 milj

Stora naturskador

I nedanstående tabell visas skadekostnaderna vid ett antal stora naturskador sammanställt av Försäkringsförbundet.

Tabell Stora naturskador inom försäkringsbranschen 1997–2005

Stora naturskador inom försäkringsbranschen 1997–2007								
Händelse	Tidpunkt	Antal skador			Skadekostnad (MSEK)			Kommentarer
		Privatpersoner/ boende	Företag	Totalt antal	Privatpersoner boende	Företag	Total kostnad	
Jordskred Vagnhärad	1997	34	0	34	50	0	50	
Storm Anatol	1999	15 620	6 745	22 365	202	768	970	
Översvämning Vänern	2000	951	84	1 035	38	19	57	
Översvämning Mellannorrland	2000	1 908	192	2 100	73	18	91	
Översvämning Orust	2002	4 663	190	4 853	106	17	123	Skyfall
Översvämning Kalmar	2003	977	117	1 094	42	21	63	Skyfall
Översvämning Småland, Norra Skåne	2004	626	147	773	21	20	41	
Storm Gudrun	2005	56 917	33 303	90 220	604	3 361	3 965	
Översvämning Västsverige	Dec 2006	833	248	1 081	19	79	98	Långvarigt regn
Storm Per	2007	7 537	9 623	16 334	78	473	551	

Statistiken bygger på beräkningar och uppskattningar från de fyra största sakförsäkringsbolagen (Folksam, If, Länsförsäkringar och Trygg Hansa) vilka tillsammans har en marknadsandel på 67,8 % av företag och fastighetsmarknaden och 80,6 % av hem- och villahemsmarknaden avseende försäkringar år 2005.

I sammanställningen framgår att enskilda extrema skyfall, ex. Kalmar och Orust, kan vålla minst lika stora skador som översvämningar via höga vattenstånd i vattendrag, sjöar m.m. vid mycket långa och volymrika regnperioder, Ex Vänern och Mellan-norrland.

De extrema skyfallen har historiskt haft ett slumpmässigt uppträdande över landet.

Stormskadorna, exempel Gudrun och Anatol, orsakade de i särklass största kostnaderna jämfört med de övriga redovisade naturskadorna.

5.2 Försäkring av översvämningsskador

I det försäkringsskydd som idag erbjuds på den svenska marknaden för villa, fritidshus, hyres- och bostadsrättsfastigheter, kontorsbyggnader, lantbruk m.m. ingår försäkring för naturskador och översvämningar. Vad gäller industri och kommunalverksamhet så finns möjlighet att upphandla försäkringar för naturskador och översvämningar separat.

Vid kostnadsjämförelser kan det vara intressant att betrakta omfattningen på kostnaderna för vattenskador i hus till följd av läckande kranar, dricksvattenledningar, felaktiga installationer mm. Dessa skadetyper står för de flesta vattenskadorna och även den största kostnaden. Under år 2004 betalade den svenska försäkringsbranschen ut närmare 2 miljarder kronor i 71 000 inträffade vattenskador. I detta sammanhang bör nämnas att självrisken för vattenskador normalt varierar mellan 3 000–10 000 kr. Den totala kostnaden för dessa vattenskador uppskattas till ca 5 miljarder kr per år, "Säker vatteninstallation" 2006.

Stormar utgör den till antal och kostnader största naturskadeorsaken med försäkringsutbetalningar på miljardbelopp. Även stora naturskador i form av översvämningar orsakar ett stort antal skadeanmälningar och försäkringsutbetalningar i storleksordningen 50–130 miljoner kr per naturskada. De årliga totala skadekostnaderna för källaröversvämningar, stora naturskador ej inräknade, har grovt uppskattas till storleksordningen ca 80 miljoner kr per år.

Försäkringsbranschen upplever i dag inget problem med de översvämningar som inträffar till följd av naturhändelser. Försäkringsskyddet kommer sannolikt bestå. Det som möjligtvis är

oroande med en ökad risk för översvämningar är att översvämningar inträffar med en sådan frekvens att det inte längre kan betraktas som en plötslig och oförutsedd skada. Finns kunskapen om att ett visst område kommer att översvämmas flera gånger under t.ex. en femårsperiod förändras förutsättningarna. Först kommer premien väsentligen att stiga. Om skadorna blir alltför frekventa blir det endast ett utbyte av pengar för återställande av skadorna. Försäkringsbolagen kommer då sannolikt inte längre att meddela försäkringar för sådana områden. Försäkringsnöd kan därmed uppstå för fastighetsägarna.

Mot denna bakgrund är det viktigt att inventering av riskutsatta områden genomförs och effekterna av eventuella förändringar förebyggs. Nybebyggelse bör undvikas i riskutsatta områden. Med facit i hand av upprepade översvämningar i samma område kan kriteriet "plötslig och oförutsedd skada" inte längre få anses vara aktuellt.

5.3 Kostnader för "normal" förnyelse och klimatanpassning av avloppssystem

Viktiga faktorer som påverkar kostnaderna för klimatanpassningen av avloppssystemen är:

- Hur snabbt klimatförändringarna sker och hur omfattande klimatförändringarna blir
- Hur stor andel av bebyggelsen som har översvämningrisk till följd av nederbörd redan vid dagens situation och hur mycket denna andel kommer att öka vid klimatförändringarna
- Statusen på de befintliga avloppsledningsnäten och bedömt "normalt" förnyelsebehov på kort och lång sikt

Det är svårt att uppskatta kostnaderna för klimatförändringen. Trots detta görs nedan, med vissa enkla antaganden, ett försök att uppskatta storleksordningen på kostnaderna för den s.k. "normala" förnyelsen som VA-branschen står inför samt att bedöma storleken på de extra investeringar som kan behöva göras till följd av klimatförändringarna.

Med "normal" förnyelse avses insatser till följd av åldrande avloppsnät och ökade krav på avloppsnäten. Som exempel på dessa åtgärder kan nämnas insatser mot problem med rötter, inläckning,

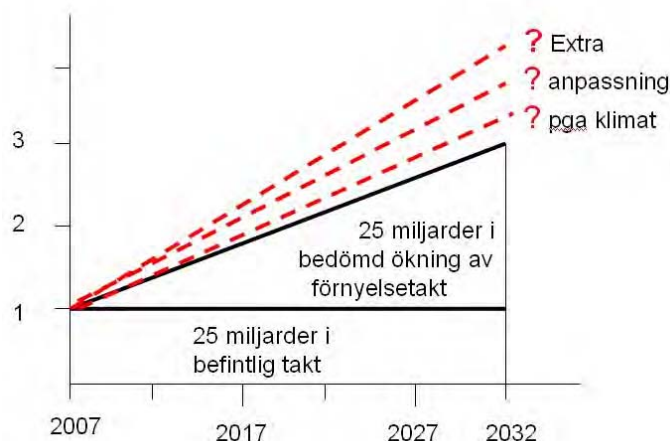
krossade rör, sediment etc. samt minska risken för källaröversvämningar i utsatta områden. Förutsättningarna varierar stort mellan olika kommuner varför bättre kostnadsuppskattningar kan göras av respektive VA-organisation när mer detaljerade förnyelseplaner har utarbetats lokalt.

Kostnadsuppskattningen för problem orsakade av höjd nivå i hav, vattendrag eller sjöar behandlas ej i denna rapport då dessa kostnader måste ses i ett större sammanhang för hela den drabbade bebyggelsen. Kostnader kommer där att uppstå för att bygga översvämningståligt, invallning, pumpning eller evakuering av bebyggelseområden. Vilken skyddsmetod som skall tillämpas bestäms lokalt.

Uppgradering av det allmänna avloppsnätet för att hantera kraftigare nederbörd

VA-branschen står i början av en gradvis ökande förnyelse av va-ledningsnäten. Baserat på statistik från Svenskt Vattens undersökning DRIFT 2005 från kommuner representerande drygt 30 % av Sveriges befolkning kan omfattningen på dagens förnyelseinsatser i avloppsnätet uppskattas till ca 1 miljard kr per år för hela landet. Som jämförelse kan nämnas att omsättningen inom den allmänna VA-försörjningen är ca 12 miljarder kr per år.

Motsvarande förnyelsetakt för avloppsnätet kan i genomsnitt uppskattas till ca 0,4 % per år. Detta motsvarar en omsättningstid för avloppsnätet på ca 250 år. Även om åldern är ett mycket trubbigt grepp på förnyelsebehovet så är det uppenbart att omfattningen på förnyelsen gradvis kommer att fortsätta att öka. Förnyelseinsatserna under den kommande 25-årsperioden bedöms gradvis öka från 1 till 3 miljarder årligen i fast penningvärde. Därmed skulle förnyelsetakten kunna ökas från 0,4 till ca 1,2 % under en 25-årsperiod. Detta skulle teoretiskt reducera omsättningstiden för avloppsnäten från 250 år till ca 80 år.



Räkneexempel över förnyelsekostnaden i miljarder kr per år av de allmänna avloppsnäten under den kommande 25-årsperioden

I figuren ovan visas grafiskt räkneexemplet för utvecklingen av förnyelsekostnaderna för de allmänna avloppsnäten under den kommande 25-årsperioden. Räkneexemplet visar på att den s.k. ”normala” förnyelsen kan uppgå till storleksordningen 50 miljarder under 25-årsperioden. 25 miljarder hänförs till dagens förnyelsenivå och 25 miljarder hänförs till en bedömd gradvis ökande förnyelse.

Ett alternativ sätt att uppskatta uppgraderingskostnaderna för det allmänna avloppsnätet är att bedöma omfattningen på de ”hydrauliskt kritiska” bebyggelseområdena, dvs. områden med ökad risk för översvämningar. Här är osäkerheterna också mycket stora men en grov bedömning pekar mot att det kan vara av storleksordningen ca 10–15 % av avloppsnäten. Dessa ”kritiska” områden kommer att behöva förstärkas dels för att förbättra dagens situation men även öka upp säkerheten för en ökad nederbörd till följd av klimatförändringar.

Nyanskaffningsvärdet för det allmänna VA-nätet uppskattas till ca 400 miljarder, se kap 2.1. En grov bedömning är att 60 % kan hänföras till avloppsnätet, dvs. 240 miljarder, och ca 40 % till vattenledningsnätet, 160 miljarder. Med ett mycket enkelt räknestycke, 10–15 % av 240 miljarder, indikeras att 24 till 36 miljarder kan behöva satsas för att säkra upp avledningen av avloppsvatten inom kritiska områden.

Till stor del kan man räkna med att dessa två räkneexempel överlappar varandra, dvs. att stor del av den "normala" förnyelsen" kommer att hamna i de "hydrauliskt kritiska områdena". Om man utgår ifrån att storleksordningen hälften av kostnaderna för "hydrauliskt kritiska områden" överlappas av kostnader för "normal förnyelse" kan man utgå ifrån att kostnader för att anpassa till klimatförändringarna med kraftigt ökad nederbörd kan öka den "normala förnyelsen" under 25-årsperioden med storleksordningen 10–20 miljarder.

Uppskattningarna är genomförda som ett mycket "fyrkantigt" räkneexempel. I verkligheten så kommer vi även att se en mängd andra typer av åtgärder än att "bara" byta eller renovera befintliga avloppsledningar. Kreativa och lokalt anpassade åtgärder kommer också att tillämpas för att både minska mängden vatten som skall avledas, minska mängderna av det s.k. "tillskottsvatten" till spillvattensystemen, anlägga utjämningsmagasin eller öka kapaciteten i vissa stråk med kompletterade kanaler, diken eller ledningssystem.

Observera att endast merkostnaderna på grund av nederbörd och inte ökad nivå i hav och vattendrag. Observera också att de kostnader som ovan uppskattas hänför sig till de allmänna avloppssystemen, dvs. förnyelsekostnaderna för de privata servisledningarna är ej beaktade. En grov bedömning är att de privata kostnaderna för förnyelse av va-installationerna inom privata fastigheter torde uppgå till ca 40 % av de allmänna, vilket ger en kostnad på ca 20 miljarder under 25-årsperioden. För de privata installationerna bedöms klimatåtgärderna begränsas m.a.p. nederbörd.

I kap 2.4 visas en principskiss över källor till s.k. "tillskottsvatten" som även omfattar de privata ledningsnätet. I principskissen visas att kraftfulla åtgärder mot överbelastning måste omfatta även de privata avloppsnäten. Om inte de privata servisavloppsledningar också uppgraderas i takt med det allmänna avloppsnätet så kommer man ej erhålla full effektivitet i åtgärderna mot tillskottsvattnet

6 Slutsatser och förslag till åtgärder

6.1 Anpassningsåtgärder mot ökade vattennivåer i hav, vattendrag och sjöar

Fastställa högsta vattenstånd idag och bedömda framtida vattennivåer

Alla kommuner behöver analysera högsta kända vattennivå i omgivande recipienter till städer och samhällen om så ej redan är gjort. Till den högsta kända nivån skall man lägga till en bedömning i enlighet med klimatscenarierna och med tillägg för viss säkerhetsmarginal.

Resultaten bör sedan tydliggöras i planeringsunderlag så att kunskapen om lägsta nivå för bebyggelse blir allmänt känd. Dessa uppgifter är av stor betydelse både för planering av nya områden och bedöma risker i befintliga avloppssystem.

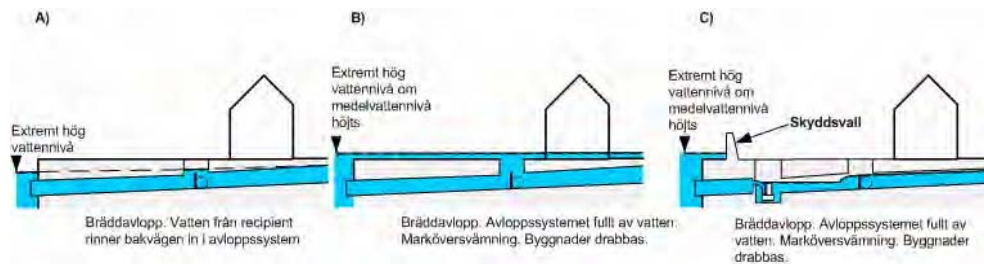
Det bör finnas ett lagkrav med angiven tidsram för när detta skall vara genomfört.

Förebyggande åtgärder i framtida bebyggelseområden

Problem med en höjdsättning i förhållande till recipienter är av naturliga skäl svåra att hantera i efterhand. Den bästa lösningen för att undvika problem i framtida bebyggelseområden är att med en framsynt planering säkerställa en säker höjdsättning i förhållande omgivande sjöar, vattendrag eller hav.

Åtgärder mot höjda vattennivåer i hav, vattendrag och sjöar inom befintliga områden

Lågt belägna befintliga bebyggelseområdena kan riskera att i en framtid behöva vallas in och dag- och dränvatten pumpas. Likaså behöver dagvattensystemen säkras så att bebyggelsen ej översvämmas av bakåtströmmande vatten från recipient under byggda dämningvallar.



Figur Dämning från hav, sjö eller vattendrag vid extremt hög vattennivå

Problematik med bebyggelse i strandnära områden beskrivs också mycket ingående i referensen: Länsstyrelserna 2006.

6.2 Anpassningsåtgärder mot ändrad nederbörd

Åtgärder inom befintligt avloppsnät

Även om det är svårt att med nuvarande underlag bedöma konsekvenserna av den framtida ökande korttidsnederbörden i lokala områden så bedöms risken vara stor för att översvämningarna skall öka i befintligt avloppssystem, såvida inga åtgärder vidtas.

Vi står inför en utmaning av att hantera frågan om hur och i vilken takt som VA-systemen kommer att behöva förnyas. Ökningen av förnyelsetakten har redan påbörjats och bedöms komma att gradvis att öka under de kommande decennierna och nå ett balansläge om uppskattningsvis storleksordningen 25–50 år.

Kostnaderna för anpassningen av avloppssystemen, se kap. 5.2, kommer att vara beroende av om förnyelsetakten är lägre än behovet av anpassningsåtgärder till klimatscenarierna med olika tidshorisont. En förutsättning för att minimera kostnaderna för anpassningen är att klimatfrågan noggrant beaktas i samband med förnyelseplaneringen av avloppsnäten. Vi kommer att få tillämpa en rad av olika typer av åtgärder alltefter det aktuella områdets karaktär, såsom ändrad dag- och dränvattenhantering, utökad kapacitet antingen med större ledningar eller med en alternativ dagvattenavledning för toppflöden i extrema nederbördstillfällen, byggande av fler utjämningsmagasin etc.

En viktig åtgärd är att planera för och anordna s.k. "vattenvägar" där vattnet kan rinna vid mycket kraftiga regn utan att orsaka skador på bebyggelsen. Dessa vattenvägar skall ses som en sekundär avledningsväg för vattnet då alla ordinarie avledningssystem för dagvatten är överbelastade.

Behovet av lokalt anpassade åtgärder framgår med all tydlighet av avsnitten om systembeskrivningarna.

Anpassningen till ett framtida ändrat klimat måste också bygga på ett helhetsperspektiv omfattande såväl privata som allmänna avloppsnät. Det bedöms också pågå en trend mot fler samfälligheter med privata va-ledningar. För dessa system ligger ansvaret för drift-, underhåll och förnyelse på respektive samfällighet.

Några viktiga frågor som behöver belysas: Hur skall klimatanpassningen för det allmänna avloppssystemen koordineras med klimatanpassningen i det privata ledningsnätet? Vem skall vara drivande för klimatanpassningen på privatmark?

Svenskt Vatten utgav 2004 en skrift "Så skapas en informations-skrift om källaröversvämningar för fastighetsägare", M128. Denna har till syfte att resp. VA-huvudman skall med hjälp av en mall förklara problemställningar och möjliga skyddsåtgärder vid olika översvämningssituationer.

Säkerställa ett översvämningståligt byggande vid nybyggnation

Nya områden skall höjdsättas och planeras så att bebyggelsen skall klara i princip "vilka regn som helst". Vid överbelastning av rörsystemen skall vattenflödena styras mot okänsligare områden eller avledas ytligt på ett säkert sätt. Alla åtgärder för att bygga klimatanpassat är av samma karaktär som åtgärder för att bygga översvämningståligt redan vid befintligt klimat.

Detta förutsätter givetvis avloppsvattenhanteringen får en framträdande nära samverkan mellan berörda parter inom den kommunala verksamheten, exempelvis VA-huvudman och Plan- och bygglövsenheten etc.

Svenskt Vatten arbetar också med att ta fram en folder "Att bygga översvämningssäkert".

Behov av högupplösta regnserier

Det föreligger en brist på högupplösta regnserier för olika tätorter i Sverige och de som samlas in görs av olika VA-verk frikopplat från SMHI:s väderstationer. Upplösningen av regnintensiteterna behöver vara ner mot minutnivå för att svara mot behoven inom tätorter.

Det borde vara samhällsekonomiskt fördelaktigt att detta kan ske via SMHI:s väderstationer. Därmed kan även en långsiktighet i nederbördsinsamlingen säkerställas. Vi föreslår att SMHI får ett utökat ansvar att även svara på högupplösta regnserier vid lämpligt urval av SMHI:s nederbördsstationer.

Det pågår ett flertal projekt på nederbörd för dimensionering och analys av avrinning på tätortsnivå. Inom VA-branschen pågår exempelvis en revidering av Svenskt Vattens P65 "Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem". Det är viktigt med en koordinering av pågående projekt för tätorters nederbörd och att dessa drivs i ett utökat samarbete med SMHI.

6.3 Säkerställa vattnets roll i planprocessen och bättre beslutsunderlag.

I många kommuner fungerar redan samverkan mellan VA-huvudmannen och Planerings- och bygglovsenheten på ett bra sätt. Nedanstående förslag är till för att förbättra situationen i de fall samverkan kan förbättras. Det finns tyvärr inget underlag för att bedöma hur samverkan fungerar idag runt om i landets kommuner.

Det är nödvändigt att samarbetet inom kommunen fungerar. Det behöver skapas styrande dokument som kan tillämpas på ny- och ombyggnadsområden där man säkerställer att avloppsvattenhanteringen kan ske på ett säkert sätt även med hänsyn taget till klimatförändringarna. Där skall det tydligt framgå principerna för höjdsättning av lägsta bebyggelsenivå och markplaneringen. Det måste också tydligt framgå hur de s.k. "vattenvägarna" för bebyggelseområdena skall säkras, se kap. 6.2.

Det är viktigt att insamlade och lagrade informationsmängder hos olika myndigheter används vid exempelvis fysisk planering, klimatanpassningar mm. Tyvärr väljs ibland detta material bort då kostnaderna för att få tillgång till data blir orimligt höga. Vi föreslår att informationen i myndigheters databaser, exempelvis upp-

gifter om topologi, nederbörd, vattenstånd etc., skall göras tillgänglig till en kostnad som endast står i paritet med lagrings- och hanteringskostnaderna.

7 Litteratur och referenslista

- Bäckman, H, Hellström, B G, Jaryd, A, Jonsson, Å, 1997, Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem, Svenskt Vatten Utveckling / VA-FORSK Rapport 1997:15.
- Dahlström, B 2006, Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk analys, Svenskt Vatten Utveckling / VA-FORSK rapport nr 2006-26.
- Göteborgs Stad 2006, Extrema vädersituationer – Hur väl rustat är Göteborg? Rapport.
- Hernebring, C, 2006 10-årsregnets återkomst – förr och nu. Regndata för dimensionering / kontrollberäkning av VA-system i tätorter, Svenskt Vatten Utveckling / VA-FORSK rapport nr 2006-04.
- Länsstyrelserna 2006, Översvämningsrisker i fysisk planering – Rekommendationer för markanvändning vid nybebyggelse. Utgiven av länsstyrelserna i Stockholm, Uppsala, Södermanland, Östergötland, Värmland och Örebro, aug 2006.
- Naturvårdsverket 1978, Saneringsplaner för kommunala avloppsledningsnät, Allmänna råd 1978:3.
- Naturvårdsverket 1983, Sanering av avloppssystem – planering och exempel. Meddelande från Naturvårdsverket och Bygghälsningsrådet 1/1983.
- SKTF 1952, Statistik över vattenverk, avloppsverk, vägar och gator samt renhållningsverk i Svenska städer och samhällen. Svenska Kommunaltekniska föreningen.
- Statens Planverk / VAV 1986, Husgrunddräneringars anslutning till allmän avloppsledning, Statens Planverk Dnr 4238/86/ VAV Orienterar 7/86.
- Svenskt Vatten 2004a, Dimensionering av allmänna avloppsledningar, Publikation P90.

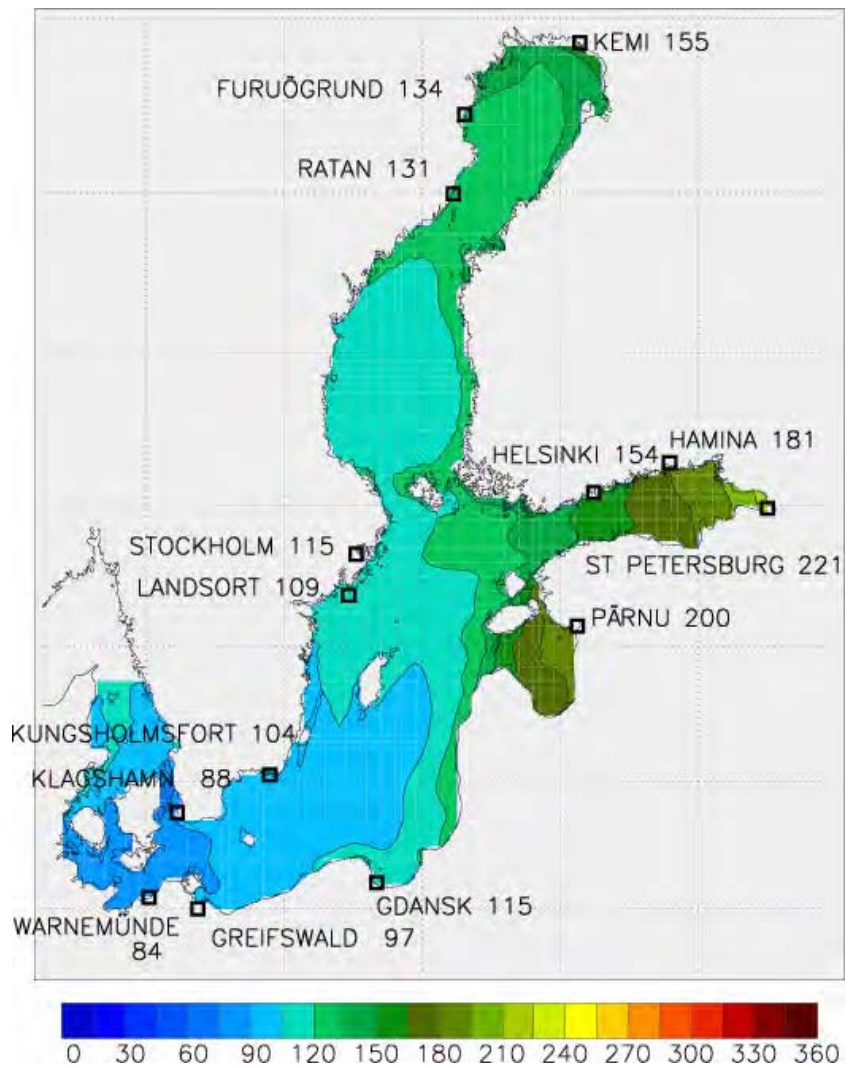
Svenskt Vatten 2004b, Så skapas en informationsskrift om källaröversvämningar för fastighetsägare, Meddelande M128.

Svenskt Vatten 2004c, En långsiktigt hållbar dagvattenhantering.

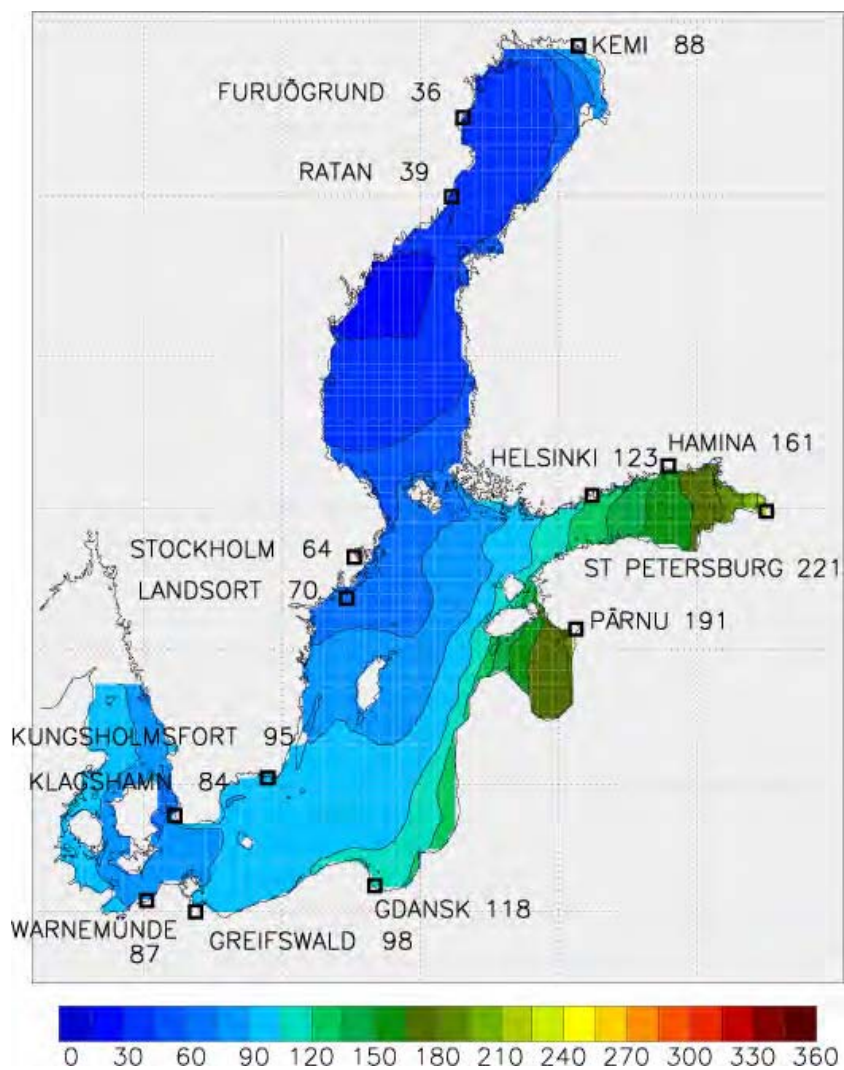
Svenskt Vatten 2006, TV-inspektion av avloppsledningar i mark, Publikation P93.

Svenskt Vatten VASS, Svenskt Vattens web-baserade statistiksystem. Sökningar från olika statistikundersökningar.

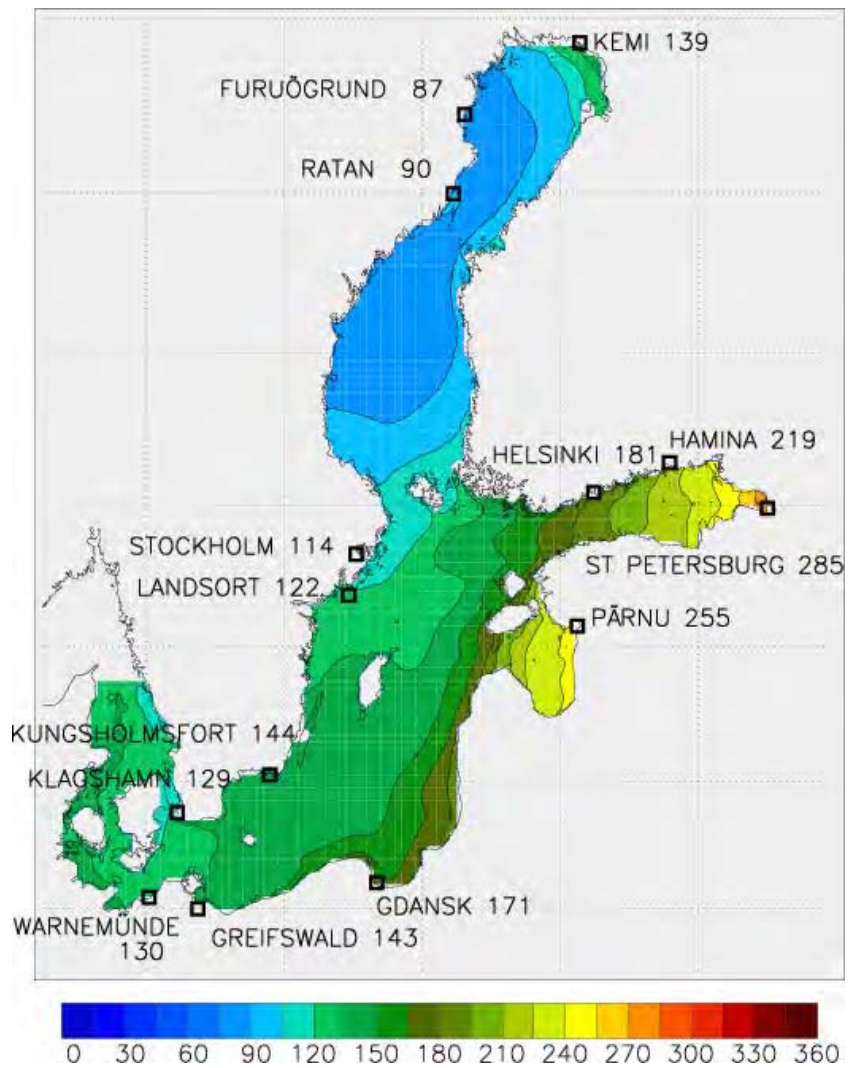
VVS Installatörerna / SBUF 2006, Branschregler för Säker Vatteninstallation.



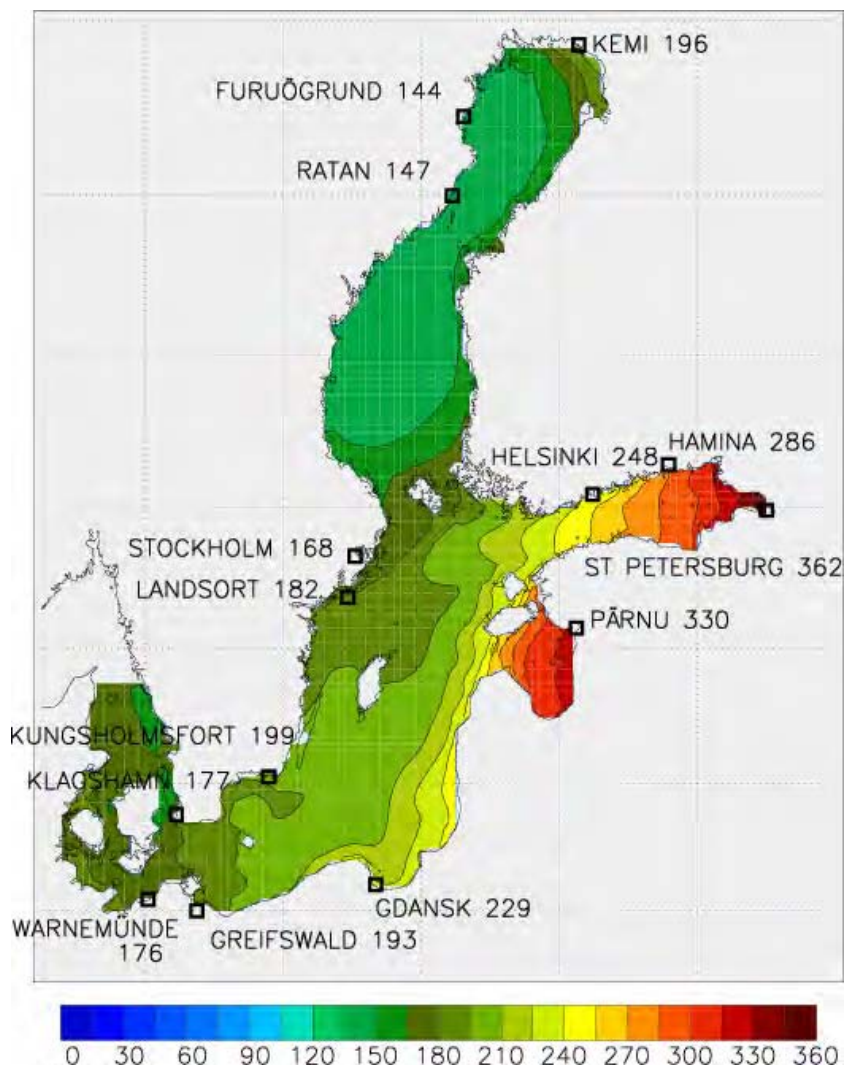
Östersjön 100-årsvattenstånd idag (vinter) relativt medelvattenstånd 1903–1998 (stormflod); landshöjning och vind inräknat (Rossby Centre).



Östersjön 100-årsvattenstånd (vinter) "low case" 2071–2100 motsvarande en global höjning på 9 cm relativt medelvattenstånd 1903–1998 (stormflod); landshöjning och vind inräknat (Rossby Centre).



Östersjön 100-årsvattenstånd (vinter) motsvarande en global höjning på 48 cm ("ensemble average") 2071–2100 relativt medelvattenstånd 1903–1998 (stormflod); landhöjning och vind inräknat (Rossby Centre).



Östersjön 100-årsvattenstånd (vinter) motsvarande en global höjning på 88 cm ("high case") 2071–2100 relativt medelvattenstånd 1903–1998 (stormflod); landhöjning och vind inräknat (Rossby Centre).

Byggnader i förändrat klimat

Bebyggelsens sårbarhet för klimatförändringar och extrema väder exkluderat översvämningar, ras och skred samt dagvatten



Kyrkhärbre i Älvdalen byggt 1285. Foto Lars Dahlström

Boverket, Nikolaj Tolstoy

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-08-13

Innehåll

Förord.....	5
Bakgrund.....	6
Metoder.....	7
Systembeskrivning	7
Flerbostadshus och lokalbyggnader.....	7
Villor och fritidshus.....	8
Industri	8
Geografisk beskrivning.....	9
Väderparametrar som inneburit risker för byggnader	11
Temperatur.....	11
Regn – översvämning.....	11
Snölaster	12
Åska	12
Vind	12
Känsliga klimatfaktorer.....	13
Snölaster.....	14
Vindlast.....	18
Regn	23
Temperatur.....	26
Luftfuktighet och temperatur	33
Konsekvenser av klimatförändringar	38
Klimatskal.....	38
Takmaterial.....	38
Fasadmaterial.....	40
Fönster.....	41
Grunder	42
Energiförsörjning.....	42
Påverkan på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse	44
Höjning av havsytan	44
Ökad vattenföring i vattendrag.....	44

Underhåll	45
Fornlämningar och kulturlager.....	46
Anpassningsåtgärder	46
Klimatfaktorer	46
Hängrännor, stuprör, brunnar.....	47
Fasader och tak.....	47
Fönster.....	47
Värme, Avfuktare, isolering i kryprum.....	48
Vindar.....	48
Backventil eller pump för avlopp.....	48
Värme- och kylbehov	48
Krav på träkvalitet vid inköp, Fuktskyddsprojektering.....	49
Slutsatser	49
Referenser	51

Förord

Denna rapport har utarbetats av Nikolaj Tolstoy, Bygg och Förvaltningsenheten, Boverket för Klimat- och Sårbarhetsutredningen. Då målgruppen främst är regeringen, riksdagsmän och tjänstemän vid departementen har de byggnadstekniska beskrivningarna hållits på en generell nivå. Medarbetare på Boverket: Göran Hedenblad, Lars Göransson, Anders Sjelvgren och Otto Ryding, konsulterna Eva Sterner och Bertil Junker på WSP, Bengt Wånggren på fastighetsägarna Sverige och min svärfar Jan De Geer har haft värdefulla synpunkter. Alla misstag svarar jag själv för och det som är rätt och välformulerat har jag troligen någon att tacka för.

Karlskrona 21 maj 2007

Nikolaj Tolstoy

Bakgrund

Klimatförändringar innebär troligtvis att riskerna för översvämningar, ras, skred och erosion ökar. Detta behandlas av andra inom Klimat och sårbarhetsutredningen. Ökade extrema dagvattenmängder kan öka vatteninträngningar i källare, vilket också behandlas av andra i klimat- och sårbarhetsutredningen. I denna skrift bedöms påverkan på bebyggelsen orsakade av klimatvariationer i relation till att klimatet kan bli varmare och fuktigare, att ökade temperaturvariationer kan uppstå, att nederbörden kan öka med 10–20 %, samt att extremvindar förväntas öka något.

Genom byggnaders långa livslängd är det framförallt den befintliga bebyggelsen som påverkas eftersom denna är ofantligt mycket större till ytan än nybyggnader, ca 70 till 1. Förebyggande och anpassande åtgärder i befintlig bebyggelse kommer därför att vara av särskilt stor vikt både nu och i framtiden.

För nybyggnader är placeringen av byggnaden viktig framförallt med tanke på översvämning, ras, skred och dagvatteninträngning. Vid nybyggnader är val av konstruktioner och material betydelsefullt för att ha låg underhållskostnad av utvändiga material, låg energianvändning för värme och kyla och att kunna stå emot något ökade extremvindar och ökade relativa fuktigheter och högre temperaturer än tidigare.

I rapporten *Vad händer med kusten?* (Boverket, 2006) har den demografiska utvecklingen studerats. Det konstateras att befolkningsutvecklingen under de 10 senaste åren ökat med 169 000 innevånare varav 97 % bosatt sig i kustzonen, den närmaste 5 kilometrarna från havet. I kustzonen finns vidare cirka en miljon av landets totalt 4–5 miljoner byggnader. Enligt SCB:s prognos för befolkningsutvecklingen 2006–2050 kommer en ökning med 1,4 miljon innevånare att ske. Fortsätter trenden kommer den största delen av dessa innevånare att vara bosatta i kustzonen.

Klimatförändringen innebär omställningar i temperaturer, relativa fuktighet, nederbörd och vind. Bebyggelsen kommer att påverkas av detta bl.a. genom att materials livslängder kan förkortas vilket direkt innebär ökade underhållskostnader. En ökning av den relativa fuktigheten innebär vidare risk för ökade fukt och mögelrelaterade skador, vilket förutom ökande skadekostnader kan påverka inneklimat och hälsa hos dem som vistas i byggnaderna. Även för myndigheter kommer klimatförändringarnas inverkan på bebyggelsen att vara av vikt då t.ex. nya dimensioneringsregler

måste utarbetas. För kommunerna påverkas planläggning av områden där detaljplaner, speciellt för områden nära kust, insjöar och vattendrag måste hantera dessa aspekter.

Redan i dagsläget finns många goda erfarenheter som lett till anpassning och förändring. Ett sådant exempel är installation av värmare eller avfuktare som minskar den relativa fuktigheten i utsatta delar av en byggnad. Detta är dock ett aktivt system som kräver energi och underhåll varför utvecklingen av passiva system bör skyndas på. Varma krypgrunder som ventileras med inomhusluft och en värmeisolering av yttertakspanelen är lösningar med passiva system som kan bli mer använda i framtiden.

Metoder

Påverkan på fastigheter och konsekvensbeskrivningar har tagits fram genom att utgå från klimatscenarier främst presenterade av Rossby Centre. Som statistiskt underlag för materialmängder har diverse publicerade utredningar från byggforskningsinstitutet, Naturvårdsverket och Byggforskningsrådet använts. Utifrån dessa har generella antaganden gjorts.

Systembeskrivning

Det finns en mängd olika byggnadstyper av varierande ålder. Ett sätt att klassificera dessa är att göra en indelning i flerbostadshus och lokalbyggnader, villor och fritidshus samt industrier. Vidare kan dessa delas in efter åldersstruktur där det största beståndet består av fastigheter byggda fram till 1940-talet. Eventuell påverkan på kulturhistoriskt värdefulla byggnader redovisas speciellt längre fram.

Flerbostadshus och lokalbyggnader

Det finns enligt SCB ca 125 000 fastigheter (taxeringsenheter) med hyreshus och andra kommersiella byggnader. Därtill kommer ytterligare ca 87 000 specialfastigheter med distribution, vård, undervisning, bad- sport och idrottsanläggning, kultur, kommunikation och allmänna byggnader. Den totala arean för fler-

bostadshus är ca 157 miljoner m² och den totala arean för lokaler är ca 166 miljoner m².

Flerbostadshus är ofta byggda med betongstomme och fasad av puts eller tegel. Vanliga fasadmateriäl är trä (ökad andel under 1980–90-talet) samt plåt (1960–70-talet), kalksandsten och asbestcement förekommer men inte i samma utsträckning. I moderna byggnader finns allt oftare stora ytor av glas. Vanligaste materiäl för takbeläggning är tegel- eller betongpannor. Plåt respektive pappmateriäl existerar i en något mindre omfattning.

Villor och fritidshus

Det finns ca 2,6 miljoner småhusfastigheter inkl. jordbruksfastigheter och fritidshusfastigheter. Dessa byggnader har vanligtvis en stomme av trä. Fasadmateriäl är i stor utsträckning trä men tegel (byggår 1960–70) och puts (byggår 1940–50) förekommer liksom kalksandsten. Taktäckning är i ordning: betongtakpannor, tegeltakpannor, papp, stålplåt och aluminiumplåt och asbestcement. Grundläggningen av småhusen enligt elib-undersökningen 1992 är ca 3/5 källare eller souterräng, ca 1/5 kryprum och ca 1/5 platta på mark. En ökning av byggnader uppförda med platta på mark har skett sedan 1970-talet.

Industri

Ungefär 150 000 industrifastigheter finns idag varav drygt 100 000 inte är bebyggda. De senare är gatumark och tomtmark. Industribyggnader har ofta pelarstomme av stål eller betong och i byggnader uppförda innan 1960-talet är även bärande väggar vanliga. Takmateriäl av papp dominerar men korrugerad plåt är även vanligt förekommande. Fasaderna av tegel är vanliga i byggnader uppförda innan 1960-talet medan det finns ett flertal konstruktioner t.ex. lättbetongelement eller stålregelväggar i byggnader uppförda från 1980 och framåt (Lindgren, Wilhelmsen, 1993).

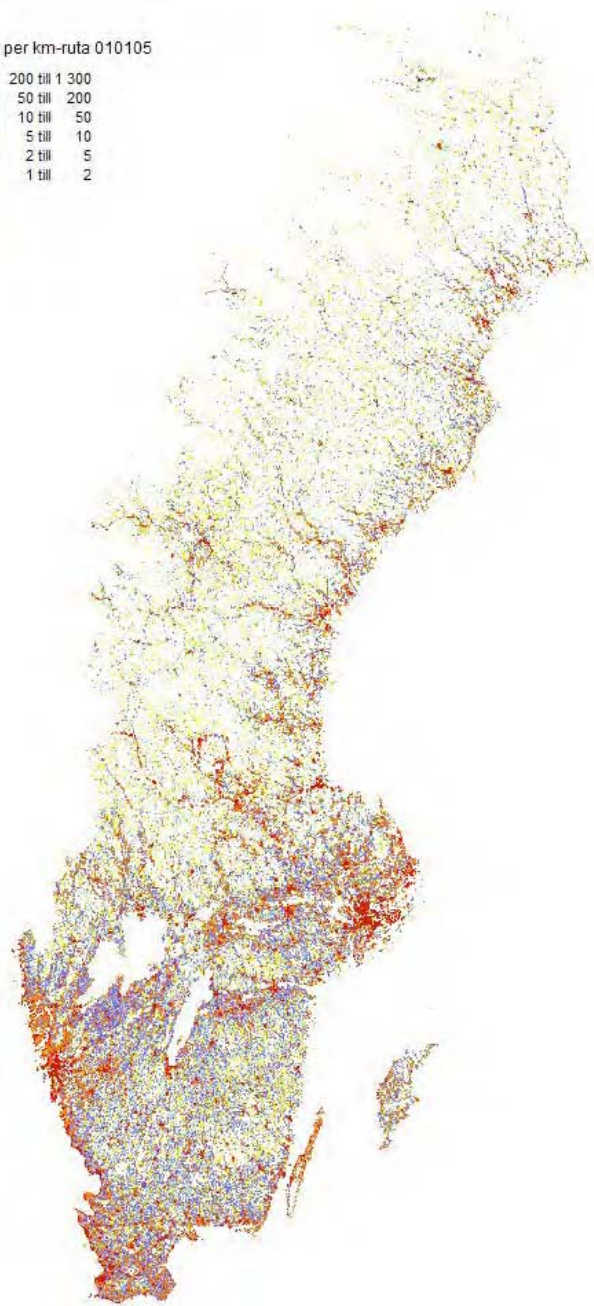
Geografisk beskrivning

Antalet taxeringsenheter i Sverige är ungefär tre miljoner vilka omfattar lantbruksenheter, småhusenheter, hyreshusenheter, täkt- och elproduktionsenheter samt specialenheter (SCB, 2005). Största delen av enheterna är belägna i södra Sverige.

Tabell 1 Antalet taxeringsenheter, statistik från SCB

Stockholm	356 624
Uppsala	85 196
Södermanland	85 380
Östergötaland	120 209
Jönköping	114 221
Kronoberg	74 561
Kalmar	113 727
Gotland	31 311
Blekinge	64 884
Skåne	344 279
Halland	118 460
Västra Götaland	471 531
Värmland	125 727
Örebro	91 703
Västermanland	76 651
Dalarna	164 256
Gävleborg	115 739
Västernorrland	113 278
Jämtland	85 982
Västerbotten	123 323
Norrbottn	123 535
Hela riket	3 000 577

Byggnader per km-ruta 010105



Karta över byggnadstäthet från Vad händer med kusten?, Boverket

Väderparametrar som inneburit risker för byggnader

Vädret påverkar alla konstruktioner på sikt. Dels genom långsam påverkan med svag styrka och dels kort (momentan) påverkan med kraftig styrka, här kallat extremväder.

Temperatur

Våra byggnader är konstruerade för att tåla stora temperatur-differenser, men pendlingarna från +38°C (Ultuna 1933, 9 juli och Målilla 1947, 29 juni) till -52,6°C (Vouggatjolme 1966, 2 feb) innebär ändå utvidgning och krympning som orsakar en rörelse i materialen och på sikt försvagning. Därtill kommer frostsprängning, där fukt finns med i bilden.

Regn – översvämning

Normal nederbörd i Sverige varierar mycket geografiskt sett. I fjällen uppgår den lokalt till över 2 000 mm, medan den är ca 500 mm i det inre av landet. Exempel på extrema regnmängder under kort tid är 276 mm invid Fulufjället i Dalarna 1997, 30–31 aug (ej officiell mätstation). Regnet vid Fulufjället orsakade stora erosionsskador, dock i enbart obebyggd terräng. Men utbredda regn eller snabb snösmältning orsakar varje år översvämningar och skador på hus i utsatta lägen. Ett speciellt problem är översvämningar under vårfloden i samband med att isdämmen bildas.

Betydande översvämningar under de senaste åren

i Skåne 2002, feb

i Småland 2003, juli, främst Emån

i centrala Småland 2004, juli

Slagregn kallar man regn, som på grund av kraftig vind, faller relativt horisontellt mot en byggnad och därmed lätt kan orsaka fuktskador. Stora nederbörds-mängder med åtföljande högt porvattentryck i leriga jordar kan orsaka skred. Störst skador uppstod i Surte 1950, 29 sept och i Tuve 1977, 30 nov.

Snölaster

Normalt är största snödjup under vintern 100–130 cm i fjällen, i Härnösands – Umeåtrakten ca 80 cm och i Skåne ca 20 cm. Men stora avvikelser förekommer olika år. Stora snölaster kan orsaka takras och andra skador på byggnader. En vanlig orsak till de stora (och blöta) snöfallen är närheten till ett förhållandevis varmt hav. Framför allt gäller det vid pålandsvind från Bottenviken, Bottenhavet och Östersjön när de inte är istäckta. Det innebär ofta att temperaturen vid snöfallen eller vid skadesituationen ligger kring 0 grader.

Exempel på stora snölaster och därav orsakade skador är
vintern 1976–77 i Västervik–Kalmartrakten,
1985, 3–8 jan i Östra Småland
1987–88 i området Luleå – Örnsköldsvik (max 127 cm i Umeå)
1992–93 i Örnsköldsvik
1998, 7 dec i Gävle (130 cm)

Åska

Blixtnedslag och i viss mån hagel orsakar varje år skador på byggnader. Blixten kan antända direkt eller genom överhettning av ledningar en bit bort från nedslaget. Normalt förekommer 5–20 åskdagar per år, med ett maximum i västra Götaland. En åskrik dag kan det förekomma 40 000 nedslag. Exempel på kraftigt åskväder är det 1988, den 31 maj över Stockholm, då det samtidigt föll 45 mm regn på en timme.

Vind

Kraftig vind, storm och orkan, förekommer främst kring våra kuster, men emellanåt drabbas även inlandet av förödande vindar. Beaufortskalan anger att hård vind med en styrka av 20–24 m/s orsakar mindre skador på hus, rökhuvor och att taktegel blåser ner. 24–32 m/s är storm och då kan det uppstå betydande/stora skador på hus.

Betydande stormar

1902, 25 dec, "julstormen" Götaland (båtar upp på land), 35 m/s i Köpenhamn

1943, 29 aug, NO Götaland och SÖ Svealand

(1953, 1 feb, Hollandsstormen, katastrof- översvämningen!)

1954, 3 jan, Östra Svealand och SO Norrland, 36 i medelvind på Agö.

1967, 17 okt, östra Götaland, flera omkomna, 40 m/s i medelvind under en 10-minutersperiod!

1969, 22 sept, Svealand och norra Götaland, 10 döda, 35 m/s

1969, 1 nov, Svealand och norra Götaland, 6 döda, 36 m/s

1978, 30 dec, östlig snöstorm i Sydsverige, 36 m/s på Hanö

1992, 20 dec, Tarfala 81 m/s (vindby)

1994, 27–28 sept, Estonia gick under i en normal höststorm, 25 m/s

1999, 3–4 dec, stora skador i Malmö på byggnader, 36 m/s

2002, 29 jan, orkan i S Sverige, 41 m/s i Växjö

2005, 8–9 jan, "Gudrun", södra och mellersta Götaland., vindbyar i inre Småland 33 m/s

Tromber:

Ca 10 per år, mest i åskrika trakter, maj-nov vanligast juli och augusti.

1996, 6 nov (exceptionell årstid) Moheda stora skador på byggnader, samtidigt i Åsle (V-götland), max 70–80 m/s

Känsliga klimatfaktorer

Rosby Centre har tagit fram ett stort antal klimatkartor som på olika sätt beskriver klimatet och dess möjliga utveckling. Boverket har inte gjort någon värdering av materialet från Rosby Centre. Klimatkartorna har använts som utgångspunkter för att bedöma den möjliga påverkan på byggnader. Konsekvenserna för byggnaders klimatskal, dvs. ytterväggar, fönster, dörrar, tak och grund samt värme- och kylbehov diskuteras utifrån de klimatfaktorer som tros ha störst påverkan på livslängder eller konsekvenser för kostnader.

Snölast

Rådande snö och vindlaster kommer troligen att ändras med ett förändrat klimat. Rossby Centres modeller visar på en minskning av medelvärde av maximala vatteninnehållet i snön (Figur 3). Framförallt i områden där dimensionerande snölaster är lägst kan större snömängder än tidigare komma vissa år, på grund av att extrema nederbörder förväntas öka. Det är också i dessa områden i södra Sverige där snölastproblem kan förväntas.

Figur 1 SMHI:s indelning av Sverige för väderleksrapporter

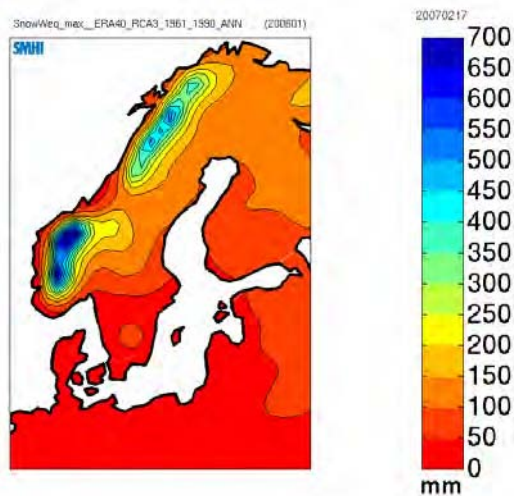


Tabell 1 Sydöstra Götaland. Det beräknade maximala vatteninnehållet i snön under året (mm). Beräknat medelvärde för de fyra tidsperioderna. Lägsta och högsta enskilda värde anges inom parentes. A2 och B2 är olika scenarier

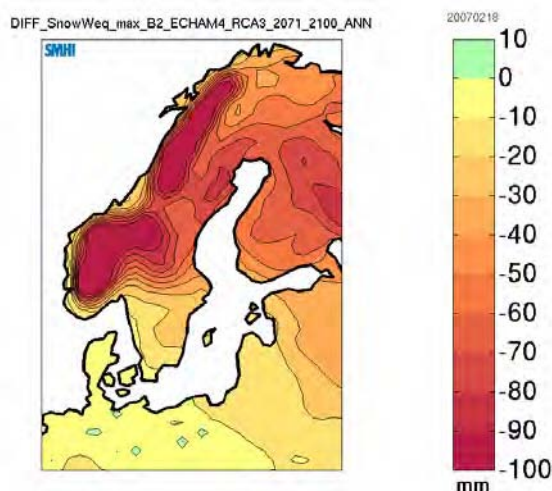
1961–1990	24 (3 : 68)	
	A2	B2
2011–2040	14 (1 : 44)	16 (1 : 62)
2041–2070	8 (1 : 31)	14 (2 : 117)
2071–2100	5 (0 : 39)	7 (0 : 29)

Det beräknade medelvärdet av maximala vatteninnehållet i snön kan minska betydligt. Dock finns det maximalt värde för 2041–2070 i B2 som är 60 % högre än maximala värdet 1961–90. Motsvarande värden finns för de fyra södra distrikten. Även om ett värde är stort innebär det inte säkert att karakteristiskt lastvärde för snö ökar. Karakteristiskt lastvärde är ett sannolikhetsvärde för 50 års snölast. Från och med perioden 2071–2100 inträffar helt snöfria år i delar av distriktet, enligt SMHI:s uppskattningar.

Figur 2 Det beräknade medelvärdet av maximala vatteninnehållet i snön 1961–90. Jfr figur 4 och 5 med maximala verkliga värden. (Rosby Centre, SMHI, SnowWeg_max_ERA40_RCA3_1961_1990_ANN)



Figur 3 Differens av det beräknade medelvärde av maximala vatteninnehållet i snön 2071–2100 jämfört med 1961–90 (Rossby Centre, SMHI, Snow Weg_max_ERA40_RCA3_2071_2100_ANN)

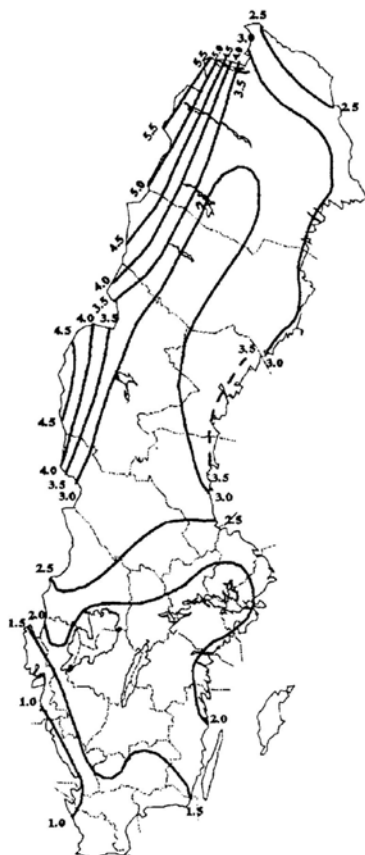


Vid beaktande av medelvärdet av det maximala vatteninnehållet kan man förledas att tro att de maximala snölasterna minskar. Se dock tabell 1 ovan vilken visade en 60 %-ökning av den maximala snölasten i Sydöstra Götaland. Om nederbördsmängderna förväntas öka och om högsta byvinden också förväntas öka samt om havet kommer att vara öppet kan 'snökanon'- situationer uppstå, jfr Gävle på 1990-talet och Kalmar 2006 då stora snömängder uppstod vid kyla och vind från havet.

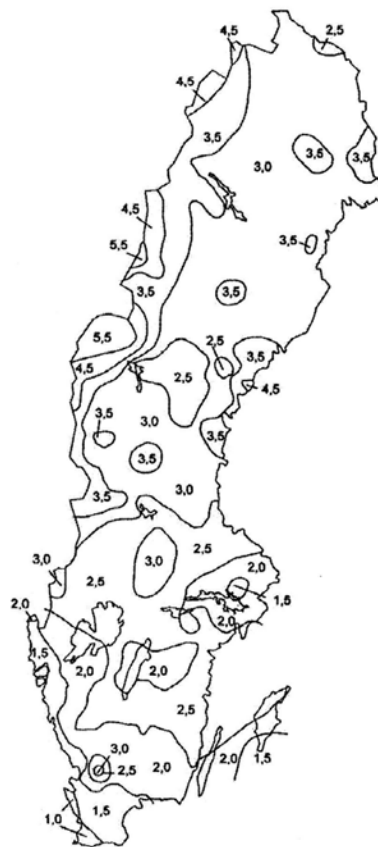
Boverket har nyligen reviderat konstruktionsreglerna, där i första hand snölastens grundvärde, snölast på mark har ändrats på grund av att noggrannare meteorologiska värden inhämtats. Figur 4 och 5 visar den tidigare respektive den gällande snölastkartan. Vid ökad snölast kan förstärkning av takbalkar eller eventuellt aktiva system, dvs. system som kräver mer skötsel och underhåll än passiva system, såsom varningssystem för nedböjning av takbalkar komma att behövas på grund av att Boverkets byggregler inte är retroaktiva. Underhållskostnader på grund av planerad snöskottning av tak vid extrem nederbörd kan förväntas öka i södra delar av Sverige och minska i norra delar. Andra bärande delar i byggnaderna kan påverkas av ev. ökad snölast. I de norra delarna för-

väntas de extrema snölasterna minska enligt Rossby Centre, SMHI. En ändring av snölaster ger således en påverkan på bl.a. dimensioneringsregler. Detta innebär eventuellt att karakteristiska värdet för snölast måste ändras.

Figur 4 Tidigare snökarta i BKR (iso-värden) Snölast på mark kN/m^2 (Boverket)



Snölast på mark, S_0 (kN/m^2)

Figur 5 Gällande snökarta 2007 (snözoner) kN/ m² (BKR, Boverket)

Snölast på mark, S_0 (kN/m²)

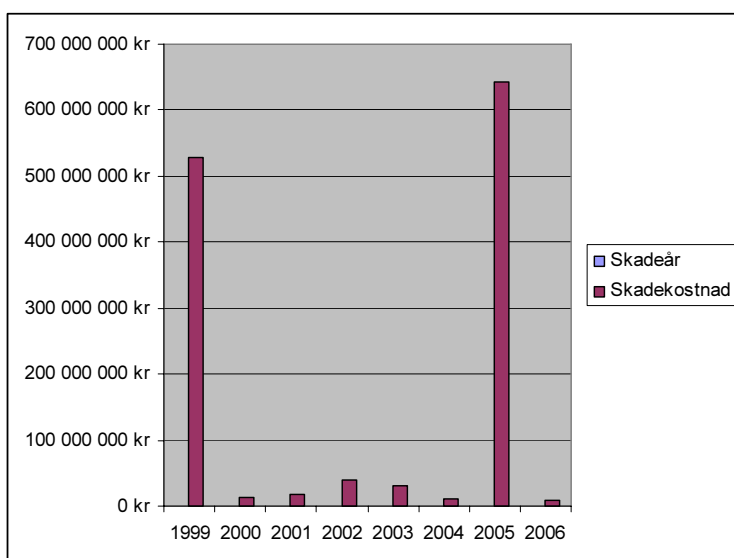
Vindlast

I Boverkets konstruktionsregler finns kartan i figur 6. Är SMHI:s scenarier riktiga kommer de extrema vindarna att öka med ca 5 %-10 % de närmaste åren jämfört med 1961–90, se figur 8 nedan. En karta över beräknad ökning 1991–2005 jämfört med 1961–90 visar att ökningen redan delvis kan ha inträffat, se figur 9 nedan. Det är en kort period och behöver inte innebära att 50 års vinden förändrats. Boverket diskuterar med SMHI att beräkna fram nya karakteristiska lastvärden för dimensionerande vindlaster.

En ökning av extrema vindlaster, stormar, ger en effekt på antalet stormskador på byggnader. Träd som faller över byggnader eller avblåsta tak är några konsekvenser. Enligt uppgifter från Länsförsäkringar uppgick kostnaderna för stormskador på byggnader inom bolaget till nära 1,3 miljarder kronor mellan åren 1999–2006, Diagram 1. Kostnaden är i verkligheten högre då avdrag gjorts för ålder samt självrisk. Stormskadorna gäller främst ekonomibyggnader i dåligt skick, vilket ökar den verkliga kostnaden jämfört med försäkringskostnaderna.

En mycket stor andel av stormarna uppträder i under oktober till mars vilket bl.a. gör att lövträd får en mindre belastning än barrträd. Riksantikvarieämbetet förordar därför lövträd vid forn-lämningar.

Diagram 1 Kostnad för stormskador, Länsförsäkringar



Tak påverkas av vindlaster som innebär betydande lyftkrafter. Takstolar och åsar måste därför förankras till det befintliga huset på ett riktigt sätt. I dag används ofta infästningsjärn för detta ändamål vid trätakstolar. Takmaterial och vindskivor fästs bättre redan idag i randzoner, hörn, nockar etc. I en framtid kan förankringar behöva förstärkas eller kompletteras liksom att vissa takpannor och

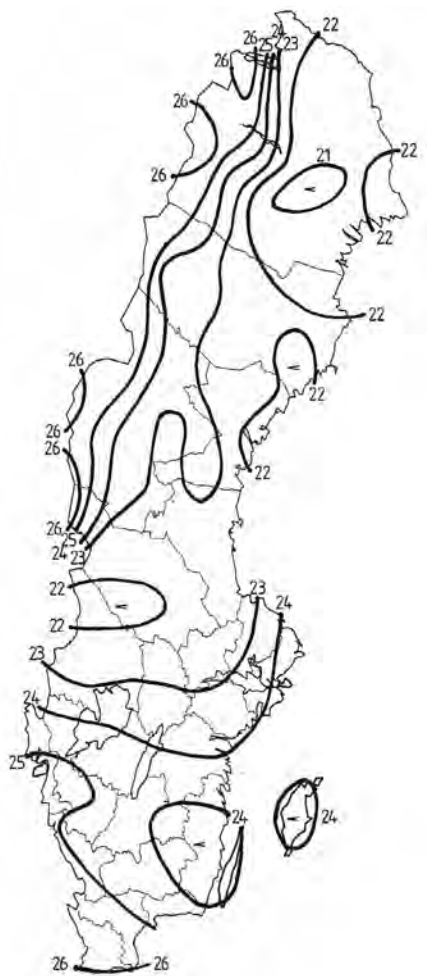
plåtar kan behöva en förbättrad infästning än idag för byggnader i utsatta lägen t.ex. kust eller höjder.

Vind har även en påverkan på luftrörelserna inuti en byggnad. Ett utvändigt övertryck skapas på vindsidan, jämfört med inne, och på läsidan skapas ett undertryck. Luften strömmar utifrån och in på vindsidan medan luften sugas inifrån och ut på läsidan. Luftrörelserna som skapas innebär att värme transporteras bort från byggnader vilket ger ett förhöjt värmebehov speciellt vid otäta byggnader. Vid byggande av lågenergihus är byggnadernas täthet mycket viktig.

Vindlasten på en yta är proportionell mot vindhastigheten i kvadrat vilket vid en ökning av vindstyrkan med 10 % ger en lastökning på 20 %.

Genom ökad nederbörd och ökning av extrema vindar kan slagregn, horisontell nederbörd, komma att öka. Kalkyl av skadekostnad för detta har inte kunnat göras.

Figur 6 Referensvind m/s medelvindhastighet under 10 minuter på höjden 10 meter över markyta, terrängtyp II, och med uppprepningstiden 50 år Beräknade från uppmätta lufttryck. (BKR, Boverket)

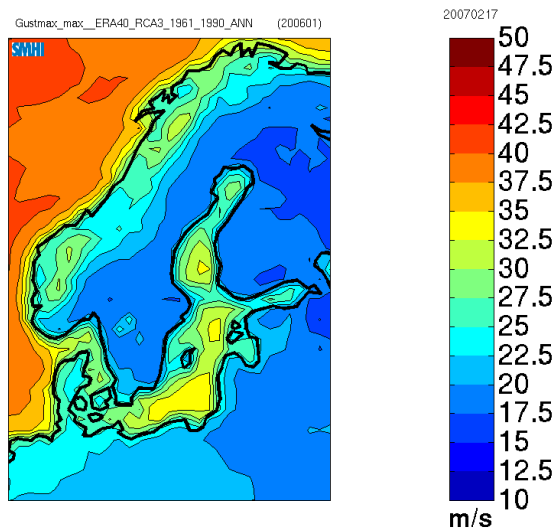


Maximal byvind är den högsta vinden på årsbasis. Vinden beräknas var 30:e minut.

SMHI:s kartor visar medelvärdet av den maximala byvinden. Byvind är vindstötar under några sekunder.

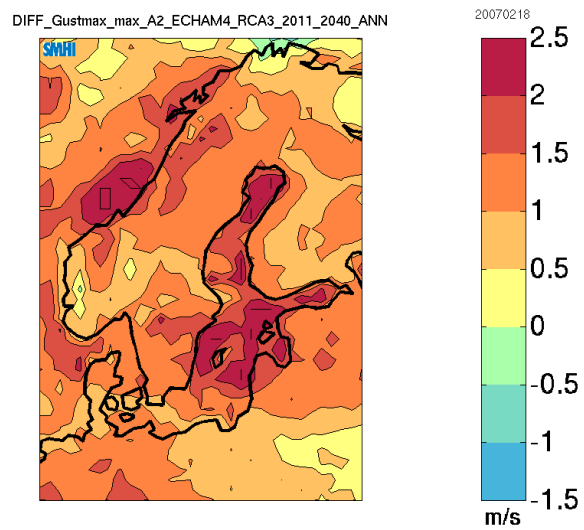
Figur 7

Maxvärdet av den maximala byvinden 1961–90. (Rossby Centre, SMHI, Gustmax_max_ERA40_RCA3_1961_1990_ANN)

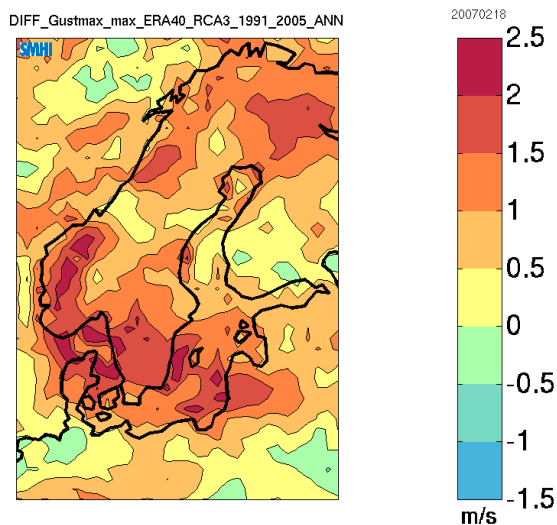


Figur 8

Differens maxvärdet av den maximala byvinden 2011–2040 jämfört med 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI, Diff_Gustmax_max_A2_ECHAM4_RCA3_2011_2040_ANN)



Figur 9 Differens maxvärdet av den maximala byvinden 1991–2005 jämfört med 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI, Diff_Gustmax_max_ERA40_RCA3_1991_2005_ANN)



Regn

Enligt Rossby Centres klimatscenariet kartor kommer regnmängden per år i Sverige att öka under detta århundrade, se figur 10 och 11. Med extremare väder kan man även förvänta sig att antalet slagregn, regn som drivs horisontellt av vinden, ökar. Det vore intressant om SMHI mätte slagregnsmängder och beräknade medelvärden och spridningsmått. För en byggnad innebär ökade slagregnsmängder att sannolikheten för fuktskador ökar. När fasaden (tegel, puts eller kalksandsten) blir uppfuktad finns risk att fukt leds vidare till trämaterial och gipsskivor, vilket kan leda till påväxt och lukt. Träpanel slits mer vid extrem påverkan och risken för rötskador ökar. Även fönster påverkas av slagregnen där otätheter i anslutning till fönstret gör att vatten kan läcka in i väggen eller i fogen mellan karm och vägg och på så sätt påverka fönstren. Även kittfalsar och skarvar i fönsterkonstruktionen är regnutsatta delar.

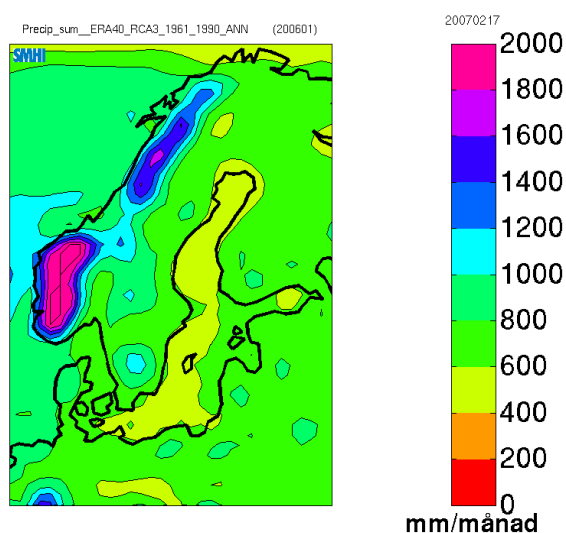
Nederbörds mängderna förväntas inte öka under sommaren utan främst under perioder då avdunstningen är låg och marken kan vara mättad. Risken för källaröversvämningar ökar främst i områden

som ligger i markens lågpunkter och där markavrinningen är dålig. Vid korta intensiva regn finns risken att befintliga avloppssystemen inte kan hantera de extrema vattenmängderna vilket ger översvämningar som följd.

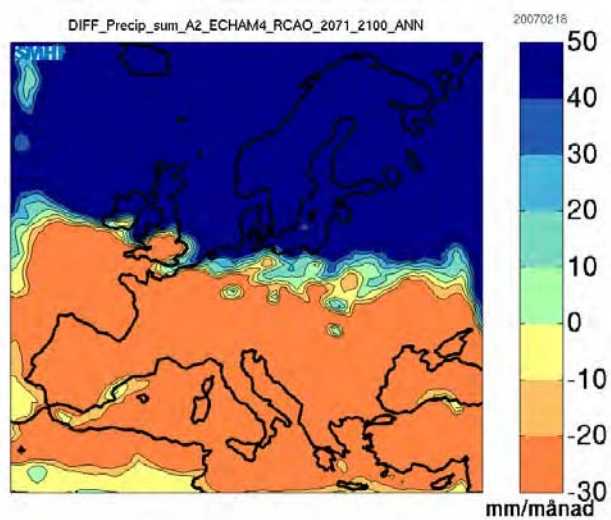
Vid källaröversvämningar är det, som det är vid alla översvämningar, mycket viktigt att fukten snabbt torkas ut och att skadat material avlägsnas. Annars finns en stor risk för exempelvis problem med mögelskador och inneklimatet som en földeffekt.

Detta beskrivs utförligare i andra rapporter om översvämningar och om dagvatten till klimat och sårbarhetsutredningen. Även ökad risk för ras och skred på grund av ökade nederbörds mängder redovisas i annan rapport till klimat och sårbarhetsutredningen.

Figur 10 Regnmängder mm/år 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI, (DIFF_Precip_sum_ERA40_RCA3_1961_1990_ANN)

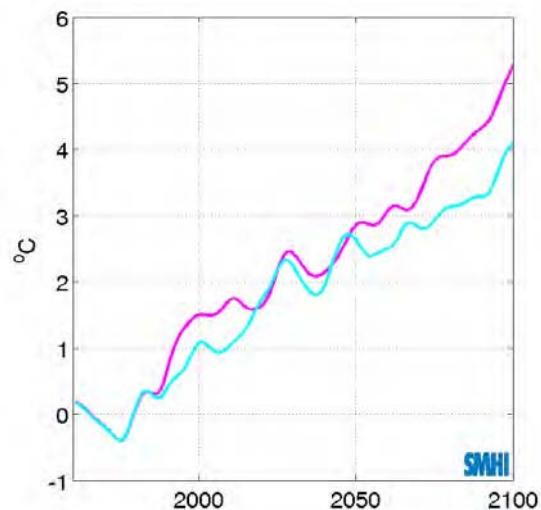


Figur 11 Ökad regnmängder mm/år, 2071-2100 (Rossby Centre, SMHI, DIFF_Precip_sum_A2_ECHAM4_RCAO_2071_2100_ANN)

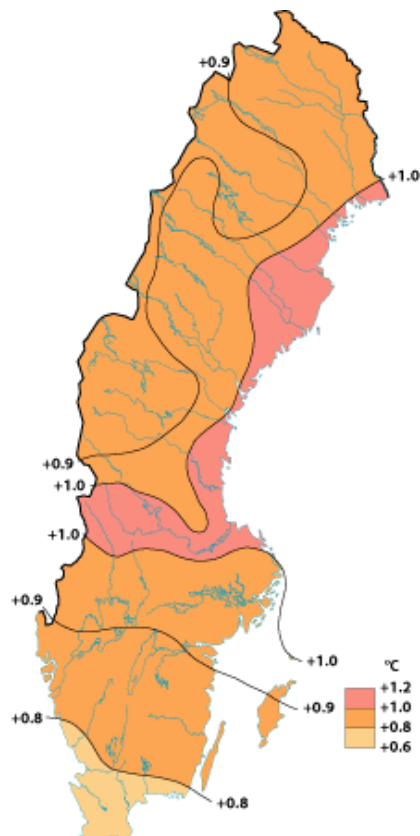


Temperatur

Figur 12 Östra Svealand. Den beräknade årsmedeltemperaturen ökar från 1990-talet till år 2100. Scenarierna skiljer sig mer åt ju längre tiden går. Årsmedeltemperaturen ökar enligt beräkningarna med drygt 4°C fram till år 2100 enligt scenario B2 och med drygt 5°C enligt scenario A2. Beräknad temperaturförändring 1961–2100 jämfört med medelvärdet perioden 1961–1990. Kurvan visar löpande 10-årsmedelvärde för A2 (cerise) och B2 (turkos). (SMHI, Östra Svealand).



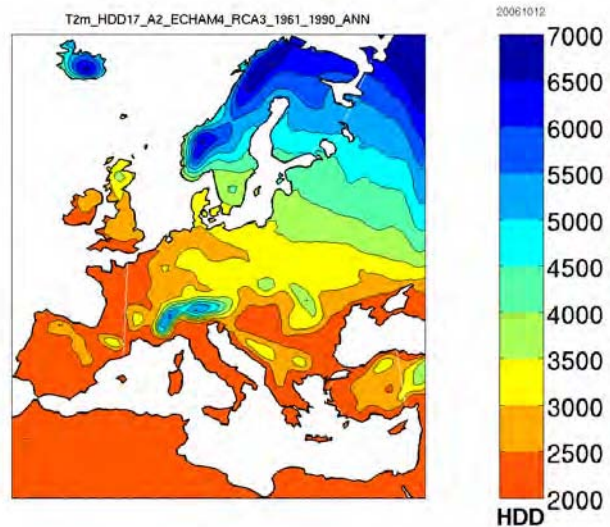
Figur 13 Ökningen med en grad har redan skett enligt denna karta som jämför årsmedeltemperaturen 1991–2005 med 1961–1990. Under åren 1991–2005 har en tydlig uppvärmning ägt rum jämfört med normalperioden 1961–1990. I bilden till höger visas hur medeltemperaturen över hela året förändrats när dessa perioder jämförs. Grovt sett rör det sig om ungefär en grads ökning med en antydning till mer markant ökning i landets mellersta delar. Mer detaljerade analyser visar att ökningen varit allra tydligast under vintern med drygt två grader i landets mellersta och norra delar, minst under hösten med lokalt nästan oförändrad temperatur främst i sydvästra Sverige. (SMHI)



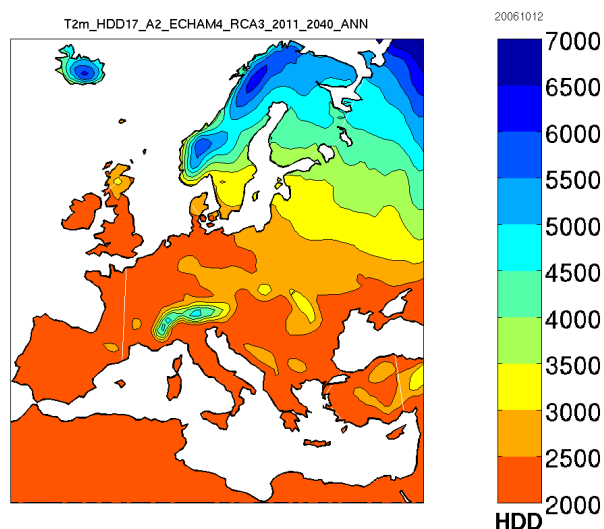
Temperaturen över året stiger enligt de klimatscenarior som ställts upp. Detta har en påverkan på en byggnads värmeenergibehov. Denna kan uttryckas i graddagar och beräknas som summan över året mellan innetemperaturen 17°C och utetemperaturen när denna

är lägre än 11°C. Nedan redovisas antalet graddagar för åren 1961 till 1990 (figur 14) respektive för åren 2011 till 2040 (figur 15). Kartorna visar att antalet graddagar beräknas att minska vilket innebär en minskad energiåtgång för uppvärmning. I hela södra Sverige beräknas uppvärmningsbehovet minska från 4 000 graddagar till mellan 2 500–3 500 graddagar, vilket innebär en minskning med ungefär tio till fyrtio procent.

Figur 14 Graddagar med värmebehov, 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI, Elforsk,
T2m_HDD17_A2_ECHAM4_RCA3_1961_1990_ANN)

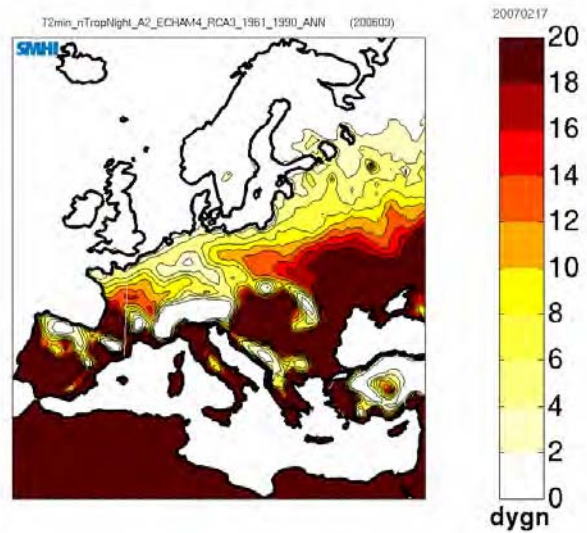


Figur 15 Graddagar med värmebehov, 2011–2040 (Rossby Centre, SMHI, Elforsk, T2m_HDD17_A2_ECHAM4_RCA3_2011_2040_ANN)

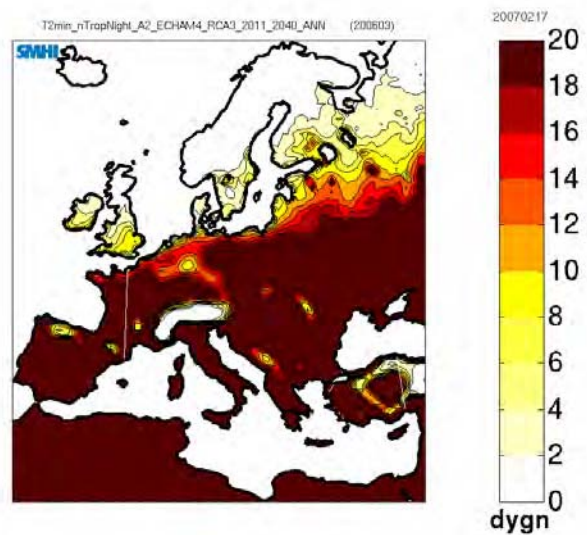


På liknande sätt som för resonemanget med värmeenergibehov kan man resonera kring ett ökat kylbehov. Kartmaterialet visar att antalet dagar med kylbehov beräknas att öka vilket innebär en ökad energiåtgång för kylning. Det är dock svårt att tolka graddagar för kyla. Den direkta solinstrålningen och värmelasterna i byggnaderna påverkar så det är svårt att beräkna kylbehovet från graddagar över 20°C. De tropiska nätterna, dvs. när minitemperaturen aldrig understiger 20°C kommer att öka enligt scenarierna, se figurer 16–19 nedan.

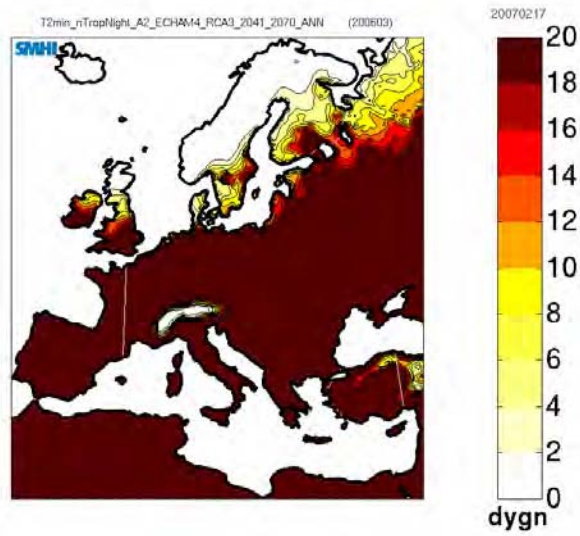
Figur 16 Antal tropiska nätter 1961–90 (Rossby Centre, SMHI, T2min_nTropNight_A2_ECHAM4_RCA3_1961_1990_ANN)



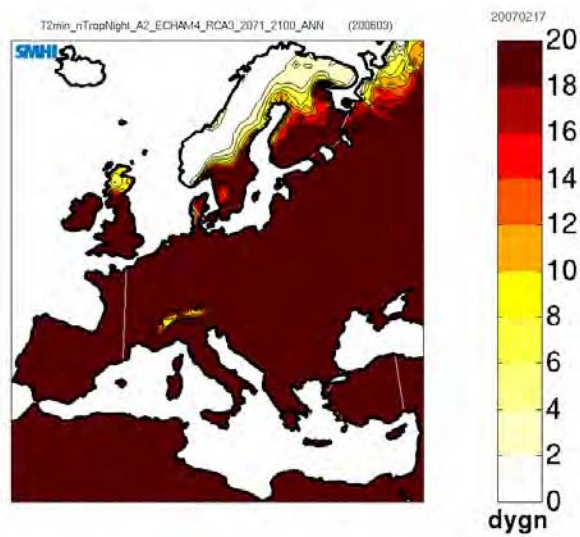
Figur 17 Antal tropiska nätter 2011–40 (Rossby Centre, SMHI, T2min_nTropNight_A2_ECHAM4_RCA3_2011_2040_ANN)



Figur 18 Antal tropiska nätter 2041–70 (Rossby Centre, SMHI, T2min_nTropNight_A2_ECHAM4_RCA3_2041_2070_ANN)



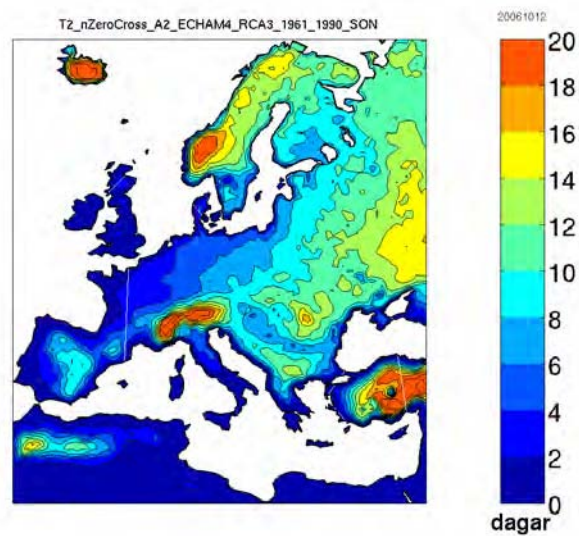
Figur 19 Antal tropiska nätter 2071–2100 (Rossby Centre, SMHI, T2min_nTropNight_A2_ECHAM4_RCA3_2071_2100_ANN)

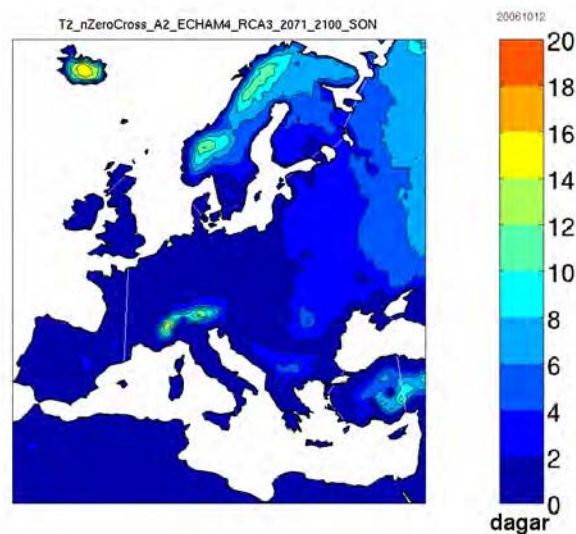


Över 20 tropiska nätter i södra Sverige 2071–2100 innebär att komfortkyla kan komma att behövas i bostäder i Sverige i framtiden.

Enligt Rossby Centres klimatkartor inträffar troligen färre nollgenomslag då temperaturen slår mellan plus- till minusgrader. Nedan visas antal dygn då temperaturen på 2 meters nivå varit både över och under 0°C mellan åren 1961 till 1990 (figur 20). Motsvarande karta för åren 2071 till 2100 visar att temperaturpassagera beräknas minska i antal (figur 21). För klimatskalet kan detta scenario vara positivt då slitaget av is och frostsprängningar på sikt kan minska.

Figur 20 Nollgenomslag 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI)



Figur 21 Nollgenomslag 2071–2100 (Rossby Centre, SMHI)

Luftfuktighet och temperatur

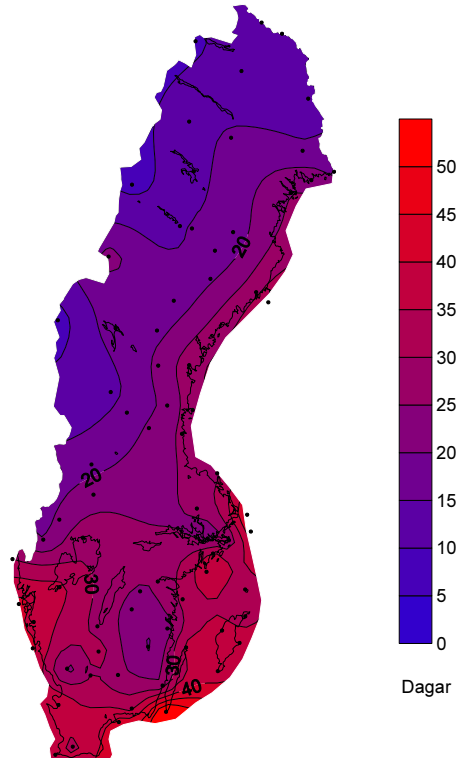
Högre temperaturer i kombination med mer nederbörd och högre avdunstning ger högre luftfuktighet. Risken för fuktskador med mikrobiologisk tillväxt som följd ökar. För stålkonstruktioner (bortsett från rostfritt stål) kan risken för korrosion öka.

Med ökad fuktighet (högre RF och kraftigare regn) finns även risken att antalet frostsprängningar i putsade fasader ökar trots att antalet nollpassager minskar enligt framtidsscenarierna. Detta beror på att andelen putsfasader som har högt fuktinnehåll kan komma att öka. Vid frostsprängning har putsen mättats av vatten. När temperaturen sjunker under noll fryser vattnet, varvid putsen spricker.

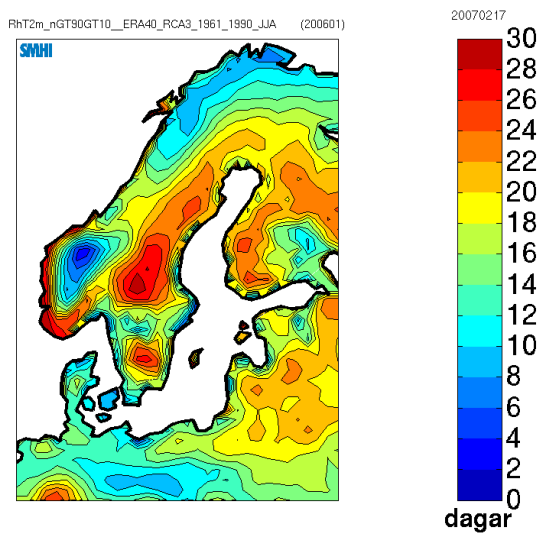
Figur 22

Antalet dagar i juni, juli, augusti då dygnets medeltemperatur är över 10 grader och luftfuktigheten samtidigt är större än 80 % för de senaste 30 åren. (SMHI på uppdrag av Boverket)

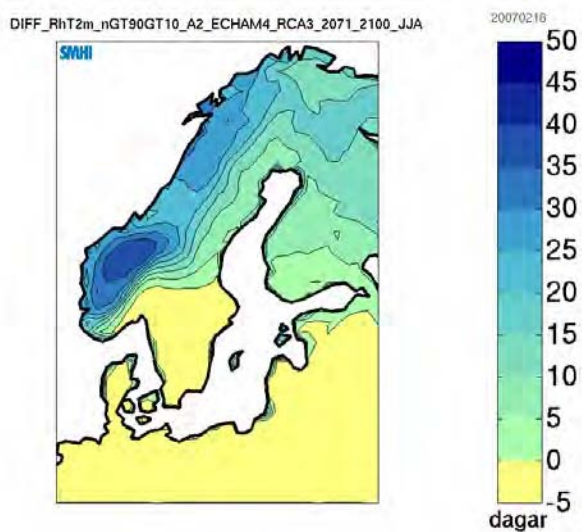
JJA 1976 - 2005



Figur 23 Beräknat antalet dagar i juni, juli, augusti då dygnets medeltemperatur är över 10 grader och luftfuktigheten samtidigt är större än 90 % 1961–1990 (Rossby Centre, SMHI, DIFF_RhT2m_nGT90GT10_ERA40_RCA3_1961_1990_JJA)



Figur 24 Beräknad förändring i antalet dagar i juni, juli, augusti då dygnets medeltemperatur är över 10 grader och luftfuktigheten samtidigt är större än 90 % 2071–2100 (Rossby Centre, SMHI, DIFF_RhT2m_nGT90GT10_A2_ECHAM4_RCA3_2071_2100_JJA)



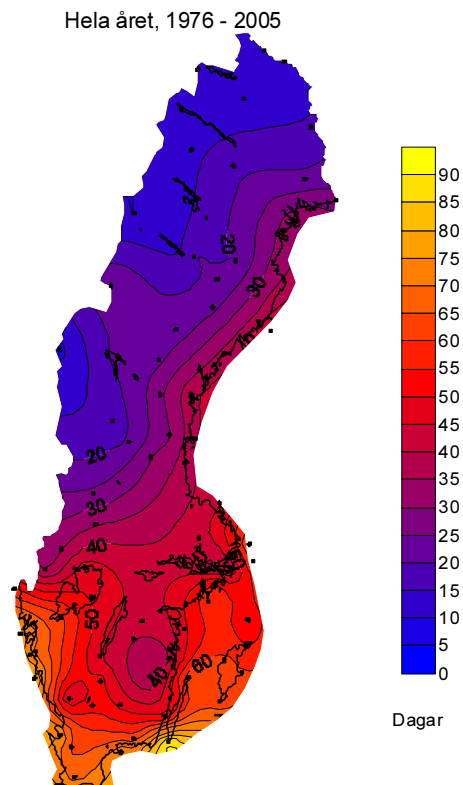
I stora drag stämmer SMHI:s kartor från väderstationer 1976–2005 väl överens med de för perioden 1961–1990 modellberäknade (med de högsta värdena längst i söder och successivt lägre värden ju längre norrut man kommer och upp mot fjällkedjan. Nivåerna är olika – upp till 50 dagar per år under sommaren (juni–augusti) mot 30 som mest för modellberäkningarna men då representerar värdena inte riktigt samma sak.

I modellen beräknas nämligen luftfuktigheten som ett medelvärde för en hel gridruta (50 x 50 km). Landytorna i Sverige är till stor del skogbevuxna och de beräknade värdena representerar 2 m höjd inne i ett skogsbestånd. Detta gör att den modellberäknade luftfuktigheten är högre än vad som motsvarar den öppna ytan vid en väderstation. I scenarierna har man därför använt ett högre gränsvärde för fuktigheten – 90 % istället för 80 %.

Det som kan läsas ut av de modellberäknade kartorna är att antalet dagar med hög relativ luftfuktighet (RF) och temperatur över 10 °C ökar under andra perioder än sommaren samt att under sommaren minskar antalet dagar i Götaland och Svealand samt ökar i Norrland.

Ökad fuktbelastning på byggnader kan ge risk för snabbare nedbrytning av utvändiga material, fuktskador och ökade risker med fukt i grunder och på vindar.

Figur 25 Medelvärde av antalet dagar under hela året då dygnets medeltemperatur är över 10 grader och luftfuktigheten samtidigt är större än 80 % för de senaste 30 åren. (SMHI på uppdrag av Boverket)



Oavsett om antalet rötmånadsdagar, (*Rötmånaden kallas i Sverige tiden mellan 23 juli och 23 augusti, emedan den då rådande värmen påskyndar organiska ämnens förruttnelse, ur Nordisk familjebok*) ökar eller inte så har vi idag tillräckligt många i Götaland, Svealand och längs Norrlandskusten, mellan 35 och 85 dagar. I Boverkets byggregler finns sedan 2006 inskrivet att om det kritiska fukt-tillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat skall en relativ fuktighet (RF) lika med 75 % användas som kritiskt fukttillstånd för materialet.

Konsekvenser av klimatförändringar

Klimatskal

Utöver direkta skador på grund av slagregn eller stormar påverkas byggnadsdelarnas livslängder. Alla byggmaterial i konstruktioner har begränsade livslängder. Dessa beror bl.a. på slitage, hur utsatt konstruktionen/byggmaterialet är för klimatpåverkan och materialets beständighet. Stommen i en byggnad har vanligen en livslängd på långt mer än 50 år medan ytskikt ofta måste bytas betydligt tidigare. I tabell 2 ges exempel på livslängder för olika material.

Tabell 2 Exempel på livslängder (Tolstoy, Svennerstedt 1984 och Tolstoy m.fl, 1990)

Livslängd (år)	Material
7	Målning av plåttak fönster och fasader
20	Byte av papptak
40	Byte av takpannor tegel
35	Byte av plåttak
40	Omputsning av fasader
60	Byte av takpannor betong
50	Byte av fönster

Byggnadens klimatskal, dvs. ytterväggar fönster, dörrar, tak och grund påverkas i stor utsträckning av klimatvariationer. Nedan diskuteras några klimatfaktorer som förväntas ha en påverkan på byggmaterialens livslängder.

För samtliga beräkningar redovisade nedan har vissa förenklingar gjorts. Inledningsvis antas att en investering genomförs vid kalkylperiodens början. Därefter följer reinvesteringar vid respektive livslängds slut. Ingen hänsyn har vidare tagits till restvärden.

Takmaterial

De vanligaste typerna av yttertaksbeklädnad är papp, gummiduk, plåt och takpannor av tegel eller betong.

Papp/gummiduk

Låglutande, platta tak klädda med papp förekommer både på småhus, lokaler och industrier och var särskilt frekventa på 1960- och 1970-talen. Avrinningen från taket är ofta anordnad via takbrunnar och invändiga avlopp. Om brunnarna sätts igen av löv och skräp blir vatten stående på taken vilket ökar risken för fukt- och vattenskador samt belastningsskador på grund av ökad last. Bräddavlopp som skulle kunna träda in vid igensatt avrinning saknas ofta. Vattensamlingar kan också uppstå vid otillräckligt takfall. Pappens beständighet är temperaturberoende och stark sol eller kyla och is minskar åldringsegenskaperna. För tak innebär is risk för att papptäckning slits sönder, eller att takpannor spräcks eller rubbas. Antalet nollpassager väntas dock minska. Generellt sett räknar man med en livslängd på 20 år för papptak/gummiduk. Med högre temperaturer kan livslängden förkortas.

Antag att livslängden minskar med 10 % (från 20 år till 18 år) på grund av ökade temperatur. Kostnaden per m² (material samt arbete) sätts till 350 kr/m². Diskonteringsräntan sätts till 4 %. Årskostnaden kommer då att stiga med 2 kr/m². Den totala mängden papptak uppgår till 515 000 ton (3kg/m²) vilket ger 172 miljoner m².

Tabell 3 Nuvärde för kostnadsökning på grund av kortare underhållsintervall för papp/gummidukstak

Årtal	Nuvärde, med klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärde, utan klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärdet av kostnadsökning (miljarder kronor)
2020	60	60	0
2050	100	104	4
2080	113	106	7

Plåt och takpannor av tegel/betong.

Ökade vindlaster kan förväntas öka skadorna på plåt och takpannor. Det är då infästningen som blir kritisk. För befintliga tak belagda med pannor finns en risk att pannor oftare lossnar från infästningar på grund av kraftigare stormar. Därför kan det vara viktigt att när takpannor byts att se över deras förankring. Växlar temperaturen och is bildas finns risk att isen lyfter eller spräcker pannorna. För plåtar är temperaturrörelserna viktiga att beakta.

Ökande rörelser på grund av eventuellt ökande temperaturspann kan tas om hand vid dimensionering av nya taks infästningar genom anpassning allteftersom nya värden tas fram. Det är dock troligt att temperaturspannet inte ökar genom att det blir färre dagar med minustemperaturer.

Fasadmaterial

Träfasader

En träfasad behöver vanligtvis underhållas med målning, ungefär vart tionde år. Färgen åldras främst av solens ultraviolette strålar och höga temperaturer. Tydliga skillnader i underhållsintervall kan ses mellan norr- och söderfasader. Med ökad solstrålning och nederbörd kommer underhåll troligen att behöva utföras oftare (Tolstoy m.fl.,1990).

Antag att ommålning måste ske inom nio år istället för med ett tioårsintervall. Kostnaden per m² (material samt arbete) sätts till 300 kr/m². Diskonteringsräntan sätts till 4 %. För beräkningen har vidare antagits att fasaden är densamma under kalkylperioden och att endast ommålning sker, vilket är en förenkling.

Den totala mängden träfasad uppgår till 94 miljoner m² (Tolstoy, Svennerstedt 1984)

Tabell 4 Nuvärde för kostnadsökning på grund av kortare målningssintervall för träfasad

Årtal	Nuvärde, med klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärde, utan klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärdet av kostnadsökning (miljarder kronor)
2020	48	47	1
2050	79	75	4
2080	91	83	8

Tegel- och putsfasader

Tegelfasader utan skador är mycket tåliga och ska i normala fall inte påverkas av temperaturvariationer i klimatet. Dock måste avrinningen från tak vara väl fungerande för att teglet ska behålla livslängden. Vidare måste fogarna bytas ut med jämna mellanrum för att risken för fuktinträngning ska minimeras.

Puts tål inte konstant väta och det är därför viktigt att avvattningen från tak är väl fungerande och att vatten ej leds ned på fasaden. En ökning av extremregnen där avvattningen från tak ej är tillräcklig samt en ökning av direkta slagregn riskerar att ge upphov till frostsprängningar vid eventuella nollpassager. Spricker putsen förlorar den sin funktion med risk för att underliggande konstruktion skadas.

Antag att putsens livslängd minskar med 10 % från 40 år till 36 år på grund av ökad temperatur. Kostnaden per m² (material samt arbete) sätts till 600 kr/m². Diskonteringsräntan sätts till 4 %. Årskostnaden kommer då att stiga med 2 kr/m². Den totala mängden putsad fasad uppgår till 70 miljoner m² (Tolstoy, Svennerstedt 1984) vilket innebär en kostnadsökning med 140 miljoner kr per år.

Tabell 5 Nuvärde för kostnadsökning på grund av kortare omputsningsintervall för putsad fasad

Årtal	Nuvärde, med klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärde, utan klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärdet av kostnadsökning (miljarder kronor)
2020	42	42	0
2050	52	51	1
2080	55	53	2

Fönster

På samma sätt som fasader måste målade träfönster underhållas och även för dessa blir underhållsintervallen kortare. Här kan exempelvis risk för ökad kondens ge en snabbare nedbrytning. Energibesparingar har drivit på utvecklingen av fönster som idag tillverkas med mycket goda U-värden och solskydd. Utsidan kan kläs med aluminium vilket förlänger fönstrens livslängd och minskar underhållsinsatserna jämfört med en målad utsida.

Antag att fönster målas om vart sjätte år istället för vart sjunde år. Kostnaden per fönster (material samt arbete) sätts till 300 kr/st och ytan per fönster till 1,5 m². Diskonteringsräntan sätts till 4 %. Årskostnaden kommer då att stiga med 9 kr/st. Den totala arean fönster uppgår till ca 67 miljoner m² (Tolstoy et al 1984).

Tabell 6 Nuvärde för kostnadsökning pga av kortare målningssintervall för träfönster.

Årtal	Nuvärde, med klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärde, utan klimatpåverkan (miljarder kronor)	Nuvärdet av kostnadsökning (miljarder kronor)
2020	32	33	1
2050	48	54	6
2080	53	61	8

Grunder

Om perioderna med ökad luftfuktighet förlängs kommer risken för skador relaterade till kryppgrunder att öka. Detta har varit svårt att kunna uppskatta en kostnad för detta.

Källaröversvämningar på grund av högre vatten nivåer i hav, sjöar och vattendrag samt ökad extrema nederbörds mängder som kan ge dagvattenproblem. Sådana översvämningar har vi inte kostnadsberäknat i denna rapport.

Energiförsörjning

Enligt Rossby Centre s klimatkarta, som redovisar de beräknade dagar då dyngsmedeltemperaturen är under +17°C, kommer antalet graddagar att minska. Hur många färre graddagarna blir varierar över landet, grovt uppskattat rör det sig på 100 år om ungefär 10 % minskning för södra Sverige där de flesta fastigheterna är belägna och upp till 40 % i norra Sverige. Antag att graddagarna i snitt minskar med 10 %. Varmvattenbehovet är likartat oavsett antalet graddagar. För att inte överskatta minskningen har vi här räknat med en minskning med 6 % av uppvärmningsbehovet. För att studera vilken effekt dessa 6 % har på energianvändningen relateras detta till den totala slutliga energianvändningen för bostads och service sektorn m.m. vilket enligt Energimyndigheten (Energiläget i siffror, 2006) var 149,3 TWh varav ca 90 TWh till uppvärmning. Minskningen motsvarar då 5,4 TWh per år.

I motsatts till minskat behov av uppvärmning kommer kylbehovet att öka med fler soliga dagar samt med ett varmare klimat. Ökningen av antalet graddagar antas fördubblas vilket dock inte innebär att kylbehovet fördubblas, eftersom kylbehovet främst för

lokaler även beror på termiska laster från verksamhet och belysning samt direkt solinstrålning genom fönster. Kylbehovet är främst relaterat till lokaler i kontorsbyggnader, vilket innebär att ökningen av energibehovet inte kan påföras hela byggnadsbeståndet. Effektiv solavskärmning som samtidigt tillåter dagsljusinsläpp kan vara en möjlighet att minska det ökade kylbehovet.

I STIL undersökningen (Statens Energimyndighet) har 123 lokalbyggnader med en total area av 834 000 m² inventerats med avseende på energianvändning. Energianvändningen för kyla uppgick till 28 672 MWh/år. Enligt SCB är den totala arean för lokaler 166 miljoner m² (2005). Antag att detta är ett relevant medelvärde per m² lokalyta och att kylbehovet ökar med 80 %.

Tabell 7 Kylbehov för lokaler

	TWh/år
Kylenergibehov enl. STIL (834 000 m ²)	0,03
Totalt kylbehov lokaler dagsläget (166 milj m ²)	5,7
Totalt kylbehov lokaler år 2011–2040 (166 milj m ²)	10,3

Detta kan vara en överskattning då flera lokal typer kanske inte behöver kyla. Dock kan bostäder behöva luftkonditionering i framtiden, vilket inte räknats med här.

Totalt kommer energibehovet att minska med $(5,4 - 4,6) = 0,8$ TWh/år. Vilket motsvarar 0,8 miljarder kronor per år vid ett energipris av 1 kr/kWh. Detta kan vara en underskattning då uppvärmningsbehovet kan minska mer än de 6% som använts i beräkningarna.

Tabell 8 Kostnadsminskning på grund av klimatförändring för energibehov för värme och kyla

Årtal	Nuvärdet av kostnadsminskning (miljarder kronor)
2020	8
2050	16
2080	19

Påverkan på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse

Det moderna kulturarvet får rimligen samma problem som övrig bebyggelse vid en klimatiförändring. Dock kan man framhålla att för den äldre kulturhistoriska bebyggelsen finns ofta på grund av dess höga ålder påbörjade nedbrytningsprocesser som med ett ökat regnande tränger in och en vittring kan påbörjas.

Till det kommer exempelvis att vind påverkar även frid på fornlämningar och kan förorsaka att förhistoriska gravar och kultur-lager blottas i rotvältor och dylikt.

Höjning av havsytan

I kustnära lägen finns ett stort antal kulturmiljöer som ofta har en stark folklig förankring, som t.ex. olika fiskarsamhällen och bad-orter. Även ett antal äldre städer har nära kustanknytning, ex. i Göta älvdal och Gamla stan i Stockholm. Läggs dessa under vatten har det naturligtvis en stor påverkan på kulturmiljön. Även olika typer av skyddsåtgärder som invallningar etc. kan få en påtaglig påverkan på kulturmiljön.

Det svenska skärgårdslandskapet och kustlandskapen rymmer många ovärderliga kulturmiljöer, som äldre fiskelägen, trankokerier, städer som Skanör-Falsterbo, skärgårdshemman med värdefulla betesmarker och strandbebyggelse och de omfattande kulturmiljöer med tomtningar efter medeltida utskärsfiske. Somliga av dessa miljöer är helt centrala för bilden av den svenska national-karaktären.

Ökad vattenförlust i vattendrag

Då vattenkraften var vår första kraftkälla är vårt äldsta industri-historiska arv lokaliserat invid (eller delvis i) vattendrag. Fler extremnivåer kan förmodas medföra ökade skador och därmed underhållskostnader.

En ökad vattenförlust i våra vattendrag påverkar här unika miljöer av det medeltida stenålderssamhällen, där inom varande svenskt område finns ca 10 000 stenåldersplatser i strandnära läge och där ökad vattenförlust ökar erosionsskador och riskerar att vi förlorar dessa boplatser, som är det enda bevarade källmaterialet till kunskap om en central period i Europeisk historia.

Göta älvdal är en av de centrala kulturmiljöerna i Sverige med bl.a. många äldre och unika industrimiljöer har svårt skadats vid skred och översvämningar.

Underhåll

Rent generellt kan det konstateras att en förutsättning för att äldre byggnader skall ha överlevt till idag är att de har varit välanpassade till de klimatologiska förhållandena. Ändras dessa förhållanden så skulle en snabbare nedbrytning kunna ske om inte underhållsåtgärder sätts in.

Stora delar av den äldre bebyggelsen har relativt betungande underhållskostnader. Kortas underhållsintervallerna ökas naturligtvis frestelsen att förenkla underhållet genom att minska fasadernas detaljeringsnivå (det kan bli dyrt att måla om 'snickarglädjen' vart femte år).

Konsekvenserna för halmtak och vasstak kan bli liknande.

Hur linoljefärg motstår mögelpåväxt finns det delade meningar om, men rimligen borde linoljefärg, kalkfärg och andra slamfärger med en vittrande yta kunna fungera relativt väl med sin självrenande yta.

Problematiken med snölast och vindlast gäller naturligtvis även för de kulturhistoriskt värdefulla byggnaderna. När det gäller alla överloppsbyggnader blir då problematiken extra uttalad då deras överlevnad idag ofta är beroende på att de klarar sig med ett minimalt underhåll.

I framförallt Dalarna, Hälsingland och Jämtland finns ett antal hundra medeltida timmerbyggnader), som överlevt med ett minimalt underhåll på grund av de klimatologiska förutsättningarna. Ett varmare fuktigare klimat kan ge ett helt annan mögel- och rötproblem. Samma gäller naturligtvis även för senare ekonomibyggnader.

Hälsingegårdar är nominerade som världsarv. 1700–1800-hus som bland de yppersta exemplen på skandinavisk timmerbyggnadsteknik. Det äldsta trähuset i Sverige lär vara ett kyrkhärbre i Älvdalen från 1285.

Det finns drygt 3 000 kyrkoarv, dvs. kulthistoriskt arv beträffande kyrkor, exempelvis 600 st medeltida kyrkor i Västergötland och 100 kyrkor på Gotland.

Ruiner och slott, runinskrifter (finns 2500 st) kan få ökad vittring och mer lavpåväxt vid ökad fukt och värme.

Förändrade klimatologiska förhållanden påverkar naturligtvis även inomhusmiljön, inte minst i byggnader som helt eller delvis står ouppvärmade som kyrkor, slott osv. Det kan ge en mögelpåväxt dels på byggnadsmaterial i själva byggnaden, men även på de inventarier som förvaras i dem.

Sammanfattningsvis bedöms behovet av underhåll av kulturhistoriskt värdefull bebyggelse komma att öka..

Fornlämningar och kulturlager

Inverkan på fornlämningar är svårbedömbär, men generellt är en förutsättning för bevarande av dem att det råder stabila förhållanden. Stora delar av bebyggelsen i våra medeltida stadskärnor står på kulturlager, vilket medför att en nedbrytning av dem även kan ge konsekvenser för dagens bebyggelse. Långa torrperioder under sommarmånader ge sänkningar av grundvattennivåer, vilket ökar nedbrytning av träpålar och rustbäddar.

Anpassningsåtgärder

Klimatfaktorer

Snö: Om extrema snölaster ökar gentemot tidigare dimensioneringar i södra Sverige kan en rad åtgärder bli nödvändiga att genomföra. Dessa rör bland annat råd om när och hur snöskottning av tak bör utföras, information till berörda om packningsgrad vilket påverkar snölastens storlek och råd om hur varningssignaler vid nedböjning av balkar ska tolkas och till förstärkning av takstolar.

Vind: För att minska risken för skador orsakade av vind är underhållsåtgärder viktiga och en del förebyggande förstärkningar kan behöva utföras efter besiktningar om dimensionerande vindlast kommer att öka. I vindsammanhang är även det viktigt att ha en beredskap och kunna anpassa driften av sin byggnad till elavbrott.

Temperatur: Värmebehovet väntas minska på grund av högre temperaturer. På grund av stigande energipriser och insikt om att minskad energianvändning minskar de globala klimatföränd-

ringarna, gör att energieffektiviseringar kommer att utföras förlöpande i bebyggelsen. För att motverka att kylbehovet ökar i för stor omfattning kommer solavskärmning att användas i ökad utsträckning. Det kan ske i fönsterglaset och i fasta eller rörliga skydd utanför fönstren. Även vita tak och fler träd kring byggnaderna kan minska kylbehovet i framtida bebyggelse.

Fukt: En hög luftfuktighet kombinerad med en hög temperatur kan ge ökade problem av mögel, bakterier, röta, korrosion och insektsangrepp. Ändrade konstruktioner och material kan bli nödvändiga.

Höga vattennivåer: Vid placering av ny bebyggelse är det viktigt att vara medveten om vilka nivåer på vattenytor som kan förväntas. Detta redovisa i rapporter från andra delar i klimat och sårbarhetsutredningen.

Hängrännor, stuprör, brunnar

Löv, barr och annat skräp kan täppa igen avrinningssystem – med risk för skador på väggar och grund. Låglutande tak bör hållas fria från stående vatten vilken enkelt görs genom att avloppen rensas. Är avloppen dimensionerade för normala regn kan dessa behöva kompletteras med förbättrad avvattning. Bräddavlopp, i höjd nära normala avvattningen, kan ge signal när resning behöver ske. Efter långa torrperioder och inför nederbördsperioder bör avvattningssystemen få en översyn och eventuellt rensas. Utjämningsystem med bassänger och lokalt omhändertagande av dagvatten, LOD, är andra aktuella åtgärder.

Fasader och tak

Materialval och val av ytbehandling som minskar underhållsbehov kan bli viktigt i framtiden.

Fönster

För att minska påverkan på fönster från regn bör fönstret placeras så långt in från fasadlivet som möjligt ur arkitektonisk synpunkt. Avvattning i överkant fönster och rätt utformade tvåstegstätningar, samt materialval och val av ytbehandling av fönster kommer att

vara viktiga delar vid projektering av fönster. Vidare bör taksprånget utformas så att fasad och fönster inte får vatten från taket.

Värme, Avfuktare, isolering i kryprum

För att minska risken för mögelskador i kryprum kan man värma grunden, t ex genom att blåsa ner inneluft i tätade kryprum (varmgrund) eller genom att aktivt värma med värmebläkt. Därigenom hålls den relativa fuktigheten på en låg nivå. En annan princip är att avfukta luften i grunden så att relativa fuktigheten hålls under ett kritiskt värde t.ex. 75 %. Vid nybyggnad bör man isolera kantbalken utvändigt samt lägga isolering på marken och ventiler grunden med inomhusluft (s.k. varm grund). Även vid kalla krypgrunder är isolering på marken en fördel.

Vindar

För vindar kan styrning av ventilation, isolering av yttertak och styrd värme eller avfuktning bli framtida åtgärder.

Backventil eller pump för avlopp

Dagvattenledningar är dimensionerade för att klara normala regn. Vid extremfall kan ledningarna bli tillfälligt överbelastade. Detta kan leda till att vatten tränger in i källaren genom golvbrunn och andra avloppsenheter och gäller främst fastigheter anslutna till kombinerat avloppssystem (dagvatten samt avloppsvatten till samma ledning). En backventil (eller pump) skyddar fastigheten mot att vatten från gatuledningen rinner in och orsakar vattenskador.

Värme- och kylbehov

Det finns många möjliga åtgärder för att minska en byggnads värme- respektive kylbehov.

Värmeisolering av väggar och tak minskar uppvärmningsbehovet och de flesta befintliga fastigheterna har redan någon typ av värmeisolering i klimatskalet. Även tillvaratagande av värmen i

frånluften minskar uppvärmningsbehovet. Olika typer av värmesystem t.ex. värmepumpar, solceller mm kan minska energianvändningen för uppvärmning. För att minska kylbehovet är solavskärmning av fönster och fasader viktigt. Det är även viktigt att minska värmeförlusten från datorer och belysning. Kylsystem med fjärrkyla är ofta att föredra framför luftkonditionsaggregat som drivs av el.

Krav på träkvalitet vid inköp, Fuktskyddsprojektering

Fuktskyddsprojektering vid nybyggnad och ändring, ombyggnad och tillbyggnad, och byggkontroll av exempelvis fuktkvot i trä samt relativ fuktighet i betong kommer att användas i allt större utsträckning. Krav ställs på träkvalitet vid inköp: ej blånad, fuktkvotsgränser. Röta är svampar som bryter ned cellerna eller bindningen mellan cellerna i trä och kan uppstå om fuktkvoten är över 20 % och omgivningens temperatur är 0 till 40°C. Rötskadat trä har nedsatt hållfasthet. Mögel uppkommer vid något lägre fuktkvoter. Fuktkvoten bör kontrolleras stickprovvis under byggtiden med hjälp av en elektrisk fuktkvotsmätare. Kontrollen kan ske vid mottagning och vid inbyggnad. Träets fuktkvot bör inte vara högre än 15 % utan att virket ges möjlighet att torka.

Slutsatser

De ekonomiska konsekvenserna av klimatförändringarna är stora förutsatt att dessa påverkar livslängder på material. Här har inte beaktats kostnader på grund av översvämningar, ras och skred på grund av högre vattennivåer i hav, sjöar, vattendrag och grundvatten samt vattenskador beroende av ökade dagvattenmängder. Detta redovisas i andra delrapporter till klimat och sårbarhetsutredningen. Sammanställningen visar konsekvenserna av kostnadsökningen i nuvärden för ökat utbyte av papptak, tätare intervaller för målning av träfasader och fönster samt konsekvensen av kortare livslängd för putsade fasader. Detta skulle bli orsakat av eventuellt högre temperaturer och fuktigare klimat. Minskning av energianvändning för uppvärmning är större än den förväntade ökningen av komfortkyla.

Tabell 9 Nuvärdet i miljarder kronor för antagna kortare underhållsintervall, mindre uppvärmning och mer komfortkyla

Årtal	Nuvärdet av kostnadsökning	Nuvärdet av kostnadsökning	Nuvärdet av kostnadsökning	Nuvärdet av kostnadsökning	Nuvärdet av kostnadsminskning	Summa Miljarder kronor
	Papptak	Tegel och putsfasader	Träfasader	Ommålning fönster	Värme och kyla	Utvändigt underhåll och energi
2020	0	0	1	1	-8	-6
2050	4	1	4	6	-16	-1
2080	7	2	8	8	-19	+6

Energibehovet i lokalbyggnader bedöms totalt sett att minska med 0,8 TWh/år. Vid ett energipris på 1 kr/kWh innebär detta en minskning med 0,8 miljarder kronor per år. I detta ingår ett ökat kylbehov av 4,6 TWh/år. Vinsten av minskad energianvändning för uppvärmning kan bli betydligt högre än i beräkningarna – inte minst med tanke på att riksdagens miljömål är en minskning av 1995 års energianvändning i bebyggelsen med 20 % till 2020 och 50 % till 2050.

Flera saker har vi inte kostnadssatt på grund av svårigheter att kostnadssätta eller att uppskatta förändringar. Anpassningar kommer troligen att göras vilket också gör kostnadsberäkningar svåra. Minskade kostnader för sönderfrysningar än idag är troligt pga. färre nollpassager. Beträffande fukt och mögel ger miljöbalken fastighetsägare skäl att förhindra mögeltillväxt som ger olägenhet för hälsa. Ökade problem i kryprum, på vindar och utvändigt är att vänta. Dessa är svåra att kalkylera kostnad för, på annat sätt än det ökade underhållsbehovet ovan. Ökade extrema vindlaster kan ge ökade skador men är idag svåra att kostnadssätta. Problem med högre snölaster än dimensionerat kan uppkomma i områden där byggnaderna är dimensionerade för låga snölaster i södra Sverige samtidigt som snölaster totalt blir lägre. För de kulturhistoriskt värdefulla byggnaderna kan behovet av underhåll komma att öka.

Boverket har ett regeringsuppdrag om byggnaders tekniska egenskaper, en statistisk urvalsundersökning som rapporteras 1 december 2008 vilken kommer att ge ett mer uppdaterat underlag än vad som har använts i denna rapport.

Klimatprognoserna bör följas upp med verkliga mätningar så att vind-, snö- och andra laster kan följas upp och modifieras

Information och anpassning – regler för nybyggnad och successiva lärdomar gör att kostnaderna i övrigt kan bli lägre än beräknat ovan.

Referenser

- Boverket (2006) Vad händer med kusten? Erfarenheter från kommunal och regional planering samt EU-projekt i Sveriges kustområden, Boverket, Karlskrona
- Boverkets byggregler (2006) BFS 1993:57 med ändringar till och med BFS 2006:12, Boverket, Karlskrona
- Boverkets konstruktionsregler (2006) BKR, BFS 1993:58 med ändringar BFS 2006:11, BKR 10, Boverket, Karlskrona
- Jacobson&Widmark(1996) Kartläggning av materialflöden inom bygg- och anläggningssektorn, Naturvårdsverket, Stockholm
- Lindgren, H., Wilhelmsen, A-M. (1993) Sveriges industrihus, Beståndets egenskaper och sammansättning. Byggforskningsrådet R26:1993. Stockholm
- Nord, Margitta (2007) Klimatindikatorer – Relativ Luftfuktighet och temperatur. Rapport till Boverket, Karlskrona
- Rosby Centre , SMHI, Linköping, 2007 Kartmaterial, klimatindex, modeller, emissionsscenarier, tidsperiod, www.smhi.se
- SCB (2005) Rikets fastigheter 2005, del 1. Statistiska meddelanden BO 27 SM 0501
- Statens Energimyndighet (2006) Förbättrad energistatistik för lokaler – ”Stegvis STIL” Rapport år 1. Inventeringar av kontor och förvaltningsbyggnader
- Tolstoy et al (1984) Bostäder och lokaler ur energisynpunkt Med M84:8. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle
- Tolstoy, N et al (1990) External building materials – quantities and degradation. The National Swedish Institute for Building Research (Statens institut för byggnadsforskning), Gävle
- Tolstoy, N et al(1993), Bostadsbeståndets tekniska egenskaper, ELIB-rapport 6, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle
- Tolstoy, N., Svennerstedt, B. (1984) Reparationsbehov i bostäder och lokaler. Statens institut för byggnadsforskning. Meddelande M84:10. Stockholm

Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar

Skogsstyrelsen, Hillevi Eriksson m.fl.

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-06-20

Innehåll

Förord.....	5
Förslag till anpassning – sammanfattning.....	7
Förutsättningar	7
Anpassning nu.....	7
Anpassning senare	10
1 Inledning.....	11
2 Hur ändras klimat och koldioxidhalt?.....	12
2.1 Utsläppsscenarier och koldioxidhaltens utveckling	12
2.2 Temperatur och säsonger	14
2.3 Nederbörd.....	15
2.4 Vind	16
2.5 Jämförelser med dagens klimat i övriga Europa.....	16
3 Hur påverkas träden?	17
3.1 Tillväxt	17
3.2 Spontan självföryngring av träd	23
3.3 Virkeskvalitet	25
4 Hur påverkas frekvensen av skador på skog?.....	29
4.1 Stormfällning.....	29
4.2 Skadesvampar	30

4.3	Skadeinsekter	33
4.4	Viltskador	36
4.5	Frost och snöbrott	38
4.6	Torka och komplexa klimatskador.....	38
4.7	Skogsbrand.....	40
5	Hur påverkas skogsbruket?	40
5.1	Markberedning och föryngring	40
5.2	Drivning och uttransport av virke.....	41
5.3	Hur påverkas den svenska skogssektorn av effekter i omvärlden?	43
5.4	Hur påverkas arbetet med klara miljömålet Levande skogar?	47
6	Hur kan skogsbruket anpassas?	50
6.1	Medveten riskhantering	50
6.2	Trädslagsval.....	52
6.3	Utnyttjande av förädlad och förflyttat genetiskt material	57
6.4	Kortare omloppstider.....	58
6.5	Skötsel för minskad vindfällningsrisk	58
6.6	Körning på otjälad mark och skogsbilväg.....	59
6.7	Åtgärder för att motverka skador på skog.....	61
7	Slutord	64
	Referenser	65

Förord

Den här rapporten har utarbetats som ett bidrag till Klimat- och sårbarhetsutredningen som enligt direktiven ska göra en kartläggning av det svenska samhällets sårbarhet och beredskap för extrema väderhändelser och långsiktiga klimatförändringar på kort, medellång och lång sikt samt bedöma behovet av anpassning till ett förändrat klimat för olika sektorer i samhället. Frågan om hur en ökad efterfrågan på klimatneutrala bränslen ska mötas finns med som en bakgrundsfaktor.

Rapporten behandlar främst skogen ur produktionssynpunkt. Effekter på den biologiska mångfalden i skogen behandlades i en annan underlagsrapport till utredningen (Lennartsson och Simonsson 2007).

Huvudförfattare är Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen, som också är ansvarig för urval av innehåll och slutsatser. Följande personer har bidragit med underlagstexter till rapporten:

- Johan Bergh, SLU (växtfysiologi, tillväxteffekter)
- Johan Sonesson, Skogforsk (skogsgenetik, drivning, skogsbilvägar)
- Kristina Blennow (risk för stormfällning)
- Jonas Bergquist, Skogsstyrelsen (trädslag, virkeskvalitet)
- Mats Nylinder, SLU (virkeskvalitet)
- Helena Bylund, SLU, Hans Samuelsson, Skogsstyrelsen och Martin Schroeder, SLU (skadeinsekter)
- Elna Stenström, SLU (svampskador)
- Pia Barklund, SLU (svampskador och komplexa skador)
- Christer Kalén, Skogsstyrelsen (viltfrågor)
- Per Rosenqvist, Miljödepartementet (klimatförändringar)
- Mats Josefsson, Skogsstyrelsen (skogsbilvägar)
- Ulrika Berggren, Skogsstyrelsen (miljömålet Levande skogar)
- Sven A Svensson, Skogsstyrelsen (virkestillgångar och efterfrågan internationellt).

Texterna i avsnitten 2.2–2.4 är referat av text från Rossby centers hemsida: <http://www.smhi.se/sgn0106/leveranser/info.htm>

Ytterligare fler personer har bidragit till rapportens tillkomst genom att ge värdefulla litteraturtips och synpunkter, bland annat Karin von Arnold, Magnus Fridh, Per Hansson, Anna Maria Jönsson, Bo Långström, Mats Nylinder, Lars Rytter, Jonas Rönnberg, Jan Sandström, Jens Peter Skovsgaard, Ben Smith, Jan Stenlid och Karin Tormalm.

Johanna Frohm

Hillevi Eriksson

Förslag till anpassning – sammanfattning

Förutsättningar

Under arbetet med klimatfrågan har under årens lopp ett antal slutsatser dragits som handlar om hur svenskt skogsbruk kan anpassa sig till förväntade klimatförändringar. Slutsatserna antas gälla med hänsyn tagen till osäkerheten i utvecklingen – dock inom vissa gränser. Förändringarna får inte bli mycket större och mer dramatiska än dem som beräknas följa på A2-scenariet. Då krävs en annan analys. Det finns å andra sidan också en möjlighet att världens länder ganska snart lyckas inleda en signifikant minskning av växthusutsläppen, så att till och med B2-scenariet medför för stor förändring. Även ett riktigt optimistiskt scenario leder dock till en rätt påtaglig klimatförändring på våra breddgrader. Slutsatserna som avser ”anpassning nu” kan antas i hög grad gälla även under ett sådant scenario.

Avsikten med förslagen är att uppfylla intentionerna i skogspolitiken, vars huvudriktning angavs i det skogspolitiska beslutet från 1993 (proposition 1992/93:226), och även i berörda delar av miljöpolitiken så som den preciserats sedan dess, bland annat i form av miljökvalitetsmålen Begränsad klimatpåverkan, Levande skogar och Ett rikt växt- och djurliv.

Slutsatser när det gäller såväl trädslagsval som andra anpassningsbehov i denna rapport gäller i första hand den kommande omloppstiden och därmed föryngringen under det närmaste decenniet. Alla slutsatser måste omprövas med jämna mellanrum utifrån den riktning klimatet och samhällsutvecklingen tar.

Anpassning nu

Klimatförändringarna ökar skaderiskerna och ger därmed skogsägarna anledning att i högre grad än tidigare sprida riskerna i sitt brukande av skogen. Det kan innebära att man:

- ger fler trädslag plats i skogen,
- bibehåller eller ökar arealen av blandbestånd,
- sköter skogen för ökad stormfasthet i vindutsatta lägen,

- ökar variationen i proveniens (fröets geografiska ursprung) vid plantering/sådd,
- varierar gallringsregim, omloppstider och avverkningsregim (t ex via kontinuitetsskogsbruk) utanför de mer traditionella valen (men innanför lagens gränser), och/eller
- förbättrar sitt försäkringsskydd.

Det är sannolikt önskvärt med en breddning av möjligheterna att försäkra sig mot kostsamma skador. Vidare vore det önskvärt med bättre möjligheter för mindre skogsägare att samverka med rågångsgrannarna i sin avverkningsplanering. Då skulle uppkomsten av extremt vindutsatta hyggeskanter kunna minska.

För att öka anpassningen till de ändrade produktionsförutsättningar som med stor sannolikhet kommer kan man se behov av viss ökad satsning på tall i Götaland och Svealand på torkkänsliga och vindutsatta marker, och på gran i Norrland på marker med medelgod till god produktionsförmåga.

Eftersom förutsättningarna för hjortviltet sannolikt gynnas krävs en förbättrad skog-viltbalans, utifrån en kunskapsbaserad viltförvaltning, annars begränsas möjligheterna till riskspridning och anpassning via trädslagsval påtagligt av betesskadorna. Morgondagens viltförvaltning påverkar också möjligheterna att skydda biologisk mångfald som är knuten till de trädslag som betas hårt.

Sämre förutsättningar för vinterdrivning och uttransport till följd av varmare och blötare vintrar med kortare tjalperioder skulle kunna innebära minskad frihet i traktplaneringen samt ökade problem med skador på rinnande vatten i skogslandskapet till följd av läckage av minerogent och/eller organiskt material. Det är således angeläget att man nu börjar tillämpa en mer skonsam drivningsplanering, där skador på avrinnande vatten undviks genom att man bygger miljösäkra överfarter över vattendrag och inte kör nära ytvatten eller i utströmningsområden. Man bör också inleda ett kvalitetshöjande arbete både när det gäller skogsbilvägar och nyckelsträckor i det allmänna vägnätet, så att åtkomligheten av virket bibehålls över tiden. Samverkansformerna mellan olika intressenter kan behöva utvecklas.

Skyddet för skogens biologiska mångfald bör öka, speciellt i följande avseenden:

- skydd/hänsyn som bibehåller möjligheter till bevarande av skyddsvärda skogslevande arter, och som underlättar förskjutningar i deras utbredningsområden,
- utvecklad planering och teknik för körning i skogsmark och för skydd vid överfarter över vattendrag (jfr ovan).

Utvecklade system för observation och inrapportering av skadeutbrott i skogen kan både ge tidiga indikationer på behov av motåtgärder och, med tiden, underlag för analys av vilka typer av skador som ökar och i vilka regioner de gör det.

Klimatförändringarna kommer med stor sannolikhet att kunna påskynda spridningen av rotröta. Det talar för ökade insatser för att förebygga eller motverka sådan spridning, exempelvis via stubbehandling med biologiska eller andra miljövänliga medel vid gallring/slutavverkning av bestånd med stor andel gran. På speciellt drabbade marker kan man överväga att byta trädslag vid förnyringen.

Även snytbaggen kommer sannolikt att gynnas av klimatförändringarna, speciellt i Mellansverige och norrut. En fortsatt utveckling av kostnadseffektiva miljövänliga metoder att motverka angreppen är önskvärd.

Någon form av gemensamt organiserad brandövervakning bör sannolikt finnas, liksom en genomtänkt krisberedskap för olika extrema händelser som kan drabba skogen.

Möjligheterna behöver öka för skogsägarna och andra aktörer att anpassa och sprida riskerna med sitt brukande av skogen, med bibehållen hög och värdefull virkesproduktion och begränsade negativa effekter på miljön. Således motiverar klimatförändringarna att man söker ökad kunskap via forskning och utveckling om exempelvis:

- klimatförändringars effekter på olika faktorer (t ex olika skadegörare eller vattenbalansen för olika trädslag), och hur dessa effekter sammantaget påverkar skogen och brukandet,
- skötsel för hög produktion av skogar med olika trädslagsblandning, gallringsregimer, etc.,
- nya metoder inom skogsbruket som motverkar skador på miljön (t ex i form av utvecklade maskiner och logistiksystem för drivning på otjälad mark),
- miljövänliga motåtgärder mot skador (kända, tänkbara nya),

- åtgärder för att bevara biologisk mångfald och viss virkesproduktion samtidigt.

Anpassning senare

Så småningom kommer sannolikt en anpassning mot kortare omloppstider (i genomsnitt) att vara lämplig. Vidare behöver man anpassa proveniensval och metoder vid föryngring, med ökad grad av nordförflyttning och lägre grad av självföryngring. På sikt behövs ytterligare förändringar när det gäller val av trädslag. En rad föreskrifter och allmänna råd till Skogsvårdslagen kommer att behöva justeras, både till följd av det ändrade klimatet och till följd av ny kunskap som medför att vad som räknas som "beprövad erfarenhet" kan breddas.

1 Inledning

Klimatproblemet kommer på sikt att påverka skogsbruket på många sätt; genom klimatförändringarnas direkta påverkan på skogen, genom klimatstyrmedlens påverkan och genom hur motåtgärder och anpassningar kommer att påverka samhället i stort när det gäller energikostnader och global utveckling. Åtgärder som var speciellt inriktade på att minska nettoemissionerna av växthusgaser började påverka det svenska skogsbruket år 1991 då man införde en koldioxidskatt som syftade till att försämra de fossila bränslena ställning på marknaden. Sedan dess har biobränslenas bidrag till energiproduktionen ökat, från ca 65 TWh till över 110 TWh per år till år 2005, varav den övervägande delen hämtas från svensk skog och utgörs av restprodukter från skog, skogsindustri, förädlingsindustri och samhälle.

I den långsiktiga målbilden i de skogliga sektorsmålen som antogs år 2004 (Skogsstyrelsen 2004) anges att: "Skogen brukas och bidrar till ett samhälle med begränsad klimatpåverkan. Detta innebär främst en förmåga att leverera förnybar energi, trä och andra råvaror som inte medför nettoutsläpp av växthusgaser."

Osäkerheterna kring hur såväl effekter som åtgärder kommer att påverka skogen, skogsbruket och skogsindustrin i framtiden adderar till den osäkerhet som ändå skulle ha funnits kring nationell och internationell tillgång och efterfrågan på olika virkes-sortiment och -kvaliteter, när man försöker se många decennier framåt.

År 2004 gjordes en litteraturöversikt över kunskapsläget kring hur ett förändrat klimat kan komma att påverka den svenska skogen, ur ett skogsbruksperspektiv (Sonesson m fl 2004). Samtidigt som den anger riktningen för många sannolika effekter pekar den samtidigt ut kunskap som saknas (se också Sonesson, 2006). Syftet med denna rapport är att komplettera ovan nämnda litteraturöversikt och bidra till den pågående diskussionen om hur det svenska skogsbruket i olika landsdelar kan påverkas och eventuellt anpassas till kommande klimatförändringar, med hänsyn tagen till den osäkerhet som finns kring hur omfattande förändringarna i verkligheten blir.

Om inget annat redovisas är det ungefärliga klimatförändringar under detta sekel till följd av A2-och B2-scenarierna enligt Echam-modellen som avses (jfr kap 2).

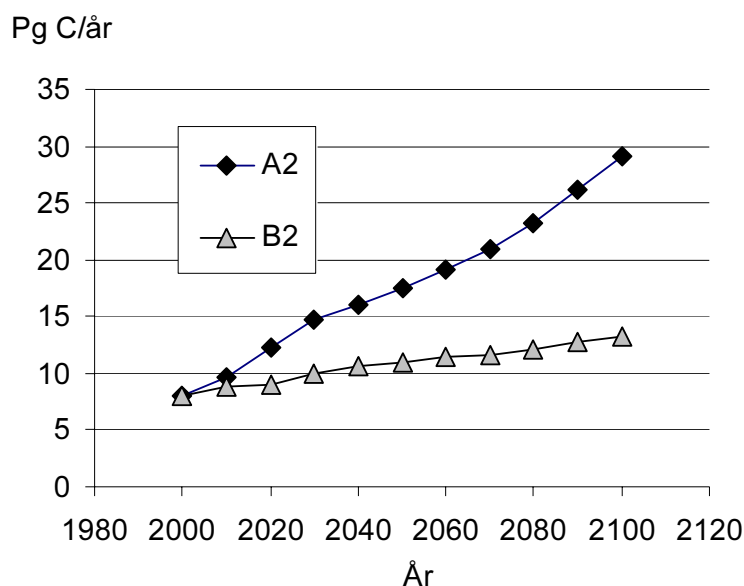
I bakgrunden finns antagandet att skogens roll som biobränsle- och trävaruleverantör kommer att fortsätta att vara viktig, till följd av satsningar på att minska användningen av fossila bränslen i världen. En diskussion om granens framtid i södra Sverige ges speciellt utrymme eftersom den frågan har lyfts i många sammanhang på senare år.

2 Hur ändras klimat och koldioxidhalt?

2.1 Utsläppsscenarier och koldioxidhaltens utveckling

Rosby Centre, SMHI har på beställning av utredningen tagit fram ett stort antal klimatkartor som på olika sätt beskriver klimatet och dess möjliga utveckling. Materialet bygger på beräkningar med Rosby Centrets regionala klimatmodell RCA3 och havsmodellen RCO. Datainput till dessa modeller har i sin tur hämtats från körningar av globala klimatmodeller. Resultatkartorna kan studeras på: <http://www.smhi.se/sgn0106/leveranser/info.htm>

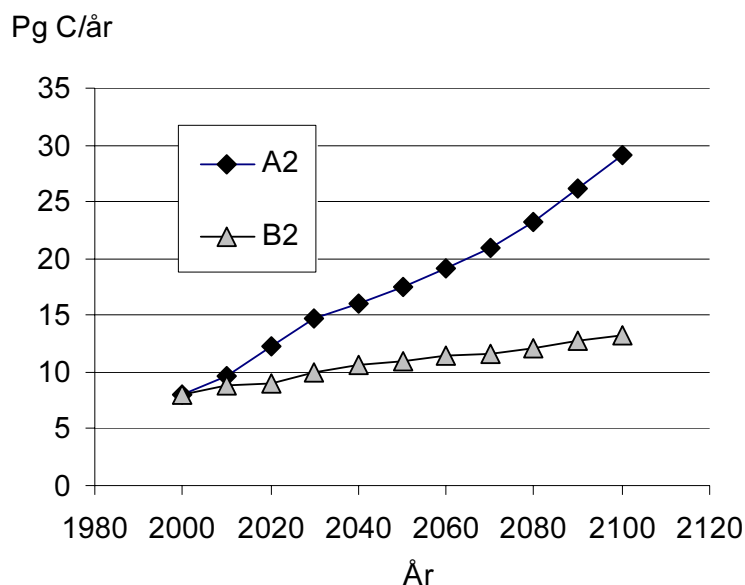
Figur 2.1 Utveckling av utsläpp av koldioxid i A2-och B2-scenarierna



Källa: www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/519.htm

I denna rapport refereras till resultat från Rossby Centre som bygger på indata från de två mest använda modellerna för simulering av globala klimatscenarier; en tysk (Echam) och en engelsk (Hadley) modell. Som input till dessa används en rad utsläppsscenarioer. Av dessa refereras här endast till resultat för A2 och B2. A2 innebär högre utsläpp och B2 lägre (fig 2.1), vilket också avspeglar sig i vilken uppvärmning som orsakas globalt (fig 2.2). A2 beräknas medföra en grad högre medeltemperatur för jorden till år 2100 än B2 (3,8 respektive 2,7 graders ökning jämfört med 1990). Hittills har utsläppsutvecklingen närmast följt A2 sedan 1990. Den ökande medvetenheten i världen under senare år inger ändå visst hopp om att vi ska kunna lämna den utsläppsutvecklingen och röra oss ner mot B2 inom ett par decennier? Till varje utsläppsscenario hör också en beskrivning av olika trender i ekonomisk och miljömässig utveckling som kan 'förklara' just det utsläppsscenarioet (se www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm). I denna rapport representerar scenarierna dock enbart sin haltutveckling och den därpå följande skattade klimatförändringen.

Figur 2.2 Global ökning i "värmande effekt" (radiativ forcing) med A2-och B2-scenarierna



Källa: www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/519.htm

2.2 Temperatur och säsonger

Sett över hela perioden, 2071–2100 jämfört med 1961–1990, ökar Sveriges årsmedeltemperatur i scenarierna med 2,5–4,5 °C. Ändringen är signifikant redan om man jämför perioden 2011–2040 med referensperioden 1961–1990. Temperaturökningen är störst under vintern, 2,8–5,5 °C vid slutet av seklet. Den större ökningen under vintern hänger samman med att snön minskar kraftigt i det varmare klimatet. Det leder i sin tur till ännu högre temperaturer. Den största temperaturökningen under vintern beräknas för Norrlandskusten och Svealand, och det är även i dessa områden som minskningen av snötäckets utbredning är som störst. Under sommaren sker största ökningen i temperatur främst i den sydligaste delen av landet.

Den del av året som det finns ett sammanhängande snötäcke blir minst en månad kortare fram till perioden 2071–2100 i alla scenarierna. Detta gäller i hela landet utom i Skåne och längs Götalandskusten, där snön försvinner så gott som helt i scenarierna. De

största förändringarna, med mellan två och fyra månaders förkortning av snösäsongen, beräknas för delar av Svealand och Norrlandskusten. Samtidigt minskar också det maximala snödjupet i hela landet, mest i de områden som har lite snö redan i dagens klimat, men även i fjällkedjan.

Temperaturen ökar framförallt under de allra kallaste vinterdagarna. Samtidigt ökar också medeltemperaturen och temperaturen under mildare dagar, men inte lika mycket. Mönstret, med störst förändring under kalla dagar, gäller under vintern för hela landet. I Götaland är det också varma dagar under sommaren som blir relativt sett ännu varmare. I övriga landet förväntas temperaturen öka mer likartat både under svala och varma sommardagar.

Uppvärmningen leder till att klimatzonerna flyttar norrut. I de scenarier som beskrivs ovan beräknas vegetationsperioden, det vill säga den del av året då dygnets medeltemperatur under en sammanhängande period är över 5 °C, öka med mellan en och två månader i hela Sverige utom i södra Götaland där den beräknade ökningen är uppemot tre månader. Det totala uppvärmningsbehovet under vinterhalvåret kan komma att minska med mellan 10–30 % i olika delar av landet. Å andra sidan kan kylningsbehovet under sommarhalvåret öka i viss utsträckning.

2.3 Nederbörd

Nederbörden som faller över Sverige förväntas öka under det närmaste seklet med mellan knappt 10 och drygt 20 %. Skillnaden i årsnederbörd jämfört med 1961–1990 är signifikant redan under perioden 2011–2040. Echam-modellen med kraftigare västvindar över hela Norden ger mer nederbörd i hela området. Hadley-modellen pekar tvärtom på minskad västvind och därigenom minskad nederbörd väster om den skandinaviska fjällkedjan samtidigt som mer nederbörd fås öster om fjällkedjan då sydostvindar blir vanligare. Under sommaren förväntas Götaland få minskad nederbörd i alla simuleringarna. I norra Norrland förväntas nederbörden öka något även på sommaren.

I samtliga scenarier och i hela landet gäller att extremnederbörden, exempelvis uttryckt som mängden nederbörd under ett dygn, förväntas öka. I Götaland under sommaren kommer det alltså att regna totalt sett mindre och mer sällan, men mer i form av kraftiga skurar. I norra Norrland under sommaren och hela landet

under vintern kommer det att falla totalt sett både mer nederbörd och oftare. Dock vägs den ökade nederbörden upp av ökad avdunstning, vilket medför att avrinningen inte ökar, och då sannolikt inte heller grundvattennivåerna i medeltal. Man kan ändå spekulera i om torra marker på grova sediment kan bli något mindre torra eftersom regnvatten där lätt perkolerar ner i marken. Istället kan marker med tunna jordtäcken bli mer utsatta för torka i hela landet eftersom avdunstningen ökar och vattenförråden där lätt tar slut.

2.4 Vind

Vindförhållandena förändras endast marginellt under sommaren i de olika scenarierna. Under resten av året och främst under vintern varierar förändringen beroende på vilken global klimatmodell som använts. I beräkningarna baserade på Hadley-modellen är vindförändringarna i allmänhet små i regionen. I beräkningarna baserade på RCA3 och Echam-modellen ökar vindhastigheterna under vintern med i medeltal 7 till 13 % till i slutet av seklet, beroende på vilket utsläppsscenario som användes. Något större ökning sker över Östersjön på vintern, speciellt Bottenviken och Bottenhavet. Detta beror på att havsisen till stor del försvinner i scenarierna. Det gör atmosfären mindre stabil och främjar högre vindhastigheter. Den maximala vindhastigheten beräknas förändras ungefär lika mycket som medelvindhastigheten.

2.5 Jämförelser med dagens klimat i övriga Europa

Det är svårt att hitta områden som visar absoluta likheter i temperaturklimatet med det prognostiserade kommande klimatet i södra halvan av Sverige om 60–90 år (tidigare för A2 och senare för B2). I Centraleuropa är vintrarna generellt kallare, åtminstone jämfört med dem vi får mot mitten och slutet av seklet. För att hitta jämförbara områden i denna riktning får man ta sig långt ner i Europa t.ex. mot områden nära Svarta havet, här är å andra sidan somrarna betydligt varmare även än de vi kan förvänta oss i slutet av seklet. I lite högre belägna områden i exempelvis Rumänien kan man hitta områden med liknande sommartemperaturer som de vi kan förvänta oss i Sverige men här är istället vintertemperaturerna

betydligt lägre än de prognosticerade. Koncentrerar man sig till vinterklimatet förskjuts de studerade områdena i sydvästlig riktning klimatmässigt och dagens temperaturklimat i Danmark, Holland, Belgien, Nordfrankrike och Storbritannien uppvisar stora likheter med de projicerade klimatscenarierna för olika delar av södra halvan av Sverige. I Storbritannien är det dock mindre risk för kraftiga kallluftsutbrott under vintern och lägre sommartemperaturer än i framtidens sannolika svenska klimat. I norra Frankrike utmed kanalkusten och längs hela kuststräckan längs Holland, Belgien och Nordtyskland är somrarna svalare än de sannolikt blir i södra Sverige.

Sammanfattningsvis kan man säga att områden där nuvarande vintertemperaturklimat går att jämföra med de studerade områdenas framtida vinterklimat i regel har ett svalare sommarklimat än det som projiceras för de svenska områdena, och områden som har ett liknande sommarklimat har ett mildare vinterklimat.

3 Hur påverkas träden?

3.1 Tillväxt

Temperatur

En allmän uppfattning är att klimatet i Sverige är för kärt för att tillåta riktigt hög skogsproduktion. Dessutom anses vi ha långsamt växande trädslag. Ur biologisk synvinkel är dock inte våra skogsträd långsamma i jämförelse med ”snabbväxande” trädslag på sydligare breddgrader. Fotosyntesapparaten är lika effektiv och under tillväxtperioden är tillväxthastigheten per dag minst lika hög. Den stora skillnaden ligger i tillväxtperiodens längd och mängden infallande solljus. En förlängning av vegetationsperioden, som en effekt av ett förhöjt temperaturklimat i framtiden, innebär att mer av solljuset kan utnyttjas för fotosyntesproduktion.

Förutom att temperaturen förlänger vegetationsperiodens längd påverkar temperaturen även produktionen genom att den direkt påverkar fotosynteshastigheten och respirationen, där differensen mellan fotosyntes och respiration kallas för nettoprimärproduktion (NPP) och kan ses som ett mått på tillväxten. Vid uppbyggnad av växtbiomassa och vid underhåll av funktioner hos levande växtceller avges koldioxid genom respirationen (cellandning). Respira-

tionen är starkt temperaturberoende och ökar exponentiellt med ökad temperatur. Till skillnad från fotosyntesen pågår respirationen hela dygnet året runt. Fotosynteshastigheten ökar däremot linjärt från någon minusgrad upp till 8–10 °C för att sedan avta och hålla sig relativt konstant för temperaturer mellan 10–25 °C. Därefter avtar fotosynteshastigheten.

Knoppsprickning och skottskjutning på våren hos våra barr- och lövträd påverkas av lufttemperaturen och dagslängden. Hos barrträd är den oftast starkt korrelerad till en temperatursumma, medan lövsprickningen hos vissa av våra lövträd beror av en kombination av temperatursumma och dagslängd. En ökning av luftens temperatur kommer därför att leda till tidigare skottskjutning och lövsprickning, dock i lägre grad för bok som främst styrs av dagslängd. Med ett förhöjt temperaturklimat enligt SMHI:s scenarier kommer knoppskjutning och lövsprickning att ske 2–5 veckor tidigare än idag vilket kan öka fotosyntesproduktionen. För lövträd betyder tidigare lövsprickning betydligt mer eftersom lövträden omsätter hela sitt lövverk varje vår. Tidigare skottskjutning och lövsprickning kan under vissa omständigheter öka risken för frostsador (se speciellt avsnitt nedan), som kan vara allvarliga i plant- och ungskogar.

De två dominerande faktorerna är dels en tidigare start på våren så att mer solljus kan utnyttjas för fotosyntesproduktion och dels en ökad koldioxidhalt. Respiration och tidigare skottskjutning är av mindre betydelse i det här sammanhanget. Barrträd som redan har större delen av barrskruden på våren kan direkt utnyttja en tidigare start medan lövträd måste få en tidigare lövsprickning för att kunna ta tillvara en tidigare vår. Kopplingen till dagslängd för lövsprickning inverkar således hämmande, och alltså speciellt för bok.

Växtnäring

Vid sidan om tillväxtsäsongens längd är det nästan utan undantag tillgången på växtnäring (främst kväve) som begränsar produktionen i naturliga skogsekosystem i Sverige. Ett förändrat klimat med en ökad lufttemperatur leder till en ökad marktemperatur. Detta kommer att öka den biologiska aktiviteten och mineraliseringen, vilket leder till ökad barr/bladmassa och tillväxt. Effekten är sannolikt betydligt större i norra jämfört med södra Sverige, dels på grund av att näringsutbudet idag generellt är lägre i norra Sverige

jämfört med södra och dels på grund av den stora gradienten i kvävenedfall över Sverige. I ett markuppvärmningsförsök i medelålders granskog i Västerbotten, där man har värmt upp marken med 5 °C över den naturgivna marktemperaturen på försökslokalen, har man ökat stamvolymtillväxten med nästan 100 % under en sexårsperiod, så här långt. Detta kan jämföras med att man i Kronobergs län, där medeltemperaturen är ca 5 °C högre än i Västerbotten, i medeltal har ca 130 % högre medeltillväxt på granmark med i övrigt lika ståndortsfaktorer.

Vatten

På de flesta marker i norra Sverige är vattentillgången normalt sett inte begränsande för produktionen, eftersom nederbörden överstiger avdunstningen och att det finns gott om markvatten i början av säsongen som följd av snösmältningen. På grova sediment och sandiga moräner, där vatten rinner lätt igenom markprofilen, kan brist på vatten ändå ha en viss begränsande effekt på produktionen under sommaren. På sådana marker kan vattentillgången möjligen bli något mindre begränsande i genomsnitt i Norrland.

I södra Sverige, särskilt i de östra delarna av Götaland, begränsar vattentillgången vanligtvis tillväxten under sommaren, utom på de marker där grundvattennivån förblir inom räckhåll för träden. Trädslag med hög barr/bladmassa, som gran och flesta lövträd är sannolikt känsligare mot minskad nederbörd under sommaren. Vattenavrinningen beräknas minska i medeltal under sommaren i Svealand och speciellt i Götaland, vilket i så fall innebär en minskad areal där grundvattennivån förblir inom räckhåll under sommaren. Trädslag med stort vattenbehov påverkas mest negativt där vattentillgången ökar. Mängden barr och blad är relaterat till ålder och beståndsstruktur och täta medelålders skogar har vanligtvis störst vattenbehov. Trädens vattenhushållande förmåga spelar också roll. Tall och ek har generellt bättre tålighet än gran och de flesta övriga lövträd.

Enligt Rossbys klimatsimuleringar påverkas sommaravrinningen från i Norrland ganska litet. Den skattade avrinningen bör spegla grundvattennivåerna någorlunda väl. I Svealand och speciellt Götaland minskar sommaravrinningen i medeltal. Vissa fuktiga och blöta marker, med tillväxthämmande höga grundvattenstånd, kan därmed få större chans att torka upp i ytan och medge tillväxt.

Effekter på grundvattennivåer av olika förändringar i nederbörds-klimat bör kunna utredas bättre med hjälp av hydrologisk modellering på ett urval befintliga avrinningsområden i olika delar av landet.

Koldioxid

I kortvariga laboratorie- och fältförsök leder en ökning av koldioxidhalten till kraftigt ökad fotosynteshastighet. Efter en tid (månader-år) verkar dock växterna anpassa sig till den nya koldioxidhalten och fotosynteshastigheten går nästan ner till samma nivå som vid "normal" koldioxidhalt (~360 ppm). Fält-experiment, där hela träd under flera år har behandlats med förhöjd koldioxidhalt, har visat att den långsiktiga fotosyntesökningen är beroende av näringstillgången i marken. Koldioxidhaltens inverkan på fotosynteshastigheten skiljer sig något mellan olika trädslag och lokaler. En ökad koldioxidhalt har också, för flera träd och andra växter, visat sig medföra att klyvöppningarna minskar sin öppningsgrad, och därigenom sänks avgången av vatten i viss mån. Därför kan en ökad koldioxidhalt ha en större inverkan på tillväxten i regioner med vattenbrist.

Produktionsutveckling i skogen

Modellsimuleringarna är utförda med den process-baserade modellen BIOMASS för perioden 1961–2100 med klimatdata beräknade med Echam för B2- och A2-scenarierna till grund. Produktionsförändringar har uppskattats för fem olika trädslag; gran, tall, björk, sitkagran och bok. Utdata från modellsimuleringarna summerades i fyra olika tidsperioder 1961–1991 (referens), 2011–2040, 2041–2070 och 2071–2100. Utdata från modellen är bland annat NPP (nettoprimärproduktion) som man kan se som ett mått på hur tillväxten kan förändras och stämmer väl överens med tidigare uppskattningar (Bergh m fl 2007).

Den sammanlagda produktionshöjningen i svensk skog skattas till 5 % för B2-scenariet och 14 % för A2-scenariet för perioden 2011–2040 (Tabell 3.1). Denna skattning inkluderar inte den potentiella pluseffekten av ökad näringsomsättning i marken och inte heller eventuella produktionsbortfall till följd av ökade skador.

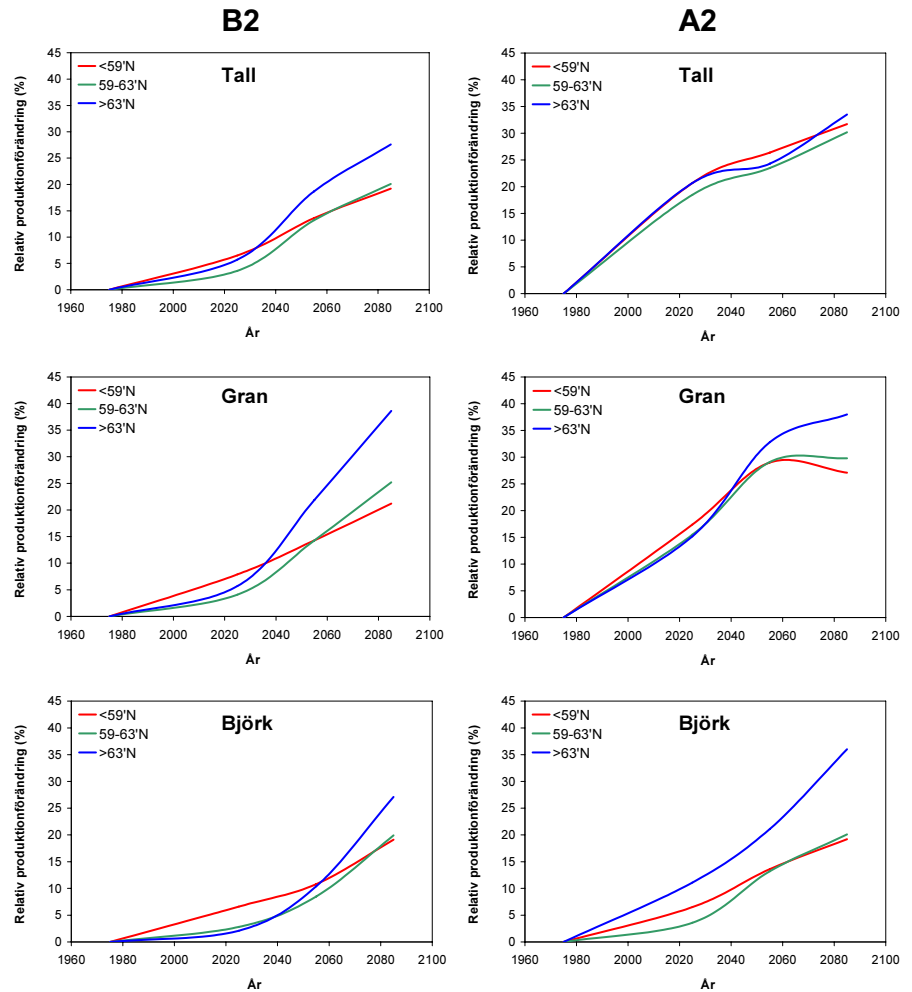
Tabell 3.1 Relativ produktionshöjning till följd av skattade klimatförändringar enligt Echam- och RCA3-modellerna för B2- och A2-scenarierna enligt BIOMASS (Bergh m fl, 2007)

B2	A2	
2011–2040	5	14
2041–2070	14	25
2071–2100	24	31

För att få en uppfattning hur produktionsutvecklingen ser ut över tiden för olika breddgrader, delade vi upp datamaterialet i en södra (<59°N), mellersta (59–63°N) och norra (>63°N) Sverige. Simuleringarna för tall visar på en svag produktionsökning i början av B2-scenariet och ökar snabbare i mitten av århundradet för mellersta och framför allt norra Sverige (figur 3.1). För A2-scenariet har en betydligt snabbare uppgång i början som sedan mattas av i slutet av simuleringsperioden. Detta är i första hand en effekt av att koldioxidhalten ökar snabbare i A2-scenariet eftersom temperaturökningen är likartad till en början i de båda scenarierna.

Granen visar en liknande trend som tall i B2-scenariet men ökningen i norra Sverige är betydligt större för gran i slutet av århundradet. Granens produktionsökning är i stort sett linjär i A2-scenariet men stagnerar och till och med sjunker i slutet (2060–2100) för framför allt södra Sverige. Detta beror på både den absoluta temperaturökningen och temperaturnivån som gör att respirationen (underhållsrespiration), som ökar exponentiellt med temperaturen ökar mer än fotosyntesen för gran.

Figur 3.1 Skattad produktionsökning för tall, gran, björk, sitkagran och bok i B2- och A2-scenariernas klimat enligt Echam jämfört med referensklimatet 1961–1990

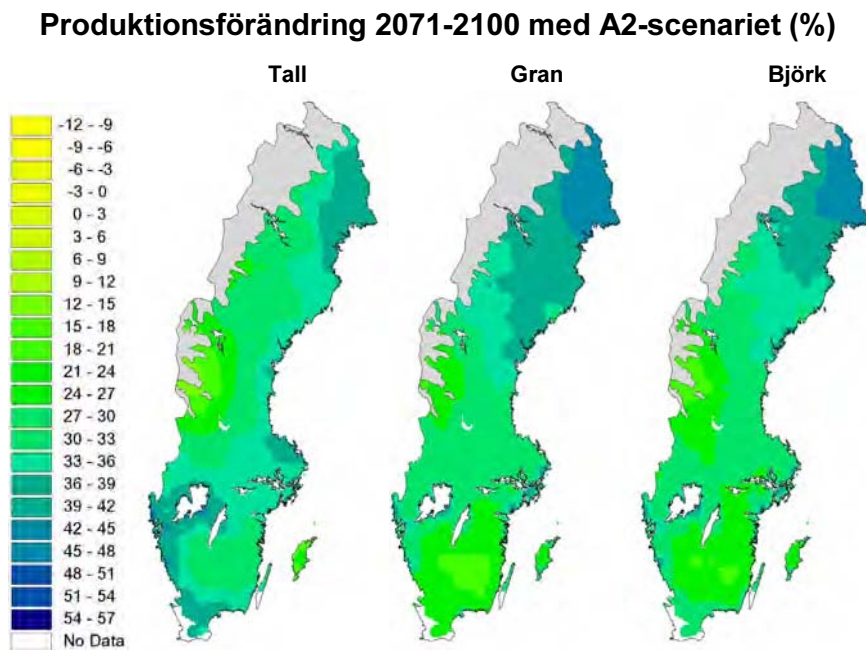


Den relativa ökningen är störst för tall i södra Sverige, vilket främst är en effekt av att tallen har ett lägre vattenbehov och den minskade vattentillgången under sommaren påverkar tallen mindre jämfört med gran och björk. Att respirationen ökar mer för gran och björk till följd av en större barr/bladarea än tallens bidrar också.

Produktionsökningen för sitkagran är i B2-scenariet ca 5 % lägre än för gran i södra och mellersta Sverige, som i övrigt har en identisk

trend som gran. Boken har ungefär samma produktionsökning som björken i södra och mellersta Sverige i B2-scenariet, dock med en svag svacka i mitten av seklet. I A2-scenariet ökar boken kraftigt med en linjär trend och är det trädslag som ökar mest i södra och mellersta Sverige, trots sin tröghet när det gäller tidpunkt för lövsprickning.

Figur 3.2 Relativa produktionsförändringarna i A2-scenariet hos tall, gran och björk för perioden 2071–2100 jämfört med referensperioden 1961–1990 (dagens klimat) (Bergh m fl 2007)



3.2 Spontan självföryngring av träd

Spontan självföryngring av träd kommer att ökas med ökad temperatur, i och med att det blir rikligare och mer stabil frösättning. Det gäller kanske främst trädslag, som nu har svårt att självföryngra sig. Samtidig kommer förhållandena för hjortvilt kommer generellt att förbättras (se viltskador nedan). Utvecklingen när det gäller omfattning i självföryngring av alla trädslag som betas mycket (tall

och de flesta lövträd, även gran i Skåne) beror därför i lika eller högre grad på hur viltförvaltningen förmår utvecklas och anpassas som på klimatförutsättningarna i sig. Om viltets nuvarande omfattande betning av unga aspar och rönnar fortgår kan det exempelvis på längre sikt bli ont om trädbildande aspar och rönnar i delar av landet, även utan att klimatets effekt räknas in. Vidare kommer ett varmare och fuktigare klimat att ge ökad konkurrens från mark- och fältvegetation, vilket generellt motverkar spontan självföryngring av träd.

I stort sett alla lövträddarter vars nordgräns passerar genom Sverige kommer att expandera norrut i ungefär samma takt som klimatet (t ex Koca et al 2006). Kanske blir det i något fall en fördröjning som beror på att det också krävs en viss anpassning till ljusklimatet (t ex för bok, se ovan). Vissa av de ädellövträddarter som föryngrar sig bäst på riktigt näringsrika, gärna kalk- eller lerrika marker kommer dock inte att hitta dem i samma utsträckning i Småland och norröver, som i Skåne. Björken kan minska i utbredning på marker som blir torrare sommartid.

Tallens och ekens möjlighet till självföryngring kommer sannolikt att stärkas gentemot övriga trädslag i de delar av och på de marker i Götaland där risken för sommartorka ökar. I mellersta och norra Sverige kan tallens förmåga till självföryngring försvagas gentemot gran och löv, eftersom produktivitet och vattentillgång förväntas öka där, på alla marker utom de torraste som även norröver kan bli något mer vattenbegränsade under sommarhalvåret. Granen kan få ökad möjlighet att självföryngra sig norröver. För både gran och tall gäller att frekvensen av kottår kan komma att öka med ett mildare klimat.

Ett varmare klimat kan öka risken för självföryngring av contortallen, speciellt om skogsbränderna tillåts öka.

Nya trädslag och andra växter, för vilka vinterklimatet tidigare varit speciellt begränsande i plantstadiet eller för frösättningen, kommer sannolikt att sprida sig till skogen från parker och trädgårdar, eller söderifrån, med hjälp av fåglar eller vind.

3.3 Virkeskvalitet

Allmänt

Vid en klimatförändring till följd av växthuseffekten kommer förutsättningarna för skogsträden att producera vedråvara och sågtimmer av olika kvalitet att påverkas. Kvalitet definieras vanligen "lämplighet för ett ändamål" och här i texten refereras endast till de viktigaste ändamål som vi känner idag (sågtimmer, massaved och bränsleved) och som påverkar priset på rundvirke. Sambandet mellan klimat och kvalitet innehåller många svårbedömda dimensioner, inte minst för att vi inte känner framtida tekniska lösningar för att tillvarata och processa virket på bästa sätt. Resonemanget här utgår lite förenklat från dagens virkeshantering. Vi har även ignorerat eventuella skogsgenetiska effekter som skulle kunna uppstå när träd som är genetiskt anpassade till en klimatsituation kommer att växa i en annan som de inte är helt anpassade till.

Sågtimmer av barrträd

Virkeskvaliteten varierar mycket litet inom Sverige för gran, om man utgår från det nya timmerklassificeringssystemet som tas i bruk 2008. För tall finns däremot ett svagt mönster med något bättre kvalitet i Mellansverige än i övriga landsdelar. Samtidigt måste man vara medveten om att mängden timmer i den avverkade skogen idag är betydligt större ju längre söderut man kommer eftersom träden blir allt grövre. Vid ett varmare klimat kommer effekten på redan etablerad skog att bli att träden snabbare når en grövre dimension och det kommer sannolikt att bli ekonomiskt fördelaktigt att hålla skogen så länge att timmerandelen ökar. Detta innebär i sig en kraftigt positiv effekt på kvaliteten (Tabell 3.2).

En hög densitet på virket brukar anses vara en viktig kvalitetsfaktor. Detta uttrycks huvudsakligen som ett krav på viss täthet på årsringarna nära mörgen. Densiteten vid en given årsringsbredd minskar från söder mot norr, men det gör årsringsbredden också. Vid en ökad årsringsbredd minskar densiteten ganska snabbt initialt men vid breda årsringar innebär ytterligare ökning relativt lite. Totalt sett innebär detta ändå vanligen att densiteten minskar något från norr mot söder, eller snarare från ett kärvt till ett mildt klimat. Detta är dock inte ett rätlinjigt samband då t.ex. tallen har högre densitet på Sydsvenska höglandet och i Bergslagen än i

Norrbotten. En summerad bedömning är att densiteten på virket sannolikt kommer att minska något vid ett varmare klimat.

Grova kvistar sänker ofta kvaliteten och kvistgrovleken ökar vanligen med tillväxthastigheten. Detta innebär att denna kvalitetsparameter kan påverkas negativt av ett varmare klimat. Denna effekt kan delvis motverkas genom anpassning i processtekniken, t.ex. genom att kvistiga delar av virket avlägsnas och det kvistrena virket skarvas ihop.

Initialt kan en ökad tillväxt t.o.m. påverka kvaliteten positivt på medelålders och äldre träd genom att dessa snabbare vallar in befintliga kvistresten och att ved med hög densitet får en kapp av något lägre densitet. En klimatbetingad ökad tillväxt kan då i princip fungera som en sen gödsling där man bygger på med grova årsringar ytterst, vilket gör att större del av den högkvalitativa ”kärnan” blir tillgänglig för sågning av värdefulla plankor.

Både dimension, densitet, och kvistgrovlek är faktorer som kan påverkas genom skogsskötselåtgärder. Genom att t.ex. minska planterings- och/eller röjningsförbandet, så att träden står tätare, minskar dimension, densitet och kvistgrovlek. Det kan vara ett sätt att motverka eventuella negativa effekter av klimatförändringar, men innebär ökade kostnader och risker för vissa skador och sjukdomar.

Förekomst av defekter är inte automatiskt beroende av tillväxthastigheten, men problem med olika typer av svampinfektioner som rötter eller missfärgar veden kan förväntas öka, både beroende på ökad temperatur och förväntad ökad nederbörd i vissa områden. Särskilt på lite sikt kan detta ge ökade problem. En större variation i väder under vår och höst i samband med skottskjutning och invintring ökar sannolikt risken för frost- och våderskador, särskilt i plant- och ungskog (jfr nedan). Om viltstammarna tillåts öka innebär det också en ökad risk för skador på plant- och ungskog (jfr nedan). Både klimatskador och viltskador innebär ökad risk för virkesdefekter i nedre delen av rotstocken.

Krökar minskar sågutbytet och förekomsten av krök är delvis kopplade till tillväxthastighet i ungdomen. Senare i trädets liv tenderar årsringarna fördelas så runt stammen att krökarna gradvis minskar. På kort sikt innebär detta att krökarna minskar i betydelse, men den nya skogen kan få något ökade problem med krökar.

Massaved av barrträd

Densitet har hittills inte utgjort direkt grund för prissättning på massaved. Dock finns skillnader mellan olika regionala prislistor som i viss utsträckning kan vara en indirekt effekt av densitet. Samhällsekonomiskt innebär dock en lägre densitet i viss mån ökade kostnader genom att mer "luft" belastar avverknings- och transportlogistiken och de industriella processerna. Massavedens densitet kommer att minska snabbare än sågtimrets genom att det främst är ung ved som används för detta ändamål; yngre träd och yngre delar på äldre träd (mantelved och toppved).

För massaveden har virkesdefekter och skador mindre betydelse än för sågtimmer. Ökad risk för röta och missfärgning av veden är dock negativt och kommer eventuellt att påverka kvaliteten negativt. Det är dock osäkert hur mycket detta innebär i praktiken.

Bränsleved

När det gäller bränsleved har densiteten heller inte påverkat priset hittills, även om olika prissättning för olika träslag naturligtvis till en del reflekterar olika densitet och energivärde. System är redan nu under utveckling för att sätta pris på bränsleveden utifrån energivärdet och det verkar rimligt att detta blir bestående framöver. En ökad tillväxt innebär sämre energivärde för barrträd genom lägre densitet men detta gäller inte för lövträd där densiteten i vissa fall t.o.m. ökar vid ökad tillväxt varvid bränslevärdet förbättras.

Tabell 3.2 Bedömda förändringar i virkeskvalitetssegenskaper hos barrträd till följd av klimatförändringar i Sverige på kortare och längre sikt

Användning	Kvalitetskriterier	Effekt 0-30 år	Effekt >30 år
Sågtimmer	Dimension	++	+++
	Krök	+	-
	Kvistgrovlek	-	--
	Årsringar nära märe	0	--
	Defekter ¹	0	-
Massaved	Dimension ²	++	+++
	Defekter ¹	0	-
	Densitet ²	-	-
Bränsleved	Densitet ²	-	-
	Dimension ²	++	+++

¹ t.ex. röta, missfärgning, barkdragande kvist, sprötkvist etc.

² påverkar vanligen inte avsalupriset idag, men påverkar skogbrukets lönsamhet

³ påverkar vanligen inte avsalupriset idag, men påverkar värmeverkets/industrins lönsamhet

Lövträd

Effekten av klimatförändringar på lövträd är ännu svårare att bedöma än för barrträden. För närvarande bedrivs mycket lite aktivt lövskogsbruk. Merparten av de lövträd som finns, främst björk, sköts inte utifrån sina förutsättningar utan fungerar mer som en biprodukt i barrskogsbruket. Skötseln av bok i sydligaste Sverige utgör det enda något så när betydande undantaget. Bandporiga lövträdslag som ek, ask och alm får dock bättre kvalitet (styrka, densitet) när tillväxten är högre. Om skillnaden i tillväxttakt mellan svensk och polsk/tysk ek och bok jämnas ut kan konkurrenskraften för dessa trädslag öka här. För ströporiga lövträdslag som björk, asp, bok och poppel påverkas inte virkeskvaliteten på samma sätt av högre tillväxt, bortsett från att timmerandelen ökar snabbare.

Det volymmässigt viktigaste lövvirkesortimentet är massaved och dess kvalitet kommer sannolikt att påverkas förhållandevis litet

av klimatförändringarna. Högre densitet är dock positivt även här, liksom för energisortimenten. Möbel- och inredningsindustrin (golv) efterfrågar för närvarande bland annat ek, björk, bok, lönn, ask och alm eftersom dessa trädslag ger ett hårt och vackert virke. Det rör för närvarande endast om små kvantiteter och modet växlar över tiden mellan olika trädslag.

Förutsättningarna för lövträd kommer sannolikt att förbättras på vissa håll. Det, i kombination med ett ökat behov av riskspridning, kan komma att öka intresset för ett mer aktivt lövskogsbruk. Samtidigt kan man förvänta sig en spontan spridning norrut av ädellöv till nya områden där det behövs kunskap och system för hur dessa trädslag skall skötas. Om det blir större klimatvariationer under vår och höst kan det sannolikt medföra problem för ek och bok, med frostsador på skott och eventuellt också mer komplexa vitalitetsnedsättande skador.

4 Hur påverkas frekvensen av skador på skog?

4.1 Stormfällning

Vind är den störningsfaktor som orsakat störst skador inom europeiskt skogsbruk under 1900-talet (Schelhaas m fl 2003). Skadornas omfattning varierar mellan år och situationer men omfattande skador har blivit allt vanligare under 1900-talet. Under 2005 skadades 100 miljoner kubikmeter skog, varav ca 75 miljoner kubikmeter i Sverige (Skogsstyrelsen 2006). Åtminstone för södra Sverige, där vindskadorna historiskt varit mest omfattande, tycks trenden inte förklaras av det skulle ha blivit vanligare med storm eftersom vindklimatet har varierat i förhållandevis liten omfattning (Alexandersson & Vedin 2002). Att klimatet blivit mildare och blötare minskar skogens stabilitet men kan sannolikt inte ensamt förklara varför det blivit vanligare med vindskador. Under den aktuella perioden har skogsbruket och därmed skogen förändrats på flera sätt som sannolikt bidrar till att förklara den ökade frekvensen omfattande skadetillfällen (Blennow & Eriksson 2006). En sådan orsak är att den stående volymen skog ökat, både till följd av utvecklad produktionsskötsel på befintlig skogsmark och av en ökning i den areal som primärt används till skogsproduktion. Det

fanns alltså under perioden en ökande volym skog som kunde blåsa ner. Trakthyggesbruket introducerades på bred front under 1950-talet och utgör nu den dominerande skogsbruksformen i Sverige. I och med detta skapas hyggeskanter som kan exponeras för hög vindhastighet och som skapar turbulens (Morse m fl 2002). Andelen gran i landskapet har dessutom ökat fram till 90-talet. Gran är förhållandevis känslig för vind (Peltola m fl 2000). Det är därför sannolikt att skogsbrukets utveckling tillsammans med att klimatet blivit mildare (mindre tjäle) och blötare har medfört att skogen blivit mera känslig för vind även om det kanske inte blivit vanligare med storm (Blennow & Olofsson, 2004).

Klimatförändringarna kan förväntas påverka risken för vindfällning både direkt genom ett förändrat klimat och indirekt genom ett förändrat skogstillstånd (Bergh m fl 2007). Hur pass vindkänsligt det framtida skogstillståndet blir påverkas av hur vi sköter skogen och vilka trädslag vi väljer. Den förväntade ökningen av potentialen för biomassaproduktion kan medföra att träden blir vindkänsliga vid en lägre ålder. Detta medför ökad risk för vindfällning då perioden under vilken träden befinner sig i vindkänslig fas förlängs, så länge omloppstiden inte förkortas. Förutom genom omloppstidens längd kan sannolikheten för vindfällning påverkas genom rumslik planering, val av trädslag, och genom skötselåtgärder som påverkar trädens höjd och form, antal stammar per ytenhet, och rotningsförhållanden. Minskad förekomst av tjäle kan förväntas leda i riktning mot ökad vindkänslighet, liksom de ökade extrema nederbörds mängder under stormsäsongen som klimat-scenarierna indikerar.

4.2 Skadesvampar

Rötsvampar

Den rotröta som orsakas av rottickan (*Heterobasidium annosum*) är den skadegörare som ger de största ekonomiska förlusterna vid granodling, mellan 500 och 1000 miljoner kronor årligen (Bendz-Hellgren 1997, Thor m fl 2005). Utbredningen är störst i södra Sverige men påtaglig även norröver. Rottröta kan uppträda på de flesta marker men är vanligare på bördiga marker och på marker med högt pH. Spridning sker speciellt då fria stubbytor exponeras vid avverkning under vegetationsperioden. Till skillnad från

tidigare har under de senaste decennierna stora arealer avverkats under vegetationsperioden, utan stubbehandling. Det är därför sannolikt att andelen rötskadad skog skulle komma att ha ökat de närmaste decennierna även utan klimatförändring (Samuelsson och Örlander 2001). Ett varmare klimat kommer med stor sannolikhet att öka potentialen för spridningen, framförallt till följd av att vegetationsperioderna förlängs i hela landet (Jan Stenlid, SLU, muntl.). Vegetationsperiodens längd till 2071–2100 ökar både absolut och relativt sett mest i Götaland och Svealand, med 40–50 %, medan ökningen i södra och norra Norrland blir 20–40 %, för A2- och B2-scenarierna enligt Echam-modellen. Spridning av röttsvampar sker också där skogsmaskiner givit upphov till stamskador.

Den form av rottickan som uppträder på tall är ännu sällsynt i norra Sverige. En teori är att det är det kyliga klimatet i sig som begränsat utbredningen och även för denna form kan man således anta att ett varmare klimat kommer att öka spridningen (Jonas Rönnberg, SLU, muntl.). Förutom rottickan är honungsskivling (*Armillaria*-arter) och blödskins (*Stereum sanguinolentum*) röttsvampar med relativt stor skadeutbredning. Blödskins angriper typiskt gran som drabbats av snöbrott, vilka bör minska i omfattning. Honungsskivlingar angriper både våra barr- och lövträd och svampen gynnas då värdträdet utsätts för torkstress, varför ökade angrepp är förväntade (Pia Barklund, SLU, muntl.).

Gremmeniella

Gremmeniellaskvampen (*Gremmeniella abietina*) gynnas av varma fuktiga vintrar, och när det gäller angrepp på tall också av kalla och fuktiga somrar. Det är svårbedömt, kanske minskar risken för stora skadeutbrott på tall i Götaland och Svealand då somrarna blir torrare och varmare, men långa perioder med temperaturer runt 0–5°C gynnar svampen. Risken för skadeutbrott på gran kan tänkas öka, eftersom granangrepp har inträffat efter torra somrar. Riklig nederbörd ett enskilt år verkar kunna utlösa en storskalig epidemi av *Gremmeniella*, så mot bakgrund av de predikterade klimatförändringarna kan riskerna för utbrott öka i södra Norrland och så småningom även i norra Norrland (Hansson 2007). Den nordliga varianten av sjukdomen drabbar också contortatallen, till skillnad från den sydliga varianten. Det senaste stora skadeutbrottet

2001–2003 beräknades ha kostat markägarna sammanlagt runt en och en halv miljard kronor (Hansson m fl 2005)

Övriga skadesvampar

Knäckesjuka (*Melampsora pinitorqua*) angriper tallens årsskott. Den värdväxlar mellan asp och tall och förekommer i hela landet där asp finns i närheten. I allmänhet går det ett antal år mellan mer omfattande skador. Inom vissa delar av Norrland tycks svampen ge upphov till skador mer frekvent än på andra håll (Samuelsson och Örlander 2001). Fuktig väderlek vid sporgroning och skottsträckning är en förutsättning för att svampen ska trivas.

Tallskyttesvampen (*Lophodermium seditiosum*) gynnas liksom gremmeniellsvampen av fuktiga somrar och varma vintrar och orsakar redan idag vissa år omfattande barrskador i tallföryngringar i södra och mellersta Sverige. Angreppen syns när värmen kommer på våren. Dessa barrskador medför tillväxtnedsättningar, men den nya barrårgången brukar hjälpa upp situationen och klara överlevnaden. Torra somrar kan försvåra överlevnaden efter ett angrepp. Vid ett varmare klimat kan utbredningen bli mer nordlig.

Snöskyttesvampen (*Phacidium infestans*) sprider sig under snötäcket och bör få minskad utbredning i medeltal då snövinternarna kortas och drar sig norrut. Dock predikteras också att extrema nederbörds mängder kan bli vanligare och det är då snötäcket ligger tjockt som snöskyttesvampen angriper (Per Hansson, SLU, muntl). Man kan således tänka sig ökade problem exempelvis i norra Norrland.

Nya patogener kan komma att ta sig in och skada skog i större omfattning. Ett par viktiga patogener som kan komma in om temperaturen ökar är: *Sphaeropsis sapinea* som angriper tallskott med en sjukdom liknande gremmeniella och *Fusarium subglutinans* som orsakar kräftsår ("pitch canker") med starkt kådflöde. Den har nyligen kommit in i Portugal och Spanien och kan tänkas angripa vår tall. Vissa värmeälskande *Phytophthora*-arter som angriper rotsystem på flera arter kan gynnas. Mjöldagg gynnas också av värme. Ett antal mjöldaggsarter angriper olika trädarter.

4.3 Skadeinsekter

Åttatandad granbarkborre

Den åttatandade granbarkborren (*Ips typographus*) hinner idag ofta med två fullt utvecklade generationer på en vegetationsperiod i Danmark och söderut, vilket hitintills varit ovanligt i Sverige. Med ett ändrat klimat kommer en fullt utvecklad andra generation sannolikt att bli vanligt, ända upp i mellersta Sverige under de sista decennierna på detta sekel (Appelberg 2007, Jönsson m fl 200x). Detta får konsekvenser för skadeutvecklingen både efter perioder av torka och efter stormfällningar. Om granskogens vitalitet är tillfälligt nedsatt under en eller några somrar på grund av torka kommer granbarkborren att hinna döda fler träd, innan skogen återhämtat sig från torkstressen, jämfört med om de bara hinner med en generation per år. Hur många fler träd som dödas beror på den första generationens förökningsframgång i de stående träden. Om stora mängder vindfällna av gran blir liggande över sommaren efter en stormfällning innebär två generationer per sommar att en mycket större del av vindfällna kan koloniserats av granbarkborren jämfört med ett scenario med en generation. Med tanke på den förökningsframgång granbarkborren har i vindfällna efter stormfällningar innebär detta en mångdubblad populationsstorlek och därmed en större risk för angrepp på levande skog under de kommande åren. En annan faktor av stor betydelse för risken för skador orsakade av granbarkborren är granskogens vitalitet. Om klimatförändringen leder till att granarna blir stressade, t.ex. på grund av ökad frekvens av kraftig torka, kommer detta ovillkorligen att återspeglas i form av ökad trädmortalitet orsakad av granbarkborren. Detta gäller förstås inte bara granbarkborren utan även andra potentiella skadegörare som t.ex. den sextandade barkborren. Denna art är känd för att kunna döda ungskog av gran under torrår.

Snytbagge

Snytbaggen (*Hyllobius abietis*) förekommer över hela landet och kan åstadkomma omfattande skador i skogsföryngringar, framförallt i södra Sverige, där föryngringarna kan spolieras totalt om inte åtgärder vidtas för att skydda plantorna. Fullbildade skalbaggar näringsgnager på tunnbarkiga delar av tall, gran och contortatall. Gnaget sker främst under vår och försommar men i Sydsverige kan

betydande höstgnag också förekomma. I södra och mellersta Sverige är snytbaggeskador sannolikt den största enskilda orsaken till avgång vid föryngring och utgör ett allvarligt problem för återväxterna (Ollas 1994, Örlander & Nilsson 2000).

Snytbaggarna gynnas av trakthyggesbruk, eftersom det leder till god tillgång på lämpligt yngelmateriäl, i solexponerade, varma lägen. Vid beskuggning kan snytbaggarnas utvecklingstid förlängas avsevärt. Årliga avverkningar inom samma område gynnar uppbyggnaden av stora snytbaggpopulationer.



Skogsbrukets kostnad för snytbaggeskador utan fungerande plantskydd har skattats till 0,5–1 miljard per år (Samuelsson & Örlander 2001). Skaderisken minskar ju längre norrut föryngringarna är belägna. I Norrland minskar skaderisken även när man går från kustnära områden mot inlandet (Nordlander m fl 2006).

Ett varmare klimat kan förmodligen leda till att tiden för snytbaggens utveckling blir kortare. Det kan också innebära att en större andel snytbaggar kommer att kläckas på sensommaren istället för att övervintra som fullbildade i puppkammare. Varmare och längre höstar skulle samtidigt ge en längre aktivitetsperiod för födosök och därmed mer omfattande plantskador. Ökningen av skadornas omfattning bör sannolikt tillta ju längre norrut i landet man kommer samt i Svealands och Norrlands inland. I norr skulle en kortare utvecklingstid kanske ge kortare generationstid som i förlängningen skulle kunna leda till högre populationsnivåer av snytbagge i Norrland. Det finns en rad klimatpåverkade faktorer som påverkar hur omfattande snytbaggeskadorna kommer att bli i ett framtida klimat. Vissa faktorer kan påverkas i riktning mot ökande skador medan andra kan verka i motsatt riktning. Om man

bättre kan förutsäga vad som kommer att hända ökar möjligheterna att vidta lämpliga anpassningar inom skogsbruket.

Blad- och barrätande insekter

Det finns flera arter av barr- och bladätande insekter i Sverige som tillfälligt massförekommer och kan vålla tillväxtförluster och omfattande tr added, t ex röda tallstekeln (*Neodiprion sertifer*). I ett varmare klimat skulle dessa arter kunna gynnas och i några fall bli lika allvarliga skadegörare som de är på kontinenten. Exempel på sådana arter är barrträdsnunnan (*Lymantria monacha*) och vanliga tallstekeln (*Diprion pini*). Träd som exempelvis är torkstressade har svårare att motstå och återhämta sig efter angrepp av defolierare och sekundära angrepp av andra insekter och svampar.

Nya skadegörare

Ett förändrat klimat kan också ge möjlighet för skadegörare att sprida sig till och etablera sig i nya områden. Ett exempel är en art av tallprocessionsspinnare (*Thaumetopea pityocampa*) som efter en serie varma vintrar börjat sprida sig norrut och till högre altituder i Medelhavsområdet. Det finns också en risk att arter som av misstag introduceras då och då kan etablera sig om klimatet ändras och nya trädslag introduceras. Sitkagranlusen (*Elatobium abietinum*) är en nordamerikansk art som införts i Europa och blivit ett problem, framför allt i kustnära områden med milt klimat. För sitkagran kan jättebarkborren (*Dendroctonus micans*) också bli ett problem, om arealen med detta trädslag ökas.

Tallvedsnematoden (*Bursaphelenchus xylophilus*) är en ekonomiskt mycket betydelsefull skadegörare i bl.a. Japan där den har ödelagt tallskogar över mycket stora områden under lång tid. Nematoden är beroende av vedlevande skalbaggar av släktet Monochamus (tallbockar) för sin spridning till nya värdträd. När de nykläckta tallböckarna gör sitt mognadsgnag på grenarna på levande tallar infekteras träden samtidigt med nematoderna. Detta kan leda till att tallen dödas och att nematoderna förökar upp sig till höga antal. Döende tallar utgör lämpligt förökningsmaterial för tallbockar vilket gör att nematoderna kan utnyttja den nya generationen av producerade tallbockar som vektorer till nya träd.

Tallvedsnematoden förekommer i Nordamerika, Asien och i Europa i Portugal. Man tror att den kom till Portugal med infekterat förpackningsmaterial av trä. Där har den under senare år dödat ett stort antal träd. Vår svenska tall har i försök utförda i Nordamerika visat sig ha relativt låg motståndskraft mot tallvedsnematoden. Vi har också flera arter av tallbockar som vi vet fungerar som vektorer om nematoden skulle ta sig hit. Det troligaste sättet för en etablering är att den råkar komma in i landet med tallbocksangripet förpackningsmaterial eller virke. Bedömningen hitintills har varit att tallvedsnematoden förmodligen kan etablera sig i landet om den av misstag blir införd. Däremot är det mer osäkert om det skulle leda till trädmortalitet men med ett varmare klimat och om träden blir stressade av t.ex. torka ökar risken för detta.

4.4 Viltskador

I ett framtida klimat förutspås en högre primärproduktion, tack vare ökande årsmedeltemperaturer och större regnmängder i genomsnitt. Tillväxtperioden blir längre och fotosyntesen går snabbare. En ökad skogsproduktion möjliggör kortare rotationsperioder inom skogsbruket, vilka i sin tur ger en större areal ungskog i landskapet. En ökad produktion av växtbiomassa och ungskog på en större areal möjliggör tätare stammar av hjortvilt eftersom producerat foder räcker till fler individer. Snöfattiga vintrar och kortare vinterperioder möjliggör dessutom för hjortdjuren att under en längre säsong beta i fältskiktet, det vill säga av bärris, gräs och ljung. Potentiellt kan dock perioder av skare öka i omfattning vilket kan försvåra bete i fältskiktet. Sammantaget kommer sannolikt foderbetingelserna för hjortdjuren att förbättras i framtiden. Den ökande fodertillgången kan till viss del motverkas av en förändrad sammansättning av trädslag i landskapet då vissa trädslag är mindre begärliga som föda för hjortdjuren. Sammansättningen av landskapets trädslag i våra skogar beror till stor del hur skogsskötseln förändras av ett varmare klimat. Generellt kan man säga att dagens svenska skogar domineras av gran i söder och tall i norr. Om ett förändrat klimat leder till att granen ökar norrut påverkas landskapets foderkvalitet negativt för både älg och rådjur. Skötsel aspekter av skogsbruket påverkar därmed foderbetingelserna för hjortviltet och därmed också viltstammarnas utbredning

och numerär. Lövträd som idag är vanligare söderut kommer troligtvis spridas mot norr vilket främjar fodermängden och kvaliteten.

Enligt ovan nämnda klimatscenarier ökar risken för perioder med sommartorka i stora delar av Götaland. Detta kan leda till att fodrets tillgång och kvalitet försämras sommartid, eller åtminstone att klimatförändringens positiva effekt på växtproduktion hämmas något. Födans kvalitet under sommaren är viktig eftersom hjortdjur på våra breddgrader behöver lagra fett inför vinterhalvåret. Det är svårt att bedöma omfattningen av sommartorkans effekt på foderkvaliteten och om den i sin tur kommer att påverka hjortviltets dödlighet och reproduktion. I första hand verkar sydöstra Sverige vara i riskzonen för försämrade foderkvalitet sommartid.

Älgens sydliga utbredning har historiskt varit större än vad den är idag. Under den tidiga delen av holocen (för ca 10–80 tusen år sedan) fanns det älg ända ner till Pyrenéerna (Schmölcke and Zachros 2005). För ca två tusen år sedan fanns det älg på låglandet i södra Tyskland. Idag finns också livskraftiga stammar av älg längre söderut t.ex. Polen, Tjeckien och Kazakstan. Utbredningen av rådjur, kronhjort och dovhjort sträcker sig idag längre söderut än älgens. Orsakerna till att älgens utbredning under Holocen minskade söderut vet man inte så mycket om. Det kan ha berott på människans jakt, förändrad konkurrenssituation, förändrad vegetation och parasiter (Schmölcke and Zachros 2005). Klimatet spelar sannolikt en indirekt roll för alla dessa faktorer. Om en framtida förändring av dessa faktorer kommer att påverka älgens (eller andra hjortdjurs) utbredning beror på hur vi väljer att förvalta viltstammarna och skogen. Vi har dock sämre möjligheter att påverka utbredningen för parasiter, som exempelvis älgglusen (*Lipoptena cervi*).

Ett varmare klimat ökar den direkta stress som temperaturen innebär för hjortdjuren. Älgen verkar t.ex. påverkas negativt av både varma vintrar och varma somrar (Karns 1997). Det kan därför mycket väl vara så att framförallt älgens utbredning minskar i södra Sverige till följd av de direkta effekterna av höga temperaturer (Sonesson m fl 2004). Rådjur, kron- och dovhjort är troligtvis mindre känsliga än älg mot högre temperaturer.

Älg och rådjur konkurrerar relativt lite med kron- och dovhjort eftersom deras födoval och levnadssätt relativt kraftigt skiljer sig åt. Överlappet i födoval mellan älg och rådjur är lägre än mellan kronhjort och får (Mysterud 2000). Eftersom älgen och rådjurens

levnadssätt ligger relativt nära varandra – de är båda solitära och skogslevande - kan det ändå finnas en konkurrens-effekt som har betydelse för stamtätheten. I första hand bör älgen då vara mer störd av rådjur än tvärtom. En sådan konkurrenssituation kan dock avhjälpas om man genom jakt reglerar tätheten av älg och rådjur.

Tätare stammar av hjortvilt resulterar generellt i ett ökat betestryck, dvs en högre andel av tillgängligt bete betas. Om granens expansion dessutom ökar norrut förväntas betestrycket på kvarvarande arealer löv- och tallungskog öka vilket i sin tur genererar höga kostnader för skogsbruket. En ökad primärproduktion, en kortare vintersäsong och en större areal ungskog kan dock motverka betestryckets ökning i viss utsträckning.

4.5 Frost och snöbrott

En modellsimulering av risken för skador till följd av vårfrost i ett förändrat klimat pekade på att risken ökar i hela landet - mer i söder, där den redan nu är störst, och avtagande mot norr (Jönsson m fl 2004). En avgörande faktor för skaderisken är hur låg temperatursumma som granproveniensen behöver för att sätta igång tillväxten på våren. Å andra sidan bedömdes risken för höstfrostskador minska i hela landet. Vårfroster är ett mindre problem för björk, tall och lärk än för många övriga trädslag.

Snöbrott drabbar både våra barr- och lövträd. Risken för snöbrott är störst då snö faller vid temperaturer nära nollstrecket. Eftersom temperaturhöjningen på vintern är större i norr finns det möjligt att risken under kommande decennier ökar, speciellt i Svealand och Norrland. På längre sikt bör risken minska i Götaland då mängden nederbörd som faller i form av snö börjar bli låg.

4.6 Torka och komplexa klimatskador

Träd blir gamla och de har därmed en god förmåga att klara av väderlekspåfrestningar, som inträffar under den långa livstiden. Extrem väderlek, torka eller frost, vid en för trädet känslig tidpunkt, innebär dock stress, som kan leda till direkta väderleksskador. Väderleksstress kan utan att ge synliga skador även göra trädet känsligt för insekts- och svampangrepp. Vädret påverkar inte bara trädet direkt, utan har också betydelse för

patogena svampars och skadeinsekters angreppsförmåga och fortsatta livscyklens förlopp. När det gäller skador på träd är ett långsiktigt perspektiv nödvändigt. Sjukdomsförlopp kan dra ut över många år och blir därmed svåra att överblicka. Risken är stor att man drar felaktiga slutsatser. Det långsiktiga perspektivet innebär också att vi behöver knyta ihop äldre beprövad kunskap om skador med vår tids erfarenheter och med ny forskning.

Man har i olika sammanhang pekat på att granen i högre grad drabbas av olika typer av mer diffusa klimatskador då den odlas utanför sitt naturliga utbredningsområde (se Sonesson 2004). Granen växer naturligt i bergsområden i den nemoral zonen av Centraleuropa, i boreala Skandinavien och i stora områden i Baltikum, Ryssland och Sibirien (Spiecker m fl 2004). I Danmark har man kunnat urskilja ståndortsfaktorer som är speciellt ogynnsamma (hög lerhalt samt omväxlande hög och lägre grundvattennivå, Henriksen 1988) eller provenienser som varit känsliga (rumänska, sydpolska, Ravensbeck 1991). Sommaren 1987 hade man omfattande problem med syrebrist i granplanteringar framförallt på lerjordar i sydvästra Sverige (Västergötland och Dalsland) (Barklund 1994). Många träd dog och hela bestånd förstördes. De bestånd som drabbats av syrebristsskador drabbas året efter av torkskador och eftersom endast ytliga rotsystem överlevt, blev granarna extra känsliga för torka.

När man under första halvan av 1990-talet sökte förklaringar till en ökad förekomst av granar med kådflöden längs stammen ("gråtande granar") framstod någon form av klimatinducerad skada som en av de mer troliga hypoteserna, antingen torkstress (som i sin tur antingen kan bero på låga grundvattennivåer eller på varma vintrar) eller en effekt av varma vintrar som givit tidig start med åtföljande frostskador, speciellt i april–91 (Barklund m fl. 1995). För dessa skador såg man istället en viss ökad känslighet för nordliga provenienser. Kådflödesskadorna, som även observerats i Danmark, blev emellertid inte speciellt omfattande denna gång. De värst drabbade bestånden avverkades och andra återhämtade sig, i vissa fall dock med bestående kvalitetsskador. Man kan dock förvänta sig att frekvensen av torrsomrar med låga grundvattennivåer ökar, speciellt i Götaland. Frekvensen av varma vintrar kommer med stor säkerhet att öka i hela landet. Risken finns därför för att torkskador och kådflödesskador ökar i omfattning.

Det har också funnits skadebilder, framförallt under 70-, 80- och början av 90-talet, som sannolikt haft med extra hög expone- ring till luftföroreningar att göra.

Sedan 1980-talet har vi haft en lång period med ekar som dött i Sverige och övriga Europa. Omfattande ekdöd har dock inträffat flera gånger tidigare i Europa.

I Nordtyskland räknar man under 1900-talet med tre perioder med ekdöd före den nu pågående. Den längsta av dessa började 1911 och varade till 1925 (Barklund 2002). Vad är anledningen till ekdöd? De tre föregående ekdödsperioderna i Nordtyskland har alla initierats av svår torka och/eller frost. Extrema väderleksför- hållanden är i allmänhet inte tillräckligt för att ekar ska duka under, men de blir nedsatta och får minskad motståndskraft mot sekun- dära skadegörare. Sannolikt kan perioder av sommartorka och extrem kyla under 80-talet förklara den nu pågående ekdöden (Barklund 2002). Om perioder med extrem kyla är en viktig faktor skulle problemen kunna minska i framtiden. Den återkommande förekomsten av liknande problem i Tyskland indikerar dock att komplexa skador kan uppstå även i ett mildare klimat.

4.7 Skogsbrand

Skogsbränderna ökade under 50- och 60-talen i Sverige (Skogsstatistisk Årsbok 1954–1980), men har därefter minskat igen tack vare en förbättrad brandbekämpning. På senare år har emellertid den statliga finansieringen av brandövervakning med flyg ifrågasatts.

Risken för skogsbrand kommer sannolikt att öka i hela landet till följd av en ökad frekvens av heta sommarperioder med stort vattenunderskott (Suffling 1992), sannolikt mest i Götaland där somrarna i genomsnitt blir torrare.

5 Hur påverkas skogbruket?

5.1 Markberedning och föryngring

Faktorer som påverkar hur kraftig markberedning som behövs för att möjliggöra en godtagbar föryngring är bland annat markens bördighet och fuktighet, förekomst av snytbagg, hur stark

påverkan av vilt och gnagare man kan räkna med och risk för torka. Med ökande bördighet ökar konkurrensen från hyggesvegetationen, sannolikt i högre grad norröver. Både hjortvilt och snytbaggar kommer troligen att uppskatta ett varmare klimat, också de i speciellt hög grad norröver (jfr kap 4). En anpassning kommer dock att kunna ske gradvis över tiden eftersom problemen är av direkt natur.

5.2 Drivning och uttransport av virke

Drivning

I avverkningsplaneringen klassar man idag vissa områden som s.k. "vintertrakter", vilket innebär att man behöver tjälad mark för att klara avverkning utan oacceptabla markskador. I ett klimat med kortare tidsperioder med tjälad mark alternativt endast sporadiska tjälepisoder uppstår problem för skogsbruket med kostnader för ojämn resursallokering eller skadeförebyggande åtgärder. Vissa skogsområden, t.ex. myrholmar, är dessutom tekniskt svåra eller omöjliga att nå utan tjäle.

En mycket begränsad andel av drivningen kommer att kunna genomföras på tjälad mark, och då främst i norra Sverige. Studier har dock visat att det inte i första hand är markens bärighet som påverkar åtkomsten av virket utan snarare hur beståndet ligger i terrängen och i förhållande till väg samt statusen på skogsbilvägen. Kortare perioder med tjälad mark och ökad nederbörd under höst och vinter kommer sannolikt att medföra ökad risk för körsador, vilket i sin tur kan ge skador på den biologiska mångfalden då sediment, organiskt material eller stora näringsmängder transporteras ut i avrinnande vatten.

Risken för ökade problem med drivning pekar mot att dikesrensning på vissa håll kan bidra till att motverka problemen.

Uttransport av virke via skogsbilväg

Varje år utförs åtgärder i flera hundra tusen skogsbestånd i landet. Varje sådan åtgärd ger upphov till transporter av olika slag, både i terräng och på väg. Det handlar om förflyttning av virke, maskiner, plantor och personal som arbetar med avverkning, maskinservice, skogsvård och planering etc. Vägarnas betydelse i det skogliga

transportsystemet ökar i takt med att avverkning och transport alltmer kan ses som en integrerad del av industrins produktionsprocess. Det totala vägnätet i Sverige är ca 419 000 km, varav ca hälften utgörs av skogsbilvägar. Omfattningen av nybyggnad och förbättring av dessa uppgår till ca 1 500 km/år.

Klimatförändringarna innebär sannolikt ökad vintertemperatur, ökad årlig medelnederbörd samt att den ökade nederbörden kommer mer som regn och främst under höst, vinter och vår, mer i norra Sverige och mindre i södra Sverige. Detta innebär att tjälperioden reduceras uppemot 40 % och perioden med tjällossningsförhållanden ökar såväl frekvensmässigt som varaktigt. Följderna blir en ökad belastning på vägtrummor och vägkropparnas stabilitet samt en reduktion i vägarnas tillgänglighet. En sådan utveckling ökar således kraven på skogsbilvägssystemet. En bedömning utifrån klimatscenarierna är att det är i synnerhet i sydvästra Götaland och i södra Norrland som problemen kan bli stora.

Drift av skogsbilvägar kan påverka miljön på flera sätt och i olika grad beroende på hur åtgärderna utförs. Äldre vägar har byggts med sämre avrinningsteknik än nya, ofta med direkt utsläpp i vattendrag. Äldre vägar följer ofta kulturella stråk i geografin d v s längs vattendrag och lågt placerade i terrängen. Detta kan få framtida följder vid ökad nederbörd så som okontrollerade utsläpp eller erosionsproblem av vägar. Vägsystem med dåliga vägkroppar som nyttjas under svåra förutsättningar kan leda till vägkollaps, där körspår blir djupa och kan fungera som avrinningsdiken. Ökad avrinning i kombination med bristfälliga dikessystem kan resultera i ökade urlakning som skadar livet i mottagande vattendrag. I värsta fall kan även vattentäkter för dricksvatten påverkas. Nybyggnation kan ibland medföra att effekterna på miljön reduceras. Graden av påverkan på värdefulla natur- och kulturmiljövärden, respektive på mark och vatten generellt, beror i hög grad på kunskap och förmåga hos dem som jobbar med planering och byggande att uppnå en funktionell miljöhänsyn. Sammantaget bedöms klimatförändringens påverkan på skogsbilvägarna som stor och att det finns behov av ökad kunskap om hur man skall sköta och anpassa befintliga och tillkommande vägar till framtida förhållanden.

Det allmänna vägnätets betydelse för virkestransporter

Den minskade tillgängligheten på råvara och bristande standard på de statliga vägarna orsakar skogsnäringen redan idag stora kostnader. Tidigare analyser gjorda på Skogforsk år 1994 respektive 1999 av skogsnäringens kostnader för bristande vägstandard i det allmänna vägnätet visade på en total årlig kostnad på ca 750 respektive 900 miljoner kr per år eller 15–17 kr/m³fub. I kostnaderna ingick både direkta transportkostnader och lagerkostnader.

För att klara industriförsörjningen i ett framtida klimat avsevärt måste skogsbruket sannolikt öka virkeslagren vid bäriga vägar. Instabila vintrar med svårare tjällossning och större nederbörds-mängder under höst och vår kommer att skapa större variationer mellan åren vilket innebär att säkerhetsmarginalen i planeringen måste öka.

Antaget en lagerökning med 50–100 % jämfört med 1994 och 1999 års utredningar skulle detta motsvara en kostnad på ca 24–32 kr/m³fub i dagens penningvärde för ökade transport- och lagerkostnader. För en avverkningsvolym på 100 miljoner m³fub en total kostnad för skogsindustrin på 2400–3200 miljoner kronor. Kostnaden är en ökning jämfört med dagens nivå med ca 8–16 kr/m³fub.

5.3 Hur påverkas den svenska skogssektorn av effekter i omvärlden?

Ett tänkbart framtidsscenario

Utifrån föreliggande klimatscenarier (IPCC) bedöms att skogstillväxten netto på medellång sikt ökar svagt i den boreala zonen, minskar svagt i den tempererade zonen – dock starkt i Europa – och minskar starkt i den tropiska zonen.

En möjlig-trolig utveckling är att den ekonomiska utvecklingen i relativa tal – kort- och långsiktigt - kommer att bli relativt måttlig i de mest utvecklade länderna (USA, Kanada, EU 15, Japan, Australien, Nya Zeeland), relativt hög i östra Europa och länder i en tidig industrialiseringsfas i övriga världen (framför allt Asien men även Latinamerika) och relativt låg i övrigt. Det förutsätts att förnybara råvaror och energikällor, som träfiber, kommer att ha god konkurrenskraft gentemot de icke förnybara.

Det finns ganska starka samband mellan ett lands ekonomiska utvecklingsnivå mätt t.ex. som BNP per capita och konsumtionen av skogsindustriprodukter och virke för energiändamål. Särskilt starkt är sambandet för papper. När välfärden ökar stiger konsumtionen av t.ex. tidnings-, tryck-, förpacknings- och mjukpapper. I de allra mest utvecklade länderna kan man dock i dag skönja en utplaning av papperskonsumtionen. Ser man till hela världsdelar med en stor variation i utvecklingsgrad mellan länderna, som t ex Europa och Nordamerika inkl. Mexico, stiger konsumtionen fortfarande men i relativa tal ofta mindre än tidigare. Konsumtionen av solidträ och skivor är förutom av BNP även beroende av hur lämpligt trä är som byggmaterial i det aktuella klimatet och på traditioner, som i sin tur kan bero på historisk tillgång på trä.

Tabell 5.1 Ett tänkbart framtidsscenario för tillgång på träfiber, efterfrågan på skogsindustriprodukter resp. skogsbränsle och balans mellan tillgång och efterfrågan på träfiber i olika regioner i världen baserat på antaganden i texten och andra bedömningar

Område	Tillgång på träfiber	Efterfrågan på		Balans tillgång/efterfrågan på träfiber
		Skogsindustriprodukter	Skogsenergi	
Norden	Svag ökning	Svag ökning	Stark ökning	Försämrad
EU 15 exkl. Norden	Stark minskning	Svag ökning	Stark ökning	Försämrad
Östeuropa och CIS utom Ryssland	Stark minskning	Stark ökning	Stark ökning	Försämrad
Ryssland	Svag ökning	Stark ökning	Stark ökning	Oförändrad
Afrika	Stark minskning	Svag ökning	Oförändrad	Försämrad
Asien	Stark minskning	Stark ökning	Oförändrad	Försämrad
USA-Oceanien	Svag minskning	Oförändrad	Svag ökning	Försämrad
Kanada	Svag ökning	Svag ökning	Stark ökning	Oförändrad
Latinamerika	Stark minskning	Stark ökning	Svag ökning	Försämrad

Användningen av virke för energiändamål i länder med låg utvecklingsnivå är generellt stor. Bristande tillgång pressar dock ner användningen i många länder. Det gäller t.ex. stora delar av Asien. Med stigande välstånd i de utvecklade länderna har användningen, åtminstone fram till i dag, minskat kraftigt. Det har skett en övergång till andra tillgängliga och mer effektiva energikällor. Men med införandet av mål om hållbar utveckling samt befarade klimatförändringar har användningen av virke i många utvecklade

länder börjat ta ny fart. Användningen ökar framför allt till följd av politiska styrmedel, t.ex. skatter och utsläppsrätter.

Ovan nämnda antaganden tillsammans med andra bedömningar leder till ett tänkbart framtidsscenario som redovisas i tabell 5.1 Enligt scenariot sjunker tillgången på träfiber i hela världen utom i den boreala zonen där den ökar. Där tillgången minskar, t.ex. i Mellan- och Sydeuropa, är det främst en följd av klimatförändringarna. Dessa leder troligen till att en del av den befintliga skogen med tiden skadas av klimatrelaterade orsaker (s.k. naturlig avgång).

Enligt scenariot ökar efterfrågan på träfiber i alla områden. Det är dock endast Ryssland och Kanada, med sina stora och sannolikt ökande reserver av boreal skog, som har goda fysiska förutsättningar att klara av att tillgodose någon betydande del av den ökade globala efterfrågan. Det är emellertid tveksamt om det är möjligt att så kraftigt bygga ut avverkningskapaciteten ens fram till år 2050. Allra svårast att tillgodose behovet blir det i Asien med en mycket stor befolkning, en god ekonomisk tillväxt och en liten virkestillgång per capita.

Effekter på svensk skogsindustri och svensk skogsproduktion

Efterfrågan på skogsindustriprodukter både nationellt och på exportmarknaderna kommer enligt scenariot att öka. Ökningen i relativa tal blir svag på de traditionella marknaderna (Sverige och Västeuropa) men nästan lika stark i absoluta tal (efterfrågan per capita) som i t.ex. Östeuropa. Ökningstakten blir större för papper än för solidträ. I Asien blir den totala ökningen stark både i absoluta och relativa tal. Asien kan mycket väl bli en viktig framtida marknad för svenska skogsindustriprodukter.

Pappersproduktionen och då framför allt den produktion som baseras på mekanisk massa kan komma att bli drabbad av konkurrens om virket från energisektorn. Enligt scenariot ser framtidsutsikterna för svensk skogsindustri ändå relativt gynnsamma ut. En svagt ökande tillgång på råvara ger ett visst expansionsutrymme och efterfrågan på exportmarknaderna blir god. Till följd av att efterfrågan ökar mer än virkesproduktionen i världen finns goda förutsättningar för högre produktpriser. Samtidigt kommer sannolikt råvarupriserna att stiga vilket sätter press på lönsamheten.

Enligt scenariot har också det svenska skogsbruket mycket gynnsamma framtidsutsikter på denna sikt. En ökad efterfråga på skogsprodukter och breddad avsättningsmarknad (energi- och drivmedelsmarknaden) medför sannolikt stigande virkespriser och ökad lönsamhet. En förbättrad lönsamhet resulterar troligen i ökade investeringar i virkesproduktion vilket troligen ger större råvaruutbud på lång sikt. Konkurrensen på ett par decenniers sikt kommer framför allt från Ryssland. Kostnaderna för att utnyttja de enorma ryska virkestillgångarna kan dock bli höga till följd av dålig infrastruktur och låg befolkningstäthet där tillgångarna finns.

En alternativ utveckling är att den ökade efterfrågan på biobränsle så småningom genererar en påtagligt ökad produktion i Afrika och andra delar av världen där den ovan antagits minska. Vidare kan man tänka sig att i-ländernas pappersförbrukning så småningom sjunker till följd av datorutveckling och ökat miljö-tänkande när det gäller pappersförpackningar, samt att många utvecklingsländer i och med det kan utvecklas utan passera det skede av hög förbrukning av primärvirke till papper där många i-länder nu är. Allt detta innebär en totalt sett mer positiv utveckling för världen, vilket sannolikt ändå innebär en större ökning i efterfrågan på biomassa än i scenariet ovan (mer för el). Sannolikt förändras därför inte slutsatserna nämnvärt.

5.4 Hur påverkas arbetet med klara miljömålet Levande skogar?

Bevarande av skyddsvärd skogsmark

Artbevarandet försvåras redan i dagsläget av en rad stressande faktorer som till exempel fragmentering, försämring och förstörelse av livsmiljöer, spridning av invasiva främmande arter och föroreningar. Samtidigt finns det en utdöendeskuld för den biologiska mångfalden då arter i små isolerade biotoper ännu inte hunnit försvinna. Detta medför att en stor mängd arter hotas av utrotning. Klimatförändringarna, inklusive väderextremer, förstärker denna effekt eftersom förutsättningarna på en viss plats ändras.

Arterna kan reagera på klimatförändringarna med att förskjuta sitt utbredningsområde, anpassa sig eller bli utrotade. Deras spridning försvåras emellertid av fragmenteringen av deras livs-

miljöer och förändringarna sker så snabbt att möjligheten till anpassning är liten.

Mildare och fuktigare vintrar samt ökad näringsomsättning gör i många fall att fler arter kommer att kunna vara med och konkurrera om utrymmet på en viss ståndort, ibland till nackdel för en art med skyddsbehov på plats, ibland till fördel för en art söderifrån. Arter som nu finns naturligt i landskapet riskerar således att ersättas av andra, konkurrensstarka arter. Om skogen sköts på samma sätt som idag kommer dessutom större arealer skog att ha så täta kronskikt att endast lite kan växa på marken, speciellt om skogsägare väljer att öka satsningen på rena granbestånd i Svealand och Norrland.

Arter med begränsad spridningsförmåga och speciella ståndorts-krav eller krav på ljusklimat kan få särskilt svårt att hinna flytta norrut. Detta gäller exempelvis många kalkkrävande arter, eftersom det på många håll är långt mellan de kalkrika biotoperna. Att det i relativt hög takt uppstår nya kombinationer av ljus-, temperatur- och fuktklimat och geologi som färre arter är anpassade till, medan vissa gamla kombinationer försvinner kan också bidra till artutarmning.

För att miljö kvalitetsmålet Levande skogar ska kunna nås ökar således behovet av tillgång till sådana substrat, biotoper och händelser som ett produktionsoptimerat skogsbruk normalt minskar förekomsten av. Detta understryker behovet av generella hänsynsåtgärder på all brukad skogsmark och genomtänkta strategier för biotopval vid olika former av avsättningar.

Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket har tagit fram en nationell strategi för formellt skydd av skog för att åstadkomma ett kostnadseffektivt skydd för de mest skyddsvärda skogarna. Där beskrivs hur olika kombinationer av bevarandeformer, inklusive frivilliga avsättningar (eget bevarande) och generell hänsyn kan kombineras för att nå den samlade bästa lösningen utifrån de förutsättningar som finns i varje enskilt fall. Målen om bevarande av skyddsvärd skogsmark bygger på denna strategi. Om kombinationen av det egna bevarandet och formellt skydd i hög utsträckning avser värdekärnor, samt om deras geografiska utsträckning och kvalitet är känd, ökar möjligheten att anpassa det totala skyddet för att nå en mer effektiv naturvård.

Skötsel av skyddsvärd skogsmark

Skötselåtgärder kan bidra till att minska stressen för den biologiska mångfalden genom att kvaliteten på arternas livsmiljöer förbättras. För vissa biotoper är rätt skötsel av avgörande betydelse för bibehållande och utveckling av den biologiska mångfalden, i andra fungerar fri utveckling tillfredsställande.

Biologiskt värdefulla strukturer och processer på produktiv skogsmark

Det finns flera exempel på betydelsen av val av anpassningsstrategi för den biologiska mångfalden. Om en ökad antändningsrisk till följd av ökad frekvens av sommartorka möts med ökad brandövervakning kan antalet oplanerade skogsbränder minska snarare än öka. Ökad stormfällning kan leda till ett ökat uttag av död ved för att minska risken för insektsskador. Toleransen mot död ved kan också minska om man ser ett samband med risk för spridning av bränder. Å andra sidan kan risken för skador som sagt leda till ett behov av (eller önskan om) ökad riskspridning i skogbruket, vilket kan leda till ökad arealandel lövrik skog. Viltvårdens utveckling är emellertid av central betydelse (se ovan). Satsningar på att bevara biologiskt värdefulla strukturer och processer är till fördel för den biologiska mångfalden, vilket kan minska känsligheten för klimatförändringar.

Miljön i och kring vatten i skogslandskapet

Skogsbrukets negativa påverkan på avrinnande vatten är redan i dagsläget stor på många håll. Mest skadlig är uttransporten av sediment och organiskt material till vattendrag, vilken stör eller förstör livsförutsättningarna för många arter. Klimatförändringarna medför att vintrarna blir mildare, tjalperioderna kortare, väderextremerna bli starkare och vattenstånden högre under vinterhalvåret. Allt större andel av drivningen kommer därför att ske på tjälfri, fuktig mark med låg bärighet. Risken är således stor att effekterna av körsador på avrinnande vatten förvärras (se nedan). Om frekvensen av större skadeutbrott ökar kan det dessutom oftare bli "bråttom" att få ut virket, vilket i sig minskar frihetsgraderna i planeringen och ökar risken för körsador. Om det föreslagna delmålet om körningsfria kantzoner längs naturliga

vattendrag kan uppfyllas av skogssektorn motverkas vissa av de negativa effekterna av klimatförändringarna.

Kulturmiljövärden och sociala värden

I förhållande till dagens pågående skogsbruksmetoder bedöms klimatförändringarnas påverkan på skogens kulturmiljövärden vara ringa. En ökad skoglig tillväxt eller förändringar i brukandet av skog, t ex stubbrytning, medför möjligen ett ökat behov av regler som säkerställer skyddet för kulturlämningar och skötselmetoder för att synliggöra dem.

Klimatförändringarnas påverkan på skogens sociala värden bedöms vara ringa. En ökad skoglig tillväxt medför möjligen ett ökat skötselbehov för att synliggöra och bevara natur- och kulturmiljövärden. Om markägare väljer att sprida riskerna inför framtiden genom ett mer diversifierat skogsbruk med fler trädslag och fler bestånd med trädslagsblandning kan det å andra sidan vara positivt ur upplevelsesynpunkt.

I skattningarna av det framtida klimatet i Europa förutspås ett ännu torrare Medelhavsklimat än idag. Detta, i kombination med relativt sett dyrare flygtransporter och ett mildare klimat i norr, kan med tiden möjligen bidra till att turismen ökar i norra Europa och Skandinavien, även av oss själva. Ekonomin i ett mer turistanpassat brukande av skogslandskapet kan då öka på många håll.

6 Hur kan skogsbruket anpassas?

6.1 Medveten riskhantering

I projekt "Stormanalys" efter stormen Gudrun år 2005 drogs slutsatsen att riskhanteringen, exempelvis när det gäller risken för stormfällning, inom det svenska skogsbruket inte är speciellt medveten (Blennow och Eriksson 2006). Ur ett nationellt virkesförsörjningsperspektiv kanske risken för vindfällning bedöms vara liten i relation till kostnaden för att reducera den, men ur en privat skogsägars perspektiv kan motåtgärder bedömas vara betydligt mer prisvärda. Det kan bero på att man inte ekonomiskt kan klara eller är beredd att ta risken för ett dåligt utfall i form av omfattande skador som ger en starkt reducerad inkomst per kubikmeter. Det

kan också bero på att man har andra mål med sitt skogsägande än rent produktionsmässiga.

I analysen pekas bland annat följande faktorer ut som viktiga vid skoglig rådgivning för en förbättrad medvetenhet: tydlighet rörande vilka principer som tillämpas vid riskbedömning, strävan efter många handlingsalternativ, riskinformation och stöd när det gäller att balansera flera olika mål med skogsbruket. I rådgivningen bör man i ökad grad redovisa möjligheter och risker med olika handlingsalternativ, och vara öppen för att varje skogsägare har en egen kombination av mål med sitt brukande. I "strävan efter många handlingsalternativ" kan man också se ett budskap till forskarsamhälle och forskningsfinansiärer. Eftersom skogsvårdslagen lägger stor vikt vid "beprovad erfarenhet" då ett handlingsalternativ ska godkännas är det angeläget att det i så liten grad som möjligt är ren brist på kunskap som lägger hinder ivägen.

Även om klimatförändringen på många sätt ökar möjligheterna för skogsbrukandet i Sverige, åtminstone under de närmaste decennierna, så ökar också riskerna påtagligt. Om varje skogsägare på ett medvetet sätt sprider riskerna i sitt brukande så som han eller hon finner lämpligt, så sprids riskerna även för samhället i stort. Riskerna kan spridas via odling av fler trädslag, ökad trädslagsblandning inom bestånden, ökat försäkringsskydd och/eller ökad variation i avverkningsålder och gallringsregim. Om ett medelålders trädslagsblandat bestånd framöver drabbas hårt av någon trädslagsspecifik skadeinsekt eller patogen kommer träden av den/de skonade arten/-erna att stå kvar och direkt kunna tillgodogöra sig näring, solljus och vatten på ett relativt effektivt sätt. Man kan variera proveniensen (geografiskt ursprung) hos plantor och frön, dock inom vissa gränser som anges av kunskap om vad som kan fungera i nuvarande och framtida klimat (jfr nedan). För markägare som har andra huvudsyften med sitt skogsägande än produktionsbaserad avkastning, men ändå har önskemål om vissa inkomster från försäljning av virke, kan olika godkända former av blädnings- eller kontinuitetsskogsbruk vara intressanta att tillämpa.

6.2 Trädslagsval

Gran

För hela Norrland gäller att vattentillgången under vegetationsperioden normalt sätt bibehålls i stora drag. I kombination med att vegetationsperiodens längd ökar medför det att boniteterna sannolikt kommer att öka relativt sett mer än i södra Sverige (jfr ovan). På många av dagens medelgoda marker, där tallen idag växer lika bra eller bara lite bättre än granen (*Picea abies*), kommer sannolikt granens produktion att vara högre i framtiden (fig 3.2). Klimatförändringarna ger därför anledning att satsa i högre grad på granföryngring på sådana medelgoda marker.

För södra Sverige och i synnerhet för Götalands del debatteras granens framtid nu när klimatet sannolikt blir varmare och de senaste årens stormar har slagit så hårt mot granskogen. Vår vanliga gran har länge varit ett populärt trädslag för virkesproduktion, även utanför dess naturliga utbredningsområde. Odling av gran har väsentligt bidragit till att öka skogstillväxten och virkesförrådet i centrala, västra och norra Europa (Spiecker m fl 1996). Trots detta finns inom delar av Europa för närvarande en trend mot minskad användning av gran, främst till förmån för ett skogsbruk som ger en mer naturlig skog (Spiecker m fl 2004). Den ökade medvetenheten om behoven hos andra skogslevande arter med naturlig hemvist i skog spelar roll för denna omställning i många regioner, liksom en växande efterfrågan på rekreationsskogar. Granens känslighet för stormfällning, snöbrott och torka med åtföljande barkborreskador har påverkat bilden av dess produktionspotential och ekonomi. Till detta kommer insikten om att ett bestånd för vilket skaderisken ökar skarpt med beståndshöjden, och som därför bör avverkas före viss ålder, minskar frihetsgraden när det gäller tidpunkt för avverkning. Detta kan vara en nackdel, dels då prisläget varierar med konjunkturerna, dels då man kan vilja vänta med avverkning till en tidpunkt då inkomsterna behövs. En del forskare menar eller beräknar att granen kommer att drabbas alltmer av olika klimatinducerade skador och/eller kommer att få svårare att självföryngra sig då den framöver kommer allt längre ifrån sitt naturliga klimat (jfr Larsen 2006), även i södra Sverige (Bradshaw m fl 2000, Koca m fl 2006). Andra menar att granen, när den väl är etablerad via aktiva föryngringsåtgärder och röjning, har goda möjligheter att fortsätta producera bra, även i ett starkt förändrat

klimat (Sonesson m fl 2004). De relativt låga kostnaderna för föryngring och tåligheten mot ett högt vilttryck talar också för granen.

I stora delar av Göta- och Svealand är granen naturlig och bidrar till bevarandet av en naturlig artdiversitet, framförallt på lägre till medelgoda boniteter och i blandning med andra trädslag. I Sverige har priserna för de flesta lövträsortiment hittills varierat ännu mer med konjunkturerna än de för barrvirke.

Klimatförändringarna innebär dock att tillväxt och andel tjälfria vintrar ökar och kan dessutom innebära att fällande vindar blir vanligare (jfr kap 2). För mindre skogsägare i Sverige gäller också, i högre grad än för större, att man vill kunna styra över tidpunkten när tillgången realiserar. Dessutom ökar frekvensen av mycket torra somrar i Götaland, för vilka gran är känsligare på många marker än exempelvis tall och ek. För många skogsägare - kanske en ökande andel - kan det känslomässiga värdet av att ha skog som är trevlig att vistas i överstiga värdet av en maximerad genomsnittlig intäkt från skogsbruket. Det finns också ett antal markägare som får inkomster från turism och för dessa kan det helt enkelt löna sig att ha en trevlig skog.

Sammantaget är bedömningen att södra Sveriges skogsägare även fortsatt har skäl att satsa på föryngring av gran, om än i något reducerad omfattning (jfr avsnitt 6.1 *Medveten riskhantering* ovan). De klimatinducerade skadorna på vuxen granskog, stormfällning inräknat, har trots allt inte varit så kvantitativt omfattande, ens i regioner med ett klimat som liknar det som kommer, att de på något radikalt sett minskat granens lönsamhet i produktionshänseende i relation till övriga trädslag (jfr Spiecker m fl 2004, Skogsstyrelsen 2005). Skogindustrin i södra Sverige efterfrågar först och främst granvirke och kommer sannolikt att göra så ett bra tag framöver. En risk med att satsa på mindre vanliga trädslag är att tillgången blir så liten att ingen förädlingsindustri väljer att bygga en produktion runt det. Det finns dock en tendens att industrier med teknikens hjälp blir bättre på att ta tillvara olika trädslag och kvaliteter - en tendens som möjligen kan förstärkas i framtiden. Dessutom kanske höjda priser på energisortiment kommer att innebära betalning nog för alla trädslag med någorlunda bränslevärde.

Tall

Tallen (*Pinus sylvestris*) saknas till stor del naturligt i de maritima atlantiska områdena, men odlas framgångsrikt även inom detta område. I de delar av Götaland där risken för sommartorka ökar förväntas tallens konkurrenskraft i produktionshänseende öka relativt de flesta andra inhemska trädslag (fig 3.2) och det kan där finnas anledning att öka tallandelen i skogen, gärna i blandning. Tallen är förhållandevis viltskadekänslig vilket kan försvåra en sådan satsning vid föryngringar om inte viltskadorna kan motverkas bättre framöver. I mellersta och norra Sverige förväntas tillväxten för gran och löv öka mer än för tall (fig 3.2).

Contortatallen (*Pinus contorta*) är allra mest till sin produktionsmässiga fördel i relativt kärva klimatlägen i Norrlands inland. Den kommer därför sannolikt att tappa något i konkurrenskraft till följd av klimatförändringen.

Björk

Både vårtbjörk (*Betula verrucosa*) och glasbjörk (*B. pubescens*) har en utbredning över hela Europa med undantag av de sydligaste områdena runt Medelhavet. Dess potentiella betydelse för skogsbruket påverkas därmed inte så mycket av klimatförändringarna. Förändringar i nederbörds klimat och humiditet kan innebära vårtbjörken ökar sin andel i självföryngringar i områden som blir torrare medan glasbjörken ökar där det blir fuktigare. Vid kraftiga klimatförändringar kan det bli aktuellt att expandera förädlingsverksamheten genom att korsa in mellaneuropeiska provenienser i förädlingspopulationerna. Självföryngrad björk är måttligt viltskadekänsligt och man kan förvänta sig att trädslaget kan öka i intresse relativt granen särskilt hos markägare med mer extensiv inriktning på sitt skogsbruk. Björk går relativt enkelt att samodla med gran i blandade bestånd, vilket i viss mån kan motverka de ökade problemen med patogener och skador för granen, tex rot-röta. I norra Norrland förväntas björken öka sin produktion speciellt mycket (fig 3.2)

Övriga lövträdsdrag

Båda ekarterna som förekommer i Sverige, skogsek (*Quercus robur*) och bergek. (*Q. petraea*), har en utbredning som omfattar nästan hela Europa söder om Sverige. Båda arterna borde gynnas av ett varmare klimat och kunna odlas med kortare omloppstider. Virkeskvaliteten höjs i vissa avseenden då tillväxten ökar. Ekens möjliga skogsodlingsgräns flyttas norrut. Viltskadekänsligheten vid föryngring, den fortfarande relativt långa odlingstiden och dyra skötseln och svårigheten att konkurrera med ek från t ex Tyskland och Polen med högre kvalitet kan motverka ett ökat intresse för ekproduktion. Eken drabbas också återkommande av olika skadegörare, t ex ekvecklare (*Tortrix viridana*), och mer komplexa skadebilder (se ovan).

Bokens (*Fagus sylvatica*) utbredning är påtagligt förlagd till centrala Västeuropa. Den tycks undvika utpräglad kustnära atlantiska områden där förhållandevis svala och fuktiga somrar förhindrar naturlig reproduktion. Österut så är det främst vinterkylan som sätter gräns för utbredning ungefär vid östra Polen och västra Ukraina. Den odlas dock långt utanför sitt utbredningsområde. Boken är förhållandevis vilttålig när plantan blivit ett par år och med en liknande ekologi som granen så kan den förväntas vinna mark mot granen både genom naturliga processer och genom medvetna val av skogsbruket inom stora delar av södra Sverige, möjligen med undantag för de sydöstra delarna. Virkeskvaliteten påverkas inte på samma sätt som för ek. En expansion norrut blir möjlig.

Övriga ädla lövträd följer liknande mönster som för ek och bok, där lönn (*Acer platanoides*) och avenbok (*Carpinus betulus*) mest liknar boken i respons och fågelbär (*Prunus avium*) mer påminner om ekens respons. Ask (*Fraxinus exelsior*) och särskilt alm (*Ulmus glabra*) är för närvarande svårt drabbade av patogener vilket medför ett lågt intresse från skogsbruket. Almsplintborren (*Scolytus sp.*) som sprider den mest virulent formen av almsjuka (*Ceratocystis ulmi*) verkar sprida sig norrut lika fort som almen. Vad som orsakar askskottsjukan är för närvarande under utredning (Thomsen & Skovsgaard 2006, Thomsen m fl 2007).

Gråal (*Alnus incana*) har en utpräglad nordlig och östlig utbredning och kan förväntas retirera norrut. Klibbal (*Alnus glutinosa*) har en utbredning över större delen av Europa och kan förväntas expandera i norra Sverige där den i dag saknas eller är

ovanlig. För asp (*Populus tremula*) gäller ungefär detsamma som för björk med undantag att dess känslighet för viltskador sannolikt kommer att minska intresset från skogsbruket.

En mångfald av trädslag bidrar till ett vackert landskap och till artmångfalden i skogen. Många skogsägare kan av dessa anledningar, och som ett sätt att sprida riskerna inför ökade skaderisker i framtiden, vilja öka lövträdandelen i sin skog, både i blandbestånd och i form av trädslagsrena bestånd. För många kommunägda skogar är rekreationsvärdet det viktigaste, men det är positivt både för regionens biobränsleförsörjning och kommunens ekonomi om ett högt rekreationsvärde kan kombineras med en relativt hög virkesproduktion.

Nya trädslag

Vilka nya trädslag kan komma att passa i ett förändrat klimat? Silvergran (*Abies alba*), poppel, hybridlärk, sitkagran (*Picea sitchensis*) och douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*) har provats i trädslagsförsök sedan lång tid tillbaka och fungerar egentligen redan i dagens klimat i delar av landet. Vilken användning de kan få i skogsbruket och på nedlagd jordbruksmark är mer en fråga om inställning till främmande trädslag, kostnader vid etablering, produktionsnivå och förväntad efterfrågan på virket. Ett ökande värde på olika biobränslesortiment, inkl sådana som kan användas till framställning av fordonsbränslen, skulle kunna förändra prisrelationerna i en framtida virkesprislista.

De flesta träd är känsligast för klimat i plantstadiet. Det går därför inte i någon högre grad att introducera sydligare arter nu som man tror ska kunna dra fördel av ett varmare klimat i framtiden. Överlevnad nu avgör vilken anpassning som är möjlig att göra i förväg. Frågan är därför inte så aktuell utan kan återkomma när man ser vilka arter som börjar överleva bättre i olika försök.

Resultat från tretton danska trädslagsförsök med barrträd gav följande ungefärliga rangordning när det gäller överlevnaden efter tio år (Jørgensen & Skovsgaard 2004): vanlig gran, sitkagran, silvergran, kustgran (*Abies grandis*), japansk lärk (*Larix leptolepis*), douglasgran, contortatall, cypress (*Chamaecyparis lawsoniana*), *Abies nobilis*. Slutsatsen från en serie försök med lövträdarter på frostutsatt sandjord var att ek och lönn uppvisade en tillfredsställande kombination av överlevnad, tillväxt och kvalitetsutveck-

ling, medan bok och speciellt rödek (*Quercus rubra*) fungerade sämre (Skovsgaard och Jørgensen 2004). Detta kan ge en bild av situationen på liknande marker i Mellansverige om ca 50 år.

6.3 Utnyttjande av förädlad och förflyttad genetiskt material

De flesta av våra trädslag har en betydande genetisk variation för egenskaper som är av stor vikt för klimatanpassning. Den genetiska variationen finns dels mellan populationer dels mellan individer inom samma population. Variationen mellan populationer är ofta kontinuerlig från syd till nord för viktiga anpassningsegenskaper, som t.ex. tidpunkten för knoppsättning och invintring. Inom skogsbruket finns en lång tradition av att utnyttja denna variation genom att flytta bra genetiskt material. Det finns en lång tradition av proveniensforskning med omfattande serier av proveniensförsök med våra viktigaste trädslag. I ett klimat som snabbt förändras kommer behovet av att föryngra med nordförflyttat material att öka om man vill bättre utnyttja möjligheten till ökad produktion. Det finns idag en god kunskapsgrund att stå på för att göra dessa förflyttningar på ett bra sätt.

Många egenskaper av stor betydelse för klimatanpassning uppvisar även en stor genetisk variation mellan individer inom samma population. Detta utnyttjar man i förädlingsprogram för våra skogsträd där man systematiskt testar och väljer allt bättre träd för massförökning i våra plantskolor. Massförökningen sker idag i huvudsak genom fröplantager. Förädlingsprogrammen för tall, gran, contortatall och vårtbjörk bygger på en strategi som ger en god beredskap inför ett förändrat klimat. En allt större andel av de plantor som används kommer från förädlad frö från fröplantager. Skogsträdsförädlingen erbjuder goda möjligheter att förse oss även i framtiden med bra klimatanpassat skogsodlingsmaterial, med bibehållen hög genetisk variation, och kunskapsbaserade användningsrekommendationer. Detta förutsätter givetvis en fortlöpande kunskapsuppbyggnad kring genetisk variation, klimatanpassning och förädlingsmetodik.

Även i framtiden kommer det att finnas ett behov av att välja bästa tillgängliga genetiskt material vid föryngring. Allteftersom klimatet förändras kommer självföryngring med frö från det gamla beståndet, som är anpassat till det gamla klimatet, att bli ett, ur

produktionssynpunkt, allt sämre alternativ. Man kan därför förutse att en större andel av föryngringen i framtiden kommer att ske med skogsodling med förflyttat och/eller förädlat genetiskt material medan självföryngring blir mindre vanligt. Även behovet av att byta trädslag på vissa marker talar för mer skogsodling och mindre självföryngring.

6.4 Kortare omloppstider

Den framtida skogen kommer att växa bättre, vilket innebär att medeltillväxten kommer att kulminera tidigare. Risken att skogen drabbas av någon skada ökar i det framtida klimatet. Risken för stormfällning av barrträd ökar speciellt starkt med beståndshöjd och ålder. Allt detta talar för att man i normala fall kommer att avverka bestånden vid yngre åldrar i framtiden.

Medeltillväxten för biomassan som helhet kulminerar tidigare än medeltillväxten för stammen. Om bränslesortiment kommer att betalas bättre relativt andra sortiment i framtiden kan det sänka genomsnittsåldern för optimala omloppstider ytterligare.

6.5 Skötsel för minskad vindfällningsrisk

Det finns klarlagda positiva samband mellan gallringsstyrka och vindskadefrekvens för både tall och gran (Persson 1972, 1975). Ett skötselsystem som bör minska risken är därför att gallra hårt tidigt under beståndets livstid och sedan mycket försiktigt eller inte alls när skogen börjar bli högväxt (Skogsstyrelsen 2006). Samtidigt förlorar man viss tillväxt och riskerar att få ett sämre kvalitetsutbyte, då träden blir kvistigare i ungdomen. Det är också mycket svårt att kvantifiera hur mycket vindfällningsrisken verkligen minskar (Skogsstyrelsen 2006). En annan möjlighet är att föryngra med större andel av trädslag som inte blåser omkull så lätt som granen (tall, björk, andra lövträd). Även då kan man förlora i virkesproduktion. En strikt ekonomisk analys visar att vindfällningsrisken måste öka rejält innan det i genomsnitt lönar sig att byta från gran till björk (Nilsson & Sallnäs 2006).

Ett systematiserat informationsutbyte och ett ökat planerings-samarbete rågångsgrannar emellan skulle kunna innebära en

minskad förekomst av speciellt vindutsatta hyggeskanter (Skogsstyrelsen 2006).

Röjning är också en åtgärd som har betydelse för hur beståndet skall klara framtida klimatpåfrestningar. Beståndets framtida trädslagsblandning, tillväxt och stabilitet regleras vid röjningsingreppet (Skogsstyrelsen 2007). För att förebygga framtida stormskador kan man försöka skapa stormfasta bryn i utsatta områden och lägen. Man röjer då hårt i en bred kantzona i syfte att de stammar som lämnas ska bli kraftiga och stabila. Lövträd bör gynnas och ges gott om utrymme. För att reducera risken för snöbrott och stormfällningar bör ungskogsröjningen vara normalstark så att träden ges möjlighet att bygga ut rotsystemen och bli vindstabila.

6.6 Körning på otjälad mark och skogsbilväg

Körning med skogsmaskiner på otjälad mark

Det finns redan idag flera skäl att planera körningen i skogen bättre för att minska skadorna på livet i vattendrag. Idag är det vanligt att körskador på mark med ytnära grundvatten medför uttransport av sediment, organiskt material, näringsämnen och i värsta fall även giftigt metylkvicksilver till vattendrag som skadar livet i vattnet eller ger problem högre upp i näringskedjan. Eftersom klimatförändringarna ökar andelen av säsongen som är tjälfri och ökar frekvensen av extrema regn stärks motiven för en sådana utvecklade hänsyn (se Fördjupad utvärdering av Levande skogar, remissversion juni 2007).

Det finns metoder att helt eller delvis undvika körskador i bestånden. Vid överfarter över vattendrag kan mobila broar användas. På övrig mark med sämre bärighet finns olika tekniska hjälpmedel som t.ex. risning, kavelbroar och markskonare. Att utrusta maskinerna med miljöband och bredare däck, alternativt variabelt lufttryck är också effektiva metoder att minska marktryck och risk för markkompaktering.

Merkostnaden för anpassning till fuktigare och varmare klimat i avverkningsarbetet uppskattas till mellan 5 och 10 kr per m³fub eller 500–1000 miljoner kr (Sonesson 2007).

Skogsbilvägar

Skogsstyrelsen bedömer att vägnätets underhållsstandard sjönk under 1990-talet. Situationen bedöms vara sämst på privatskogsbrukets vägar. Inom storskogsbruket koncentreras löpande underhåll i hög grad till skogliga huvudvägar, vilket medför att behovet av mera genomgripande underhålls- och förbättrings-åtgärder ackumuleras och att kostnader skjuts på framtiden.

Vägnätets standard påverkar direkt skogsnäringens konkurrens- och utvecklingsmöjligheter liksom betalningsförmågan för virket. Vid anläggning av skogsbilväg försöker man hålla de sammanlagda kostnaderna för transporter i terräng och på väg plus väghållningskostnad så låga som möjligt. Intentionen är att anpassa vägstandarden till utnyttjandegraden. Ofta innebär det att skogsbilvägar byggs med en tillgänglighetsstandard motsvarande klass C, det vill säga farbar hela året utom under tjällossning och perioder med ihållande regn.

Idag byggs all skogsbilväg inom privatskogsbruket med en standard motsvarande klass C eller sämre. Vägstandarden inom storskogsbruket håller högre klass - B eller C - där vägarnas tillgänglighet ingår i företagens strategier. För att klara framtida klimatförutsättningar bör vägstandarden generellt höjas. Det innebär att omfattningen av bärighetsklasserna D och C bör reduceras på ett strategiskt genomtänkt sätt. För att uppnå ökad bärighet i relation till ökad nederbörd och vintertemperatur krävs ofta både att "slitytans" tjocklek ökar och att själva vägkroppen modifieras. Idag ligger dessutom en stor del av vägnätet lågt i terrängen, intill vattenmiljöer eller våtmarker, vilket ger en kontinuerlig vattenpåverkan.

Behovet av åtgärder på skogsbilvägnätet varierar till omfattning och karaktär såväl över tiden som geografiskt. I Vägplan 90 (Skogsstyrelsen 1991) beräknades för perioden 1990–2005 ett årligt behov på 2200 km nybyggnad och 2700 km förbättringar för landet som helhet. Förbättringsåtgärderna i Vägplan 90 tog inte hänsyn till eventuell klimatförändring utan pekade mer på ett akut behov av ökad bärighet generellt. I södra Sverige utgjordes behovet till 80 % av förbättringar och resten av nybyggnad och i norr var förhållandet det omvända. Förbättringsbehovet (uttryckt i km) var enligt Vägplan 90 större än nybyggnadsbehovet. För södra Norrland skattades det årliga behovet av förbättring till ca 700 km och för västra Götaland till ca 600 km. Tar man hänsyn till framtida

klimatförändringar är det i synnerhet vägarna i södra Norrland och västra Götaland som behöver förbättras och förstärkas. Vagnätets status påverkar även sårbarheten för ekonomiska förluster när omfattande skador hastigt uppkommer, exempelvis stormskador.

Ett grundläggande problem är att det ofta saknas en aktör med överblick över större sammanhängande vägsystem. Sådan överblick behövs för att t.ex. kunna identifiera flaskhalsar och bedöma var i systemet en förbättring av bärigheten ger störst nytta. Drivkrafterna för att samverka kring kvalitetshöjande åtgärder för vägar är många gånger för svaga och kunskaperna för bristfälliga för att samverkansprojekt ska kunna initieras och genomföras. Nuvarande skogspolitik bedöms inte bidra till att stimulera samordning och samverkan vid nybyggnad eller förbättring av skogsbilvägar.

6.7 Åtgärder för att motverka skador på skog

Bättre inrapportering och statistik

Ett mer utvecklat system för insamling av data kring skador i skogen än det som redan finns i befintliga skogsinventeringar kan vara värdefullt av flera anledningar. Dels kan förbättrad statistik ge en bild av trender i skadeangrepp och därmed bättre underlag för anpassning och/eller förebyggande motåtgärder. Dels kan man tidigt få grepp om angrepp under utveckling och därmed underlag för beslut om insatser av mer akut karaktär.

Rotröta

Förutsättningarna för spridning av rotröta ökar och andelen angripet virke kan mycket väl komma att öka om inte motverkande åtgärder vidtas. Den viktigaste förebyggande åtgärden för att minska risken för rotröteangrepp är att avverka under vintern eller att behandla stubbarna om avverkningsen sker under vegetationsperioden. För stubbehandling finns ett biologiskt preparat (pergamentsvamp) och ett kemiskt (urea) registrerade. Appliceringen av preparaten kan ske maskinellt i samband med avverkning eller manuellt omedelbart efter det att trädet fällts. Behandling idag sker främst i samband med gallring. Kostnaden är i storleksordning 2–10 kronor per fälld kubikmeter – lägre i slutavverkning och högre i tidig gallring. De väntade klimatförändringarna ger således

skogsägarna, åtminstone upp till och med södra Norrland, anledning att förebygga spridning av rotröta genom att behandla större andel av den avverkade arealen, både i slutavverkning och i gallring.

På speciellt drabbade marker kan man överväga att byta trädslag vid föryngringen för att på så sätt bryta möjligheten till smitta via överlevande stubb/rotssystem.

Granbarkborre

De viktigaste förebyggande åtgärderna mot granbarkborreskador är att öka granbeståndens stormfasthet och använda skötselmetoder som minimerar risken för att granskogsbestånd med låg vitalitet skall uppkomma. Dessutom kan man undvika att plantera gran på torra marker i södra Sverige där risken för framtida torkstress är stor. Efter stormfällningar är det angeläget att vindfällda träd kan forslas ut ur skogen innan den nya generationen insekter hunnit lämna dem. Dessutom används ett antal direkta bekämpningsåtgärder som t.ex. ”sök och plock” av stående angripna träd, massfångst med feromonfällor eller med giftbehandlat lockvirke. Hur kostnadseffektiva dessa åtgärder egentligen är, i termer av mängd räddad skog per krona, är dock i nuläget okänt. ”Sök och plock” innebär att angripna träd forslas ut ur skogen innan den nya generationen barkborrar lämnat dem.

Den ökade risken för angrepp av granbarkborre innebär att man bör utveckla tydliga rekommendationer för saneringsavverkning och uttransport av virke från skogen. Angripna träd kan gärna lämnas kvar i skogen om våren och försommaren för att fungera som fångstvirke men bör sedan huggas och forslas bort innan den nya generationen svärmar, dvs innan lufttemperaturen når 17–18 °C.

Snytbagge

Hittills har insecticidbehandling av plantor varit en vanlig åtgärd för att skydda barrträdsplantor mot snytbagge. Sådan plantbehandling kommer troligen att förbjudas på sikt men till och med år 2009 är behandling med imidakloprid och cypermetrin tillåten. Hyggesvila, högskärm (plantering under skärmställning), effektiv markberedning och rätt planteringspunkter samt mekaniska

gnagskydd runt stammen är metoder som enskilt eller i kombination har visat sig väsentligt bidra till minskade plantskador.

Då ett förbud träder i kraft kommer sannolikt utvecklingen av alternativa åtgärder att skyndas på och deras kostnader att reduceras.

Viltskador

Hjortvilt verkar i huvudsak att gynnas av klimatförändringarna, speciellt norröver. Dagens förvaltning av viltstammarna har en liten koppling till rådande foderbetingelser och betesskador. En utveckling av förvaltningen bör därför ske så att viltstammarnas täthet på ett mer förfinat sätt anpassas efter fodertillgång, acceptabla betesskador på skog och lokalt socialt och ekonomiskt värde av jakten. För att detta ska vara möjligt behövs bättre dataunderlag för ingående faktorer samt att förvaltningsmodellerna utvecklas. Kanske behöver även "skötseln" av fodertillgångarna utvecklas på vissa håll.

Övrigt

Utvecklingen mot ökad brandrisk, speciellt i södra Sverige, pekar på att behovet av en reguljär brandövervakning består.

Vidare bör man i så hög utsträckning som möjligt utveckla krisberedskap för olika extrema händelser, mer kända såväl som mer hypotetiska, som kan drabba skogen. Beredskapsplanen bör innehålla tänkbara krisåtgärder, fördela ansvaret för att ta avgörande åtgärdsbeslut mellan berörda myndigheter, markägare, skogsindustrier, etc samt ange vilka aktörer som ska stå för vilka kostnader (för skador såväl som åtgärder). En sådan krisberedskapsplan utvecklas för närvarande av Jordbruksverket. Den ska kunna användas vid ett eventuellt påträffande av tallvedsnematod inom landets gränser.

Mot bakgrund av risken att klimatet kan möjliggöra en etablering av helt nya skadegörare kan det vara lämpligt att fortsätta utvecklingen av Jordbruksverkets sundhetskontroll av importerade träprodukter. På längre sikt kan det kanske vara svårt att stå emot, men Skandinavien gynnsamma läge med kust åt öster, söder

och väster kan göra det möjligt att försena en invasion med flera decennier för vissa typer av skadegörare.

Den ökade risken för översvämningar till följd av ökad frekvens av extremt hög eller långvarig nederbörd kan på sina håll medföra att vattendomar behöver justeras uppåt. I sådana fall bör möjligheten att ersätta markägare för ökad översvämningrisk övervägas.

7 Slutord

Skogsägarna i Sverige har i ökande grad andra syften med sitt ägande än optimerad virkesproduktion och kan dessutom vilja sprida riskerna i sitt brukande som en anpassning till klimatförändringarna. Vidare ska natur- och kulturvärden bevaras i enlighet med uppställda mål. Samtidigt *ökar* samhällets behov av klimatneutrala råvaror för energiproduktion och tillverkning. En av de viktigaste slutsatserna i detta arbete är således att klimatproblemet tydligt förstärker behovet av breddad kunskap kring skonsamma avverkningss- och drivningstekniker och skötsel för hög och säker virkesproduktion i skogar av *många olika slag*, inklusive sådana som brukas med andra värden som viktiga eller primära mål. Vidare ökar behovet av en utvecklad forskningsbaserad skoglig rådgivning, genom vilken en bred kunskap kan förmedlas. Klimatförändringarnas inverkan på vilka strategier som krävs för att skydda hotade arter i skogen behöver också studeras mer.

Flera av experterna som bidragit med synpunkter och underlag till denna rapport har ännu inte haft möjlighet att göra en grundligare analys inom sitt expertområde. En ökad tilldelning av forskningsmedel nu och framöver bör förhoppningsvis kunna ge fler möjlighet att göra sådana analyser. Parallellt kommer kunskapen om själva klimatförändringarna att öka liksom insikten om vilken riktning utvecklingen tar när det gäller människors växthusgasutsläpp i olika delar av världen. Det kommer således att finnas ett kontinuerligt behov av nya sammanställningar och övergripande analyser inom detta område.

Referenser

- Alexandersson H. & Vedin H. 2002. Stormar det mera nu? SMHI. Väder och Vatten, 10:18.
- Appelberg G. 2007. The impact of climate change on the temperature dependent swarming and development of the spruce bark beetle, *Ips typographus*, Degree thesis in Environmental Science. (handledare: docent Anna Maria Jönsson, Lund University).
- Barklund P. 1994. Skador på gran i europeiskt perspektiv. Skogs-fakta konferens nr 18:46–54. Skogskonferensen 1993.
- Barklund P. 2002. Ekskador i Europa. Skogsstyrelsen Rapport 2002:1. Skogsstyrelsen ISSN 1100–0295.
- Barklund P., Wahlström K. & Weslien H. 1995. Kådflödessjukan, barknekros efter extrema väderleksförhållanden? Skog och Forskning 2/95 s. 30–37
- Bendz-Hellgren M. & Stenlid J. 1997. Decreased volume growth of *Picea abies* in response to *Heterobasidium annosum* infection. Canadian Journal of Forest Research 27:1519–1524.
- Bergh J., Blennow K., Nilsson U. & Sallnäs O. 2007. Effekter av ett förändrat klimat på skogen. Inst för sydsvensk skogsforskning, SLU, Alnarp. Rapport nr??
- Blennow K. & Olofsson E. 2004. Kan man undvika stormskador? I K. Blennow (red.). Osäkerhet och aktiv riskhantering – aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk. ISBN 91-576-6643-1 SUFOR www.sufor.nu. Sidorna 38–43.
- Blennow K. & Eriksson H. 2006. Riskhantering i skogsbruket. Skogsstyrelsen, Rapport 14 (2006). 51 sidor. ISSN 1100–0295.
- Bradshaw H. W., Holmqvist B. H., Cowling S. A. & Sykes M. T. 2000. The effect of climate change on the distribution and management of *Picea abies* in Southern Scandinavia. Canadian Journal of Forest Research 30: 1992–1998.
- Gessler A. et al. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. Trees 21:1–11
- Hansson P. 2007 (ej tryckt). Slutrapport till Länsförsäkringsbolagens forskningsfond. (Per Hansson, SLU, Umeå)

- Hansson P., Persson M. & Ekvall H. 2005. An estimation of economical loss due the Gremmeniella abietina outbreak in Sweden 2001–2003. I: Stanosz G.R. and Stanosz J.C. 2005. "Foliage, Shoot and Stem Diseases." Proceedings of the Meeting of Working Party 7.02.02 of the International Union of Forestry Research Organizations, Corvallis, Oregon, USA, June 13–19 2004. p. 67–69.
- Henriksen H.A. 1988. Skoven og dens dyrkning. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck. 664 s.
- Jönsson A.M., Harding S., Barring L & Ravn H.P. 200x: Impact of climate change on the population dynamics of Ips typographus in southern Sweden. Submitted to Agricultural and Forest Meteorology.
- Jönsson A. M., Linderson, Ingrid Stjernquist, Schlyter P. & Barring L. 2004. Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in Picea abies. Global and Planetary Change 44:195–207
- Jørgensen B. B. & Skovsgaard J. P. 2004. Skovrejsning på heden: Forsøg med 23 nåletræarter. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 2/04 (89): 25–38.
- Larsen B. 2006 (ej tryckt). Skovbruget och klimaændringer. Text av J. Bo Larsen, Skov & Landskab, KVL, Danmark.
- Lennartsson T. & Simonsson L. 2007. Biologisk mångfald och klimatförändringar. - Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra? Centrum för Biologisk Mångfald, Uppsala.
- Karns P. D. 1997. Population Distribution , Density and Trends. In: Ecology and Management of the North American Moose. Smithsonian Institution Press. pp. 125–140.
- Koca D., Smith B. & Sykes M. T. 2006. Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden. Climatic Change (2006) 78: 381–406.
- Morse A.P., Gardiner B.A. & Marshall B.J., 2002. Mechanisms controlling turbulence development across a forest edge. Boundary-Layer Meteorology, 103:227–251.
- Mysterud A. 2000. Diet overlap among ruminants in Fennoscandia. Oecologia 124:130–137.
- Nilsson U. & Sallnäs O. 2006. Val av trädslag – Hur hanterar vi risken för stormskador? Skogforsk Redogörelse Nr 4 : 30–36.

- Nordlander G., Örlander G., Peterson M. & Hellqvist C. (web 2007) Skogsskötselåtgärder mot snytbagge. Version 1.1. Webbhandbok, tillgänglig på www.slu.se/snytbagge.
- Ollas R. 1994. Plantinventering 89. Meddelande 1. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., & Granander M., 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135:143–153.
- Persson P. 1972. Vind- och snöskador samband med beståndsbehandlingen – inventering av yngre gallringsförsök. Inst f skogsprod. Rapp o uppsatser 23. Skogshögskolan, Sthlm. 205 s.
- Persson P. 1975. Stormskador på skog – uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Inst f skogsprod. Rapp o uppsatser 36. Skogshögskolan, Sthlm. 294 s.
- Ravensbeck L. 1991. Aktuelle nåletab i proveniensforsøg med rødgran. *Skoven* 1991/8: 279–282.
- Samuelsson H. & Örlander G. 2001. Skador på skog. Skogsstyrelsen Rapport 8 O (SUS 2001). ISSN 1100–0295.
- Schelhaas M.-J., Nabuurs G.J., Schuck A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Glob. Change Biol.* 9, 1620–1633.
- Schmölcke U. & Zachos F.-E. 2005. Holocene distribution and extinction of the moose (*Alces alces*, Cervidae) in Central Europe. *Mammalian Biology* 70(6):329–344.
- Skogsstyrelsen 2004. Skogliga sektorsmål. Broschyr. Beställn.nr 0530.
- Skogsstyrelsen, 2006. Stormen 2005 – en skoglig analys. Meddelande No. 1. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Skogsstyrelsen 2007. Handbok i skogsvård – Beståndsvård.
- Skovsgaard J. P. & Jørgensen B. B. 2004. Bøg, eg, ær, løn og rødeg på midtjysk hedeflade. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 2/04 (89): 39–56.
- Sonesson J. (red.), Bergh J., Björkman C., Blennow K., Eriksson H., Linder S., Rosén K., Rummukainen M., & Stenlid, J. 2004. Climate change and forestry in Sweden – a literature review. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift*, Årg. 143, Nr 18.

- Sonesson J. 2006. Klimatet och skogen – underlag för nationell forskning. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift, Årg. 145, Nr 9.
- Sonesson J., Bergkvist I., Andersson G. & Thor M. 2007. Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket. Rapport fr Skogforsk, Uppsala.
- Spiecker H., Hansen J., Klimo E., Skovsgaard J. P., Sterba H & von Teuffel K. 2004. Norway spruce conversion – Options and consequences. EFI Research Report 18. ISSN 1238-8785.
- Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M. & Skovsgaard J. P. 1996. Growth trends in European Forests. EFI Research Report 5. ISBN 3-540-61460-5.
- Suffling R. 1992. Climate change and boreal forest fires in Fennoscandia and central Canada. Catena Suppl. 22: 111–132. ISSN 0722-0723.
- Thomsen I. M. & Skovsgaard J. P. 2006. Tøptørre i ask: klimaskade eller svampeangreb? Skoven 2006/9: 408–411.
- Thomsen I. M., Skovsgaard J. P., Barklund P. & Vasaitis R. 2007. Svampesygdom er årsag til tøptørre i ask. Skoven 2007/5: 234–236.
- Thor M., Ståhl G. & Stenlid J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, stand and site variables. Scandinavian Journal of Forest Research 20:165–176.
- Örlander G. & Nilsson U. 2000. Metoder för plantering av gran i södra Sverige. Skog och forskning 2: 50–54.

Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket

Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet
Alnarp

Arbetsrapport 34

Johan Bergh, Kristina Blennow, Mikael Andersson, Erika Olofsson,
Urban Nilsson, Ola Sallnäs och Matts Karlsson

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen

Innehåll

Inledning	5
Potentiella produktionseffekter vid ett förändrat klimat	7
Tillväxtutvecklingen i skogen med transienta B2- och A2-scenarier	11
Produktionpotential för biobränsle i ett framtida klimat.....	18
Framtidsanalys för produktionen	21
Effekter av förändrat klimat på produktionsekonomin vid granproduktion	22
Risken för vindfällning under ett förändrat klimat.....	27
Det framtida klimatet	29
Den framtida skogen	30
Modellstudier	30
Resultat	35
Klimattrender	43
Diskussion	45
Tjälförhållanden	45
Vindklimatet.....	46
Trädslag	47
Skötsel.....	47
Slutsatser	48
Klimatförändringar kommer att påverka skogsbrukets ekonomi	48
Forskningsbehov	56
Tack	59
Referenser	60

Appendix 1	Regionala klimatscenarier	64
Appendix 2	Beskrivning av den process-baserade produktionsmodellen BIOMASS	65
Appendix 3	Simulering av framtida skogstillstånd	68
Appendix 4	Beräkning av sannolikheten för vindfällning	69

Inledning

Att klimatet kan komma att förändras påverkar svenskt skogsbruk. Skogen har i sig en direkt inverkan på klimatet samtidigt som skogsbruket kan behöva anpassas till de nya förhållandena. Ett osäkert klimat sätter brukandet av skogen i ett nytt läge som vi inte har någon tidigare erfarenhet av. Scenarier för framtida klimatutveckling är behäftade med stor osäkerhet och de förväntade effekterna på skogen blir således ännu mer osäkra. Trots detta kan man ändå förutsäga några sannolika huvuddrag i effekterna på den svenska skogen vid ett framtida ändrat klimat. En ökad potential för biomassaproduktion kan förväntas, liksom ökade möjligheter att använda nya arter i skogsbruket. Samtidigt ökar sannolikt risken för vissa typer av skador.

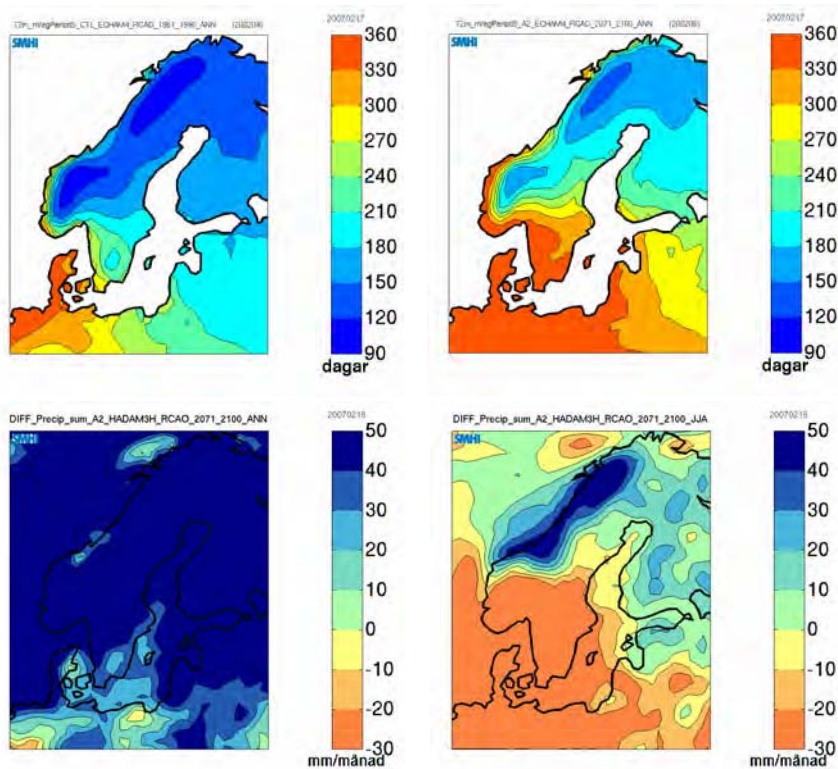
Att väga eventuella fördelar i form av ökad produktion och ökade möjligheter i trädslagsval mot ökade risker för skador är viktigt för att ge samhället ett helhetsperspektiv och för att en större grupp ska ha möjlighet att ta till sig frågan. Det är också viktigt att i största möjliga mån kvantifiera eller ge ramarna i ekonomiska termer för hur det förändrade klimatet kan tänkas påverka skogsbruket. Vidare kan det vara styrande för prioritering av fortsatta forskningsarbeten och riskbedömning och för att prioritera åtgärder. Därför har vi försökt utifrån befintlig kunskap idag, konstruera en Tabell över den ekonomiska betydelsen och forskningsbarheten för olika risk/ämnesområden (se Tabell 17 sidan 39). De kanske största effekterna av ett förändrat klimat på ekonomin inom skogsbruket skulle vara om vi lyckas utnyttja den ökade produktionspotentialen. Det förutsätter att vi kan bemästra de negativa effekterna i första hand av en ökad risk för vindfällning, skadeangrepp från insekter och svampar. Mot bakgrund av skogsbrukets stora betydelse som naturresurs och industriell bas, så finner vi att det är viktigt att vi står rustade inför en framtid med såväl ökade hot som nya möjligheter.

I denna skrift försöker vi beskriva och analysera tänkbara effekter av ett förändrat klimat på skogen och bedömt deras implikationer för produktionsskogsbruket. Andra aspekter än produktionsaspekter på skogsbruket har inte behandlats. Analysen sker i fyra steg. Vi inleder med att, så långt nuvarande kunskapsläge tillåter, kvantifiera effekterna på den skogliga primärproduktionen – tillväxten i skogen. I ett andra steg omsätts dessa effekter till effekter på produktionsekonomin i ett bestånd. Därefter analyseras

tänkbara effekter på risken för stormfällning i skogen. I ett sista steg breddas diskussionen till en något mera spekulativ bild av tänkbara effekter på skogsbrukets ekonomi,

Potentiella produktionseffekter vid ett förändrat klimat

Ett förändrat klimat innebär att produktionsförutsättningarna ändras för våra trädslag. I vårt kärva vinterklimat skulle en ökad temperatur och koldioxidhalt sannolikt öka produktionen för de flesta trädslag i Sverige. Detta förutsatt att nederbörden inte minskar drastiskt. En ökad temperatur vår och höst leder till en förlängd växtsäsong (övre Figur 1) och att mer av solljuset kan utnyttjas till fotosyntes- och biomassaproduktion (Bergh et al., 2003). Detta leder högst sannolikt till en ökad biomassa- och stamvedsproduktion för samtliga av våra trädslag i Sverige.



Figur 1 Vegetationsperiodens längd i dagar i dagens klimat (vänstra övre Figuren) och enligt A2-scenariet (högra övre Figuren). Nederbördsförändring i mm/månad för hela året i A2-scenariet (vänstra nedre Figuren) jämfört med dagens klimat och nederbördsförändring under juni-augusti i A2-scenariet (högra nedre Figuren). Figureerna är från SMHI's regionala scenarier (Räisänen et al., 2002, se även appendix 17).

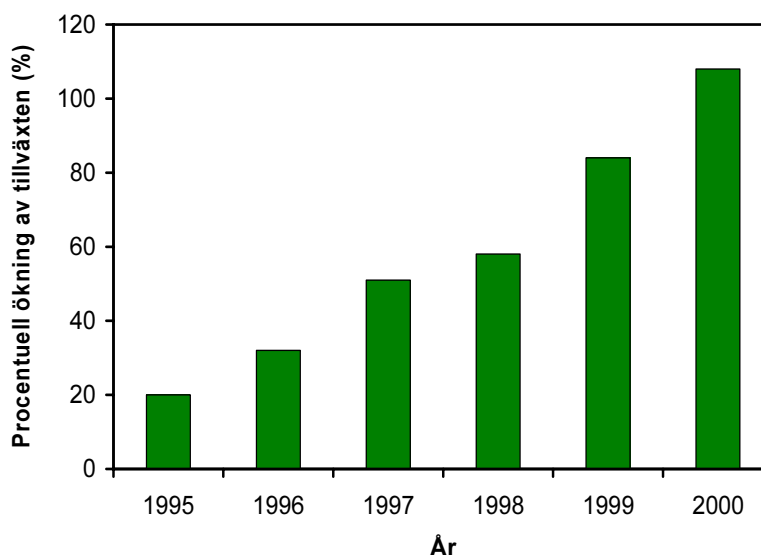
En utbredd missuppfattning är att "genetiken" reglerar fotosyntesens start på våren och dess upphörande på hösten. Detta är istället i mycket hög utsträckning reglerat av temperaturklimatet. På våren startar oftast fotosyntesen hos barrträd då dygnsmedeltemperaturen varaktigt stiger över 0 °C. Återhämtningen av fotosyntesen sker allt snabbare ju högre temperaturen är och då tjälen har gått ur marken. I norra Sverige startar fotosyntesen 1–2 månader innan skottskjutningen sker och i södra Sverige sannolikt ännu längre innan. På hösten pågår fotosyntesen långt efter den ovanjordiska tillväxten har upphört och trädet har invintrat. Full fotosyntes kan ske med fullt invintrade plantor och kan alltså ske året runt ifall klimatbetingelserna är gynnsamma. Även om man använder sig av genetiskt anpassat material så kommer det sannolikt att ha en begränsad inverkan på fotosyntesproduktionen hos gran och tall, eftersom den även i framtiden kommer regleras av temperaturen.

Däremot har genetiken en betydligt större inverkan på knopp-sprickning och skottskjutning på våren hos barr- och lövträd, eftersom den påverkas av både dagslängden och av lufttemperaturen. Hos barrträden är skottskjutningstidpunkt ofta korrelerad till en temperatursumma, medan lövsprickningen hos vissa av våra lövträd är en kombination av temperatursumma och dagslängd. Tall och gran behåller sin barr på vintern medan lövträden bygger upp sin bladmassa varje år. Detta innebär att tidigare skottskjutning och lövsprickning på våren har en större betydelse för produktionen hos lövträden jämfört med barrträden, eftersom hela lövbiomassan omsätts varje år.

Idag är vattentillgången god i mellersta och norra Sverige och vatten begränsar normalt inte tillväxten på marker med sandigmoig morän och finare marktextur. Däremot kan vatten vara begränsande på sandmarker. En kraftigt ökad nederbörd i norra Sverige skulle eventuellt kunna leda till försumpning av vissa ståndorter och produktionsminskning. Enligt scenarierna verkar dock inte risken för försumpning så stor. Minskad nederbörd och ökad temperatur skulle kunna minska produktion på framför allt marker med grövre marktextur. Minskad nederbörd i södra Sverige skulle med stor sannolikhet leda till produktionsminskningar och i extrema fall försämrad vitalitet och död. Trädslag med stort vattenbehov som de flesta lövträd och gran skulle sannolikt missgynnas i större utsträckning än tall och ek. Ökad nederbörd i södra Sverige skulle på de flesta ståndorter leda till ökad produktion.

SMHI's scenarier (se Appendix) predikterar en svagt ökad nederbörd sett över hela året (nedre Figur 1 till vänster) men en minskad nederbörd under sommaren i stora delar av landet men framför allt i södra Sverige (nedre Figur 1 till höger). En ökad temperatur innebär dessutom en ökad avdunstning, vilket innebär att vattentillgången minskar markant under sommaren i södra Sverige.

En höjd lufttemperatur leder också till en höjning av markens temperatur, vilket påskyndar nedbrytningen av organiska material. En högre nedbrytningshastighet gör att mer växtnäring frigörs i marken i större utsträckning. Eftersom växtnäring begränsar i stor utsträckning tillväxten i våra svenska skogar, skulle en ökad växtnäringstillgång öka produktionen. Effekten är sannolikt betydligt större i norra jämfört med södra Sverige, dels på grund av att näringsutbudet idag är generellt betydligt lägre i norra Sverige jämfört med södra och dels den stora gradienten beträffande kvävenedfallet över Sverige. I ett markuppvärmningsförsök i Västerbotten, där man har värmt upp marken med 5 °C över den naturgivna marktemperaturen på försökslokalen, har man ökat stamvolymtillväxten med nästan 100% (Figur 2). Detta visar hur viktigt det är att ta hänsyn till näringsdynamiken i marken när man försöker förutsäga hur produktionen kommer att påverkas i ett förändrat klimat. Huruvida effekten är bestående över längre tidsperioder är svårt att förutsäga och man bör därför fortsätta att studera effekterna av markuppvärmningen. Markuppvärmningsförsöket i Flakaliden kommer att revideras under våren 2007. Hur andra trädslag reagerar på förändrad näringsstatus i marken till följd av ökad marktemperatur vet vi inte i dagsläget och effekterna från markuppvärmningsförsöket är sannolikt inte generaliserbara. Vi vet i viss mån från gödslingsförsök att många lövträdarter inte reagerar lika kraftigt ur produktionshänseende på gödsling som exempelvis gran.



Figur 2 Ökning av stamvolymtillväxten hos gran i Västerbotten som en effekt av ökad marktemperatur med 5 °C (Strömgren & Linder, 2002).

I kortvariga laboratorie- och fältförsök leder en ökning av koldioxidhalten till kraftigt ökad fotosynteshastighet (100% ökning). Efter en tid verkar dock träden anpassa sig till den nya koldioxidhalten och fotosynteshastigheten går ner till nästan samma nivå (ökning 10–15%) som vid normal koldioxidhalt (360 ppm). En ökad koldioxidhalt har i många fall effekt på barren/bladens klyvöppningar och trädens vattenhushållning. Effekten av koldioxid på produktionen förväntas därför bli större i områden där vattentillgången är begränsande. En produktionsökning, orsakad förhöjd temperatur, förlängd växtsäsong, tidigare knoppsprickning och ökad koldioxid mm, måste dock matchas av en ökad tillgång på växtnäring i marken.

Extrema vädersituationer (torka, temperatur, vind, mm) har nästan alltid en negativ inverkan på produktionen och kan sätta ner trädets vitalitet och göra det mer mottagligt för exempelvis svampsjukdomar och insektsangrepp. Invintring och dess upphörande på våren är processer som delvis styrs av temperaturen. Dessa processer kan störas och försämra trädens motståndskraft och vitalitet. Insektsangrepp, svampangrepp, stormfällningar och

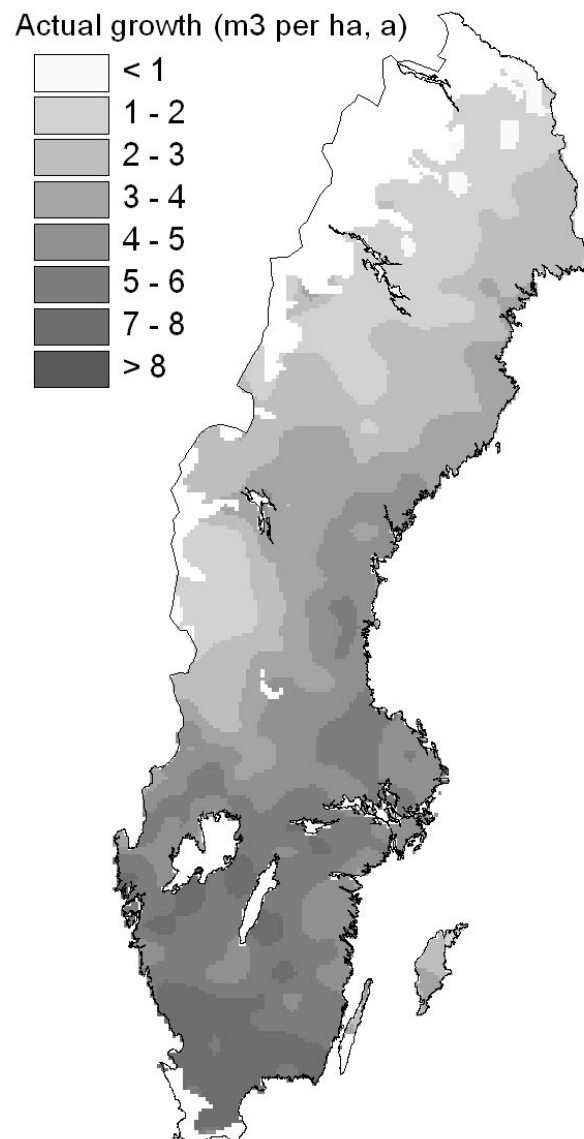
extrema vädersituationer kan på både kort och lång sikt få en betydande inverkan på produktionen.

Tillväxtutvecklingen i skogen med transienta B2- och A2-scenarier

Transienta körningar för perioden 1961–2100 simulerades med den process-baserade modellen BIOMASS för fem olika trädslag, gran, tall, björk, sitkagran och bok. Parameteriseringen av modellen har skett med hjälp av ECOCRAFT's databas samt ett tidigare samnordiskt modelleringsprojekt (se Bergh et al., 2003). Eftersom barr/bladarea (LAI) styr fotosyntesproduktionen i hög utsträckning är det viktigt att få en så bra uppskattning som möjligt på LAI. Dessutom skiljer LAI sig mycket mellan södra och norra Sverige, vilket kan ge upphov till stora under- och överskattning av både den absoluta och relativa produktionsförändringen. Därför användes den aktuella stamved produktionen för Sverige och Marklunds biomassafraktioner för att uppskatta LAI och olika biomassafraktioner (barr/blad, grenar, stam, rötter) för Sveriges olika landsändar. De uppskattade värdena har sedan använts som ett medelvärde på LAI för en hel omloppstid och vi har därför använt oss av en konstant parameterisering för hela simuleringsperioden. Modellsimuleringarna är utförda med de senaste transienta B2- och A2-scenarierna med dygnsupplösning för att fånga årsdynamiken hos fotosyntesen på ett realistiskt sätt. Utdata från modellsimuleringarna summerades i fyra olika tidsperioder 1961–1991 (referens), 2011–2040, 2041–2070 och 2071–2100.

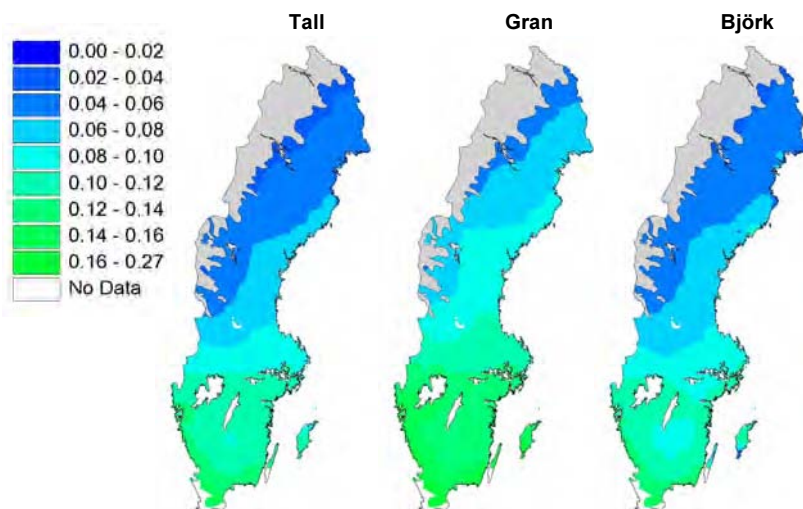
Referensperioden 1961–1990 speglar hur produktionsförhållandena/nivån (Figur 4) ser ut idag och ger en indikation ifall modellen ger realistiska resultat. Utdata från modellen är bland annat NPP (Netto Primär Produktion) som är ett mått på skogens biomassaproduktion. I nedanstående Figur 3 är det dock endast stamvedsproduktionen som avses för jämförelse med den aktuella stamvedsproduktion (Figur 4) i Sverige. Kartorna stämmer väl överens med den aktuella produktionen i Sverige, samt med tidigare uppskattning (Bergh et al., 2006) och MODIS-projektioner på produktionen. Den absoluta tillväxten av stamved är störst i södra Sverige (0.10–0.25) och avtar gradvis mot norr (0.02–0.08) och fjällkedjan. Gran (Figur 4) och sitkagran (ej i Figur) har den största absoluta tillväxten i dagsläget av de trädslag som har använts i

simuleringsövningen, vilket stämmer väl överens med bland annat rikskogstaxeringens material. Tall, björk och bok ligger samtliga på en likartad produktionsnivå men ca 20–40% lägre än granens.



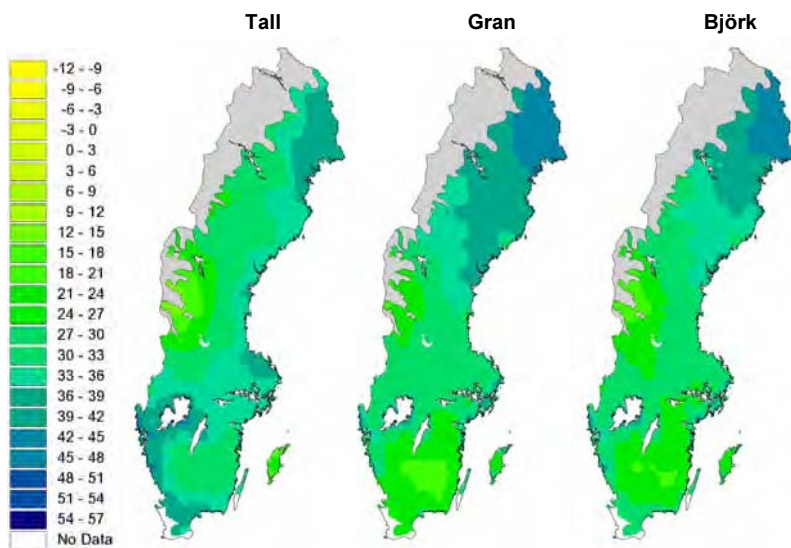
Figur 3 Den aktuella produktionen av stamved i Sverige. Värdena avser medelproduktion (m³sk ha⁻¹ a⁻¹) för en hel omloppstid (MAI).

Årlig tillväxt för perioden 1961-1990 i absoluta termer ($\text{kg C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$)



Figur 4 Tillväxten av stamved i termer av $\text{kg C (kol) m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ för tall, gran och björk, baserat på simuleringar med dagens klimat.

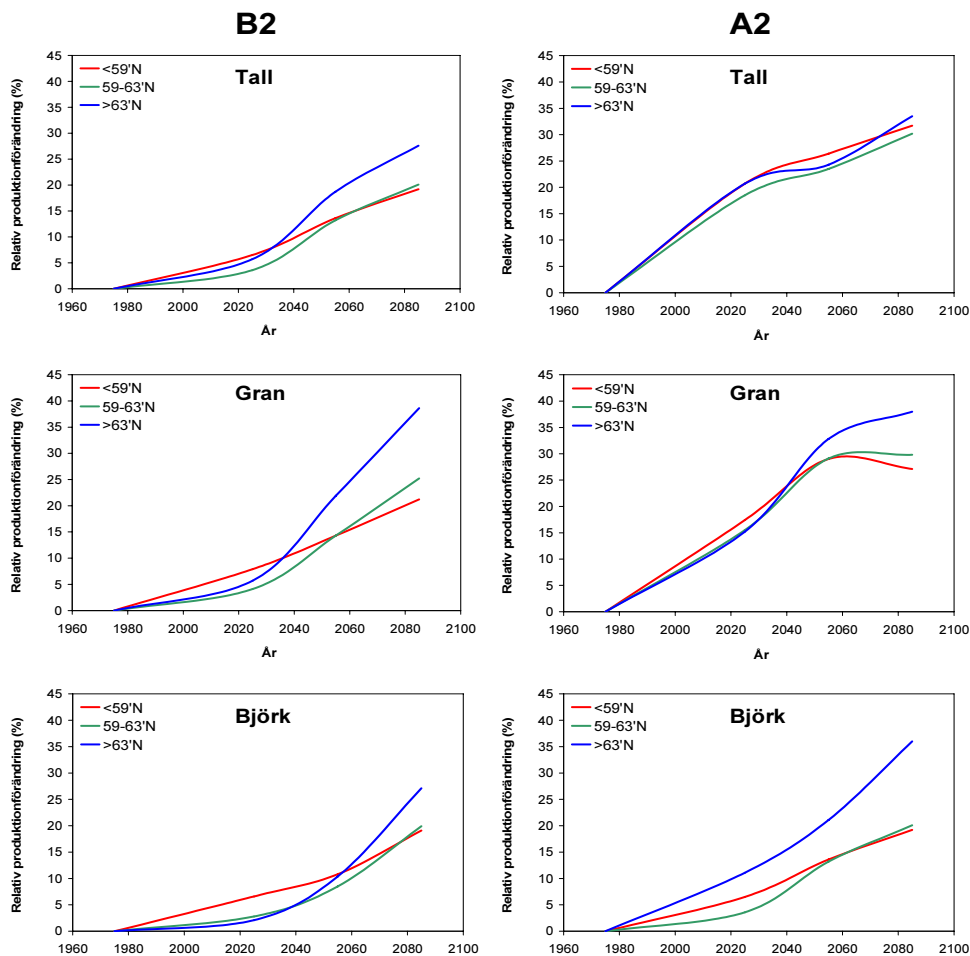
Produktionsförändring 2071-2100 med A2-scenariet (%)



Figur 5 Relativa produktionsförändringarna i A2-scenariet hos tall, gran och björk för perioden 2071-2100 jämfört med referensperioden 1961-1990 (dagens klimat).

I modellsimuleringarna, baserade på klimatdata från A2-scenariet, är den relativa produktionsförändringen större för gran och björk jämfört med för gran i norra Sverige (Figur 5) för perioden 2071–2100 i jämförelse med referensperioden 1961–1990,. Där- emot är den relativa ökningen störst för tall i södra Sverige, vilket sannolikt är en effekt av att tallen har ett lägre vattenbehov och nederbördsminskningen under sommaren påverkar tallen mindre jämfört med gran och björk. Regionala klimatscenarier baserade på Hadley har en större nederbördsminskning och skulle påverka produktionen mer negativt än för de regionala klimatscenarier vi har använt oss av i denna analys. Skilnaderna mellan tall, gran och björk kan också vara en effekt av att respirationen ökar mer för gran och björk pga av en större barr/bladarea jämfört med tallen. Produktionsförändringen för sitkagran har samma mönster som för gran men är ca 5% lägre, medan boken är närmast identisk med tallen i södra Sverige.

För att få en uppfattning hur produktionsutvecklingen ser ut över tiden för olika breddgrader, delade vi upp datamaterialet i en södra ($<59^{\circ}\text{N}$), mellersta ($59\text{--}63^{\circ}\text{N}$) och norra ($>63^{\circ}\text{N}$) Sverige. Simuleringarna för tall visar på en svag produktionsökning i början av B2-scenariet och ökar snabbare i mitten av århundradet för mellersta och framför allt norra Sverige (Figur 6).

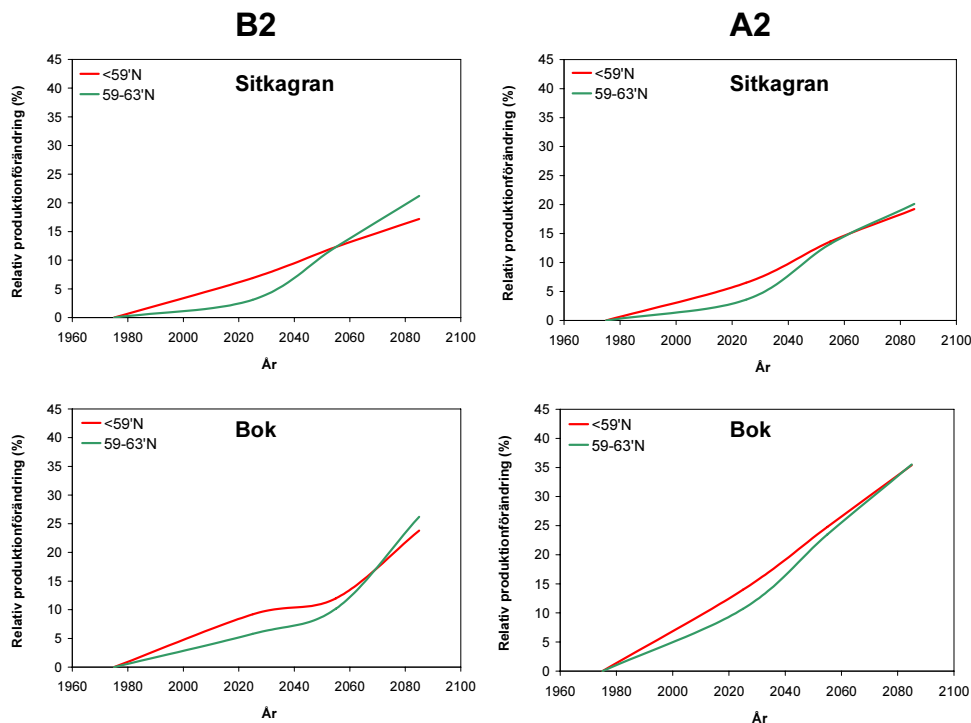


Figur 6 Den transienta relativa produktionsökningen för tall, gran och björk för B2- (vänster) och A2-scenariet (höger) i jämförelse med simuleringar med referensklimatet 1961-1990.

A2-scenariet har en betydligt snabbare uppgång i början som sedan mattas av i slutet av simuleringsperioden. Den snabbare uppgången av tillväxten är högst sannolikt en effekt av högre koldioxidhalt i A2-scenariet medan själva temperaturökningen i B2- och A2-scenariet är inledningsvis ganska likartad. Däremot blir skillnaden större mellan scenarierna i slutet av 2000-talet och ger troligtvis upphov till att granens tillväxt stagnerar i slutet av århundradet i södra Sverige (Figur 6). Detta är antagligen en effekt av att

respiration ökar mest för gran. Granen har en liknande trend som tall i B2-scenariet men ökningen i norra Sverige är betydligt större för gran i slutet av århundradet. Granens produktionsökning är i stort sett linjär i A2-scenariet men stagnerar och till och med sjunker i slutet (2060–2100) för framför allt södra Sverige. Detta beror troligtvis på både den absoluta temperaturökning och temperaturnivån gör att respirationen, som ökar exponentiellt med respirationen (underhållsrespiration), ökar mer än fotosyntesen. För björk är trenden i B2-scenariet som för gran men ökar inte lika mycket i norra Sverige (Figur 6). I A2-scenariet ser man däremot ingen stagnation i produktionsökningen för björk som man gör för gran.

Produktionsökningen för sitkagran är i B2-scenariet ca 5% lägre jämfört med gran i södra och mellersta Sverige, som i övrigt har en identisk trend som gran (Figur 7). I A2-scenariet är skillnaden ca 10% lägre jämfört med gran. Skillnaderna mellan sitkagran och gran kan bero på parameteriseringen, där fotosyntesparametrarna för sitkagran inte ger lika hög fotosyntsnivå som för gran och har en annan temperaturresponskurva (temperaturens inverkan på fotosynteshastigheten).



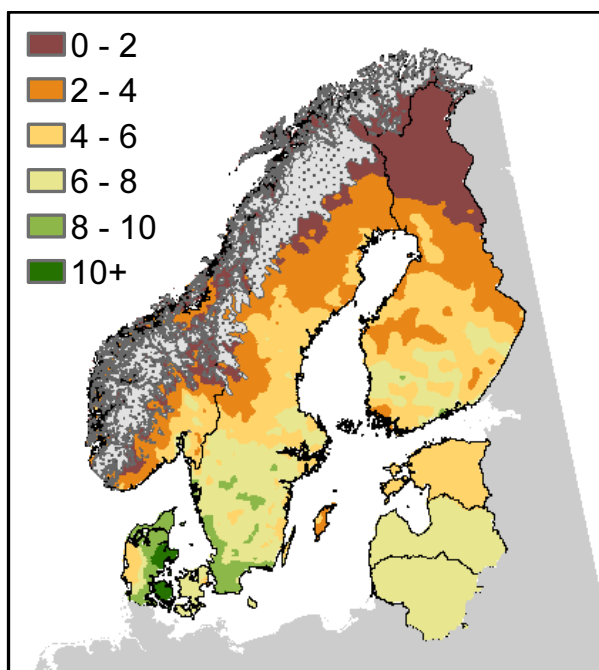
Figur 7 Den transienta relativa produktionsökningen för tall, sitkagran och bok för B2- (vänster) och A2-scenariet (höger) i jämförelse med simuleringar med referensklimatet 1961–1990

Eftersom det är osannolikt att utbredningsområdet för sitkagran och bok sträcker sig över 63:e breddgraden, även i ett framtida klimat, redovisar vi inga data ovanför den breddgraden. Boken har ungefär samma produktionsökning som björken i södra och mellersta Sverige i B2-scenariet (Figur 7), dock med en svag svacka i mitten av seklet. Någon trolig förklaring har vi inte till svackan men kan ha uppkommit av att klimatet har påverkat boken på ett sätt som skiljer sig från de andra trädslagen, vilket i sin tur kan bero på parameteriseringen av bok. I A2-scenariet ökar boken kraftigt med en linjär trend (Figur 7) och är det trädslag som ökar mest i södra och mellersta Sverige. Produktionsskillnaden mellan B2- och A2-scenariet är ca 10% högre för tall och bok i A2-scenariet sett över hela simuleringssperioden. Detta gäller även för gran och björk i norra Sverige, medan den i södra och mellersta Sverige är mindre än 5%. I simuleringarna har vi använt oss av de transienta

simuleringarna och några betydande produktionsnedsättningar vid extrema torrår har inte inträffat. Om extrema torrår inträffar efter varandra skulle det sannolikt ha en stor negativ effekt på produktionen. Vidare är parameteriseringen för frisk markvegetationstyp och minskad nederbörd under vegetationsperioden (främst i södra Sverige) skulle antagligen ha större negativ effekt på produktionen på exempelvis torra sandmarker. Dock är det vanligast att tall växer på dessa marker vilka är mindre känsliga för torka jämfört med gran och lövträdslag. På fuktiga (och blöta) marker är sannolikt den negativa effekten produktionen av minskat nederbörds klimat mindre jämfört med friska marker.

Produktionpotential för biobränsle i ett framtida klimat

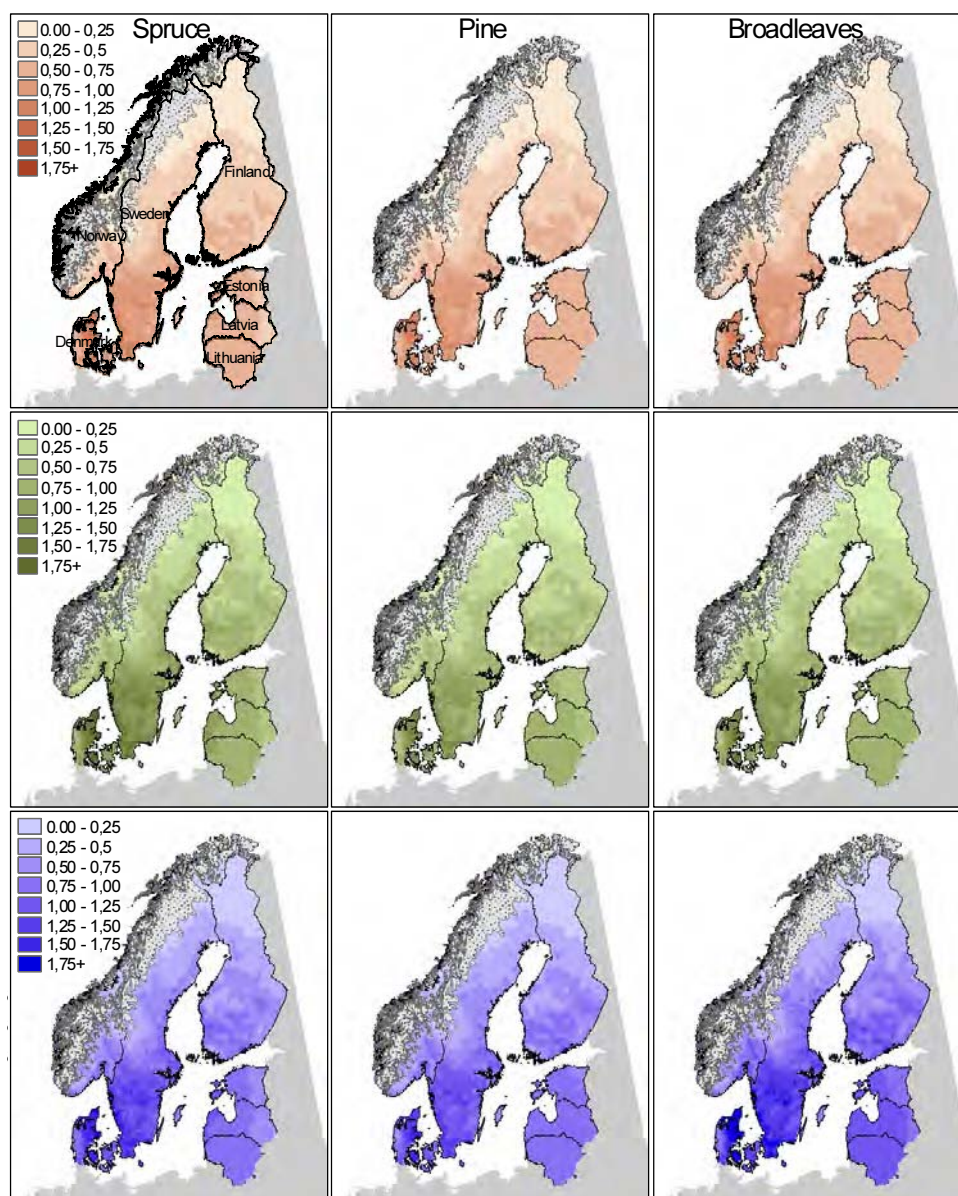
Sveriges skogsmarksareal är ca 27 miljoner hektar har en stående volym på sammanlagt 2600 miljoner m³ och med en årlig tillväxt på drygt 100 miljoner m³. Sverige har med andra ord redan idag en mycket stor potential att producera och ta ut biobränsle ur skogen. Möjligheterna kommer troligtvis att öka i framtiden, då tillväxten ökar som en effekt av klimatförändringarna. Den aktuella tillväxten är störst i södra Sverige på 7–10 m³ ha⁻¹, a⁻¹ och minskar gradvis norrut till 2–4 m³ ha⁻¹ a⁻¹ i Väster- och Norrbotten (Figur 8).



Figur 8 Aktuella tillväxten (m³ per ha och år) i Sverige, Danmark, Estland, Finland, Lettland, Litauen och Norge.

Detta går att räkna om till torrsubstans genom att använda sig av olika omräkningsfaktorer (Näslunds volymfunktioner och Marklunds biomassa-funktioner), som bland annat används för att skatta nationella förändringar av Sveriges kolinlagring. Torrsubstanshalten för stam och GROT-andelen i dagsläget för våra tre dominerande trädslag gran, tall och björk är omräknat i Figur 9 (de tre översta Figurerna). Torrsubstansproduktionen är ca 3-5 Mg ha⁻¹ a⁻¹ i södra Sverige och 1-3 Mg ha⁻¹ a⁻¹ i Sveriges mellersta delar (de tre översta i Figur 9).

I ett förändrat klimat, enligt SMHI's B2-scenarie, ökar biomassa-produktion med ca 15–30% (störst relativ ökning i norr) jämfört med dagens produktion. Använder vi oss av simuleringarna, baserade på de transienta körningarna med B2-scenariet, kan vi skatta hur torrsubstansproduktionen för stam, GROT och rötter förändras. Ökningen i absoluta tal är ca 0.5–0.9 Mg ha⁻¹ a⁻¹ i norra Sverige och 0.4–1 Mg ha⁻¹ a⁻¹ i södra Sverige.



Figur 9 Skillnad i torrsubstansproduktion (Mg ha⁻¹ a⁻¹) i B2-scenariet om 100 år jämfört med dagens klimat av stam (övre Figurer), stam + GROT (Figurer i mitten) och stam + GROT + rötter (nedre Figurer) för gran (vänster), tall (mitten) och björk (höger).

Om vi leker med tanken att all merproduktion av stam och GROT kan användas för energiändamål skulle det innebära ca 19.5 Pg per år (Tabell 1) för hela Sverige, vilket motsvarar en energimängd på ca 120 TWh per år. Om vi ser till den sammanlagda merproduktion för våra nordeuropeiska grannländer i ett förändrat klimat är det lika mycket tillsammans som för Sverige, dvs ytterligare 20 Pg per år (Tabell 1).

Tabell 1 Data för olika länder i norra Europa med avseende på land- och skogsmarksareal, stående volym för barr- och lövträd, samt merproduktion av stamved och GROT (Pg a^{-1}) i ett förändrat klimat enligt B2-scenariet.

	Landarea	Areal skog	Stående volym ¹	Stående volym ¹	Stående volym ¹	Merproduktion	Merproduktion
Land	1 000 ha	1 000 ha	Barrskogar	Lövskogar	Totalt	Stam (Pg a^{-1})	Stam + GROT (Pg a^{-1})
Danmark	4 243	455	31	23	54	0.41	0.57
Estland	4 227	2 060	194	113	307	1.12	1.58
Finland	30 459	21 935	1 529	338	1 867	7.35	9.89
Island	10 025	31	0.2	0.2	0.4	0	0
Lettland	6 205	2 923	242	167	409	1.81	2.42
Litauen	6 258	1 994	186	128	314	1.31	1.74
Norge	30 683	8 868	534	137	671	2.19	3
Sverige	41 162	27 134	2 189	378	2 567	14.18	19.45

Framtidsanalys för produktionen

Det är högst sannolikt att produktionspotentialen kommer att öka de närmaste 100 åren i stora delar av Sverige, förutsatt att klimatet i stora drag utvecklar sig i enlighet med Rossby Centre's scenarier. Om det växer 100 miljoner m^3sk per år idag så kan den årliga tillväxten öka till över 120 m^3sk per år om 100 år om vi lyckas utnyttja den ökade produktionspotentialen. Den transienta produktionsökningen är antagligen störst fram till 2070 för att sedan avta. Skulle temperaturförändring bli större än i A2-scenariet är det inte säkert att produktionen skulle öka ytterligare, då skillnaden i produktionsökning är relativt liten mellan B2- och A2-scenariet. Nederbörds klimatet har en stor inverkan på produktionen i framförallt södra Sverige. Därför är det viktigt med tillförlitligheten i SMHI's scenarier när det gäller denna klimatvariabel. Extrem torka och återkommande torra somrar kan sannolikt leda till betydande produktionsförluster. Torrår i södra Sverige har visat

sig leda till tillväxtnedsättningar hos framför allt medelålders och äldre bestånd och gran i sydöstra Sverige. Långliggande torkförsök i framför allt södra Sverige, där man leder bort en del av nederbörden vore intressant att starta upp för olika trädslag.

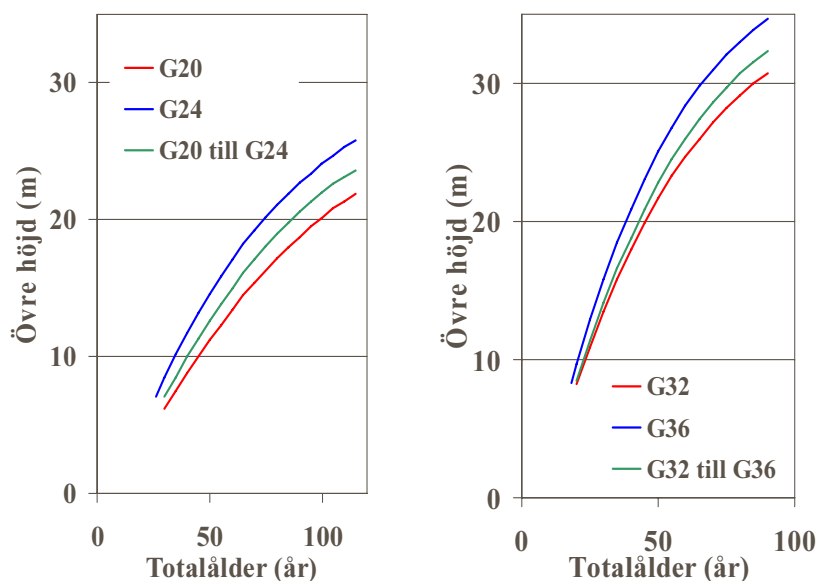
När det gäller effekten av hur marken och utbudet av växtnäring kommer att påverkas av ett förhöjt temperaturklimat är det svårt att kvantifiera. Troligtvis kommer det leda till en betydande produktionsökning i framför allt i Sveriges mellersta och norra delar. En effekt som ett förhöjt temperaturklimat kan ha är att granen blir vanligare i norra Sverige, där själva trädslagsbytet innebär en produktionshöjning. I södra Sverige kan man säkert köra gran en omloppstid till men det kan bli aktuellt att byta ut granen i framtiden ifall medeltemperaturen ökar med 2–3 grader. Tallen förekommer i flera olika klimat och kommer antagligen klara sig bäst i södra Sverige av alla våra inhemska trädslag om det blir avsevärt torrare. Skogsskötseln kommer sannolikt att förändras på lång sikt i Sverige, med kortare omloppstider och anpassningar för att minimera olika skadeverkningar (storm, insekts-, svampangrepp). Sveriges och Finlands roll som skogsländer och producenter av skogsråvara inom EU kommer sannolikt att förstärkas om SMHI's scenarier blir sannspådda, då klimatförhållandena för skogsproduktionen kommer att försämrats för stora delar av Europa.

Det är högst sannolikt att produktionspotentialen kommer att öka de närmaste 100 åren i stora delar av Sverige, förutsatt att klimatet i stora drag utvecklar sig i enlighet med Rossby Centre's scenarier. Om det växer 100 miljoner m³sk per år idag så kan den årliga tillväxten öka till över 120m³sk per år om 100 år om vi lyckas utnyttja den ökade produktionspotentialen.

Effekter av förändrat klimat på produktionsekonomin vid granproduktion

I föreliggande kalkylexempel räknar vi med två olika produktions-scenarier, 23% (gran södra Sverige) respektive 35% (gran norra Sverige) produktionshöjning efter 100 år. Markens bördighet brukar mätas med hjälp av ståndortsindex vilket är den höjd som de

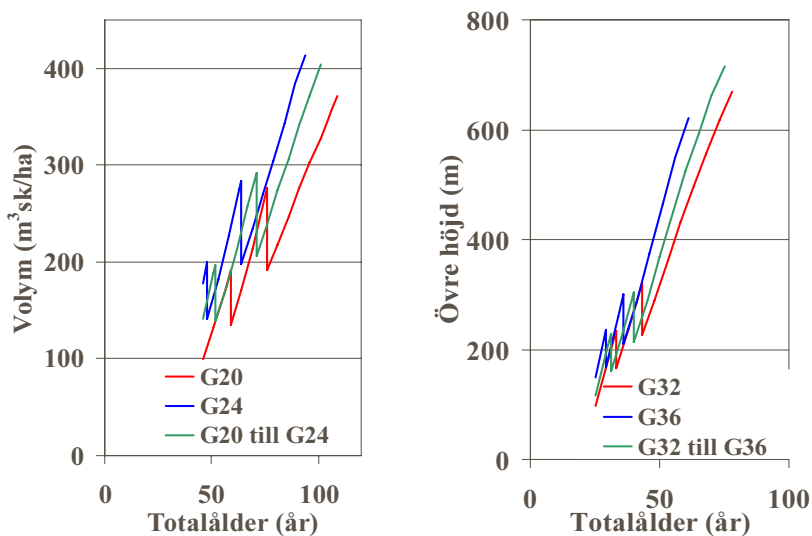
högsta träden i beståndet når på 100 år. En relativt bördig granmark, vilken är vanlig i södra Sverige, kan ha ståndortsindex G30 vilket innebär att de högsta träden blir 30 m höga vid 100 års ålder. För en mindre bördig granmark med ståndortsindex G22 blir de högsta träden 22 m efter 100 år. Ståndortsindex kan sedan räknas om till bonitet eller produktionsnivå vilket anger medelproduktion under omloppstiden i $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Genom att beräkna den höjning i ståndortsindex en viss produktionsökning p.g.a. förändrat klimat kan sedan produktionsmodeller användas för att beräkna framtida intäkter och kostnader. Vi har antagit att ökningen av SI sker linjärt under 100-årsperioden (Figur 10). Vid en transient produktionshöjning för gran med 35% i norra Sverige om 100 år innebär att en G20 blir en G24 om 100 år (vänster i Figuren). Produktionshöjning på 23% för gran i södra Sverige om 100 år innebär att en G32 blir en G36 (höger i Figuren). Även om produktionen stagnerar i slutet av århundradet för gran i A2-scenariet blir ändå ökningen 23% och har en liten betydelse för framskrivningen av tillväxten i denna analys. För varje 5-års period beräknas en tillväxt med aktuellt SI som läggs till den tillväxt som ackumulerats sedan tidigare. På så sätt fås en gradvis ökning av ståndortsindex och tillväxten.



Figur 10 Klimatkorrigerat ståndortsindex vid produktionshöjning om 100 år på grund av klimatförändring på 23% respektive 35%.

I Figur 11 redovisas effekten av ovanstående klimatkorrigerings av SI på gallringars och volymens utveckling för alternativet med en ökning av tillväxten om 100 år med 23 respektive 35%. Medelproduktionen för det klimatkorrigerade alternativet med 23% tillväxtökning om 100 år för gran i södra Sverige blir ca 9% högre än för det icke klimatkorrigerade alternativet. I norra Sverige blir medelproduktionen ca 15% högre för gran i norra Sverige om tillväxtökningen antas bli 35% om 100 år (Tabell 2). Anledningen till att den relativa tillväxtökningen för beståndet blir lägre än vad tillväxtökningen om 100 år anger är naturligtvis att ökningen av tillväxten sker gradvis under 100-årsperioden. Under de första femårsperioderna har man nästan ingen tillväxtökning alls medan bestånden växer betydligt bättre i mitten och under slutet av omloppstiden. Det hade varit lätt att anta att tillväxtökningen skulle bli hälften av den antagna tillväxtökningen men granens tillväxtkurva gör att så inte blir fallet. Dels så är granens omloppstid kortare än 100 år så de bestånd som vi planterar idag får aldrig uppleva den antagna produktionsökningen om 100 år. Dels så

varierar granens tillväxt under perioden på grund av att bestånd i olika utvecklingsfas har olika tillväxt och är som högst vid 30–40 års ålder, det vill säga när effekten av klimatet på tillväxten endast är 30–40% av vad den kommer att bli om 100 år.



Figur 11 Volymens utveckling och gallringar för G20, G24, G32 och G36 och för de klimatkorrigerade alternativen med 23% respektive 35% ökning av produktionen om 100 år.

Ekonomi påverkades positivt särskilt för det norra alternativet (Västerbotten), där nuvärdet ökade med 79% och kassöverskottet med 17% jämfört med den ursprungliga produktionsnivån. I det södra alternativet (Småland) var ökade nuvärdet och kassaöverskottet med 16 respektive 10%. Anledningen till att ekonomin påverkades relativt sett mer än produktionen var att tillväxtökningen sker sent i beståndets liv och att det då producerades grövre träd. I och med att slutavverkningsbeståndet innehåller grövre träd blir inkomsten per kubikmeter högre eftersom grövre träd betalas bättre. Dessutom är det billigare att avverka grova träd än något klenare.

Tabell 2 Medelproduktion, nuvärde och kassaöverskott för G20, G24, G32 och G36 och för de klimatkorrigerade alternativen med 23% respektive 35% ökning av produktionen om 100 år. För kassaöverskott, nuvärden och medelproduktion anges den relativa skillnaden till kontrollalternativet i kursiv stil.

Västerbotten

	G20	G24	G20 till G24
Medelproduktion m ³ /ha år)	4.7	6.1 (1.29)	5.4 (1.15)
Nuvärde (kr/ha)	6 300	15 300 (2.43)	11 200 (1.79)
Kassaöverskott (kr/ha)	1 320	1 690 (1.27)	1 550 (1.17)

Småland

	G32	G36	G32 till G36
Medelproduktion m ³ /ha år)	10.7	13.0 (1.22)	11.6 (1.09)
Nuvärde (kr/ha)	39 965	51 600 (1.29)	46 200 (1.16)
Kassaöverskott (kr/ha)	2 827	3 200 (1.13)	3 110 (1.10)

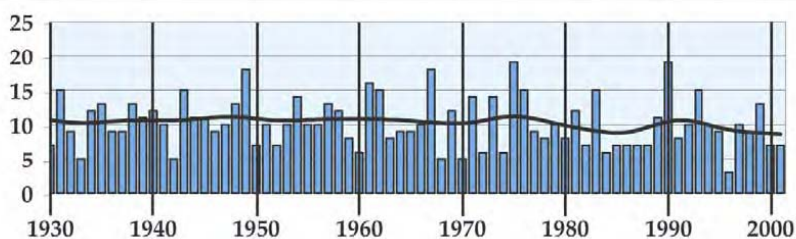
Sammanfattningsvis så visar ovanstående simuleringsstudie att produktionen i granskog som planteras idag blir klart högre än dagens produktion om klimatförändringen medför en kommande produktionsökning på 23 respektive 35%. Ekonomin påverkas ännu mer av en klimatförändring än produktionen beroende på att ökningen av tillväxten i beståndets slutfas medför grövre skog som ger högre intäkter och är billigare att avverka. Effekten på nuvärdet ökar särskilt mycket i norra Sverige, vilket på lång sikt bör medföra kraftiga prisökningar på skogsmark.

Potentiellt påverkas ekonomin ännu mer av en klimatförändring än produktionen beroende på att ökningen av tillväxten i beståndets slutfas medför grövre skog som ger högre intäkter och är billigare att avverka. Den potentiella effekten på nuvärdet ökar särskilt mycket i norra Sverige, vilket på lång sikt skulle kunna medföra kraftiga prisökningar på skogsmark.

Risken för vindfällning under ett förändrat klimat

Under senare år har omfattande vindskador rapporterats för Europeiska skogar, med exempelvis 200 milj. m³ skog skadad under 1999 (UNECE/FAO, 2000). Under 2005 skadades 100 milj. m³ skog (Anon., 2005) varav ca 75 milj. m³ i Sverige (Skogsstyrelsen, 2006). Skadorna i Sverige uppkom i södra Sverige efter en storm natten mellan 8 och 9 januari 2005 och uppgick till nästan en hel svensk årsavverkning. Så omfattande skador på skogen har aldrig tidigare orsakats modernt svenskt skogsbruk av en enda storm (Holmberg, 2005). Dessutom uppkom skador på kulturminnen, byggnader, elförsörjningen, telefonnäten och väg- och järnvägstrafiken. Tio dödsfall från uppröjningsarbetet efter stormen och drygt 140 arbetsolyckor har rapporterats (Skogsstyrelsen, 2006).

Vind är den störningsfaktor som orsakar störst skador inom europeiskt skogsbruk (Schelhaas med flera, 2003). Skadornas omfattning varierar mellan år och situationer men omfattande skador har blivit allt vanligare under 1900-talet. Klimatdata från senare tids milda och blöta år (1991–2005) i Sverige har jämförts med data från perioden 1961–1990 (Alexandersson & Edquist, 2006). Man kunde då konstatera att temperaturen ökat med närmare en grad och att nederbörden ökat i så gott som hela landet, om än inte statistiskt säkerställt för landet som helhet. En jämförelse mellan perioden 1991–2002 och perioden 1901–1990 visade att i synnerhet nederbörden hade ökat (+11 %) men också att temperaturen hade ökat, om än mindre påtagligt (+0.7 °C) (Lindström & Alexandersson, 2004). Vad gäller vindklimatet har detta varierat i förhållandevis liten omfattning (Alexandersson & Vedin, 2002; Bärning & von Storch, 2004). Av Figur 12 framgår att det mellan 1930 och 2002 inte blivit vanligare med storm i södra Sverige (Alexandersson & Vedin, 2002).



Figur 12 Antalet dygn med beräknade vindhastigheter överskridande 25 m/s för södra Sverige, 1930-2002. Beräkningarna är baserade på lufttrycksmätningar gjorda i Göteborg, Falsterbo och Visby. Kurvan visar 10-års medelvärden. Modifierad från Alexandersson & Vedin, 2002.

Att klimatet blivit mildare och blötare minskar skogens stabilitet men kan sannolikt inte ensamt förklara varför det blivit vanligare med vindskador sedan början av perioden. Under den aktuella perioden har skogsbruket och därmed skogen förändrats på flera sätt som sannolikt bidrar till att förklara den ökade frekvensen omfattande skadetillfällen (Blennow & Olofsson, 2004; Blennow & Eriksson, 2006). En bidragande orsak torde vara att den stående volymen skog ökat. Det fanns alltså under perioden en ökande volym skog som kunde blåsa ner. Trakthyggesbruket introducerades på bred front under 1950-talet och utgör nu den dominerande skogsbruksformen i Sverige. I och med detta skapas hyggeskanter som kan exponeras för hög vindhastighet och som skapar turbulens (Saville, 1983; Morse med flera, 2002; Gardiner med flera, 2005). Andelen gran i landskapet har dessutom ökat. Gran är förhållandevis känslig för vind (Persson 1975; Peltola med flera, 2000; Nielsen, 2003; Valinger med flera, 2006). Det är därför sannolikt att skogsbrukets utveckling tillsammans med att klimatet blivit mildare (mindre tjäle) och blötare har medfört att skogen blivit mera känslig för vind även om det kanske inte blivit vanligare med storm (Blennow & Olofsson, 2004). Att brukandet av skogen har gjort den mera vindkänslig innebär att vi kan påverka risken för vindfällning.

Klimatförändringarna kan förväntas påverka risken för vindfällning både direkt genom ett förändrat klimat, t.ex. genom ett ändrat vindklimat och ändrade tjälförhållanden och indirekt genom förändrade tillväxtbetingelser. Hur pass vindkänslig den framtida

skogen kommer att vara påverkas av hur vi sköter skogen och vilka trädslag vi väljer.

Det framtida klimatet

Tillgängliga regionala klimatförändringsscenarier för norra Europa baseras på globala scenarier som ligger centralt inom spännvidden mellan olika klimatmodeller avseende global uppvärmning på tidsskalen 100 år (Rummukainen et al., 2004). Klimatet kan alltså tänkas förändras både mer och mindre än vad tillgängliga regionala scenarierna indikerar. Enligt dessa är det framtida vindklimatet för Sverige osäkert (Räsänen et al., 2004), men det kan inte uteslutas att klimatet blir blåsigare. Ett blåsigare klimat skulle öka sannolikheten för vindfällning om inte skogens känslighet för vindverkan minskas. Dessutom leder ett mildare och blötare vinterklimat till minskad stabilitet genom försämrade förankring av träden i marken, exempelvis genom minskad eller utebliven tjäle. Enligt Lindström med flera (2002) registrerades tjäle på ett djup av 5 cm eller mer under 10 av 16 år i skogsmark på Svartberget (64°14'N/19°46'Ö), Västerbotten, under perioden 1981–1996 medan frekvensen av år med tjäle, tjälperiodens längd och mäktigheten av tjäle var större för mark utan skog. Enligt en modell baserad på mätdata från Svartberget och använd för att simulera utvecklingen av tjälförekomst under ett förändrat klimat förväntas frekvensen av år med tjäle, tjälperiodens längd och mäktighet minska under den närmsta hundraårsperioden (G. Lindström, muntlig information 2007). Andra simuleringsstudier indikerar att tjälperiodens längd minskar för hela Finland under innevarande århundrade men att minskningen av snötäcket i södra Finland ökar sannolikheten för tjäle mitt i vintern jämfört med idag (Venäläinen med flera, 2001). I centrala och norra Finland indikeras det framtida snötäcket bli tillräckligt stort för att tjälens maximala årliga mäktighet ska minska. Beroende på hur stor temperaturökningen blir skulle alltså tjälens mäktighet kunna öka under ett förändrat klimat om snötäckets tjocklek avtar. Dessutom spelar skogens grad av slutenhet roll för förekomsten av tjäle där stigande slutenhet medför minskad mängd snö på marken och därmed mera tjäle (Mellander med flera, 2006).

Den framtida skogen

Man kan påverka skogens känslighet för vindverkan genom hur man sköter skogen och genom vilka trädslag man väljer. Den ovan beskrivna förväntade ökningen av potentialen för biomassaproduktion skulle kunna medföra att träden blev vindkänsliga vid en lägre ålder. Detta skulle kunna medföra ökad risk för vindfällning genom en förlängd period under vilken träden befinner sig i vindkänslig fas så länge omloppstiden inte förkortas. Ökningen i potentiell biomassaproduktion förväntades bli störst i Norrland och skulle kunna leda till större användning av gran i Norrland. I så fall förväntas detta leda till ökad sannolikhet för vindfällning om inte skötseln anpassas. Förutom genom omloppstidens längd och genom trädslagsval kan sannolikheten för vindfällning påverkas genom rumslig planering, och genom skötselåtgärder, t.ex. gallringsingrepp, vilka kan påverka trädens höjd och form, antal stammar per ytenhet, och rotningsförhållanden. Exempelvis har förkortning av omloppstiden tillämpats i stor skala i Storbritannien för att därigenom minska risken för vindskador.

Modellstudier

För att skatta inverkan på sannolikheten för vindfällning av ett förändrat klimat för två geografiskt skilda fallstudieområden har ett antal modellstudier genomförts. Utifrån resultaten har diskussionsmässigt ett försök till extrapolering till andra delar av Sverige gjorts.

Material och metoder

Vi har använt oss av en serie datormodeller och regionala klimat-scenariodata framtagna av Rossby Centre vid SMHI, för att beräkna sannolikheten för vindfällning under perioden 2011–2040 och 2071–2100 för två fallstudieområden, ett i norra (Brattåker) och ett i södra Sverige (Asa). Dessutom har vi utifrån resultaten från dessa studier sökt dra paralleller till andra delar av Sverige.

Fallstudieområden

Beräkningar har gjorts för två fallstudieområden; Asa försökspark i Småland samt Brattåker i Västerbotten (Figur 13, Tabell 3). Dessutom bedömdes framtida riskbild för andra delar av landet.



Figur 13 Lokalisering av två fallstudieområden i Sverige.

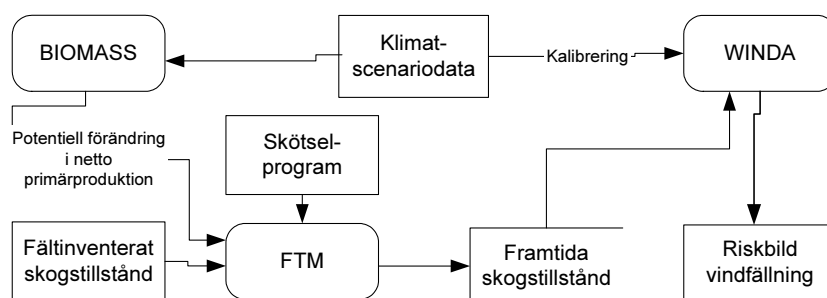
Tabell 3 Geografiska data för två fallstudieområden.

Fallstudieområde	Latitud/longitud	Antal bestånd	Storlek (ha)
Asa försökspark	57°06N/14°30'Ö	305	670
Brattåker	64°12'N/19°30'Ö	301	2 248

Modeller

Både skogliga produktionsprognoser och underlag för beslut om skötselåtgärder baseras idag vanligen på empiriska tillväxtmodeller. Eftersom vi saknar erfarenhet av klimatförändringarna behöver modellerna modifieras eller bytas ut för att inte tappa precision

under ett förändrat klimat. Datormodellen The Forest Time Machine (FTM) (Andersson med flera, 2005) (se Appendix 3) utvecklades för att stödja utvärdering av olika skogsskötselstrategier på landskapsnivå. FTM simulerar yttäckande skogens utveckling i femårssteg med skogsbeståndet som minsta geografiska enhet. I beräkningarna tas hänsyn till potentiell förändring av biomassaproduktionen som beräknats med modellen BIOMASS, vilken beskrivs i appendix 2. FTM har modifierats så att ståndortsindex (SI) gradvis förändras i enlighet med resultaten från BIOMASS-körningarna allteftersom klimatet förändras. På så vis omsattes den potentiella förändringen i biomassaproduktion på grund av klimatförändringarna till potentiell förändring i tillväxt. Beräkningarna som gjorts i denna studie innefattade simulering av framtida skogstillstånd under olika klimatscenarier med hjälp av modellen. De simulerade framtida skogstillstånden utvärderades med avseende på sannolikheten för vindfällning med hjälp av modellen WINDA (Blennow & Sallnäs, 2004) (se Appendix 4) (Figur 14). WINDA har anpassats för att kunna användas tillsammans med klimatscenariodata (Blennow & Olofsson, revision inskickad).



Figur 14 Flödesschema för de simuleringar och beräkningar av sannolikhet för vindfällning (riskbild) som gjorts för fallstudieområdena Asa och Brattåker.

De regionala klimatscenarierna har tagits fram vid Rossby Centre, SMHI, med hjälp av deras regionala klimatmodell RCA3 som drivits med data från den globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 och med återanalyserade och distribuerade observationsdata, ERA40 (Kjellstöm med flera, 2005).

Klimatscenarier för två olika utsläppsscenarier, B2 och A2 (Nacicenovic och Swart, 2000) har använts. Klimatscenariodata framtagna av Rossby Centre vid SMHI med modellsystemet RCA3-ECHAM4/OPYC3 för pixeln över de centrala delarna av respektive fallstudieområde användes i beräkningarna (se Appendix 4). För vardera trädslagen gran, tall och björk togs faktorer för förändring i potentiell biomassaproduktion fram för två olika utsläppsscenarier, B2 och A2.

Simuleringar

Skogstillstånd baserade på fältinventeringsdata användes som initialt skogstillstånd för respektive fallstudieområde för simuleringar under 140 år med år 1961 som startår för simuleringarna såväl som för olika klimatscenarier. Genom att specificera skötselprogram beståndsvis och med hjälp av uppdaterade SI i FTM kunde framtida möjliga skogstillstånd genereras för respektive fallstudieområde.

För varje skötselprogram specificerades föryngringsmetod, röjningsingrepp, gallringar, och föryngringsavverkning för att efterlikna svensk jägmästartradition. Gallringstidpunkter specificerades utifrån gallringsmallar (Anonym, 1985) och vid varje gallringstillfälle gallrades 25–35% av beståndets grundyta bort. Beståndet slutavverkades när årsmedeltillväxten i den föregående femårsperioden understeg 2.0 % av den stående volymen. Gallringsuttaget i första gallring var något lägre för Brattåker. Skötselprogrammen specificerades för att uppnå trädslagsrena bestånd av tall, gran och björk inför föryngringsavverkning. Målträdsdrag valdes utifrån trädsdraget med störst andel stammar initialt i respektive bestånd. Skötselåtgärderna i respektive simulering begränsades inte av rimliga överväganden. Inga förändringar i markfuktighetsklass-tillhörighet eller markvegetationsklass-tillhörighet antogs under simuleringsperioden. Detta innebär att skötseln i simuleringarna genomfördes enligt samma principer som i dagens situation. De förändringar i skötseln som kunde noteras berodde på de förändrade försättningsmetoder, t.ex. vad gäller SI som skapades i simuleringarna. Inga aktiva förändringar av skötselprinciperna t.ex. i syfte att påverka risken för stormfällning genomfördes.

Beräkningar beståndsvis av sannolikheten för vindfällning genomfördes med hjälp av den modifierade versionen av WINDA

och olika vindklimatscenarier (Tabell 4). Under simuleringarna förekom ingen återkoppling mellan WINDA-utfall och skogstillståndet. Alla jämförelser mellan olika klimatscenarier gjordes för samma period, d.v.s. 2011–2040 eller 2071–2100. För Brattåker antogs att tjäle i marken under starkvindssäsongen under klimatförhållanden motsvarande perioden 1961–1990 medförde förbättrad förankring i marken varför sannolikhetsberäkningarna baserades på beräknade värden för stambrott. För beräkningar under förändrat klimat och för alla klimatscenarier för Asa baserades beräknade värden på det högsta av sannolikheterna för stambrott respektive rotvälta.

Tabell 4 Genomförda simuleringar för vardera fallstudieområdet.

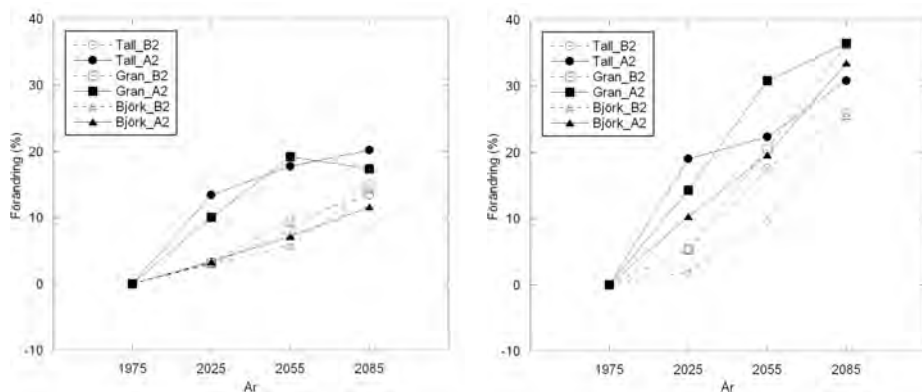
Klimat	Förändrad tillväxt	Förändrat vindklimat	Utvärderingsperiod
1961-1990			2011–2040 och 2071–2100
A2	X		2011–2040 och 2071–2100
A2	X	X	2011–2040 och 2071–2100
B2	X	X	2071–2100

Sannolikheten för vindfällning beräknades sex gånger (vart femte år) för respektive period 2011–2040 och 2071–2100. Under antagandet att samma sannolikhet för vindfällning för ett visst bestånd gäller under varje år under en given femårsperiod, viktades sannolikheten för vindfällning samman över 30-årsperioden genom faltning. Icke-parametriska statistiska metoder användes för att testa för skillnader på femprocentsnivån mellan fördelningarna av bestandsvis beräknade sannolikheter för vindfällning för respektive undersökningsområde mellan olika skogstillstånd och mellan olika klimatscenarier. Endast utvalda kombinationer av skogstillstånd och klimatscenarier jämfördes. Ej redovisade kombinationer är ej testade för signifikanta skillnader. Skillnader mellan olika skogstillstånd med avseende på trädhöjd etc. testades med hjälp av t-test på 5 procentsnivån.

Resultat

Fallstudier

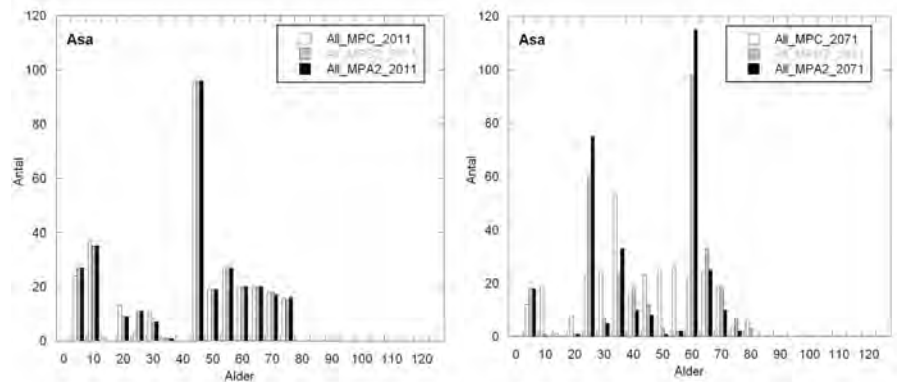
Den potentiella förändringen av biomassaproduktionen beräknades bli större för A2-scenariet än för B2-scenariet (Figur 15). Förändringen beräknades bli större för Brattåker än för Asa.



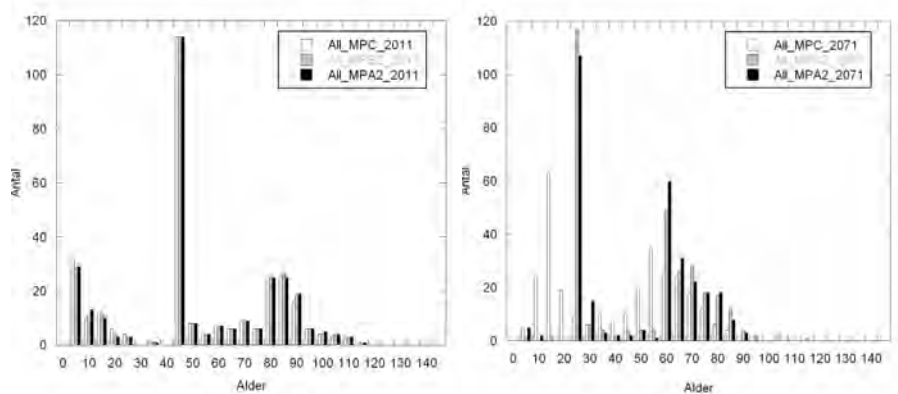
Figur 15 Trädslagsvis förändring i potentiell biomassaproduktion över tiden för Asa t.v. och Brattåker t.h. beräknad med hjälp av modellen BIOMASS och klimatscenarier för två olika utsläppsscenarier (B2 och A2) under perioden 1975 till 2085 framtagna av Rossby Centre, SMHI, med hjälp av modellen RCA3-ECHAM4/OPYC3 (Kjellström med flera, 2005).

Det initiala skogstillståndet hade genererats av den historiska skötseln. Appliceringen av skötselprogram i simuleringarna gav upphov till skeva åldersklassfördelningar genom att ett större antal bestånd slutavverkades i början av simuleringsperioden (Figur 16). Åldersklassfördelningarna för respektive undersökningsområde hade förändrats endast i mindre omfattning i simuleringarna med klimatförändringar vid början av den första utvärderingsperioden (år 2011). Kombinationen av använt föryngringsavverkningskriterium under simuleringarna och förändrad tillväxt till följd av klimatförändringarna medförde att ett flertal bestånd slutavverkades under kort tid vilket framgår som en andra topp åldersklassfördelningarna för år 2071 i Figur 16.

a.

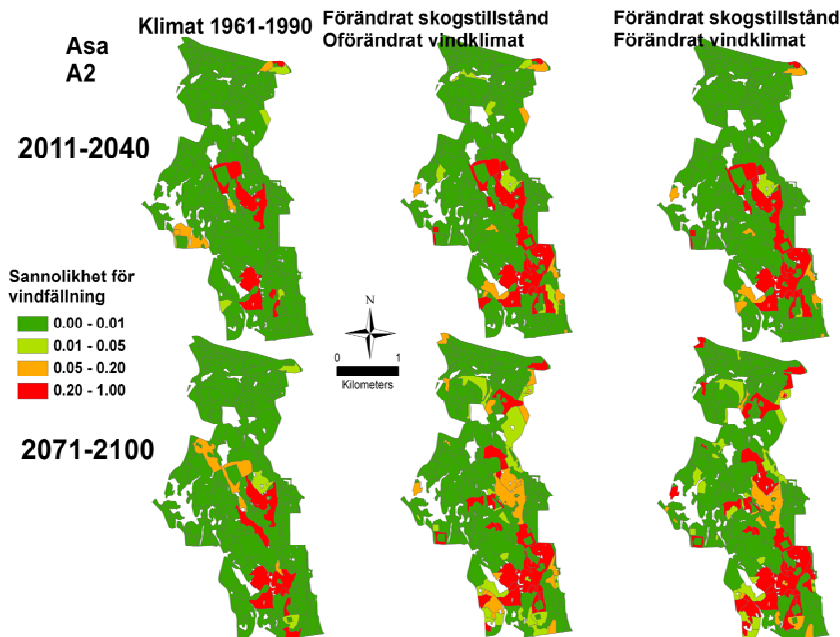


b.



Figur 16 Åldersklassfördelningarna vid inledningen av respektive utvärderingsperiod (2011 och 2071) för a. Asa och b. Brattåker.

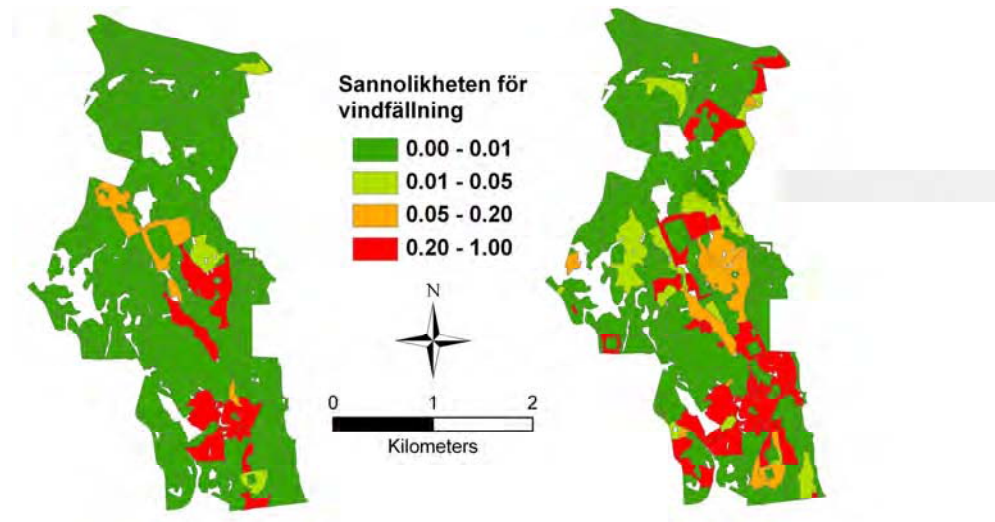
Då vindklimatet hölls oförändrat från perioden 1961–1990 erhöles signifikanta ökningsar av sannolikheten för vindfällning till följd av klimatförändringarna för de två utvärderingsperioderna 2011–2040 och 2071–2100 och för båda undersökningsområdena (Figurerna 17–20, Tabell 5).



Figur 17 Beståndsvis sannolikhet för vindfällning för Asa aggregerad över 30 år för perioderna 2011–2040 och 2071–2100 under klimatet för perioden 1961–1990, under inverkan av A2-scenariot på skogens tillstånd men under vindklimat för perioden 1961–1990, samt under inverkan av A2-scenariot, inklusive vindklimatet, på skogens tillstånd.

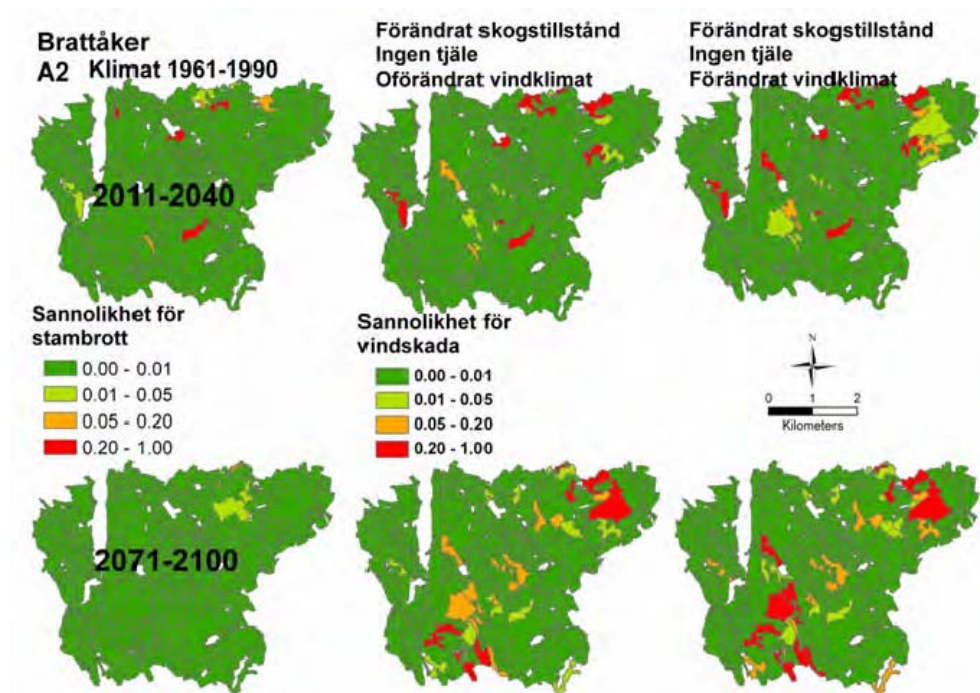
Tabell 5 Signifikanta förändringar av sannolikheten för vindfällning vid oförändrat vindklimat samt inverkan av A2-scenariot på skogens tillväxt jämfört med ingen inverkan av klimatförändringarna på tillväxt.

Period	2011–2040	2071–2100
Asa	ökning	ökning
Brattåker	ökning	ökning



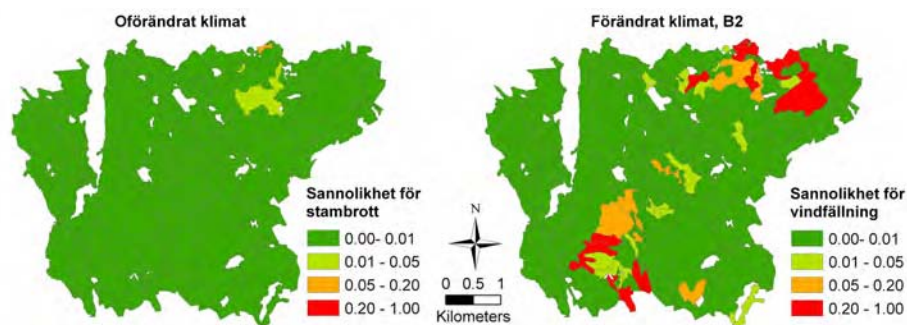
Figur 18

Beståndsvis sannolikhet för vindfällning för Asa aggregerad över 30 år för perioden 2071–2100 under klimatet för perioden 1961–1990 (t.v.) och under inverkan av B2-scenariot, inklusive vindklimatet, på skogens tillstånd (t.h.)



Figur 19

Beståndsvis sannolikhet för vindfällning för Brattåker aggregerad över 30 år för perioderna 2011–2040 och 2071–2100 under klimatet för perioden 1961–1990, under inverkan av A2-scenariot på skogens tillstånd men under vindklimat för perioden 1961–1990, samt under inverkan av A2-scenariot, inklusive vindklimatet, på skogens tillstånd



Figur 20 Beståndsvis sannolikhet för vindfällning för Brattåker aggregerad över 30 år för perioden 2071–2100 under klimatet för perioden 1961–1990 (t.v.) och under inverkan av B2-scenariot, inklusive vindklimatet, på skogens tillstånd (t.h.)

Då vindklimatet dessutom förändrades erhöles signifikanta ökningsar av sannolikheten för vindfällning till följd av klimatförändringarna och det applicerade skötselprogrammets inverkan på skogstillståndet (Tabell 6, Figurerna 17–20). Då beräkningarna baserades på den högsta beräknade sannolikheten för stambrott eller rotvälta för Brattåker också under oförändrat klimat, vilket gjordes för alla scenarier i Asa, blev effekterna av klimatförändringarna mindre.

Tabell 6 Förändringar av sannolikheten för vindfällning vid inverkan av förändrat klimat, inklusive vindklimatet, på skogens tillväxt och skötsel jämfört med ingen inverkan av klimatförändringarna på tillväxt och skötsel. (* = signifikant förändring, -=ej testad)

Scenario	B2	A2	B2	A2
Period	2011–2040	2011–2040	2071–2100	2071–2100
Asa	-	ökning (*)	ökning (*)	ökning (*)
Brattåker	-	ökning (*)	ökning (*)	ökning (*)

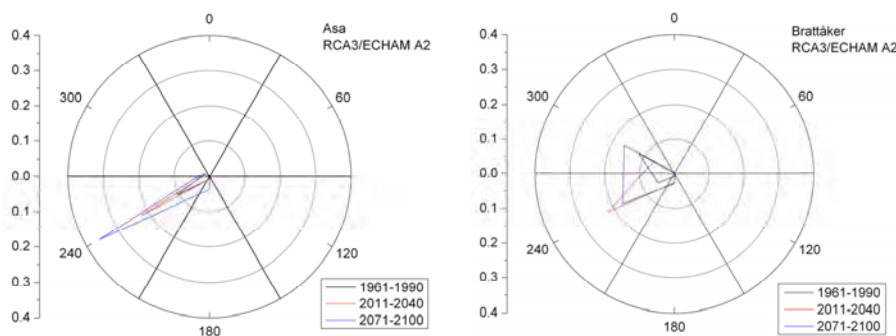
För Brattåker där både tall och gran förekom i stor omfattning erhöles signifikanta ökningsar av sannolikheten för vindfällning för båda trädslagen gran och tall under A2-scenariot och perioden 2071–2100 (Tabell 7).

Tabell 7 Signifikant förändring av sannolikheten för vindfällning (skogstillstånd och vindklimat förändrade) jämfört med ingen inverkan av klimatförändringarna

Scenario	Period	A2
		2071–2100
Brattåker, gran		ökning
Brattåker, tall		ökning-

För samtliga undersökta simuleringar har klimatförändringens effekt på skogens tillväxt och på vindklimatet medfört signifikant ökad risk för vindfällning.

För både Asa och Brattåker kan de signifikanta ökningarna av sannolikheten för vindfällning under A2-scenariet delvis förklaras av ökande sannolikhet för starka vindar under simuleringsperioden (Figur 21) och delvis av förändrade skogstillstånd till följd av inverkan av klimatet och den tillämpade skötseln.



Figur 21 Sannolikheten för stark vind under A2-scenariot för sex olika vindriktningssektorer för tre olika avsnitt av simuleringsperioden och för respektive fallstudieområde. Som tröskelvärde för stark vind har använts en vindstyrka av 30 m/s på 850 hPa-nivån. Simulerade vindriktningar för 10 m över marken har använts

Även om principerna för skötseln varit konstanta under simuleringsperioden har förändringarna i skogens tillstånd och dynamik medfört att t.ex. tidpunkt för olika åtgärder förändrats (Tabellerna 8–11, Figur 22). Detta är alltså effekter av att skötseln anpassats till den höjning av ståndortsindex som sker i simuleringarna.

Tabell 8 Förändringar i föryngringsavverkningsålder jämfört med under oförändrat klimat. – avser icke signifikant förändring

<i>Scenario</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>
<i>Period</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2071–2100</i>	<i>2071–2100</i>
Asa gran	–	–	–	-2.8 år
Brattåker gran	–	–	–	-2.0 år
Brattåker tall	–	–	–	–

Tabell 9 Förändringar i höjd vid föryngringsavverkning jämfört med under oförändrat klimat. – avser icke signifikant förändring

<i>Scenario</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>
<i>Period</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2071–2100</i>	<i>2071–2100</i>
Asa gran	–	–	+0,9 m	+1.9 m
Brattåker gran	–	–	+1.2 m	+1.7 m
Brattåker tall	–	–	+2.0 m	+2.8 m

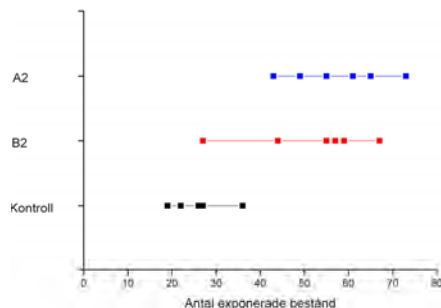
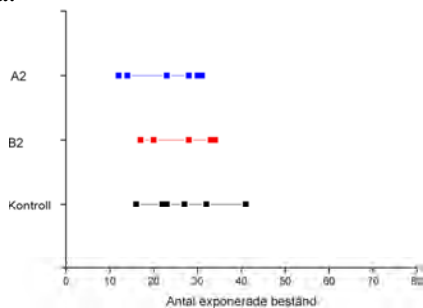
Tabell 10 Förändringar i brösthöjdsdiameter vid föryngringsavverkning jämfört med under oförändrat klimat. – avser icke signifikant förändring

<i>Scenario</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>A2</i>
<i>Period</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2011–2040</i>	<i>2071–2100</i>	<i>2071–2100</i>
Asa gran	–	–	–	-0.7 cm
Brattåker gran	–	–	–	–
Brattåker tall	–	–	+1.4 cm	+2.6 cm

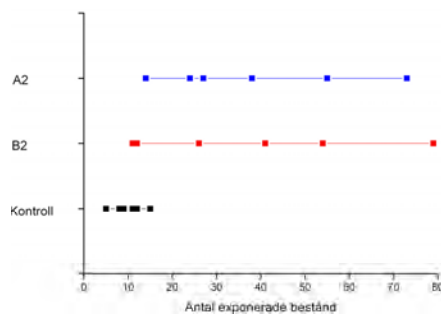
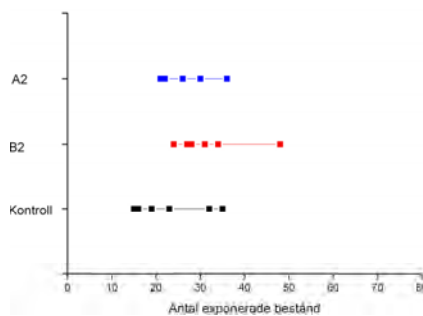
Tabell 11 Signifikanta förändringar i antal stammar/ha vid föryngringsavverkning jämfört med under oförändrat klimat

<i>Scenario</i>	<i>Period</i>	<i>A2</i>
		<i>2071–2100</i>
Asa gran		+10 %
Brattåker gran		+26 %
Brattåker tall		-10 %

a.



b.



Figur 22 Antal exponerade bestånd under de analyserade perioderna 2011—2040 t.v. och 2071—2100 t.h. för de olika klimatscenarierna.
a. Asa b. Brattåker

Klimattrender

Ett antal samspelande faktorer inverkar på förekomsten av tjäle och gör denna svårbedömd (Tabell 12).

Tabell 12 **Trender för klimatvariabler som inverkar på förekomsten av tjäle enligt klimatscenarierna baserade på RCA3-ECHAM4/OPYC3**

<i>Klimatvariabel</i>	<i>Trend</i>	<i>Inverkan på tjäle</i>
Vintertemperatur	Stigande i hela landet	Kortare tjälperiod
Vattentillgång vintertid (nederbörd minus avdunstning)	Ökande i hela landet	Mindre mäktighet av tjäle
Maximalt snödjup	Minskande i hela landet	Beroende på temperaturökningens storlek kan tjälens mäktighet öka om snötäcket tjocklek avtar.
Tunt snötäcke (0-10 cm)	Minskande antal dagar i Götaland och Svealand, ökande i Norrland	Förekomst av tunt snötäcke som indikator för tjälbildande förhållanden.

Vindklimat baserat på RCA3-ECHAM4/OPYC3 leder i riktning ökad sannolikhet för vindfällning (Tabell 13). En tidigare studie av vinddata modellerade med RCAO-modellen visade på skillnader beroende på vilken drivare som använts (Blennow & Olofsson, revision inskickad). För närvarande kan man inte säga vilka globala drivdata som ger de mest trovärdiga klimatscenarierna. Generellt var tendensen till ökande vindhastigheter större då resultat från ECHAM4/OPYC3-modellen använts som drivare jämfört med om resultat från HadAM3h-modellen använts. Förutom två olika drivare användes dessutom två utsläppsscenarier (B2 och A2) vilket gav totalt fyra scenarier för perioden 2071–2100 och två referensscenarier för perioden 1961–1990. Resultaten av analyserna visade att ett mönster med högre sannolikhet för höga vindstyrkor i södra Sverige jämfört med norra Sverige kvarstod. För sydligaste Sverige ökade sannolikheten för starka vindar i alla scenarier utom ett. För övriga undersökta platser spridda över Sverige antingen ökar sannolikheten för starka vindar eller snarare minskar den något beroende på vilka globala drivdata som använts. Men sannolikheten för vindfällning beror inte bara på vindens styrka, också vindriktningen är av betydelse. För de flesta undersökta platserna var sannolikheten för stark vind från västliga till sydvästliga riktningar fortsatt förhållandevis hög i scenarierna och sannolikheten för starka vindar från sydliga riktningar var på många håll högre än under dagens klimat. För sydligaste Sverige var sannolikheten för starka vindar från nordväst till sydöst högre i alla framtidsscenarier utom ett. Information om framtida vindriktningar kan användas

för anpassningen av skogsbruket genom rumslig planering av avverkning och beaktande av topografins inflytande på vindexponeeringen.

Tabell 13 **Trender med avseende på framtida vindklimat**

<i>Klimatvariabel</i>	<i>Trend</i>
Sannolikhet för stark vind	Beroende på global drivare. Ökande sannolikhet kan inte uteslutas.
Byvind	RCA3-ECHAM4/OPYC3 indikerar viss ökning av byvindstyrka samt viss ökning av antalet dygn med byvindar överstigande 21 m/s i Götaland och Norrland.

Extrema nederbördsmängder indikeras öka i hela landet vilket skulle öka vindkänsligheten hos skogen (Tabell 14).

Tabell 14 **Trend med avseende på extrem nederbörd**

<i>Klimatvariabel</i>	<i>Trend</i>
Max 7-dygns nederbörd	RCA3-ECHAM4/OPYC3 indikerar ökning i hela landet

Diskussion

Resultaten av beräkningarna för fallstudieområdena visar på en trend av ökande sannolikhet för vindfällning (Figurerna 17–20, Tabellerna 5–11) som beror på utvecklingen av vindklimatet och på inverkan av klimatförändringarna på skogens tillstånd i kombination med skogsskötseln.

Tjälförhållanden

Observationer av förekomst och mäktighet av tjäle i svensk skogsmark tycks vara begränsad vilket bidrar till osäkerhet vad gäller antaganden rörande stabiliteten hos skogsbestånden. Osäkerheten är större för fallstudieområdet Brattåker än för Asa vilket gör det svårt att bedöma rimligheten i att anta marken i Brattåker tjälad under stormsäsongen (Figurerna 19 och 20). Om marken i stället

hade antagits otjälad skulle effekten av klimatförändringarna på sannolikheten för vindfällning ha minskat. Om man använder förekomst av tunt snötäcke som proxy för tjälförekomst indikerar klimatscenarierna minskande antal dagar med tjälbildande förhållanden i Götaland och Svealand men ökande i Norrland (Tabell 12). Samtidigt ökar snödjupet i delar av Norrland vilket förväntas leda till minskande mäktighet av tjäle där. Tjälförekomsten kan dessutom förväntas bero på skogens täthet (Mellander med flera, 2006). I en tätare skog förväntas en större andel av snön återfinnas i trädkronorna jämfört med på marken vilket leder i riktning mera tjäle. Resultaten av simuleringarna visade på tätare skogar av gran (Tabell 11). Ökad användning av gran under skötsel enligt svensk jägmästartradition skulle därför kunna påverka tjälförhållandena i riktning mera tjäle. Resultaten för tall i Brattåker indikerade glesare bestånd vid föryngringsavverkning vilket skulle kunna bero på att ytterligare en gallring hinner göras innan föryngringsavverkning. Om äldre skogar blir glesare skulle detta leda i riktning mera snö på marken, mindre tjäle och därmed ökad vindkänslighet. Det är dock vanskligt att generalisera framtida gallringsförhållanden under skötsel enligt svensk jägmästartradition till andra delar av landet utan ytterligare studier.

Vindklimatet

Kalibreringsarbetet som gjorts i denna studie understryker det inledningsvis gjorda konstaterandet att det framtida vindklimatet är osäkert. I en tidigare jämförelse mellan observerad vindhastighet som länkats till den geostrofiska vinden och momentan vindhastighet varje sjätte timme på 850 hPa-nivån framtagen av Rossby Centres, SMHI, med deras RCAO-modell, var skillnaderna mellan vindhastigheter för motsvarande 99-percentiler försumbara (Blennow & Olofsson, revision inskickad). En jämförelse mellan observationsdata och data framtagna med RCA3-modellen visade på större skillnader som inte kunde försummas varför en kalibreringsfaktor togs fram för respektive fallstudieområde. Den årliga sannolikheten för att överskrida den geostrofiska vindhastigheten 30 m/s för Asa beräknades till 0.36 med RCA3-ECHAM4/OPYC3-modellerat vindklimat efter kalibrering för A2-scenariot och perioden 2071–2100 (Figur 21) och till 0.70 med motsvarande scenario och samma period beräknat med RCAO-

ECHAM4/OPYC3 (Blennow & Olofsson, revision inskickad). Åtminstone för Asa kvarstår alltså en skillnad efter kalibrering mellan vindklimatscenarierna beroende på om RCAO- eller RCA3-modellen använts. Skillnaderna bidrar till osäkerhet vad gäller beräknade sannolikheter för vindfällning i absoluta termer. Det är dessutom vanskligt att jämföra beräknade sannolikheter för vindfällning i absoluta termer mellan fallstudieområdena eftersom RCA3-ECHAM4OPCY3 och RCA3-ERA40 scenarierna för överlappande perioder skiljde sig olika mycket åt för de två undersökningsområdena. De redovisade resultaten baseras på att kalibreringsfaktorer använts för att kompensera för dessa skillnader men osäkerhet kvarstår. Osäkerheten framstår som mindre vad gäller trenden i utvecklingen av vindklimatet så länge man håller sig till samma plats och till samma drivare. Även om klimatscenarierna inte ger en entydig bild av framtida vindstyrkor över Sverige kan det inte uteslutas att det blir blåsigare framöver, särskilt inte i sydligaste Sverige.

Trädslag

Även om vindkänsligheten påverkas av skötseln kan generellt sägas att vindkänsligheten i modellen ökar från björk, tall till gran. Detta antagande stöds bl.a. av erfarenheterna från januaristormen 2005 då de uppkomna skadorna per volymsandel var mest omfattande i gran och minst i lövdominerade bestånd (Skogsstyrelsen, 2006; Sallnäs med flera, pågående). De generellt sett högre beräknade sannolikheterna för vindfällning för Asa jämfört med Brattåker (Figuerna 17–20) förklaras bl.a. av skillnader i vindklimat och i skogens tillstånd, exempelvis en högre andel granbestånd i Asa.

Skötsel

Framtida skogstillstånd beror både på hur klimatet utvecklas och på hur vi sköter skogen. Vi valde i simuleringarna att efterlikna skötsel enligt svensk jägmästartradition. Det initiala skogstillståndet hade emellertid genererats av den historiska skötseln. När vi i simuleringarna applicerade skötselprogrammen gav detta upphov till skeva åldersklassfördelningar (Figur 16). Dessutom uppkom skillnader mellan åldersklassfördelningarna för olika klimat-

scenarier under simuleringsperioden. Under början av den första utvärderingsperioden (år 2011) hade åldersklassfördelningarna för respektive undersökningsområde påverkats endast i mindre omfattning av klimatförändringarna genom den applicerade skötseln samtidigt som skillnaden i beräknad sannolikhet för vindfällning var signifikant högre för A2-scenariet än för referensscenariet (1961–1990) (Tabell 6). Detta indikerade att skötseln så som den specificerats ledde i riktning ökad vindkänslighet. Ökningen uppkom trots att omloppstiden i någon mån sjönk mot slutet av simuleringsperioden (Tabell 8). Den ökade vindkänsligheten förklaras delvis av ett förändrat höjd-diameterförhållande men också av ett ökande antal vindexponerade bestånd under förhållanden med förändrat klimat (Tabellerna 9–11).

Slutsatser

Det i simuleringarna specificerade sättet att sköta skogen förefaller leda i riktning ökad vindkänslighet. Ett blåsigare vindklimat indikeras härutöver leda i riktning ökad sannolikhet för vindfällning för klimatscenarier baserade på modellerna RCA3-ECHAM4/OPYC3. Det framtida vindklimatet är dock osäkert. Minskad förekomst av tjäle förväntas leda i riktning ökad vindkänslighet. Förekomsten av tjäle i skogsmark är dock osäker, särskilt i Norrland. Indikerade ökande extrema nederbördsmängder i hela landet under stormsäsongen förväntas leda i riktning ökad vindkänslighet. Det finns stora möjligheter att påverka risken för vindfällning genom trädslagsval och genom hur vi sköter skogen. En rimlig konsekvens av detta är att närmare utreda vilken förändring av skogsskötseln som eventuellt är motiverad.

Klimatförändringar kommer att påverka skogsbrukets ekonomi

Drivmotorn för ekonomin i skogen är tillväxten och förändras tillväxthastigheten, till följd av klimatförändringar, påverkas även skötseln och möjligheterna att bedriva ett ekonomiskt skogsbruk. I nedanstående Tabell 15 bedömer man effekterna av en klimatförändring på skogen. Om man tillåts att gå utanför de vetenskapliga ramarna kan man spekulera hur effekterna kan påverka

ekonomin, där vissa förväntas få en betydande inverkan på ekonomin medan andra förväntas bli mer marginella. Enligt Tabellen ökar produktionspotentialen i hela Sverige och om man summerar figur 6 (B2-alternativet), innebär det att den årliga tillväxten av stamved potentiellt skulle öka från dagens nivå på 100 miljoner m³ per år till mer än 120 miljoner år 2085. En ökad tillväxtpotential på ca 20 miljoner m³ per år motsvarar flera miljarder kronor om man lyckas utnyttja den. Trädslagsdiversitet behöver inte ha någon direkt betydelse för ekonomin om man inte byter trädslag i stor skala. Om man blev tvungen att byta ut granen i södra Sverige skulle det sannolikt ha negativa effekter på ekonomin, samtidigt som ett ökat användande av gran i norra Sverige skulle kunna ha en positiv effekt på ekonomin.

Om vindfällningarna ökar kommer det ha negativa effekter på ekonomin eftersom det är kostsamt att ta hand om stormfällt virke och kvaliteten försämras dels p.g.a. sprickor, spjälkning och brutna stockar och dels för att virket kan bli angripet av röta och insekter. Dessutom blåser det ner alltför tidigt under omloppstiden och man utnyttjar inte produktionspotentialen fullt ut. Skogstyrelsen anger att den samhällsekonomiska kostnaden för Gudrun blev 11–12 miljarder kronor (Skogstyrelsen, 2006). Stormfällningar är betydligt vanligare i södra Sverige men anpassningar av granskogsskötseln eller byte av trädslag kan påverka stormrisken avsevärt.

Tabell 15 Bedömda effekter av en klimatförändring på skogsproduktivitet och hälsa i ett 20—100 års perspektiv. + = ökning, - = minskning. Översatt från Sonesson et al., 2004

Förändring i	södra Sverige	centrala Sverige	norra Sverige
Trädslagsdiversitet	++	+++	+
Skogsproduktion	+++	+++	+++
Skador orsakade av:			
Vind	+	+	+
Snö	-	-	-
Brand	+	+	±
Vårfrost	±	±	±
Hösfrost	-	-	-
Vintertorka	+	±	±
'Hardwood decline'	+	+	±
Torka	++	+	±
Vattensjuk mark	±	±	+
Ryggradslösa djur	+	+	+
Ryggradsdjur	±	+	+
Mikroorganismer och svampar	±	±	±
Markvegetation	+	+	+

Mängden snö kommer att minska och varaktigheten då skogsmarken är täckt av snö kommer att förkortas. Detta kommer i sig inte ha någon direkt påverkan på ekonomin. Avverkningarna utförs dock till stor del under vinterhalvåret då marken är tjälad och marken bär och vid sådana markförhållanden orsakar inte skogsmaskiner några körsador. Det kommer med andra ord bli svårare att avverka under vintern och få ut virket ur skogen. Detta kan ge negativa effekter på ekonomin om det inte kan lösas genom planering och att man avverkar under andra delar av året än vintern.

Brandrisken förväntas öka enligt tabell 15, vilket måste anses ha en negativ inverkan i ekonomiska termer. Störst brandrisk har vi under varma och torra somrar, vilket förutspås öka i SMHIs scenarier, i framför allt Sveriges sydöstra delar. I ett historiskt och globalt perspektiv är det tydligt att skötta skogar där man bedriver ett aktivt skogsbruk brandhärjas mindre frekvent.

Frekvensen av vårfrost och hösfrost förväntas vara den samma eller minska. Vårfrost i planteringar kan orsaka att skotten dör om

frosterna inträffar i samband med skottskjutningen på våren. Detta tar vanligtvis inte död på plantorna eller de unga träden om det inte inträffar flera år i följd. Man bör tänka sig för i framtiden vad man väljer för något plantmaterial men det behöver vi inte bry oss om i någon större utsträckning idag. Vår- och höstfroster kommer inte ha någon signifikant negativ inverkan på ekonomin om vårfrosterna förväntas vara detsamma eller minska.

Svår torka under sommaren kan orsaka barr- och bladförluster och ge kraftiga produktionsnedsättningar ett antal år efter. Om det inträffar flera år efter varandra kan trädens vitalitet nedsättas och i slutändan även orsaka att träden dör. Försämrade vitalitet kan minska motståndskraften mot skadegörare som insekter och mikroorganismer. Om vi får varmare med mycket torra somrar kan det ge betydande produktionsförluster i framför allt södra Sverige.

”Hardwood decline”, skulle ungefärligen kunna översättas till diffusa lövträdssyndrom. Dessa kan öka med ett förändrat klimat, men kunskapen om vad som orsakar dem är bristfällig. Lövträden står idag för en mycket liten del av den årliga tillväxten och den stående skogen i Sverige och produktionsnedsättande effekter på lövträd har i dagsläget marginell betydelse för ekonomin i skogsbruket. Mot bakgrund av klimatförändringarna skulle däremot lövträdsandelen kunna öka i framför allt södra Sverige. Det behöver därför forskas betydligt mera framöver kring de bakomliggande orsakerna till olika lövträdssyndrom.

Vattensjuk mark eller försumpning förväntas öka i norra Sverige och skulle kunna ha en negativ inverkan på produktion, där nederbördsökningen förväntas vara störst enligt SMHI:s scenarier. De negativa produktionseffekterna kommer sannolikt att bli störst på friska marktyper med finare textur än sand. Områden i skogslandskapet där avrinning hämmas eller förhindras av topografin är de som ligger främst i riskzonen för försumpning. En ökad temperatur och avdunstning kan motverka försumpningseffekten. Nederbördsökningen sker dock i huvudsak under höst-vinter-vår men minskar under sommaren. Under vintern är trädens upptag av vatten minimal och påverkar inte vattenöverskottet nämnvärt och en nederbördsökning enligt SMHI:s scenarier borde öka avrinningen från skogsmark av samma storlek. Skötselåtgärder för att motverka försumpning och produktionsförluster som dikning bör diskuteras men är kontroversiellt i dagsläget. Försumpning kan regionalt ge ekonomiska förluster för skogsbruket i norra Sverige. För att studera detta borde verkliga fallstudieområden i landskapet

väljas ut, där man tar hänsyn till topografi, markanvändning, beståndsstruktur mm.

Om klimatet ändras, t.ex. genom att temperaturen ökar, kommer antagligen insektangreppen att öka i skogen. Förutom mer problem med redan kända skadegörare finns en risk att nya dyker upp. Det saknas kunskaper om vad det är som styr populationsdynamiken hos de flesta arter och om man ska kunna förutsäga framtida problem i samband med t.ex. en förhöjd temperatur måste vi lära oss mer om skadeinsekters ekologi. Snytbaggen är den skadeinsekt som angriper barrplanteringar och orsakar idag de största förlusterna i ekonomiska termer och problemen är större i södra Sverige jämfört med norra. Om man inte fick använda dagens insekticid mot snytbagge, har man uppskattat kostnaden till 550 miljoner per år. Ökade problem norröver är sannolikt att vänta med ett varmare klimat. Barkborrar är annan betydande grupp skadegörare som påverkar bland annat virkeskvaliteten. En tredje grupp skadeinsekter är blad- och barrätande insekter (tallmätaren och tallstekeln) där barrförluster kan ge tillväxtsförluster. Ökande problem med skadeinsekter, särskilt i kombination med ökande stormfällningar och sommartorka, kan ge stora ekonomiska förluster i framtiden.

Få försök till kvantifiering har emellertid gjorts. Ett undantag är Anna-Marie Jönsson som publicerat en beräkning av hur granbarkborren kan tänkas påverkas av en klimatförändring (Jönsson, 2004), där man har utgått från Rossby Centres regionala klimatscearier baserade på RCAO modellen och Hadley Centre's GCM under utsläppsscenarierna B2- och A2. Genom att simulera klimatförändringarna i en modell för barkborrens ekologi har hon lyckats prognostisera hur borrararnas benägenhet eller möjlighet att genomföra en sensommarsvärmning under olika scenarios. Beräkningarna har gjorts för två olika lokaler i Götaland; Växjö och Ljungbyhed och resultaten kan sammanfattas i Tabell 16. Jönsson drar slutsatsen "Det finns all anledning till att tro att ökad frekvens av sensommarsvärmningar kommer att öka risken för angrepp på levande träd."

Tabell 16 **Antal tillfällen under en 30-årsperiod som barkborren kan förväntas genomföra en sen sommarsvärmning under olika scenarier**

	<i>Dagens klimat</i>	<i>Hadley A2-scenario</i>	<i>Hadley B2-scenario</i>
Ljungbyhed	1–4	30	26–28
Växjö	1–4	30	20–23

Varmare väder påverkar på olika vis de svamporganismer, som angriper våra skogsträd både direkt och indirekt. Svampar vars spridning gynnas av mildt väder kan förutsättas att öka i betydelse om klimatet blir varmare som t ex rotröta. Rotrötan påverkar i första hand trädets kvalitet i rotstocken. Idag är problemen med rotröta störst i södra Sverige, framför på västsidan där nederbörden är högre. Svampar som angriper trädet under vintern kan medföra antingen ökade eller minskade angrepp beroende på trädets hårdighet under vintervilan. Varm vinter tycks hittills ha underlättat angrepp, medan torr sommar kan motverka angrepp av t.ex. Gremmeniella. Betydande barrförluster leder till minskad produktion och är omfattningen mycket hög kan det leda till att skogen dör. Tallskytte, är ytterligare ett exempel på en patogen som utvecklas under trädets viloperiod. Svampar som gynnas av att värddträdet utsätts för stress, t.ex. extremt torrt väder kan bli allvarligare som exempelvis honungsskivlingar representerar denna svamptyp. Exempel på skadetyper är grantorka och ekdöd. Skador och nedsatt tillväxt orsakade av svampskadegörare på skog kan ha en stor negativ effekt på ekonomin inom skogsbruket men i likhet med skadeinsekter vet man mycket lite inom området och omfattning vid ett förändrat klimat är mycket osäker.

Bland ryggradsdjur finns det flera vanliga arter som påverkar skogsekosystemet och som dessutom kan orsaka skador på ekonomiskt viktiga trädslag och i övrigt ha oönskade effekter. De väsentligaste arterna ur dessa perspektiv är älg, kronhjort, dovhjort, rådjur, vildsvin och harar. De ekonomiskt viktiga trädarterna som i första hand påverkas av viltet är tall och flera lövträdsarter (björk och ädla lövträd). Flera arter har sin naturliga nordgräns ungefär vid norrlandsgränsen. Dessutom anses rådjur leva på marginalen i stora delar av Norrland. En förändring av klimatet enligt Rossby Centre's scenarier kommer sannolikt att medföra ökade utbredningsområden för nämnda arter, vilket i sin tur bl.a. påverkar storskaliga skademönster. Förändringar i t.ex. växtsäsongens längd,

trädslagsblandning, tillväxthastighet och omloppstiden i skogen kommer att ge en annan fodersituation, med konsekvenser för viltets populationsdynamik. Generellt skulle det ge en förbättrad födotillgång och därmed påverka populationsdynamiken och reproduktionen. Ökande viltstammar innebär ökat problem med negativa ekonomiska konsekvenser.

Markvegetationen kommer att påverkas vid ett varmare klimat med förlängd vegetationsperiod och ökad tillgång på växt-näringsämnen i marken. Markvegetationen konkurrerar med plantorna och kan orsaka plantdöd om man inte anpassar markberedningsmetod, planteringstidpunkt och eventuell herbicidbehandling. Ökad markvegetation vid ett förändrat klimat kan man sannolikt hantera med anpassning av förnygringsarbete som kan medföra ökade kostnader för skogsbruket. Sammantaget har det en liten inverkan på ekonomin.

Om man skulle våga sig på konststycket att rangordna de ekonomiska effekterna av förändrad produktion och risken för stormfällningar, produktionsförluster, skadeangrepp och andra olägenheter som klimatförändringarna kan innebära skulle det kunna sammanfattas som i Tabell 17.

Tabell 17 Uppskattning av de ekonomiska effekterna vid ett förändrat klimat

Förändring av	Positivt för ekonomin	Negativt för ekonomin	Forskningsbarhet
Skogsproduktion	> 2 miljarder per år		Hög: bra kunskaper, prioriterat
Trädslagsdiversitet	1–100 miljoner per år		Måttlig: omvärldsfaktorer styr trädslagsval
Stormfällningar		miljoner till miljarder per stormtillfälle	Hög: bra kunskaper, prioriterat
Snöförhållanden		< 100 miljoner i fördyrande omständigheter per år	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering
Skogsbränder		0.1–200 miljoner per brandtillfälle	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering
Frost		1–100 miljoner per år	Måttlig: stora osäkerheter och svårt att analysera
Torka		10–500 miljoner per extremt torrår	Måttlig: stora osäkerheter och svårt att analysera
Sjukdomar på lövträd		< 10 miljoner per år	Hög: har dock liten effekt på ekonomin
Skadeinsekter		10–500 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, högprioriterat
Svampar och patogener		10–500 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, högprioriterat
Viltskador		10–200 miljoner per år	Hög: dåliga kunskaper, prioriterat
Vattensjuk mark		1–100 miljoner per år	Måttlig: jämförelse mellan markfuktighetsklasser
Markvegetation		1–100 miljoner per år	Låg: lämpar sig för uppskattning - planering

Den stora och enda positiva ekonomiska effekten av klimatförändringarna är den ökade produktionspotentialen medan riskerna för skadeverkningar är många och mycket svåra att kvantifiera. Osäkerheterna är stora inom de flesta områdena när det gäller hur klimatförändringarna kan komma att påverka den

svenska skogen. Det finns dock mycket som är forskningsbart och där vi kan förbättra vår kunskap avsevärt och förmåga att förutsäga hur skogen kommer att påverkas i framtiden. Det är både forskarsamhällets och de politiska beslutsfattarnas uppgift att skapa en plattform och beredskap inför kommande klimatförändringar.

Forskningsbehov

Idag arbetar man med flera olika modeller som lämpar sig för simuleringar på regional- och beståndsnivå för att skatta produktionspotentialen vid ett förändrat klimat. Dessa är delvis parameteriserade med data från fältförsök i Sverige med ökad temperatur och koldioxidhalt. Vidareutveckling av modellerna/simuleringarna skulle dock vara till stort gagn när det gäller att inkludera näringsdynamiken i marken, skogsskötseln, olika markfuktighetsförhållanden och extrema väderhändelser.

En ökad temperatur kommer att påverka näringsdynamiken i marken och är sannolikt en nyckelfaktor när man försöker förutsäga hur produktionen förändras i ett förändrat klimat. Av ekonomiska skäl finns bara ett markuppvärmningsförsök (gran) i Sverige som visar på anmärkningsvärda produktionseffekter. Däremot vet vi inte ifall produktionsökningen är långsiktigt bestående eller om de är generaliserbara för andra trädslag än gran. Att starta upp flera liknande experiment med olika trädslag med geografisk spridning vore högst önskvärt.

Effekterna av en ökad koldioxidhalt på fotosyntesen/produktionen skiljer sig mellan olika fältexperiment. I det enda fältexperiment i Sverige på skog (Flakaliden i Västerbotten), har man har inneslutit hela träd i kammare. Resultat från försöket visar att en förhöjd koldioxidhalt har i stort sett ingen effekt på fotosyntesen/produktionen vid låg tillgång på växtnäring. Fältexperiment utanför Sveriges gränser visar på en tillväxtökning på 10–40% vid en förhöjd koldioxidhalt. Nya FACE-experiment (Free Air Carbon dioxide Enrichment), där man behandlar hela bestånd är därför högprioriterat, dels för att behandla ett stort antal träd och flera olika trädslag och dels för att slippa eventuella ”kammar-effekter”.

När det gäller riskfaktorer låter dessa sig bäst fångas i ett bottom-up perspektiv, det vill säga genom uppskalning från studier i lokal skala. Idag finns sådana studier över sannolikheten för

vindfällning gjorda för ytterst få platser. Detta gör det svårt att skala upp resultaten till andra delar av landet. Ytterligare fallstudier skulle därför behöva göras. Befintliga modellverktyg behöver à-jour-hållas tekniskt sett och dessutom vidareutvecklas, exempelvis skulle det vara angeläget att inkorporera effekter av vindbyar och turbulens i WINDA-modellen, att parameterisera modellen utifrån svenska fältförsök och för ytterligare trädslag, och att möjliggöra prediktion av omfattningen av skada. Förekomst av tjäle i svensk skogsmark idag och i framtiden och dess inverkan på trädens stabilitet är dåligt känt vilket behöver åtgärdas. Bättre kunskap behövs dessutom om trädens stabilitet under olika markfuktighetsförhållanden. Vindskador på icke vindfällda träd har rapporterats. Det behövs forskning för att undersöka omfattningen av produktionsnedsättningar som detta kan leda till och hur skadorna kan minskas. Det vore önskvärt med säkrare vindklimatscenarier.

Skadeangreppen från insekter, svamp och vilt inom skogsbruket kommer sannolikt att öka och utgör ett stort ekonomisk hot för skogsbruket. Det räcker dock inte att studera specifika skadegörare utan även samspelen mellan värdväxt och naturliga fiender. Huruvida skadegörare kan förflyttas norrut och om nya arter kan introduceras i södra Sverige från kontinenten kan också ha stor inverkan för skogsbruket i Sverige. I dagsläget har vi mycket bristfälliga kunskaper om skadeangreppen från insekter, svamp och vilt och forskning är mycket angeläget inom dessa områden. På sikt bör verktyg tas fram för att kunna beräkna sannolikhet för skada.

Generellt kan sägas att vi idag med begränsad precision kan förutsäga eller i alla fall spekulera kring hur en klimatförändring skulle kunna påverka enskilda komponenter i det komplexa systemet skog-skogsbruk. Vi har däremot en mycket begränsad kunskap om vilka effekter det kan tänkas bli på systemet som sådant och på balansen mellan de olika komponenterna. Effekterna kommer i alla skalor, det är naturligtvis inte bara de svenska skogarna som kommer att påverkas utan också skogarna på andra håll i världen. Detta i sin tur kan komma att förändra handelsströmmar, konkurrensförhållanden m.m. vilket förändrar påverkan på de svenska skogarna genom mänskliga aktiviteter.

Det är mycket stora osäkerheter i analyserna av tänkbara effekter av klimatförändringarna. Osäkerheten i sig behöver vara en del i det underlag som behövs för att idag och den närmsta framtiden fatta beslut om eventuella anpassningsåtgärder. En utökad forskning om

hur välavvägda beslut kan fattas i en sådan situation framstår därvid som angelägen.

Det behövs forskning för att anpassa skogsbruket till ett förändrat klimat, exempelvis baseras val av tidpunkt för skötselåtgärder ofta på empiriska modeller. Eftersom klimatet förändras behöver sannolikt modellerna modifieras eller bytas ut.

Tack

Rosby Centre, SMHI, tackas för tillhandahållande av klimat-scenariodata. Erik Kjellström, Rosby Centre, SMHI, tackas för konstruktiv diskussion vad gäller kalibrering av vindklimat-scenariodata. Arbetet bakom rapporten har finansierats av FORMAS, Lämsförsäkringar samt Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Referenser

- Alexandersson, H., & Vedin, H., 2002. Stormar det mera nu? SMHI. Väder och Vatten, 10:18.
- Alexandersson, H., & Edquist, E., 2006. Klimat i förändring. En jämförelse av temperatur och nederbörd 1991–2005 med 1961–1990. Faktablad nr 29. SMHI, Norrköping.
- Andersson, M., Dahlin, B., Mossberg, M., 2005. The Forest Time Machine – a multi-purpose forest management decision-support system. *Comput. Electron. Agr.* 49, 114–128.
- Anonym., 1985. Gallringsmallar, Södra Sverige. National Board of Forestry, Jönköping, 35 sidor.
- Anonym., 2005. Beredskapsplan för bruk ved omfattande stormskader. Norges Skogeierforbund og Skogsbrand, Report June 2005.
- Bergh J., McMurtrie R.E. & Linder S. 1998. Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: a model-based analysis. *Forest Ecology and Management* 110: 127-139.
- Bergh, J., et al. 2003. Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management* 183: 327-340.
- Bergh, J., Freeman, M., Räisänen, J. 2006. Effects of global change on net primary production in Scandinavia –a model based analysis on regional climate scenarios. *Global Change Biology* (in press).
- Blennow, K. & Olofsson, E., 2004. Kan man undvika stormskador? I K. Blennow (red.). Osäkerhet och aktiv riskhantering – aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk. ISBN 91-576-6643-1 SUFOR www.sufor.nu. Sidorna 38–43.
- Blennow, K. & Olofsson, E. The probability of wind damage in forestry under a changed wind climate. *Climatic Change*. (revision insänd).
- Blennow, K., Sallnäs, O., 2004. WINDA – a system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape. *Ecol. Model.* 175(1), 87–99.
- Blennow, K. Eriksson, H. 2006. Riskhantering I skogsbruket. Skogsstyrelsen, Rapport 14. 51 sidor.

- Blennow, K., Olofsson, E., Sallnäs, O., 2003. Evaluating WINDA – a tool for assessing the probability of wind damage to forest stands. In: Ruck, B., Kottmeier, C., Mattheck, C., Quine, C., Wilhelm, G. (Eds.), *Wind Effects on Trees*. University of Karlsruhe, Germany, pp. 137–144.
- Bärring, L., & von Storch, H., 2004. Scandinavian storminess since about 1800, *Geophysical Research Letters*, 31.
- Ekö, P.M., 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Umeå, Report 16, 224 pp. “(In Swedish, with English summary)”.
- Gardiner, B., Peltola, H., Kellomäki, S., 2000. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. *Ecol. Model.* 129, 1–23.
- Gumbel, E.J., 1958. *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, 375 pp.
- Gardiner, B.A., Marshall, B., Achim, A., Belcher, R., & Wood, C., 2005. The stability of different silvicultural systems: a wind tunnel investigation. *Forestry*, 78:471–484.
- Holmberg, L.-E., 2005. Sammanställning av stormskador på skog i Sverige under de senaste 210 åren. Rapport No. 9. Skogs-vårdstyrelsen. 14 sidor.
- Jönsson, A.-M., 2004. Klimatet och risken för angrepp av granbarkborre. I Blennow(ed.) *Osäkerhet och aktiv riskhantering – aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk*. SU
- Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén, & Wyser, K. 2006. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). *SMHI Reports in Meteorology and Climatology*, No. 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige. 54 sidor.
- Kristensen, L. Rathmann, O., and Hansen, S.O., 2000. Extreme winds in Denmark. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 87, 147–166.

- Lindström, G., & Alexandersson, H., 2004. Recent mild and wet years in relation to long observation records and future climate change in Sweden. *Ambio*, 33:183–186.
- Lindström, G., Bishop, K., & Ottosson Löfvenius, 2002. Soil frost and runoff at Svartberget, northern Sweden—measurements and model analysis. *Hydrol. Process.* 16, 3379–3392.
- Mellander P.-E, Laudon H., Bishop K., 2005. Modelling variability of snow depths and soil temperatures in Scots pine stands *Agricultural and Forest Meteorology*, 133: 109–118.
- Morse, A.P., Gardiner, B.A. & Marshall, B.J., 2002. Mechanisms controlling turbulence development across a forest edge. *Boundary-Layer Meteorology*, 103:227–251.
- Mortensen, N. G., Landberg, L., Troen, I. & Petersen, E. L., 1998. Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP). Ris National Laboratory, Roskilde, Danmark.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (Eds.), 2000. Emission Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK, 570 pp.
- Nielsen, C.N., 2003. Adaptive physiology and tree management. KVL, Köpenhamn, Danmark. 140 sidor.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., Ikonen, V.P., 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Can. J. For. Res.* 29, 647–661.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., & Granander, M., 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135:143–153.
- Persson, P., 1975. Stormskador på skog – Uppkomstbetingelser och inverkan på skogliga åtgärder. Royal College of Forestry, Department of Forest Yield Research, Research Notes 36, 294 sidor.
- Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J., Tjernström, M., 2004. The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: a review. *Ambio* 33, 176–182.

- Räisänen, J., Hansson, A., Ullerstig, R., Döscher, L., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P., Willén, U., 2004. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dynam.* 22, 13–31.
- Sallnäs, O., Blennow, K., Andersson, M., pågående. Factors explaining the distribution of wind damage in southern Sweden after a storm in 2005.
- Savill, P.S., 1983. Silviculture in windy climates. *For. Abs.* 44(8), 473–488.
- Schelhaas, M-J., Nabuurs, G.J., Schuck, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Glob. Change Biol.* 9, 1620-1633.
- Skogsstyrelsen, 2006. Stormen 2005 – en skoglig analys. Meddelande No. 1. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- UNECE/FAO., 2000. Effects of the December 1999 storms on European timber markets. Forest products and market review. Economic Commission for Europe, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 23–37.
- Venäläinen A, Tuomenvirta H, Heikinheimo M, Kellomaki S, Peltola H, Strandman H, Vaisanen H., 2001. Impact of climate change on soil frost under snow cover in a forested landscape. *Climate Research*, 17: 63–72.

Appendix 1

Regionala klimatscenarier

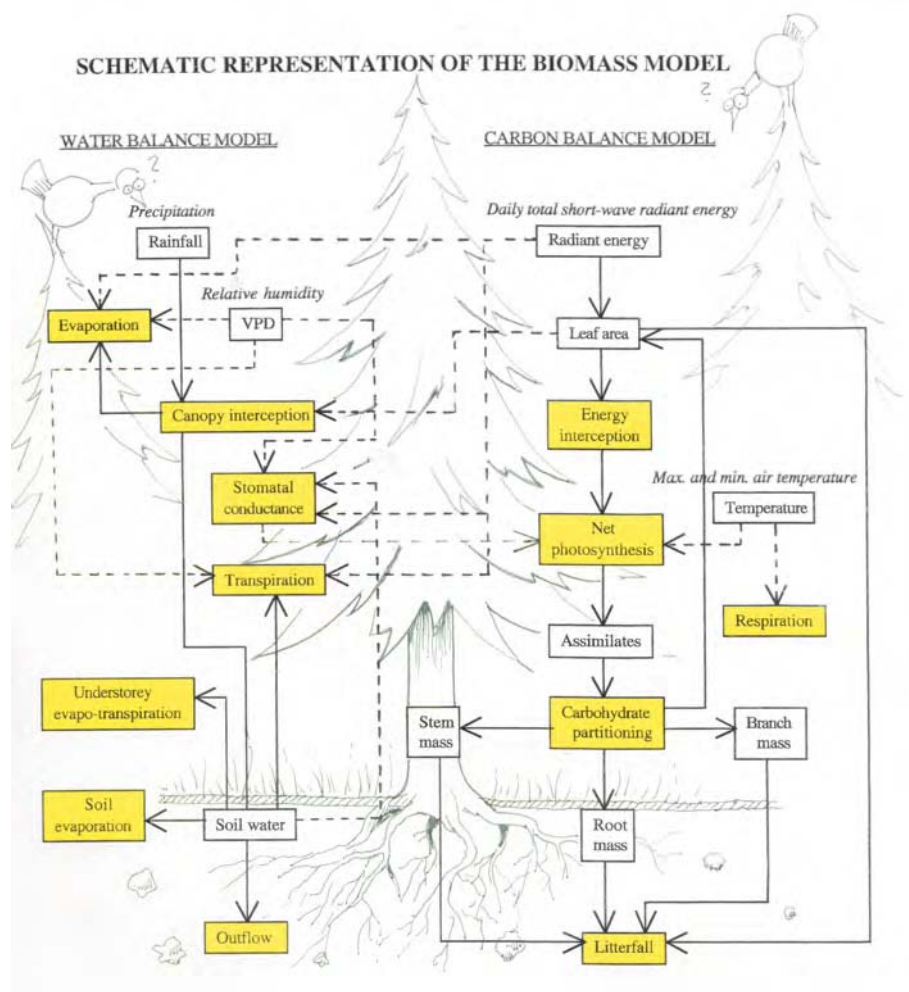
Med hjälp av generella cirkulationsmodeller (GCM) tas fram globala scenarier för hur det framtida klimatet kan komma att utvecklas. Ett scenario kan definieras som en konsistent beskrivning av hur framtiden kan komma att se ut (Porter, 1985 i Rodgers, 2001). Ett scenario utgör alltså inte någon prognos utan en beskrivning av en möjlig utveckling givet vissa antaganden. Den rumsliga upplösningen i ett klimatscenario kan ökas över en viss region genom nedskalning där ett globalt klimatscenario används som drivdata.

För senaste generationens dynamiska regionala klimatscenarier som tagits fram vid SMHI Centre vid SMHI med deras regionala klimatmodell RCA3 har man använt sig av globala drivdata vid beräkningarna framtagna med den generella cirkulationsmodellen ECHAM4/OPYC3 (Kjellström med flera, 2006). Dessutom har man använt två olika scenarier för framtida utsläpp av växthusgaser; SRES B2 och A2, där A2 motsvarar något högre utsläpp än B2 (Nakićenović et al., 2000).

Appendix 2

Beskrivning av den process-baserade produktionsmodellen BIOMASS

BIOMASS utvecklades ursprungligen i Australien på 80-talet för *Pinus radiata* men redan då använde man sig av produktionsfysiologiska data för vår tall hämtade från Svenska barrskogslandskapetets ekologi som pågick under 1970-talet. Modellen är en process-baserad produktionsmodell, där olika processer respresenteras av en eller flera ekvationer som är baserade på väletablerade växtfysiologiska kunskaper och produktionsfysiologiska samband (Figur 23). BIOMASS har även anpassats för boreala klimatförhållanden för att på ett realistiskt sätt uppskatta och beskriva fotosyntesproduktionen över året. De flesta modeller saknar boreala anpassningar och överskattar fotosyntesproduktion i stor utsträckning (20-100%). De klimatvariabler som modellen använder sig av är ackumulerad mängd globalinstrålning per dygn, maximum- och minimumtemperaturen varje dygn och ackumulerad nederbörd per dygn.



Figur 23 Schematisk beskrivning av den process-baserade produktionsmodellen BIOMASS

Modellen är relativt krävande när det gäller parameteriseringen, där olika växtfysiologiska data rörande fotosyntes, respiration, allokering, beståndsstruktur, markförhållanden mm är nödvändiga. Beräkningar av olika utdata sker vanligtvis på dygnsbasis men går att få per timme. Utdata kan enkelt räknas om till månads- och årsvärden om så önskas. BIOMASS hanterar inte näringsdynamiken i marken utan förutsätter att en ökning av produktionen

leder till ett ökat upptag och tillgänglighet av näring från marken. Detta kan påverka resultatet och ge över- eller underskattningar av hur ett förändrat klimat påverkar produktionen. Modellen hanterar vattenbrist dels genom att stomata stänger vilket minskar fotosyntesproduktionen och dels att vid extrem vattenbrist tappar beståndet barr/blad som minskar produktionen. Däremot påverkas inte produktionen i modellen vid ett stort överskott av vatten, vilket kan ske om frisk och fuktig mark omvandlas till fuktig eller blöt mark i ett framtida klimat med kraftig ökning av nederbörden i exempelvis norra Sverige. För att kunna få samma höga regionala upplösning som SMHI's transienta scenarier har vi gjort en batchkörning för varje pixel med unik parameterisering av LAI och olika biomassafraktioner. Parameteriseringen har gjorts för frisk markvegetationstyp som är den vanligaste typen i svensk skogsmark.

Appendix 3

Simulering av framtida skogstillstånd

Med hjälp av modellen The Forest Time Machine (FTM) kan framtida skogstillstånd simuleras (Andersson med flera, 2005). I FTM delas utvecklingen av skogsbeståndet in i olika utvecklingsfaser, t.ex. ung, virkesproducerande, frö- alternativt skyddsgivande. I ungskogsfasen beräknas den tid det tar för träden att uppnå en höjd av 8 m. Därefter följer den virkesproducerande fasen där tillväxt i termer av grundyta och volym beräknas i steg om fem år med hjälp av empiriska funktioner enligt Ekö (1985) som baseras på data från riksskogstaxeringen. Efter den virkesproducerande fasen kan skogen slutavverkas eller delvis avverkas. Skogens tillstånd kan på detta sätt simuleras med femårs intervall. För varje utvecklingsfas används ståndortsindex (SI) som en av de oberoende variablerna för att prediktera trädens tillväxt. Genom att anta en förändring i biomassaproduktion direkt proportionell mot en förändring i bonitet och därefter relatera bonitet till SI kan SI under förändrat klimat skattas. Ståndortsindex uppdateras på så sätt successivt under simuleringsperioden.

Som indata till simuleringar med FTM behövs rumsligt explicit skoglig information för början av simuleringsperioden, förutom för trädskiktet också exempelvis vad gäller markfuktighetsklass och markvegetationstyp. Skötselåtgärder specificeras i form av skötselprogram som kan innefatta föryngringsåtgärd, röjnings- och gallringsåtgärder, och typ av föryngringsavverkning. Varje åtgärd kan specificeras genom att antal variabler, exempelvis med avseende på artsammansättning efter åtgärd, åtgärdsintensitet, och tidpunkt för föryngringsavverkning.

Appendix 4

Beräkning av sannolikheten för vindfällning

WINDA (Blennow med flera, 2003; Blennow & Sallnäs, 2004) är ett integrerat system av modeller för att skatta sannolikheten för vindfällning för bestånd inom ett undersökningsområde. I beräkningarna tas hänsyn till beståndets tillstånd, dess omgivning och det lokala vindklimatet. För närvarande kan modellen köras för trädslagen gran, tall och björk. Grundläggande antaganden är att vädret inom undersökningsområdet är det samma, d.v.s. att det orsakas av samma vädersystem, och att vindskador initieras vid exponerade beståndskanter. WINDA har modifierats för att kunna användas tillsammans med regionala klimatscenariodata (Blennow & Olofsson, revision inskickad). Fyra huvudkomponenter av den modifierade modellen beskrivs nedan.

Exponerade kanter som är åtminstone 10 m höga identifieras i ett geografiskt informationssystem. Längs dessa görs beräkningar av sannolikheten för vindfällning punktvis varje 50 m. Vinden delas in i sex sektorer, vilket motsvarar att varje punkt antas anblåst inom en 60° vid sektor. För varje punkt beräknas den maximala vindstyrka träden kan stå emot. Dessa beräkningar görs med hjälp av modellen HWIND (Peltola et al., 1999). I HWIND delas krafterna som verkar på träden in i en horisontell och en vertikal komponent (gravitation). Genom att anta en vindprofil vid beståndskanten beräknas utifrån den vertikala fördelningen av stam- och kronsegment medelbelastningen på grund av vind och gravitation för varje höjdsegment. Motståndskraften mot rotvälta predikteras utifrån beräknad vikt hos rot/jord-volymen. Ett träd antas välta om det maximala vridmomentet överskrider stödet från förankringen av rot/jord-volymen. Det maximala vridmomentet ett träd kan motstå utan stambrott beräknas från diameter i brösthöjd och brottstyrkeindex för veden. Kritiska vindhastigheter beräknas motsvarande vridmomenten som behövs för rotvälta respektive stambrott. En modifiering av HWIND gör det möjligt att ta hänsyn till variationer i trädskiktet framför en exponerad beståndskant.

Wind Atlas and Application Program (WASP) (Mortensen et al., 1998) används för att beräkna den kritiska fria vindhastigheten. Den kritiska fria vindhastigheten är den beräknade kritiska vindhastigheten i trädtoppsnivå som rensats från inverkan av terrängens

skrovlighetsvariationer och orografi. Den beräknade kritiska fria vindhastigheten länkas till den kritiska geostrofiska vindhastigheten enligt Kristensen et al. (2000). Den årliga sannolikheten för att överskrida den kritiska geostrofiska vindhastigheten i varje vindriktningsssektor beräknas med hjälp av extremvärdesteori (Gumbel, 1958) utifrån en tidsserie av årliga maximumvindhastigheter för varje sektor. Den årliga sannolikheten för vindfällning för varje bestånd beräknas utifrån sektorsvis maximumvärden på sannolikheten för rotvälta respektive stambrott som aggregerats för all vindriktningsssektorer.

Trädsiktet inom undersökningsområdet och dess omedelbara omgivning beskrivs i en digital karta. Trädsiktet beskrivs genom information om trädhöjd, diameter i brösthöjd, antal stamma per ha per trädslag. Området utanför undersökningsområdet och dess omedelbara omgivning beskrivs i aerodynamiskt hänseende i form av skrovlighet och nollplansförskjutning till ett avstånd av omkring 5 km från undersökningsområdet. För hela området beskrivs topografin med en digital höjdmodell med 50 m upplösning. Härigenom kan inflytandet av terrängen på vinden beräknas. En rutin i WINDA identifierar nollplansförskjutningen framför den exponerade kanten och beräknar luckans längd. Luckans längd, nollplansförskjutningen och skrovligheten framför kanten används i HWIND tillsammans med beståndsinformationen för att beräkna den kritiska vindhastigheten i trädtoppsnivå för respektive rotvälta och stambrott.

Som beskrivning av vindhastigheten under varje 30-års utvärderingsperiod användes momentana värden varje sjätte timme för vindhastighet på 850 hPa-nivån (motsvarar ca 1500 m höjd) beräknade med RCA3-ECHAM4/OPYC3-modellen av Rossby Centre, SMHI, för den pixel som motsvarar de centrala delarna av respektive undersökningsområde. Vindhastigheten på 850 hPa-nivån användes som proxy för den geostrofiska vindhastigheten. Data länkades till 1 h medelvärde av vindhastigheten för en plats med hjälp av en faktor som togs fram efter att ha jämfört med observationsdata från Jönköpings flygplats för perioden 1968–1990. Observationsdata hade kompenserats för lokalt inflytande på vinden och hade länkats till den geostrofiska vinden. Därefter jämfördes med vindklimatet för motsvarande period modellerat med RCA3-modellen där återanalyserade meteorologiska observationsdata (ERA40) använts som drivdata i stället för data från en global klimatmodell (Kjellström med flera, 2005). Nittionio-

percentilen för observerad vindhastighet efter anpassning till en Weibullfördelning länkades till RCA3-ERA40 data för den närmsta pixeln. För att kalibrera respektive fallstudieområdes RCA3-ECHAM4/OPYC3-modellerade extremvindsklimat till RCA3-ERA40 modellerat extremvindsklimat jämfördes 99-percentilerna efter anpassning till en Weibullfördelning. På detta sätt togs de totala kalibreringsfaktorerna +1,4% respektive +7,2% fram för Asa respektive Brattåker. Vindriktningen representerades av RCA3-ECHAM4/OPYC3-modellerad vindriktning för 10 m över marken.