

Effekter av ett förändrat klimat – SKA 15



Hillevi Eriksson, Nils Fahlvik, Michael Freeman, Clas Fries, Anna Maria Jönsson,
Anders Lundström, Urban Nilsson, Per-Erik Wikberg

© Skogsstyrelsen, november 2015

Författare

Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen
Nils Fahlvik, SLU
Michael Freeman, SLU
Clas Fries, Skogsstyrelsen
Anna Maria Jönsson, Lunds Universitet
Anders Lundström, SLU
Urban Nilsson, SLU
Per-Erik Wikberg, SLU

Omslagsfoto

Angrepp av ungersk gransköldlus i Skåne, år 2010
Roland Olsson, Skogsstyrelsen

Projektledare

Svante Claesson, Skogsstyrelsen

Projektgrupp

Karl Duvemo, Skogsstyrelsen
Andreas Eriksson, Skogsstyrelsen
Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen
Magnus Fridh, Skogsstyrelsen
Clas Fries, Skogsstyrelsen
Anders Lundström, SLU
Per-Erik Wikberg, SLU

Grafisk produktion

Annika Fong Ekstrand

Upplaga

Finns endast som pdf-fil för egen utskrift

Best nr

1875

Skogsstyrelsens böcker och broschyrer
551 83 Jönköping

Innehåll

Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning, syfte och bakgrund	7
1.1 Inledning och syfte	7
1.2 Globala klimatförändringar och utsläppsscenarier	7
1.3 Effekter på det svenska klimatet	9
1.4 Klimatförändringarnas effekter på skogen – bakgrund	16
2 Material och metoder	17
2.1 Val av klimatmodell	17
2.2 Simulering av klimatets påverkan på skogstillväxt	18
2.3 Simulering av stormfällning	20
2.4 Scenarier för skogens utveckling inom SKA 15	22
2.5 Effektanalys av skogsbruk med olika stormskaderisk	23
3 Resultat	25
3.1 Tillväxt	25
3.2 Effekt på trädslagsfördelning	27
3.3 Stormfällning och avgång	30
3.4 Effektanalys av skogsbruk med olika stormskaderisk	31
3.4.1 Möjlig avverkning	31
3.4.2 Avgångar	32
3.4.3 Trädparametrar	33
4 Diskussion	35
4.1 Klimatets inverkan på skogstillväxten	35
4.2 Stormfällning – risker och åtgärder	35
4.3 Skattning av andra risker som påverkas av klimatförändringarna	
4.3.1 Rotröta	37
4.3.2 Granbarkborre	39
4.3.3 Andra skadegörare och brand	40
4.4 Behov av kunskapsutveckling	40
Litteratur/källförteckning	42

Förord

Inom skogssektorn finns en lång tradition av att studera hållbarhet med hjälp av skogliga konsekvensanalyser (SKA) och virkesbalanser (VB). SKA genomförs för att strategiskt studera konsekvenser av olika scenarier, i avvägningen mellan produktion respektive miljö och andra intressen. I VB analyseras och jämförs faktisk avverkning, virkestillförsel, virkesanvändning och potentiell avverkning.

Skogsstyrelsen fann 2013 goda motiv för en ny studie. Arbetet har utförts i form av projektet SKA 15, Skogliga konsekvensanalyser 2015. Studien inkluderar att analysera den nuvarande och förväntade framtida virkesbalansen i olika delar av landet. Analysen ska möjliggöra efterföljande djupare analyser av ekonomiska, ekologiska och sociala konsekvenser och värdering av olika scenariers hållbarhet inklusive sårbarhet. Vidare ska arbetet resultera i underlag för strategiska övervägande och beslut om skötsel och nyttjande av skogsresurserna.

De skogliga konsekvensanalyserna är genomförda i nära samarbete med Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. De avrapporteras i form av tre rapporter, dels en huvudrapport (Claesson m.fl., 2015), dels en rapport där olika miljöeffekter särskilt studerats (Eriksson m.fl., 2015) och slutligen den här rapporten där klimat- och skaderelaterade effekter avrapporteras. Rapporterna ingår i Skogsstyrelsens rapportserie där författarna står för innehållet. Rundvirke- och skogsbränslebalanserna avrapporteras som ett meddelande från Skogsstyrelsen och innehåller därmed ställningstaganden från myndigheten (Skogsstyrelsen 2015). Inom projektet gjordes även en analys av den framtida globala efterfrågesituationen och tillgången på skogsråvara (Duvemo m.fl., 2015).

Klimatförändringarna påverkar redan skogsbruket på många sätt och kommer i framtiden att påverka ännu mer; genom klimatets direkta påverkan på skogen, genom de klimatpolitiska styrmedlens påverkan och genom hur motåtgärder och anpassningar påverkar samhället i stort när det gäller energiomställning och global utveckling. Här har man utvecklat metoden för att räkna på klimatförändringens effekter på tillväxt och försökt skatta skogstillståndets och gallringsstatusens inverkan på stormfällningen samt effekten av olika skötselstrategier på densamma. Vidare diskuteras klimatförändringens troliga effekt på några andra vanliga skogsskador.

Jönköping i november 2015

Peter Blombäck
Enhetschef, Skogsstyrelsen

Sammanfattning

Vi valde att använda IPCC:s RCP4,5 som basklimatscenario. Det resulterar mest sannolikt i ungefär den globala temperaturhöjning på två grader som forskarna starkt rekommenderar bör underskridas. Klimatförändringens effekt på skogstillväxten har skattats genom att en processbaserad tillväxtmodell utvecklats och tillämpats i kombination med empiriskt baserade tillväxtfunktioner i Heureka-systemets RegVis. För perioden 2070–2100 beräknas klimatförändringen ha ökat tillväxten med cirka 21 procent för RCP4,5 och cirka 37 procent för RCP8,5 jämfört med 1970–2000. Till detta adderas en tillväxteffekt som beror på själva ökningen i virkesförråd. Procentuellt blir tillväxtökningen störst i Norrland och i kubikmeter per hektar ökar den mer i söder.

Inverkan av större stormfällningar simulerades genom att införa en beräkningsmodul i Heureka som i huvudsak baserades på stormfällningshistorik, men där funktionella samband med skogstillstånd och gallringsstatus arbetats in. Klimatförändringens inverkan i form av minskad tjäle och högre grundvattenstånd under höst och vinter och hur dessa faktorer sannolikt försämrar rothållfasthet är ännu inte inkluderat i modellen. Skillnaden i stormfällning mellan scenarier med olika klimatutveckling blev liten då effekten av större virkesförråd vägdes upp av kortade omloppstider för scenariot med stor klimatförändring.

En analys av skötselns betydelse för stormfällning gjordes för Jönköpings län och Västerbottens läns kustland. Skötsel för ökad stormfasthet resulterade i betydligt mindre stormfälld skog men innebar samtidigt en minskning i tillväxt, vilket därmed resulterade i en lägre möjlig avverkningsnivå. Detta var mer påtagligt i Västerbotten än i Jönköpings län. En skötsel som ger *högre* stormskaderisk sänker också den avverkningsbara volymen, då mer i söder än i norr. Resultaten tyder på att skötselmetoder för ökad stormfasthet kan bli lönsamma om de begränsas till de bestånd eller delar av bestånd som har högre risk att råka ut för stormfällning.

Förlängda vegetationsperioder och ökade temperaturer ger i förlängningen ökad rötförekomst i växande skog, såvida inte motstrategier anläggs som är effektivare än vad som tillämpades under slutet av 1900-talet. Utan sådana strategier kommer rötförekomsten i landets granstammar att öka påtagligt jämfört med idag – från cirka 8 procent i brösthöjd 1993–2001 kanske upp emot 12–15 procent mot slutet på seklet. Ju större grandel i landskapet och ju vanligare det är att avverkad granskog föryngras med granskog, desto lättare sker spridningen. Ju större tillämpning av biologisk bekämpning och ju större andel av avverkningarna som förläggs till icke växtsäsong, desto mer motverkas den.

Skadeutvecklingen för granbarkborre kommer att gynnas av ett flertal faktorer, främst förlängd växtsäsong, torrare somrar och ökad stormfällning till följd av minskad tjäle. Sammantaget gör vi bedömningen att RCP4,5 till RCP8,5 i kombination med ett skogsbruk utan utvecklade motstrategier sannolikt resulterar i mångdubbelt större granbarkborreskador mot slutet av seklet. Motverkande strategier kan vara lämpligt trädslagsval i vindutsatta lägen och torkkänslig mark samt att skötsel för ökad stormfasthet bedrivs i grandominerad skog i vindutsatta lägen. Då träd ändå faller är ett aktivt borttagande av fallna träd angeläget.

1 Inledning, syfte och bakgrund

1.1 Inledning och syfte

Skogliga konsekvensanalyser, eller avverkningsberäkningar som de har kallats tidigare, görs med jämna mellanrum i Sverige (Claesson m.fl., 2015). Resultaten används som underlag för diskussion kring skogliga frågor och för beslut som rör skogarnas nyttjande och skötsel. Heureka är ett modellpaket inom vilket RegVis bygger vidare på den tidigare använda Huginmodellen (Wikström m.fl., 2011). Här samlas en mängd modeller som bidrar till att beräkna hur det svenska skogstillståndet utvecklar sig över tiden förutsatt olika scenarier för användning och skötsel.

Delprojektet Klimat i SKA 15 samlade olika ambitioner att bidra till utveckling av möjligheterna att, via Heurekasystemet, kvantifiera klimatförändringens möjliga effekter på såväl skogstillväxt som skador av olika slag. Syftet var också att analysera effekten av att sköta skogen på ett sätt som ger stormstabilare respektive mindre stormstabil skog än idag, och hur det påverkar avverkningsmöjligheter, stormfällning och annat.

För effekten på tillväxten vidareutvecklades modellen som användes till SKA 08 (Claesson m.fl., 2008) för B2-scenariot (*se kapitel 1.2 nedan*). När det gäller effekter på skador visade sig projektets resurser vara för små för att någon substantiell utveckling skulle kunna göras, utöver en vindskademodell som tar hänsyn till skogstillståndets utveckling, men inte till klimatpåverkan på tjäle eller grundvattennivåer. I gengäld finns en fördjupad diskussion kring klimatförändringens möjliga kvantitativa effekter på några skaderisker, framförallt rotröta och granbarkborre. Kunskaps- och modellutveckling pågår på olika håll och möjligheterna att utveckla Heurekasystemet i dessa avseenden inom en snar framtid kan bedömas vara stora.

Som inledning redovisas hur klimatförändringarna kan påverka det svenska klimatet, framförallt baserat på resultat från SMHI:s forskningsavdelning Rossby Centre.

För bredare beskrivning av SKA 15-projektet inklusive Heurekasystemet och den skogliga konsekvensanalysens historik – se Claesson m.fl. (2015).

1.2 Globala klimatförändringar och utsläppsscenarier

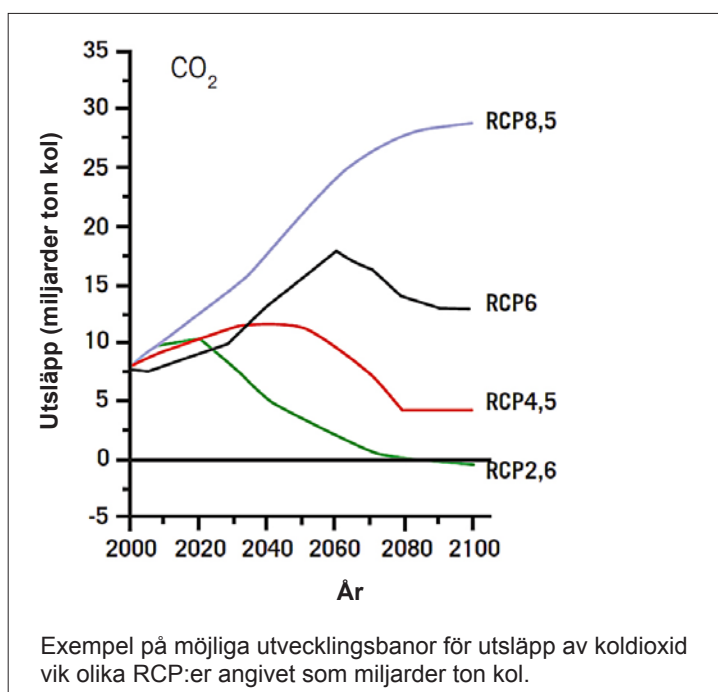
Några nyckelbudskap i FN:s klimatpanels senaste rapportering¹ är att halten av växthusgaser har ökat till nivåer som inte förekommit under åtminstone de senaste 800 000 åren och att atmosfären och världshaven har blivit varmare, mängden snö och is har minskat och havsnivåerna har stigit under det gångna seklet. Vidare dras slutsatsen att om utsläppen av växthusgaser fortsätter att vara höga resulterar det i fortsatt uppvärmning och förändringar i alla delar av klimatsystemet. Fortsatt klimatförändring hotar ekosystem och arters existens och också människors hälsa och försörjning, speciellt där den kombineras med fattigdom. I regioner där försörjningsmöjligheterna påverkas är risken stor

¹ IPCC, 2013; IPCC, 2014a och IPCC, 2014b.

att klimatförändringar kommer att finnas med som en av flera bakomliggande orsaker till politiska konflikter befolkningsgrupper emellan. För att begränsa klimatförändringen krävs omfattande beständiga minskningar av växthusgasutsläppen.

I rapporten från arbetsgrupp I inom FN:s klimatpanel redogörs för de utsläppsscenarioer man räknat på i denna omgång². Utsläppsscenarioet RCP8,5 innebär att världen och energianvändningen fortsätter att förändras enligt business-as-usual, inklusive befolkningstillväxt och ökad energianvändning, samt man inte lyckas sänka utsläppen alls ytterligare. RCP4,5 beskriver en medelväg som är relativt optimistisk när det gäller att mänskligheten ska kunna begränsa utsläppen jämfört med business-as-usual. RCP2,6 förutsätter omfattande sänkningar av utsläppen i industriländerna från 2020 och framöver (figur 1.1).

I medeltal ger RCP4,5 en höjning av den globala medeltemperaturen på cirka två grader i de meteorologiska simuleringarna. Sannolikheten att det blir mer är således ganska stor. Om målet att hålla klimatförändringen under två grader ("tvågradersmålet") inte klaras innebär det att människan med större säkerhet orsakar "en farlig påverkan" på det globala klimatet. Det är således högst önskvärt att vi (globalt) snarare lyckas följa RCP2,6 så nära som möjligt. Även i detta scenario blir klimatförändringen påtaglig på våra breddgrader jämfört med det man oftast menar när man säger "normalklimatet", det vill säga det klimat som rådde 1961–1990. Redan perioden 1991–2010 var cirka en grad varmare för svensk del.

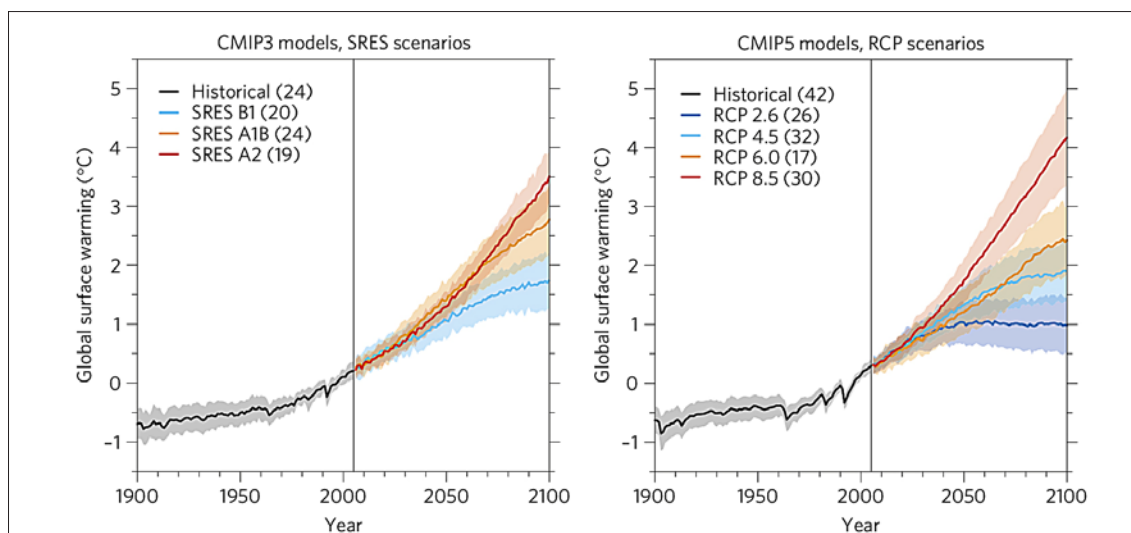


Figur 1.1. Utsläppens utveckling för några olika scenarier för utsläppens utveckling som IPCC tagit fram till 2013².

² IPCC, 2013.

Utifrån globala indata har man på det forskningscentrum som är knutet till SMHI (Rossby Centre) räknat på effekter i norra Europa utifrån en geografisk beskrivning med högre upplösning än vad man har i de globala modellerna, RCA4 som är en utveckling från RCA3 (Samuelsson m.fl., 2010). Man har hittills främst försökt skatta fortsatta förändringar för utsläppsscenarierna RCP4,5 och RCP8,5 (*figur 1.1*), samt för ett äldre SRES-scenario (A1B) som ligger emellan dessa, med hjälp av en ensemble av olika globala och regionala klimatmodeller. Variation och osäkerhet diskuteras i Kjellström m.fl., (2011).

RCP4,5 påminner om tidigare ofta använda B2 i det att båda scenarierna runt år 2100 har nått en ökad uppvärmning som motsvarar cirka $4,5 \text{ W/m}^2$ i medeltal på jordytan (*figur 1.2*). Tidigare använda A2 når cirka 6 W/m^2 medan RCP8,5 når $8,5 \text{ W/m}^2$. A1B låg emellan B2 och A2. Ökningen i den globala medeltemperaturen jämfört med föreningsindustriella nivåer. Samtliga RCP-scenarier utom RCP2,6 visar på fortsatt uppvärmning bortom år 2100.



Figur 1.2. Jämförelse mellan skattad global uppvärmning för några äldre och några nyare scenarier för utsläppens utveckling³. B2 ligger emellan B1 och A1B.

1.3 Effekter på det svenska klimatet

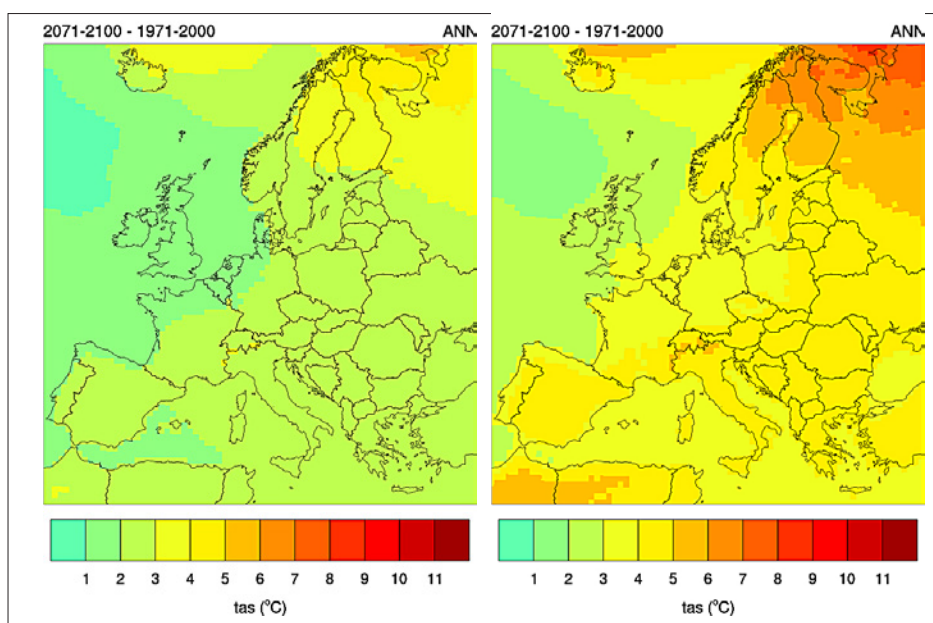
Om de globala utsläppen utvecklas enligt scenariot RCP4,5 skattas det svenska klimatet att ha ändrats enligt följande till perioden 2071–2100 jämfört med 1961–1990⁴:

- Årsmedeltemperaturen har ökat med 2–4 grader. Mer av höjningen infaller vintertid än sommartid. Höjningen är större i norr än i söder.
- Vegetationsperioderna är 1–2 månader längre, med större skillnad i söder än i norr.

³ Knutti & Sedláček, 2013.

⁴ www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/ (sept-2015).

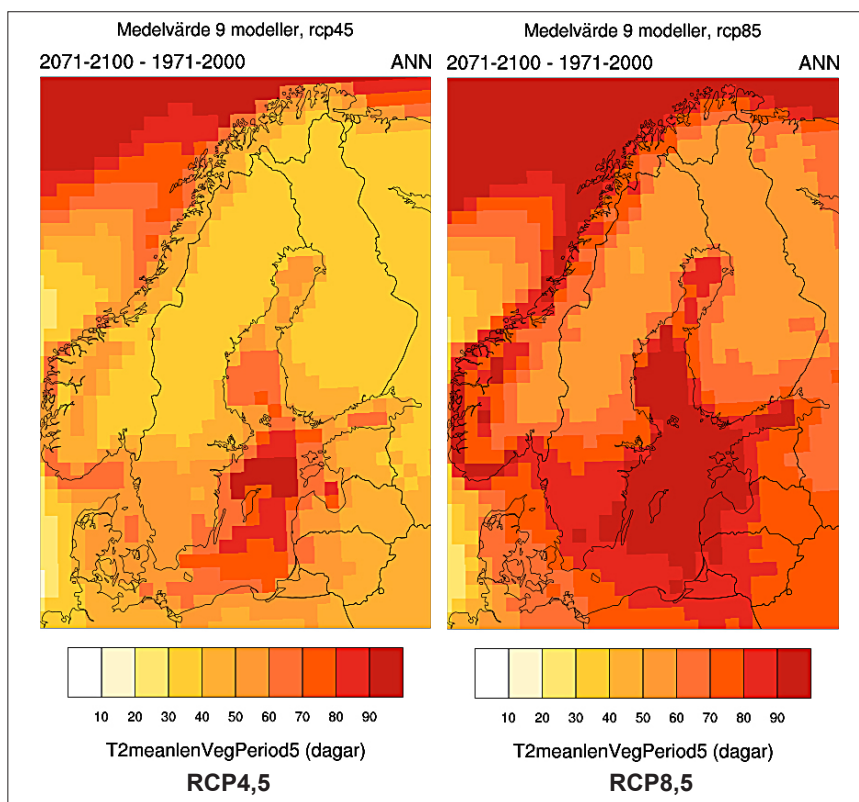
- Årsnederbörden har ökat med 15–20 procent, mer i norr och mindre i söder. Förändringen beräknas bli större under vår- och vintermånader, speciellt i norra Sverige och mindre under sommar och höst, speciellt i södra Sverige.
- Frekvensen av åskväder och därmed blixurladdningar har troligen ökat.
- Grundvattennivåerna är i medeltal högre under vintern – i västra och centrala Norrland även under våren, medan de då är lägre i Götaland och längs Norrlandskusten
- Risken för marktorka sommartid har ökat i hela södra Sverige och nordöstra Norrland, allra mest i sydöstra Sverige.
- De starkaste byvindarna har blivit något starkare i södra Götaland (< 1 m/s) och något svagare i norra Norrland (< 1 m/s).



Figur 1.3. Skattad ökning av årsmedeltemperatur i grader för Europa till perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000 för RCP4,5 (vänster) och RCP8,5 (höger)⁴.

Ökningen i årsmedeltemperatur blir högre på våra breddgrader än i medel globalt. RCP 4,5 beräknas ge en höjning på 2–3 grader i södra Sverige och 3–4 grader i norra Sverige (figur 1.3). Med en sådan temperaturhöjning kommer trädgränsen att flytta sig cirka 500 meter uppåt i höjddled. Om RCP 8,5 blir verklighet blir ökningen nära dubbelt så stor (4–7 grader). Så länge utsläppen fortsätter att ligga närmast detta scenario fortsätter

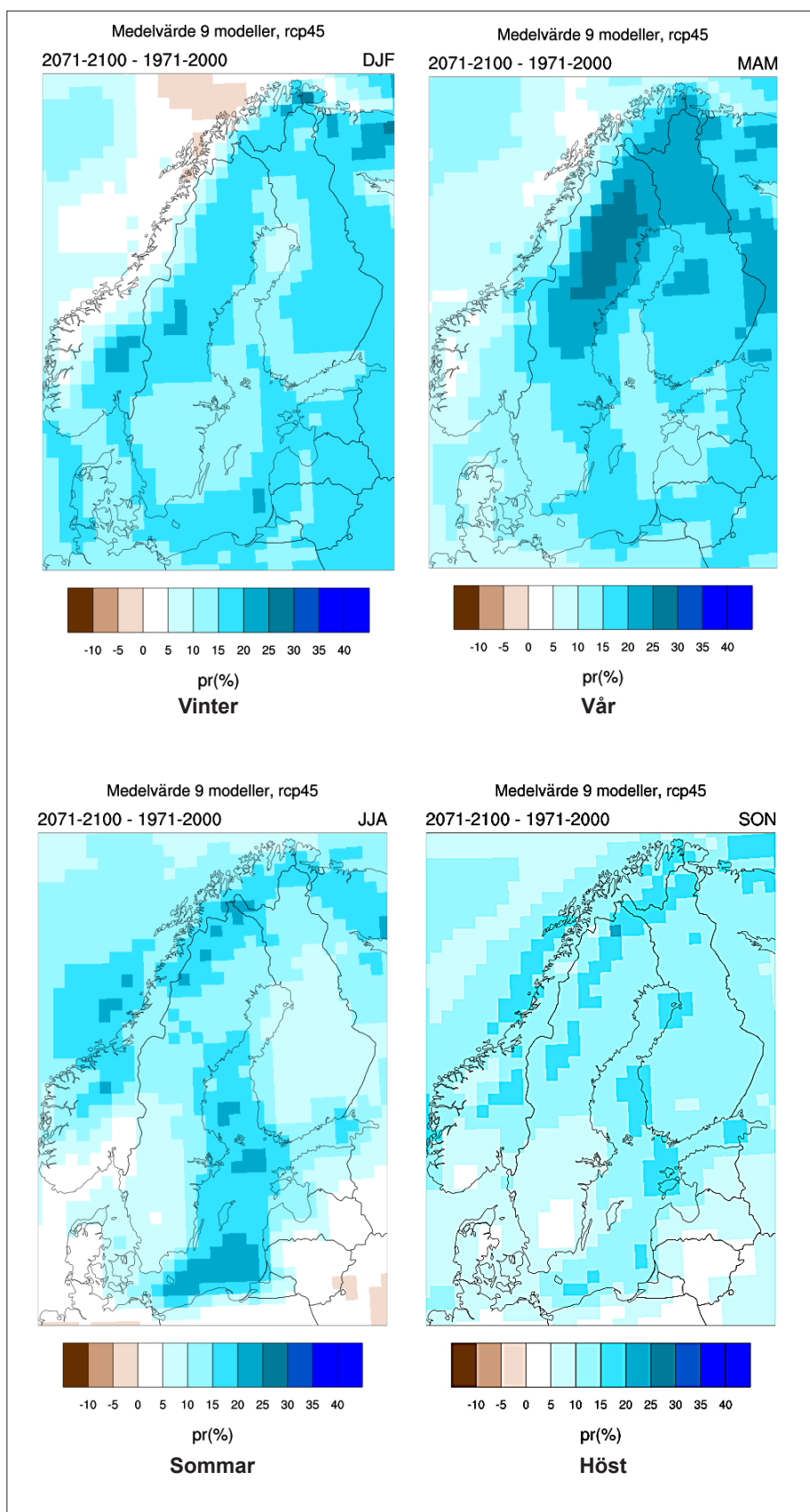
medeltemperaturen i Sverige således att öka med 0,3–0,7 grader per decennium. Varje grads höjning är att jämföra med att flytta 15–20 mil söderut eller 140 meter nedåt i höjd över havet.



Figur 1.4. Vegetationsperiodens förändring 2071–2100 jämfört med 1971–2000 skattad för RCP4,5 respektive 8,5. Källa: www.smhi.se (nov 2014)⁴.

Vegetationsperiodens⁵ längd beräknas öka med en till två månader i hela landet för RCP 4,5 och 2–3 månader för RCP 8,5 till 2071–2100 relativt 1961–1990. Trots att temperaturökningen blir större i absoluta tal i norra Sverige (*figur 1.3*) förlängs vegetationsperioderna mer i söder (*figur 1.4*). Det beror på att det framförallt vinterhalvåret som blir varmare, och i söder är perioderna närmast före och efter tillväxtsäsongen i medeltal varmare än i norr.

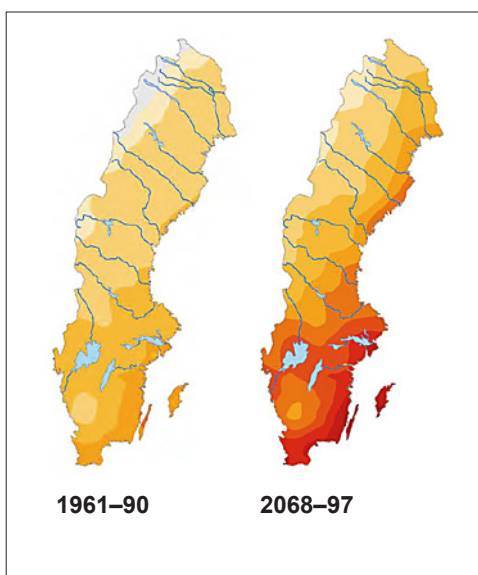
⁵ Antalet dagar då dygnets medeltemperatur under en sammanhängande period är över 5 grader.



Figur 1.5. Skattad nederbördsförändring för olika årstider (procent) 2070–2100 för RCP4,5 jämfört med verklig nederbörd 1971–2000⁴.

Sådana värmeböljor som uppträdde med 20 års mellanrum 1961–90 beräknas uppträda med fem års mellanrum 2071–2100 om utsläppen följer A1B (Nikulin m.fl., 2010). Perioder med tvåsiffriga kallgrader blir ovanligare. För Sverige som helhet var perioden 1991–2010 cirka en grad varmare än perioden 1961–1990, medan den globala temperaturförändringen samma period skattas till cirka en halv grad.

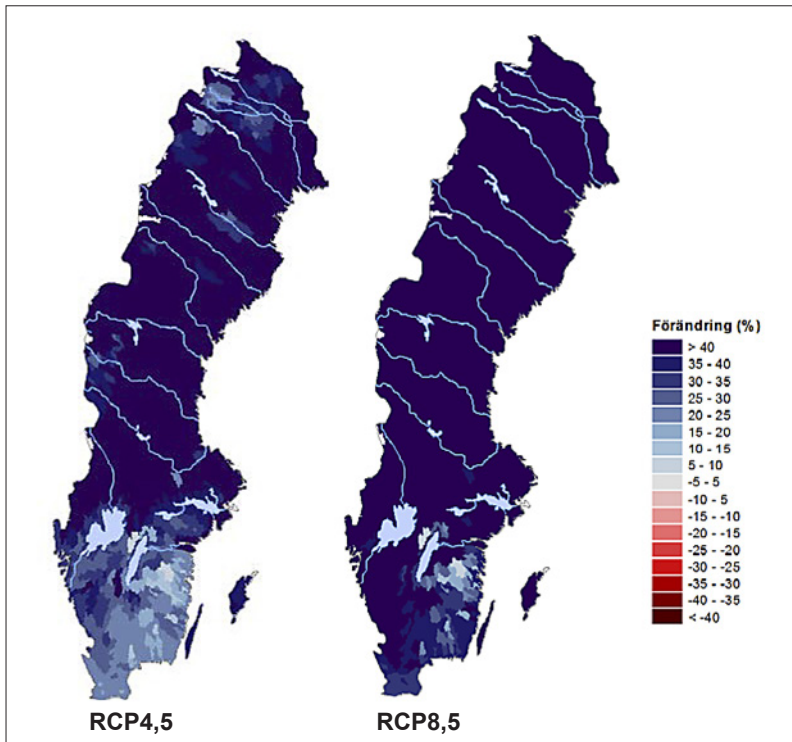
Nederbörden över Sverige förväntas öka till perioden 2071–2100 med cirka 15 procent jämfört med 1961–1990 and 20 procent för RCP8,5. En viss ökning syns redan i SMHI-statistiken för senare decennier (*figur 1.5*). I högre grad än för temperaturen gäller att variationerna är stora mellan olika år och olika decennier. Nederbördsökningen för RCP4,5 beräknas bli allra störst under mars till maj i Norrland (*figur 1.6*). I Götaland och större delen av Svealand beräknas ökningen bli liten eller ingen alls under sommar och höst.



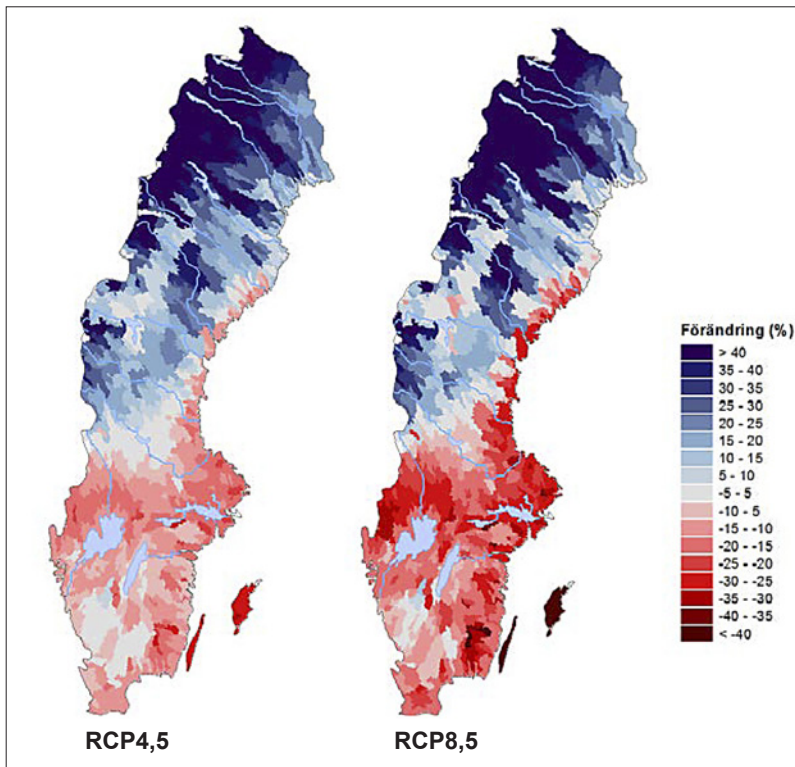
Figur 1.6. Framtida utveckling av brandrisksäsongens längd. Den blekgula färg som täcker det mesta av Norrland 1961–90 står för 15–28 dagar per år och varje nivå i rödare riktning står för i snitt 14 dagars ökning⁶.

I framtiden beräknas brandrisken öka i de områden som redan med dagens klimat är mest utsatta. Det gäller framför allt i Östersjölandskapen. Starten på brandrisksäsongen i dessa områden tidigareläggs mot slutet av seklet med cirka 40 dagar. Slutet av säsongen påverkas inte lika mycket. I södra Sverige bedöms säsongen för brandrisk förlängas med cirka 10 dagar. Sammantaget innebär det en ökning av brandrisksäsongens längd med cirka 50 dagar (*figur 1.6*). Till slutet av seklet beräknas södra och östra Götaland samt östligaste Svealand nå en brandrisksäsong på cirka 100 dagar, på Öland och Gotland möjligen upp till 120 dagar. Slutsatsen är baserad på medelvärden från ett flertal olika klimatsimuleringar bland vilka Echam-modellen och utsläppsscenario A1B dominerar. Frekvensen av åskväder och därmed blixurladdningar har troligen ökat (M. Rummukainen, SMHI, pers komm).

⁶ MSB rapport: Framtida perioder med hög risk för skogsbrand – Analyser av klimatscenarier. MSB535 – Februari 2013

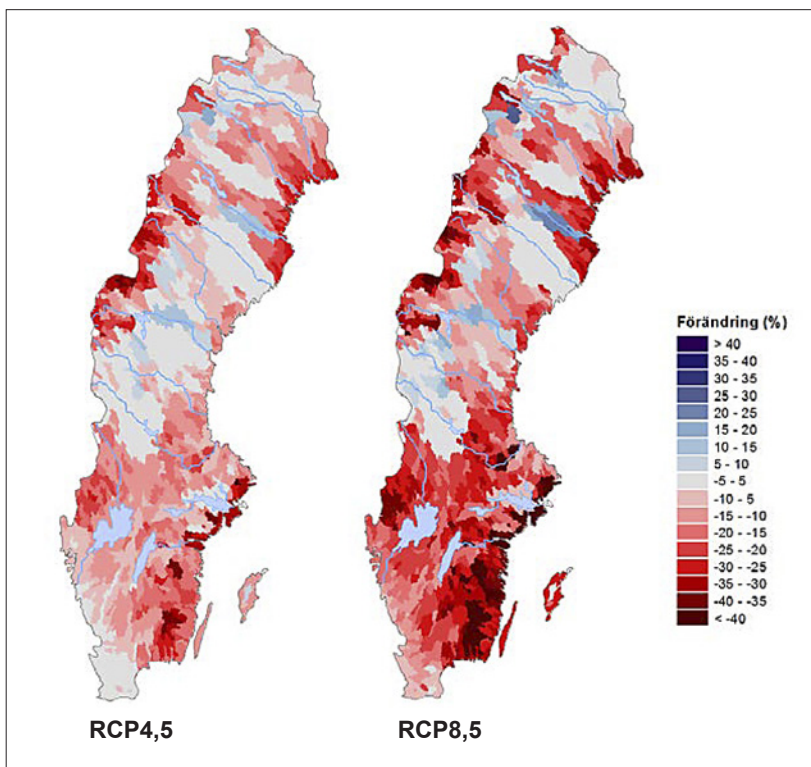


Figur 1.7a Förändring (procent) av vattentillgång för vintern (december, januari och februari) mellan referensperioden 1963–1992 och perioden 2069–2098⁷



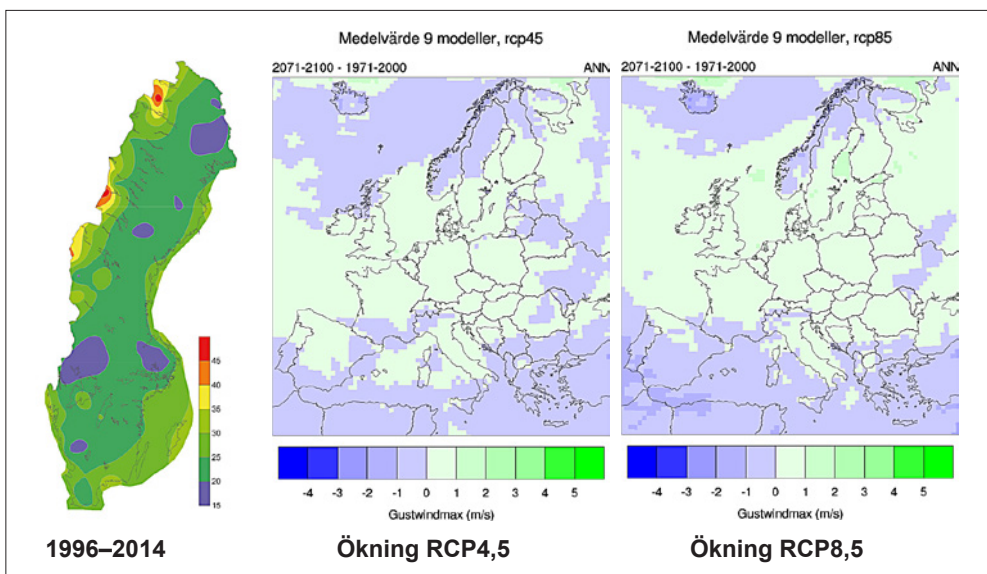
Figur 1.7b. Förändring (procent) av vattentillgång för våren (mars, april och maj) mellan referensperioden 1963–1992 och perioden 2069–2098⁷.

⁷ Eklund m.fl. 2015 (SMHI).



Figur 1.7c. Förändring (procent) av vattentillgång för sommaren (juni, juli och augusti) mellan referensperioden 1963–1992 och perioden 2069–2098⁷.

Hela landet beräknas få ökad vattentillgång (beräknat som nederbörd minus evapotranspiration) vintertid (figur 1.7a). Risken för marktorka beräknas dock öka vår och sommar i Götaland, Svealand och längs södra Norrlandskusten, värst längs ostkusten, (figur 1.7b och c). Att regnet i högre grad faller i samband med åska kan också göra att nederbörden blir ojämnare fördelad i landskapet under sommaren. På hösten beräknas hela landet utom östra Götaland få ökad vattentillgång (Eklund m.fl., 2015).



Figur 1.8. (m/s) Årets maximala byvind i genomsnitt för åren 1995/96 till 2013/14 till vänster samt skattad ökning till 2071–2100 relativt 1971–2000 för RCP4,5 och 8,5 (smhi.se)⁴.

I hela landet gäller att antalet dagar med kraftig nederbörd förväntas öka, för RCP4,5 med 4–8 dagar och för RCP8,5 med 6–12 dagar. Dessa dagar är spridda över året.

Enligt Rosbycentrets skattningar har de starkaste byvindarna har blivit något starkare i södra Götaland (< 1 m/s) och något svagare i norra Norrland (< 1 m/s) för RCP4,5 mot slutet på seklet (*figur 1.8*).

1.4 Klimatförändringarnas effekter på skogen – bakgrund

Ett varmare klimat innebär att den genomsnittliga tillväxten ökar i den svenska skogen och samtidigt ökar sannolikt riskerna för en rad skador som redan idag ger skogsbruket stora kostnader, till exempel rotröta, granbarkborre, snytbagge och andra insekter, stormfällning, vårfrost, sämre bärighet och torka (t.ex. Bergh m.fl., 2007; Eriksson (red) 2007; Jönsson 2013; Eriksson m.fl. *manus*). Rotröta och snytbagge är de skadegörare som orsakar de största kostnaderna (en respektive en halv miljard kronor per år) för skogsbruket för närvarande (Björkman & Stenlid, 2013).

Det sydligaste av våra stora talldominerade områden, Hökensås, har varit utsatt för omfattande tallmätarangrepp bakåt i tiden (Lindelöw, 1997), vilket indikerar att risken för sådana skadeutbrott kan öka norröver med varmare temperaturer. Emellertid kan även skadeinsekternas predatorer gynnas (t.ex. Kollberg, 2013) och andra faktorer påverkas så att sambandet mellan värmeökning och skaderisk inte alls blir linjärt för alla skadeinsekter (Björkman & Niemelä, 2015).

Den ungerska gransköldlusen (*Physokermes inopinatus*) är ett exempel på en ny skadegörare och det är ännu okänt hur svåra angrepp den kan komma att ge upphov till om den breder ut sig norrut. Sommaren 2010 drabbades granskog i södra halvan av Skåne av ett mycket kraftigt angrepp då cirka 1 000 hektar granskog skadades – av lusen i samverkan med en sotsvamp, vilket var cirka 15 procent av den totala arealen granskog i området (Olsson m.fl., 2012). Det är sannolikt att lusens nymfer fördes hit med vinden. Nära hälften av den angripna skogens skadades så svårt att skogen avverkades i förtid (cirka 120 000 m³sk virke). Lusen har tidigare bara hittats i Ungern, Österrike, Ukraina, Rumänien och Grekland (Gertsson & Isacson, 2012). Det är inte orimligt att ökande temperaturer underlättat artens etablering i Sverige.

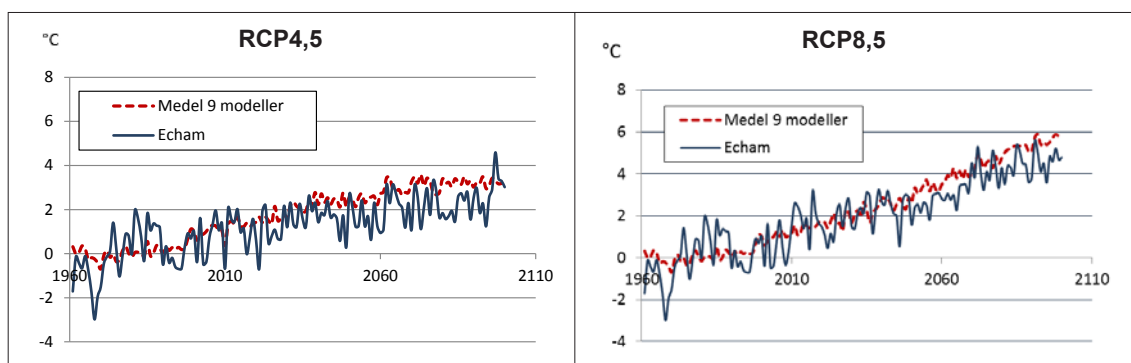
På senare år har många studier gjorts kring om olika skadeeffekter och hur de skapar behov av klimatanpassning inom skogsbruket. Flera har gjorts inom projekten Mistra-SWECIA och Future Forest (t.ex. Bergh (red) 2012; Jönsson 2013; Björkman & Stenlid (red) 2013; Mistra-SWECIA syntesrapport 2015; se vidare Future Forests kommande Ambio-nummer, våren 2016). En sammanställning kring problem och möjliga åtgärder har även gjorts för Östersjöregionen (Krug m.fl., 2015).

2 Material och metoder

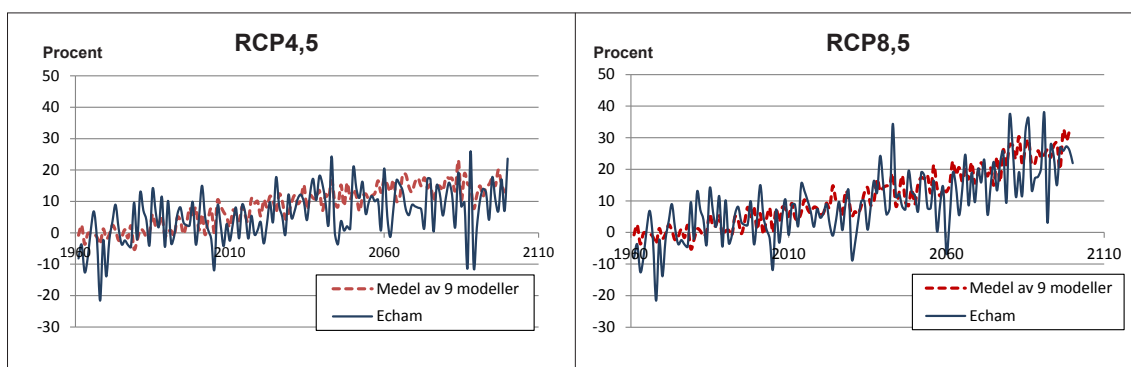
2.1 Val av klimatmodell

Av de nio globala klimatmodeller som SMHI använt för klimatsimuleringar med högre regional upplösning via sin regionala modell RCA4 valde vi att använda data från den globala klimatmodellen MPI-ESM (Echam)⁸. Vi hade inte resurser att köra den processbaserade modellen många gånger och valde då att använda en modell för att inte riskera att ”jämna ut” simulerade torrperioder som av rena slumpskäl förläggs vid olika tider i olika simuleringar. Både för temperatur och nederbörd är det tydligt hur årsmånsvariationer jämnas ut när medelvärden för många modeller används. Detsamma gäller då för modellerade dygnsvärden.

Den valda modellen ligger relativt lågt jämfört med övriga åtta globala modeller/-varianter vad gäller temperaturutveckling (*figur 2.1*) andra sekelhalvan. Det gäller i viss mån även för nederbördsutvecklingen (*figur 2.2*). I simuleringarna användes utsläppsscenarierna RCP4,5 och RCP8,5 (*jämför kapitel 1*).



Figur 2.1. Röd streckad kurva: Skattad utveckling för årsmedeltemperatur jämfört med 1971–2000 i Sverige för RCP4,5 (vänster) och RCP 8,5 (höger) i medeltal för 9 modeller enligt SMHI⁹. Blå heldragen linje visar utfallet enbart för den modell vi valt till den här studien (Echam, MPI-ESM).

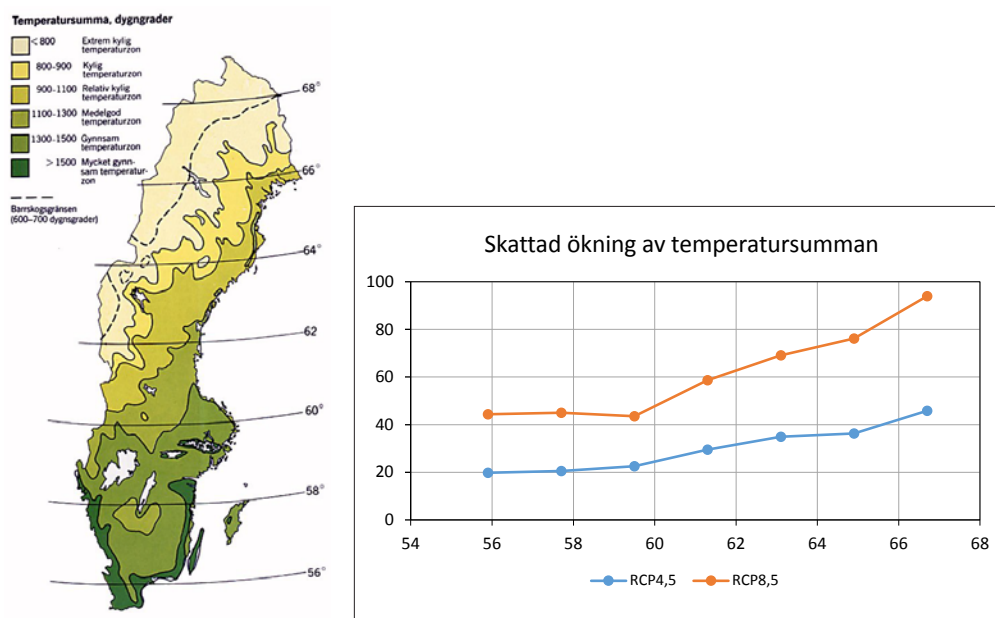


Figur 2.2. Röd streckad kurva: Skattad utveckling för årsnederbörd (procent) jämfört med 1971–2000 i Sverige för RCP4,5 (vänster) och RCP 8,5 (höger) i medeltal för 9 modeller enligt SMHI⁹. Blå heldragen linje visar utfallet enbart för den modell vi valt till den här studien (Echam, MPI-ESM).

⁸ Se <http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm.html>. (Max Planckinstitutet)

⁹ Strandberg m.fl., 2014.

För dagens klimat (referensklimatet) har vi använt dygnsvärden från perioden 1971–2000. För skattning av tillväxtens utveckling i det framtida klimatet användes endast perioden 2071–2100. Data som hämtades till körningarna förelåg i tidserier i ett gridnät med 50*50 km-rutor som täcker hela Sverige.



Figur 2.3 Vänster: uppmätt temperatursumma i medeltal för perioden 1961–1976¹⁰ Höger: här skattad ökning i temperatursumma (summa av dygnsmedeltemperaturer under växtsäsongen: start då dygnsmedel > 5 °C fem dagar i rad och stopp då den är < 5 °C fem dagar i rad) för SMHI:s Ecam-variant - för RCP4,5 och RCP8,5 perioden 2071–2100 jämfört 1971–2000.

2.2 Simulering av klimatets påverkan på skogstillväxt

I grunden är det klassiska tillväxtmodeller baserade på empiriska data som skattar trädens tillväxt i RegVis, olika för olika trädslag. RegVis är en del av Heureka-systemet (se kap 1.1). De empiriska modellerna är överlägsna när det gäller att beskriva variationen mellan ståndorter och trädslag i virkesproduktion, men för att kunna förutsäga tillväxten i ett förändrat klimat fungerar de inte, då de bygger på historisk tillväxt. Då krävs en funktionell, processbaserad, modell som bygger på klimatets direkta inverkan på tillväxten. Därför utvecklas en sådan modul till Heureka och det är kombinationen av modelltyperna som utgör den nuvarande tillväxtmodellen.

En processbaserad modell för biomassatillväxt, som exempelvis BIOMASS, kan skatta hur ändringar i klimatet påverkar produktionen för olika kombinationer av mark- och beståndstyper. Det som då simuleras är den primära effekten av klimatförändringar på trädens tillväxt med återkoppling från markens bördighet och effekterna på denna, eller med andra ord hur klimatet påverkar trädens fotosyntes och respiration. Respirationen

¹⁰ Lundmark, 1986.

inkluderar hela trädets tillväxtrespiration och underhållsrespiration, alltså respirationen från blad, grenar, stammar, och rötter. Nettot av fotosyntes och respiration bestämmer hur mycket biomassa som träden kan producera under det givna klimatet. Den relativa förändringen används för att justera den tillväxt som den empiriska modellen ger.

Bladyteindex är den totala bladytan över en given markyta i förhållande till ytan på den givna markytan (total bladyta/markyta). Bladyteindex är starkt korrelerat med dels ljusinfångningen som ligger till grund för fotosyntesen och därmed produktionen, dels beståndets vattenförbrukning då större bladyta ger större transpiration (avdunstning).

BIOMASS utvecklades av McMurtrie m.fl. (1990) och har modifierats och validerats för svenska förhållanden i en rad studier (Bergh et al. 1998, Freeman & Linder 2001, Bergh m.fl., 2003; Freeman m.fl., 2005). Den är baserad på kunskap om trädets fysiologiska processer i samspel med det omgivande klimat och drivs av klimatdata på dygnsbasis. Storleken på den simulerade produktionen bestämmas av inkommande solljus, lufttemperatur, luftfuktighet och vattenbalansen mellan nederbörd och avdunstning.

En för svenska förhållanden anpassad variant av BIOMASS användes för att skatta ändringen i tillväxt under perioden 2071–2100 relativt 1971–2000 för dagens klimat, RCP4,5 och RCP8,5. För varje trädslag skattades klimateffekten på tillväxten för en matris med nio typer av tillstånd innehållande tre klasser av bladyteindex och tre klasser av markfuktighet. Simulerade värden av bladyteindex för gran är 3 och 6 och 9 och för tall 1,5 och 3 och 4,5. Klasserna för markfuktighet är torr, frisk och fuktig (fuktig är inklusive frisk-fuktig). Simuleringar för att få fram tillväxtresponserna för de nio fallen gjordes för trädslagen gran och tall. För att kunna simulera klimatresponserna för bestånd med andra bladyteindex anpassades en funktion till klimatresponserna för de tre olika bladyteindexen för var och en av de tre markfuktighetsklasserna. Responserna för contortatall, björk och asp antogs följa den för tall, och responserna för bok, ek och övriga antogs följa den för gran. I RegVis skattas den totala bladytan som en funktion av bladbiomassan, vilken i sin tur beräknas med biomassafunktioner. I ett blandbestånd vägs bladyteindex för ingående trädslag samman utifrån volymandel för respektive trädslag.

Klimatresponserna på produktionen från den mest passande av de nio simuleringarna med den processbaserade modellen användes sedan i RegVis för att justera tillväxten från den empiriska modellen för varje femårsperiod. Den efterföljande perioden växer träden enligt det skogstillstånd som råder efter att tillväxten har justerats på detta sätt.

Den bördighet som ståndorten har när simuleringarna påbörjas är en funktion av vegetationstypen när simuleringarna påbörjas. Bördigheten mätt som ståndortsindex förbättras sedan när temperaturen ökar. För att träden ska kunna ta tillvara hela den möjliga ökningen i tillväxt måste marken kunna försörja träden med motsvarande större mängd näring. I den processbaserade modellen antas i basfallet optimala näringsförhållande. I klimatmodellen i RegVis reduceras därför klimatresponserna, mer ju lägre bördigheten är (mätt som aktuellt ståndortsindex).

Vattentillgången i BIOMASS är parametrerad och validerad utifrån det som kallas ”uppmätt nederbörd”. Det är ett känt faktum att uppmätt nederbörd underskattar den verkliga nederbörden (jämför resonemang i MSB 2013). Det är dock osäkert hur stor underskattningen är i olika fall eftersom det är genuint svårt att mäta nederbörd på ett säkert sätt. Klimatmodellerna ger en nederbörd som hamnar betydligt högre än uppmätt även vid dagens klimat. Sannolikt ligger den närmare den verkliga, men i detta fall justerade vi ner nederbörden, motsvarande skillnaden mellan beräknad och uppmätt vid dagens klimat, för att anpassas till BIOMASS i enlighet med dess utformning.

2.3 Simulering av stormfällning

För att bättre få en beskrivning av avgången i samband med större stormar har en ny modul till RegVis utvecklats. Den baseras på den statistik om historiska stormar som finns från 1900, där vi utnyttjat data från 1953 till 2013. Uppgifter på länsnivå om hur stora volymer som fallit i stormen har använts – se figur 2.4 (Nilsson, 2008), samt nyare information från Skogsstyrelsen.

Skogens känslighet för vindskador (sensitivitetsindex) beräknas med en vindskademo-
dell som utvecklats av Lagergren m.fl. (2012). Viktiga variabler i vindskademo-
dellen är trädslag, diameter och höjd för det enskilda trädet, medelhöjd på provytan i förhållan-
de till grundtyevägd medelhöjd på länsnivå, tid sedan gallring och gallringsstyrka, en
variabel som anger ifall marken var tjälad eller otjälad. En vindstyrkefaktor beräknades
utifrån observerade stormskador och information från Riksskogstaxeringen om skogs-
tillståndet de aktuella åren med storm. Volymen stormskadad skog på respektive provyta
inom Riksskogstaxeringen erhöles genom att multiplicera stående volym med sensitivi-
tetsindex enligt vindskademo-
dellen och vindstyrkefaktorn. Vindstyrkefaktorn justerades
så att den beräknade stormskadade volymen var lika med den observerade på länsnivå.
Vindstyrkefaktorn blir på så sätt ett mått på respektive storms styrka. En matris med
vindstyrkefaktorer för alla beräkningsperioder skapas för perioden 1953 till 2012. Den
matrisen appliceras sedan länsvis för kommande 61 år (2014–2074), för att sen åter upp-
repas från 2075 och framåt.

I en separat studie där tjäldjupet vid de olika stormarna beräknats med modeller har det
kunnat visas att nästan samtliga stormar med omfattande skador har inträffat då marken
varit otjälad¹¹. Vi har därför, så här långt, förenklat modellen genom att anta att framtida
stormar också inträffar på otjälad mark. Andelen av en trädklass som fälls av en specifik
storm beräknas därför som produkten av trädets sensitivitetsindex (TSI) och vindstyrke-
faktorn. TSI beräknas som produkten av exponeringsindex, provytans höjindex, provy-
tans rotstabilitetsindex, trädets höjindex och trädets sensitivitetsindex.

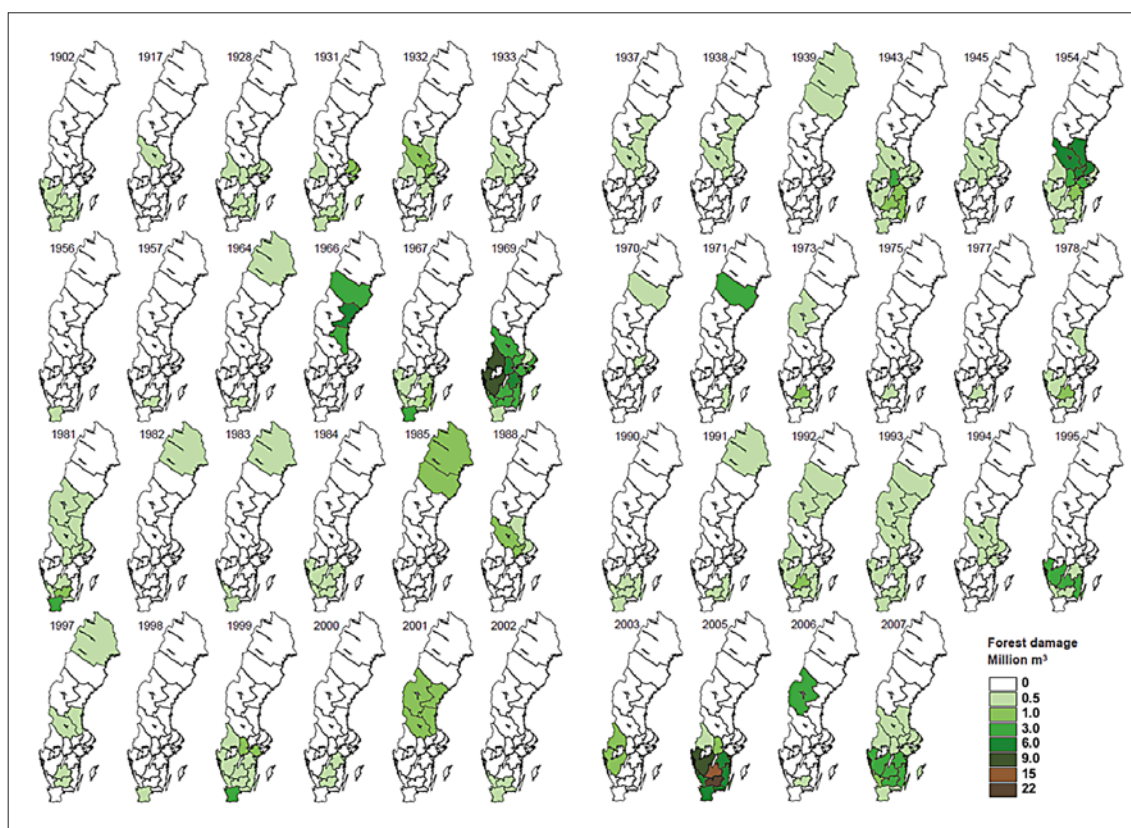
Att andelen mark som kommer att vara otjälad sannolikt kommer att öka till följd av
klimatförändringarna beaktas ännu inte i denna modul, då funktionssambanden bedöm-
des vara osäkra. Även det faktum att grundvattennivåerna kommer att höjas vintertid i
stort sett i hela landet (se fig 1.7a) bör minska rotstabiliteten hos träden, framförallt på

¹¹ Muntlig ref Urban Nilsson, SLU.

fuktig mark. Denna faktor beaktas inte heller, av skälet att det kvantitativa sambandet mellan grundvattennivå, och dess variation över året, och stormfällning inte är närmare undersökt.

Exponeringsindex beräknas med hjälp av andelen skog i landskapet och beståndens medelstorlek. Provytans höjindex anger relationen mellan provytans effektiva höjd och det aritmetiska medelvärdet av grundtyvägd medelhöjd på landskapsnivå. Provytans ”effektiva höjd” tar hänsyn till att barrträd har större förmåga att bromsa vinden. Den beräknas genom att medelhöjden multiplicerats med 1 för barrträd och 0,5 för lövträd. Provytans rotstabilitetsindex är ett uttryck som speglar effekten av tid sedan gallring och gallringsstyrka. Ju närmare i tiden gallringen har utförts och ju högre gallringsstyrka desto högre index för rotstabilitet. Trädets höjindex beräknas som relationen mellan det enskilda trädets höjd och provytans grundtyvägda medelhöjd. Trädets sensitivitetsindex tar hänsyn till trädets slankhet (slankare träd har högre sannolikhet att fällas) och trädslagsskillnader. Gran har högre sannolikhet att fällas än tall och tall har högre sannolikhet att fällas än lövträd.

Resultatet av ovanstående vindskademodell blir att stormarna upprepas med samma mönster i tid och geografi som de historiska stormarna mellan åren 1953 och 2013.



Figur 2.4. Större stormfällningar som noterats i skogsvårdsstyrelsernas/ Skogsstyrelsens skaderegistrering 1902–2007 (Nilsson, 2008).

För varje beräkningsperiod (fem år) och län kollar RegVis i matrisen om det finns något värde på vindfaktorn som är större än 0, det vill säga om det förekommer någon storm i länet under femårsperioden. Om så är fallet så beräknas stormskador per provyta med det aktuella skogstillståndet. När vi modellerar skogen i framtiden med de beräknade vindfaktorerna kommer den i normalfallet att ha ett annat utseende än då originalstormen uppträdde. Därför kommer variablerna som beskriver beståndsstruktur i modellen resultera i att en annan volym faller nu än i originalstormen. Om vi simulerar ett skogsbruk med många gallringar och långa omloppstider så kommer det att finnas mer nygallrad skog och mer hög skog i framtiden än när den riktiga stormen uppträdde. Då faller det också mer volym. Och omvänt, om vi avverkar all skog före 15 meters höjd kommer en storm som i originalet fällde mycket skog inte att fälla någon skog alls.

När stormfällda volymen för en simulerad storm i ett beräkningsområde beräknats, skall den volymen fördelas på provytor, där ytorna sorterats efter sannolikhet för att drabbas (sensitivitetsindex). Därefter görs en uppdelning på om allt kommer att blåsa ner eller om det kommer att bli träd kvar. I det första fallet hanteras det som en föryngringsavverkning och i det andra fallet som en gallring. I SKA 15 har antagits att 64 procent av ytorna kommer att blåsa ner totalt och resten gallras. Av den nedblåsta volymen kommer 8 procent att bli kvar som död ved i produktionsskog, medan allt blir kvar som död ved i reservat och på hänsynsmark som sparats för fri utveckling

Variabler som hämtas från RegVis är trädets diameter och höjd, trädslag, gallringsstyrka och tid sedan gallring. Vindstyrkan för varje ingående trädfällande storm angavs länsvis. Ett exponeringsindex skattades på länsnivå.

2.4 Scenarier för skogens utveckling inom SKA15

I SKA 15 beräknas och analyseras sex nationella scenarier, varav tre behandlas i denna rapport. För en närmare beskrivning och resultat, se Claesson m.fl., 2015 och Eriksson m.fl., 2015. Grundscenariot, *Dagens skogsbruk*, avser att spegla en utveckling där skogen används och sköts så som den gjort de senaste åren och som följer ett någorlunda sannolikt klimatscenario, det vill säga RCP4,5. I valet av klimatscenario för de flesta SKA 15-scenarierna var det en balansgång mellan att räkna på den utveckling som möjligen är mer ”sannolik” ur ett pessimistiskt perspektiv och den åtgärdsutveckling som faktiskt krävs för att inte alltför många människoliv ska gå till spillo till följd av direkta effekter, exempelvis mer torka, skred på grund av värre skyfall eller översvämning till följd av havsyttehöjningen.

Det är alltså högst önskvärt för väldigt många människor att utsläppsutvecklingen närmar sig RCP2,6 men för närvarande följer vi närmast RCP8,5. Det är främst två faktorer som bromsar utvecklingen – svårigheten att få till en rättvis fördelning av omställningskostnader mellan länder (det kan löna sig allra bäst att vara en ”free rider”¹²) och det faktum att de som tjänar på den nuvarande utvecklingen kan använda stora resurser till

¹² Andra vidtar tillräckliga åtgärder så att kostsamma skadeeffekter uteblir, men free-ridern fortsätter att använda billig energi och teknik och spar på så sätt pengar och får fördel i konkurrensen.

att motarbeta processen. Mot den bakgrunden valde vi att använda RCP4,5 som huvudklimatscenario.

Dagens skogsbruk

Scenariot beskriver utvecklingen förutsatt att nuvarande (cirka 2008 – 2013) inriktning och ambitionsnivå i skogsskötseln och observerat avverkningsbeteende i *kvalitativt* hänseende kvarstår. Avverkningen betecknas *potentiell avverkning* och är, *kvantitativt*, så hög som möjligt utan att den efterföljande avverkningen nämnvärt behöver minska, vilket innebär att den är lika hög som nettotillväxten i skogen på virkesproduktionsmark. Arealindelning i markanvändningsklasser görs baserat på senaste observerade faktiska situation. I beräkningarna antas en förändring av klimatet motsvarande utsläppscenariot RCP4,5. Klimatförändringen i sin tur påverkar trädens tillväxt och markens bonitet. Någon påverkan av klimatförändringar på risken för skador ingår inte i scenarierna, utöver viss brist på vatten torra sommarperioder. Detta scenario motsvarar scenariot *90-talets skogsbruk* i SKA 99 och *Referensscenariot* i SKA-VB 08, även om såväl skogsskötseln som beräkningsmodulerna har utvecklats.

Utan klimatförändring

Skötsel, indelning i markanvändningsklasser och övriga allmänna förutsättningar är samma som i scenariot *Dagens skogsbruk*. I scenariot finns dock ingen effekt på trädens tillväxt på grund av ett förändrat klimat.

Klimatförändring RCP8,5

Skötsel, indelning i markanvändningsklasser och övriga allmänna förutsättningar är samma som i scenariot *Dagens skogsbruk*. I scenariot förutsätts dock en förändring av klimatet motsvarande utsläppscenariot RCP8,5.

2.5 Effektanalys av skogsbruk med olika stormskaderisk

I denna analys simuleras effekterna av dels en skogsskötsel som bedöms minska stormskadorna jämfört med grundscenariot i SKA 15 *Dagens skogsbruk*, (DS), dels en skogsskötsel som bedöms öka stormskadorna. Simuleringarna benämns ”*Stormstabilare skogsbruk*” (SS) respektive ”*Stormskaderiskskogsbruk*” (SR). Effektanalysen gjordes för Jönköpings län (F län) och Västerbottens läns kustland (ACK) – här också kallat Västerbotten.

Effekterna av storm på skogen simuleras med hjälp av den vindskademodell som beskrivs i avsnitt 2.3 ovan. I simuleringarna delas avgången upp i två delar på det sätt som görs i vindskademodellen:

- avgång bestående av virkesvolymen stormfällda träd som tas tillvara för vidare användning (i beräkningarna har genomgående antagits att 92 procent tagits tillvara).
- avgång som består av stormfällning och all annan naturlig avgång, men med det gemensamma att avgångna träd inte tas tillvara.

Med en skogsskötsel som bedöms leda till en mer stormstabil skog förändras sannolikt också risken för andra skador som till exempel svamp- och insektsskador. Hur dessa

andra skador påverkas av olika skötsel analyseras inte i närmare, utan avgångsvolymer som beror på annan typ av naturlig avgång än stormfällning adderas till volymen stormfällning som inte tas tillvara och bildar den totala virkesvolymen som inte tas tillvara.

I effektanalysen av ett skogsbruk med olika stormskaderisk jämförs möjlig avverkningsvolym, årlig genomsnittlig stormfälld volym som tas tillvara, samt avgång som inte tas tillvara (både stormfälld volym och annan avgång som till exempel självgallring¹³). Vidare beräknas hur stor andel avgången utgör av den möjliga avverkningsvolymen, det vill säga hur stor andel virke som antingen stormfällts och tas omhand (till större kostnad än annars) eller stormfällning och annan avgång som blir kvar i skogen. Därutöver redovisas ett urval träd- och beståndsdata. Resultaten presenteras i huvudsak som medeltal för hundraårsperioden.

Det som skiljer SS från SR är att i SR gallras skogen vid fler tillfällen och sker en styrning mot högre beståndsåldrar vid förnygringsavverkning, det vill säga en skötsel som erfarenhetsmässigt är mer riskabel med hänsyn till stormskador (*tabell 1*).

Tabell 1. Grunddata för effektanalysen av skogsbruk med olika stormskaderisk för scenariot *Dagens skogsbruk* (DS) samt simuleringarna Stormstabilare skog (SS) och Stormskaderisk-skogsbruk (SR). F län = Jönköpings län, ACK = Västerbottens läns kustland. Relativ LÅF = Lägsta ålder vid förnygringsavverkning i för hållande till skogsvårdslagens föreskrifter¹⁴. Gallringsandel = Andel av total avverkningsvolym som tas ut vid gallring.

		Relativ LÅF (år)	Högsta gallringsålder relativt LÅF (år)	Gallringsandel (procent)
F län	DS	0,9	0,9	Medel
F län	SS	0,7	0,7	Låg
F län	SR	1,1	1,1	Hög
ACK	DS	0,9	0,9	Medel
ACK	SS	0,7	0,7	Låg
ACK	SR	1,1	1,1	Hög

¹³ Den del av naturlig avgång som består av avgång genom trängselverkan.

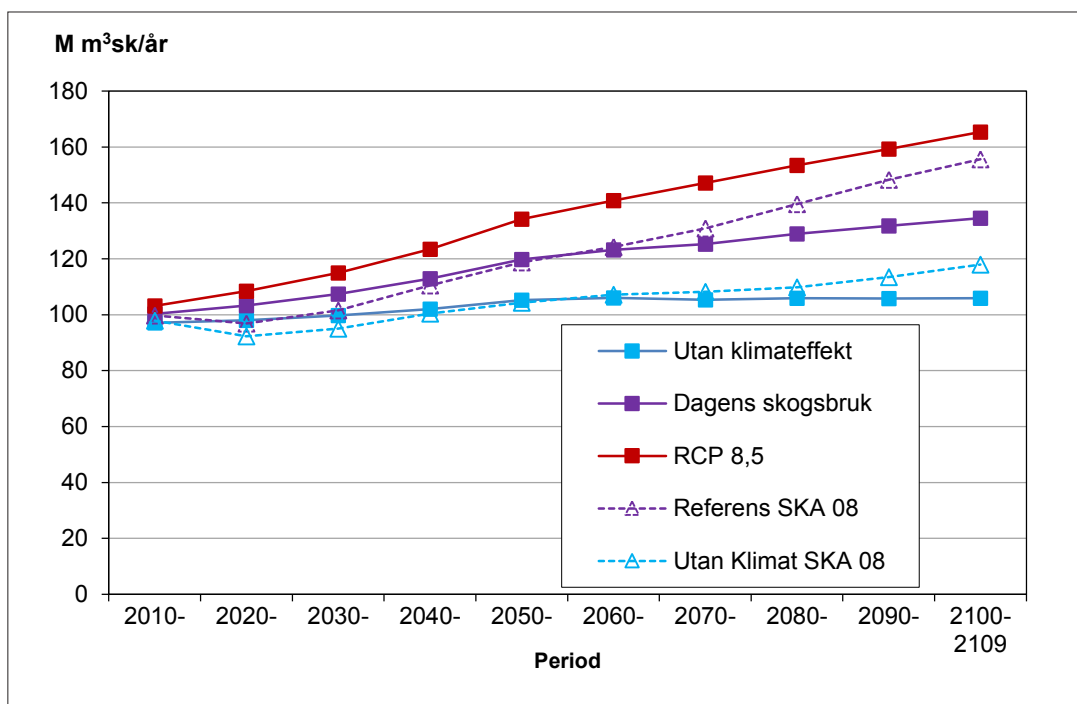
¹⁴ Skogsvårdslagstiftningen. Gällande regler från 18 juni 2015. Tillgänglig på: www.skogsstyrelsen.se

3 Resultat

3.1 Tillväxt

När fokus i den här redovisningen ligger på jämförelse mellan klimatalternativen kallas *Dagens skogsbruk* ibland för RCP4,5 och *Klimatförändring RCP8,5* för bara RCP8,5. Samtliga dessa scenarier baseras på dagens (2008–2012) skötsel och avverkning nära den potentiella.

RCP4,5 beräknas ge en ökning i tillväxten på drygt 30 procent till 2090–2100 jämfört med 2000–2010 och hamna på 135 miljoner m³sk per år på produktionsmark. Om klimatet legat kvar på den nivå som rådde 1970–2000 beräknas tillväxten istället hamna på 106 miljoner m³sk per år. För RCP8,5 beräknas tillväxten öka dubbelt så mycket – till 165 miljoner m³sk per år.



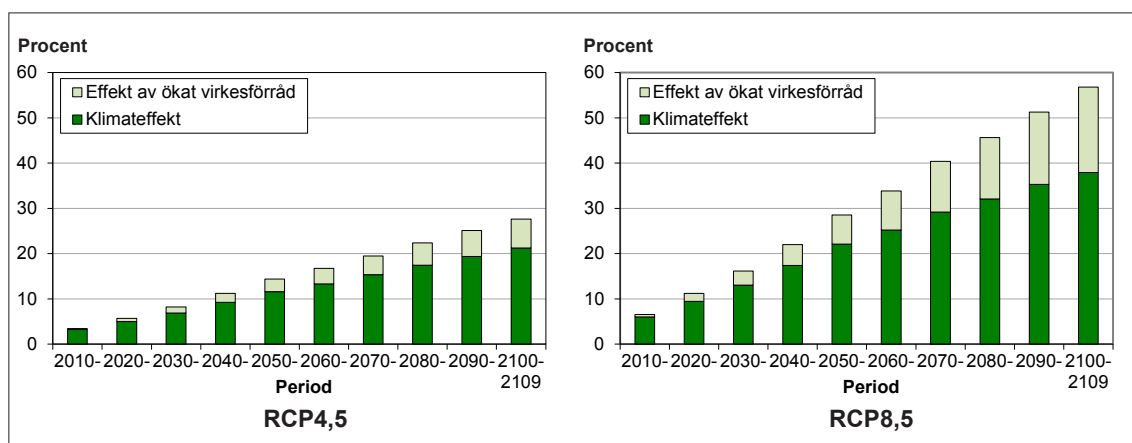
Figur 3.1. Bruttotillväxtens utveckling på virkesproduktionsmark (ej reservat, frivilliga avsättningar eller hänsynsytor) för SKA15-scenarierna Ingen klimatförändring (Utan klimateffekt), Dagens skogsbruk (RCP4,5) och Klimatförändring RCP8,5 och SKA08-scenarierna Referens (B2) och Utan klimatförändring¹⁵.

RCP4,5 beräknas alltså ge nära 30 och RCP8,5 nära 60 miljoner m³sk per år större tillgänglig tillväxt än om klimatet legat stabilt. Emellertid, eftersom hela tillväxten inte avverkas kommer man, förutom den egentliga klimateffekten, också att få en del extra tillväxt som beror av ökat virkesförråd. En beräkning av fördelningen mellan dessa två faktorer betydelse för tillväxten visade att virkesförrådsfaktorn är ungefär en fjärdedel av hela effekten för RCP4,5 och en tredjedel för RCP8,5 vid slutet av seklet (figur 3.2).

¹⁵ SKA 08: Claesson m.fl. 2008.

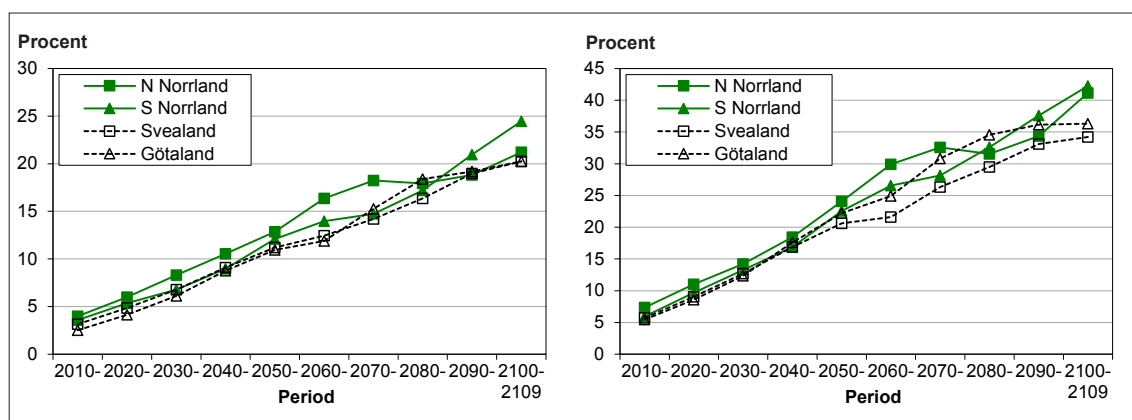
Själva klimatförändringens inverkan på tillväxten beräknas således till 21 procent för RCP4,5 och 37 procent för RCP8,5 vid nästa sekelskifte relativt perioden 2000–2010.

Den skattade tillväxten för *Dagens skogsbruk* slutar cirka 10 miljoner m³sk lägre än Referensscenariot i SKA08 gjorde (figur 3.1). Skillnader finns i bland annat tillväxtmodell, skötsel, avgångsfunktioner och avverkningsregim (mer av tillväxten avverkas i SKA 15), men också i olika delar i RegVis som utvecklats under årens lopp.



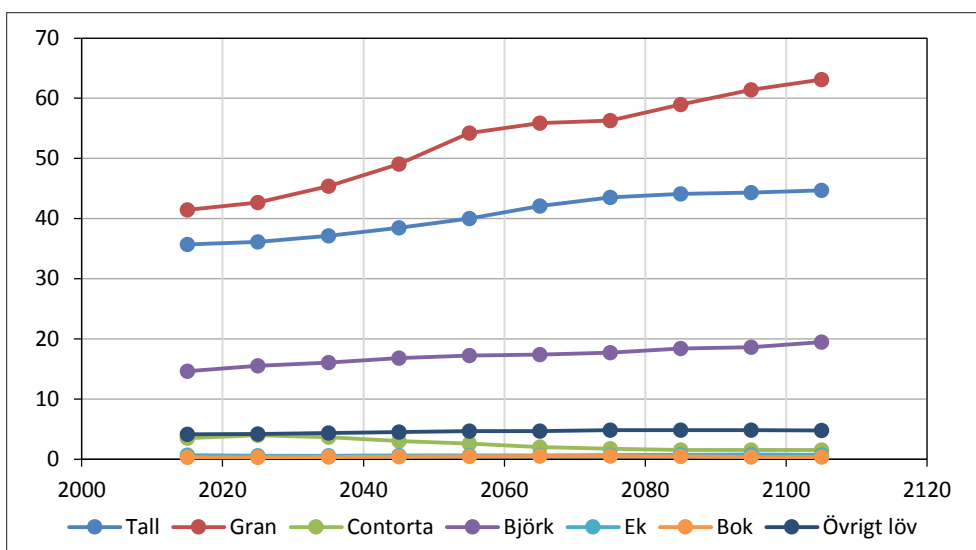
Figur 3.2. För virkesproduktionsmark: Tillväxtens ökning uppdelat på klimateffekt (mörkgrönt) och effekt av ökat virkesförråd (ljusgrönt) för *Dagens skogsbruk* (RCP4,5) och Klimatförändring RCP8,5.

Tillväxten ökar något snabbare i norr än i söder (figur 3.3). Under andra halvan av seklet uppkommer variationer i utvecklingen som delvis beror på antagna skillnader i stormfällning och som gör att avverkningsnivåerna börjar variera mer mellan decennierna, framförallt i norra Norrland. I perioden 2100–2109 skattas tillväxthöjningen bli klart högst i södra Norrland för RCP4,5, medan hela Norrland har dragit ifrån för RCP8,5. Räknat i kubikmeter per år blir istället ökningen störst i söder (figur 3.7).



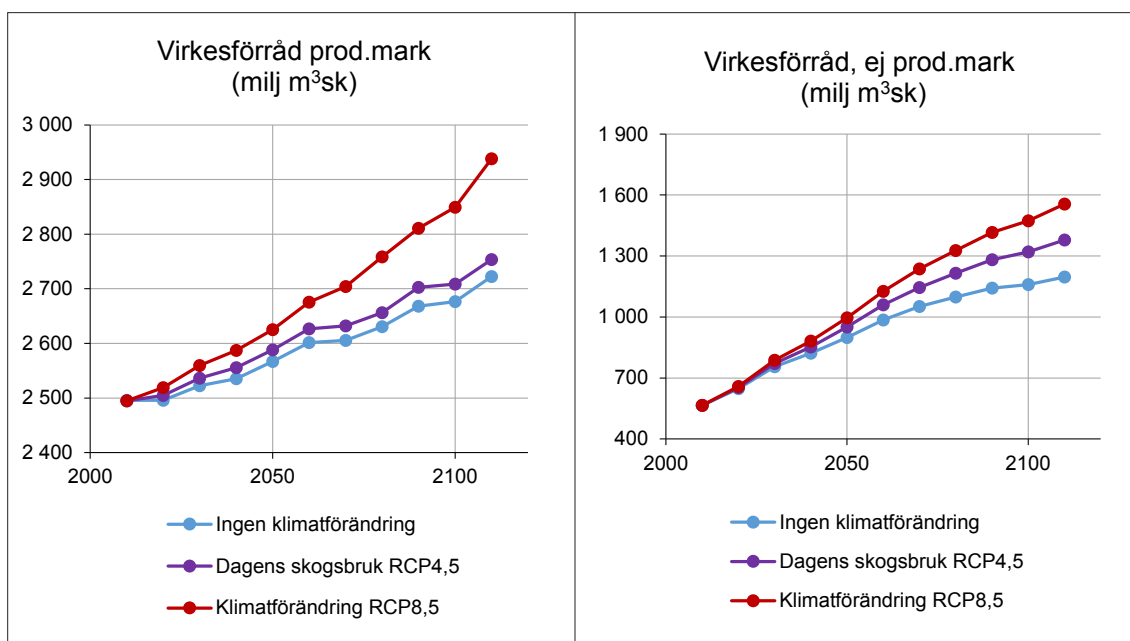
Figur 3.3. För virkesproduktionsmark: Tillväxtens ökning i olika landsdelar för *Dagens skogsbruk* (RCP4,5) respektive Klimatförändring RCP8,5

Sammanlagt i hela landet beräknas granen öka sin tillväxt mest i absoluta siffror (figur 3.4), mer än dubbelt så mycket som tallen.



Figur 3.4. Den ökade tillväxtens fördelning på trädslag för Dagens skogsbruk (RCP4,5) på virkesproduktionsmark.

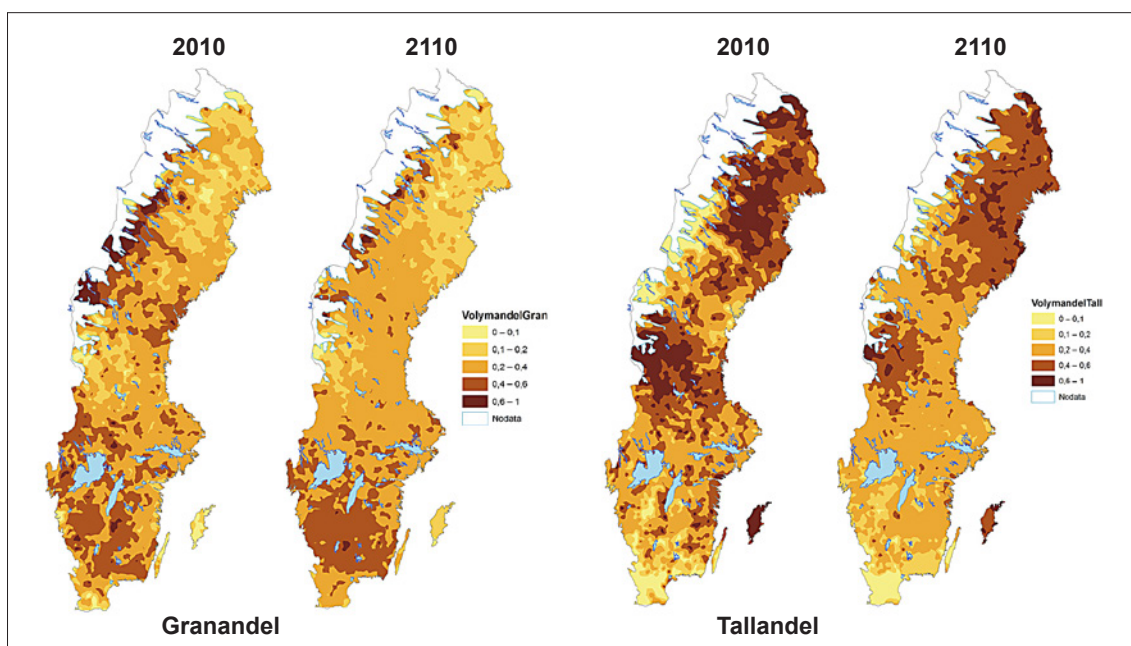
Modellen är inställd så att i stort sett hela tillväxten ska avverkas på virkesproduktionsmarken, men avverkningen ligger ändå steget efter (jämför metodbeskrivning i Claesson m.fl., 2015) och därför ökar virkesförrådet påtagligt i alla tre klimatalternativen. Mest ökar det för *Klimatförändring RCP8,5*.



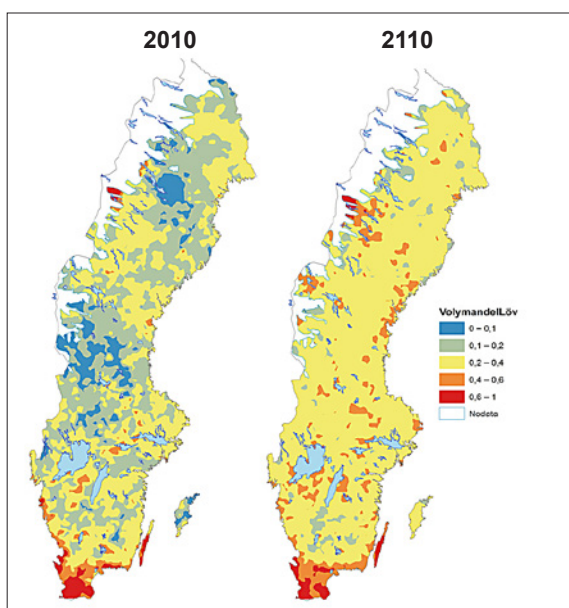
Figur 3.5 Virkesförrådets utveckling på virkesproduktionsmarken (vänster) respektive undantagen mark (reservat, frivilliga avsättningar och hänsynsytor) (höger)

3.2 Effekt på trädslagsfördelning

Tillämpning av dagens skötsel i kombination med övriga påverkansfaktorer beräknas innebära att granandelen i minskar i Norrland och Svealand och ökar i Götaland (*figur 3.6a och b*). Tallandelen minskar i alla landsdelar och lövandelen ökar i alla landsdelar.



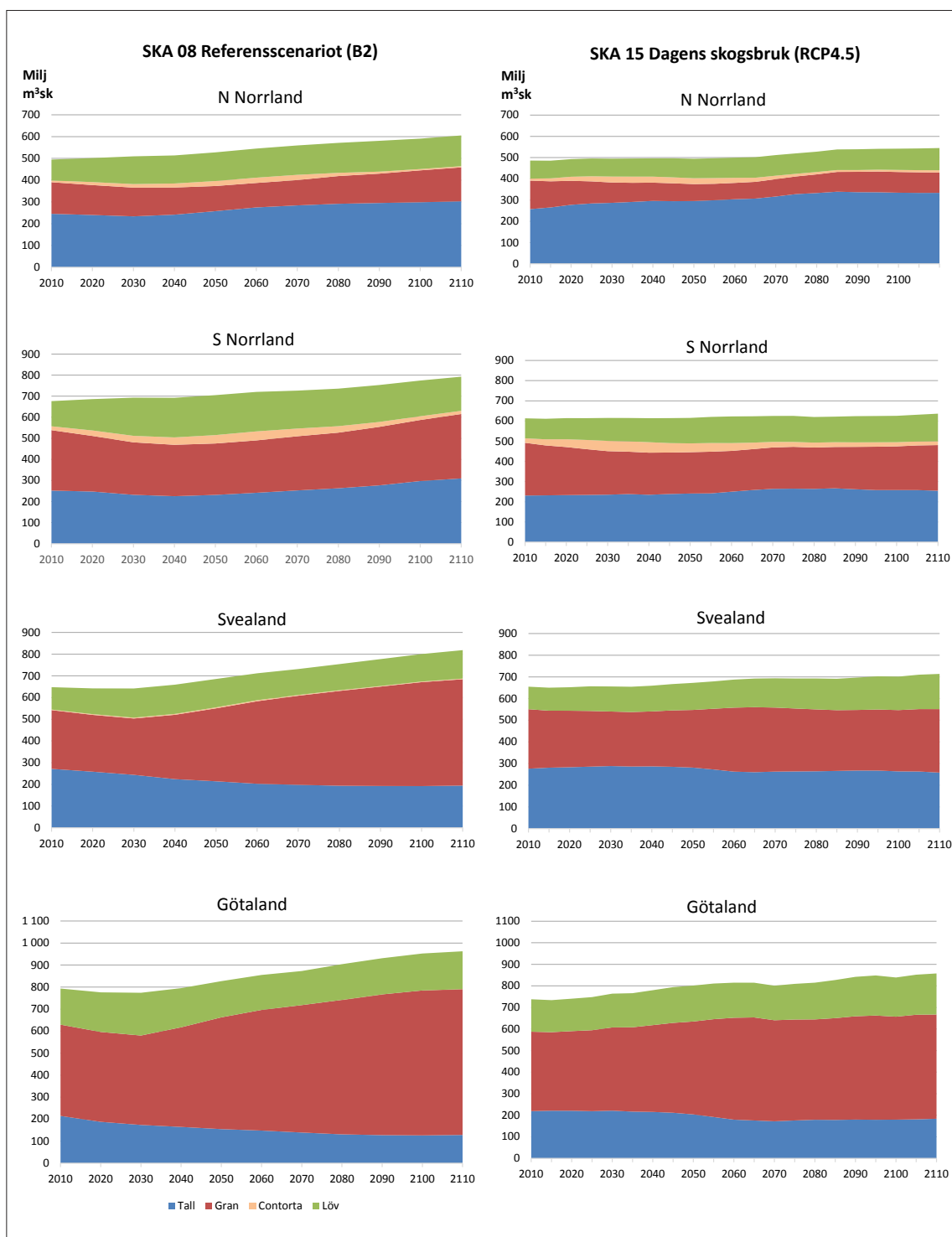
Figur 3.6a. Skattad förändring i granandel respektive tallandel för Dagens skogsbruk (RCP4,5) på all produktiv skogsmark.



Figur 3.6b. Skattad förändring i lövandel för Dagens skogsbruk (RCP4,5) på all produktiv skogsmark.

Om man istället tittar på förändringen i virkesförråd och begränsar synfältet till produktionsmarken är förändringen inte lika påtaglig (figur 3.7). I Götaland ökar granen och i någon mån lövet, i viss utsträckning på tallens bekostnad. I Svealand är förändringen liten för tall och gran medan lövet ökar. I södra Norrland, med minst total ökning, ökar tall och löv något på granens bekostnad. I norra Norrland ökar tallen stort medan granen minskar något och lövet ökar något.

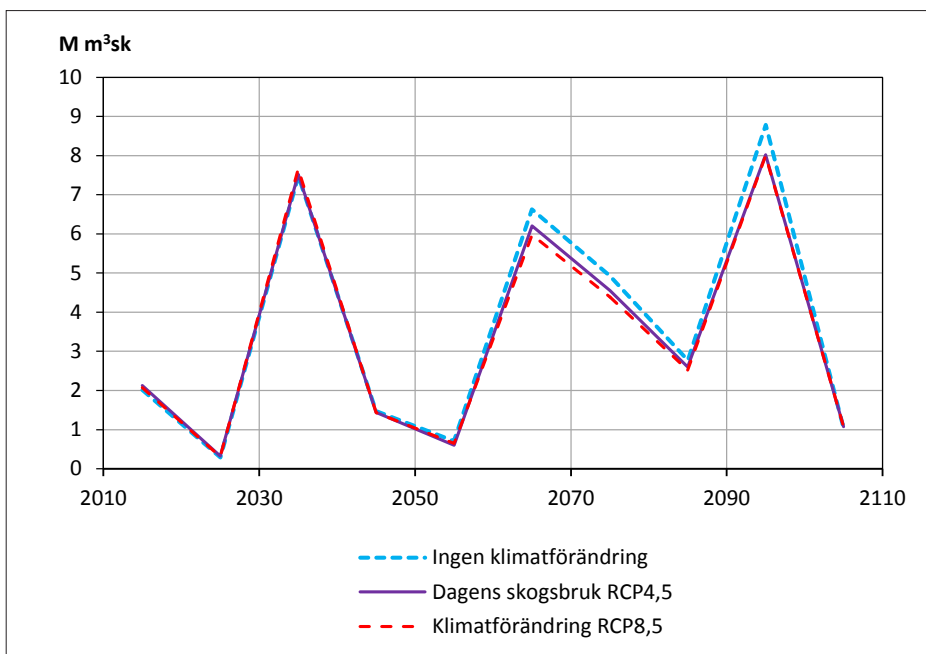
Jämfört med resultatet från SKA-08 är ”förgränningen” av produktionsmarken i Götaland mindre påtaglig nu. Det beror till viss del på att mer av tillväxten avverkas i SKA 15 och att virkesförråden därmed hindras från att växa lika mycket.



Figur 3.7. (milj m³sk) Utveckling och virkesförrådets fördelning på trädslag för SKA08 – referensalternativet (med B2) till vänster och SKA 15 – Dagens skogsbruk (med RCP4,5) till höger på virkesproduktionsmark. Blå = tall, beige = contorta, röd = gran, grön = löv.

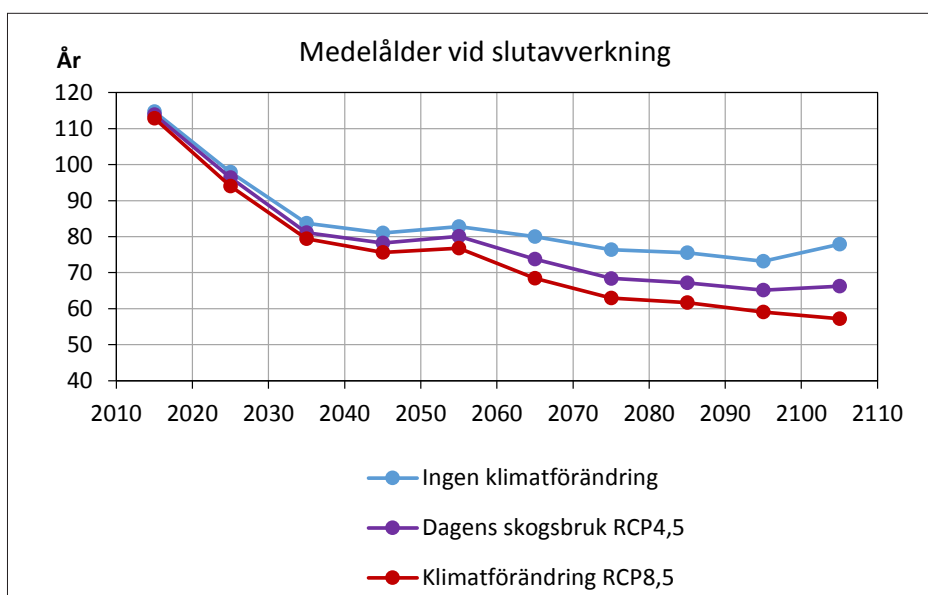
3.3 Stormfällning och avgång

Den nya stormskademodulen resulterar i liten skillnad i stormfälld volym mellan de olika klimatscenarierna (figur 3.8). Under andra halvan av seklet ligger Ingen klimatförändring högst.



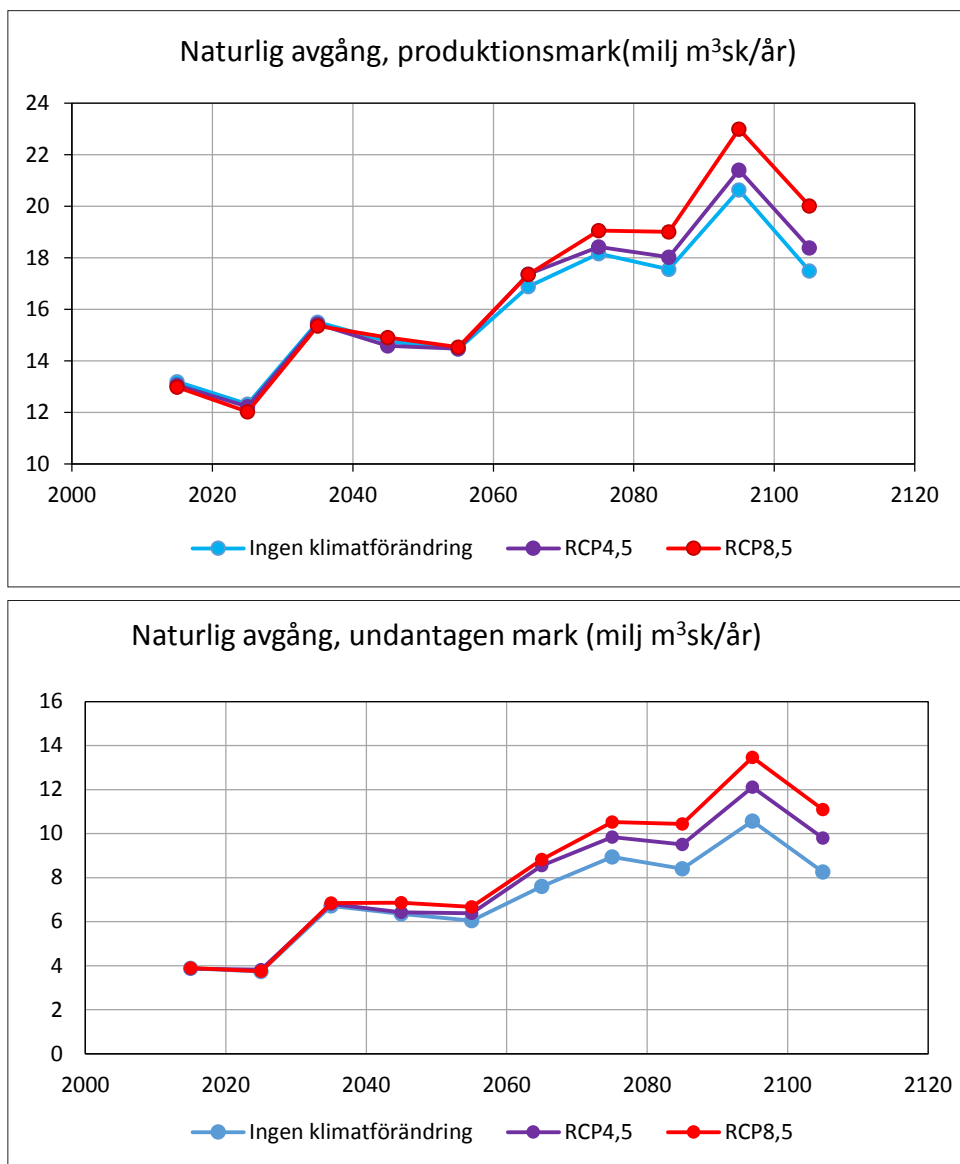
Figur 3.8. Skattad mängd tillvarataget virke från större stormfällningar på virkesproduktionsmark för Ingen klimatförändring, Dagens skogsbruk (RCP4,5) och Klimatförändring RCP8,5.

Medelåldern vid slutavverkning sjunker olika snabbt för klimatalternativen och slutar för RCP8,5 vid 57 år, medan den för RCP4,5 slutar på 66 år och för Ingen klimatförändring 78 år (figur 3.9).



Figur 3.9. Utveckling av medelålder vid slutavverkning för Ingen klimatförändring, Dagens skogsbruk (RCP4,5) och Klimatförändring RCP8,5.

Skillnaden mellan klimatscenerierna skattas bli betydligt större för naturlig avgång (figur 3.10) än för tillvarataget stormfällt virke. En del av den naturliga avgången utgörs av stormfällt virke från större stormfällningar och en annan del är strövindfällnen som inte tas omhand (som ingick i avgångsfunktionerna även tidigare).



Figur 3.10 Naturlig avgång på produktionsmark (ovan) respektive på skyddad mark (nedan) för Ingen klimatförändring, Dagens skogsbruk (RCP4,5) och RCP 8,5

3.4 Effektanalys av skogsbruk med olika stormskaderisk

3.4.1 Möjlig avverkning

Effektanalysen visar att *Stormstabilare skogsbruk* (SS) jämfört med *Dagens skogsbruk* (DS) minskar den totala möjliga avverkningsvolymen under hundraårsperioden och att minskningen är större i ACK¹⁶ än F län (tabell 2, figur 3.11). Också ett *Stormskaderisk-*

¹⁶ ACK = Västerbottens läns kustland, i fortsättningen ibland benämnt Västerbotten, F = Jönköpings län.

skogsbruk (SR) minskar avverkningsmöjligheterna jämfört med DS. Rangordningen mellan DS, SS och SR är densamma om det till total möjlig avverkning adderas stormfälld och tillvaratagen virkesvolym. Stormfälld och tillvaratagen volym är dock 25–100 procent större i SR än i DS och SS.

Tabell 2. Total möjlig avverkning, stormfälld och tillvarataget, avgångar ej tillvarataget, samt relationer dem emellan, för *Dagens skogsbruk* (DS), *Stormstabilare skogsbruk* (SS) och *Stormskaderiskskogsbruk* (SR). Medeltal per år för hundraårsperioden, 1000-tal m³sk, och procent.

		DS	SS	SR
F län	Total möjlig avverkning/år	4029	3960	3862
	A. Stormfälld och tillvarataget/år	301	231	377
	Avgångar ej tillvarataget/år	375	368	423
	C. Totalt stormfälld och tillvarataget / total möjlig avverkning	7,5 %	5,8 %	9,8 %
	Totalt stormfälld och avgången / total möjlig avverkning	17 %	15 %	21 %
	E. Stormfälld och tillvarataget // avgångar ej tillvarataget	80 %	62 %	89 %
ACK	Total möjlig avverkning/år	4006	3794	3876
	B. Stormfälld och tillvarataget/år	66	47	92
	Avgångar ej tillvarataget/år	473	574	487
	D. Totalt stormfälld och tillvarataget / total möjlig avverkning	1,6 %	1,2 %	2,4 %
	Totalt stormfälld och avgången / total möjlig avverkning	13 %	16 %	15 %
	F. Stormfälld och tillvarataget // avgångar ej tillvarataget	14 %	8,2 %	19 %

Gallringsandelen av totalt avverkad volym under hundraårsperioden var i effektanalysen högst i SR, därefter följde DS och lägst var gallringsandelen i SS (*tabell 3*). I F län var gallringsandelen ungefär dubbelt så hög som i ACK.

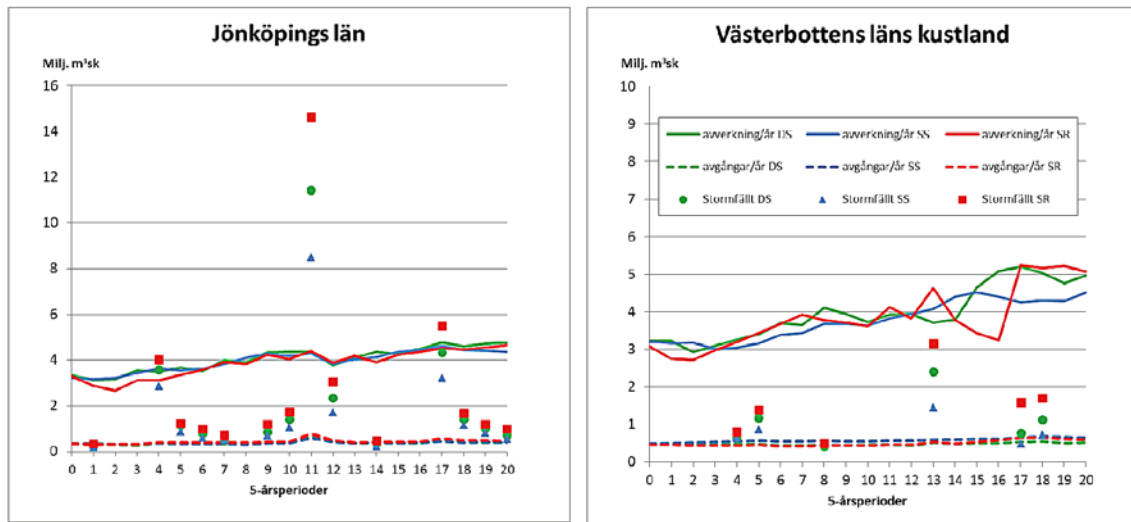
Tabell 3. Gallringsandelen av totalt avverkad volym under hundraårsperioden för *Dagens skogsbruk* (DS), *Stormstabilare skogsbruk* (SS) och *Stormskaderiskskogsbruk* (SR).

	DS	SS	SR
F län	40	30	46
ACK	25	12	26

3.4.2 Avgångar

Avgångar i form av stormfälld och tillvarataget virke är generellt sett betydligt högre i F län än i ACK, både totalt sett (*A och B i tabell 2*) och jämfört med total möjlig avverkningsvolym (*C och E*) samt med avgångar som inte tas tillvara (*E och F*). I förhållande till total möjlig avverkningsvolym utgör det tillvaratagna stormfällda virket mellan 1,2 och 2,4 procent i ACK för de tre scenarierna (*D*). Motsvarande siffror för F län är avsevärt större, 5,8 till 10 procent (*C*). Stormfällning har alltså, generellt sett, större betydelse i F län än i ACK. Det gäller åtminstone den tillvaratagna andelen av volymen, men skillnaderna är stora även om avgångar som inte tas tillvara medräknas.

Enligt stormmodellen förekommer stormar som leder till mer betydande stormfällning i 14 av 20 analyserade femårsperioder i Jönköpings län och i 6 av 20 i Västerbotten (figur 3.11).



Figur 3.11. För Jönköpings län respektive Västerbotten: 1. Potentiell avverkning (miljoner m^3sk per år, heldragna linjer). 2. Avgångar som ej tas tillvara (milj. m^3sk per år, streckade linjer). 3. Stormfällda volymer som tas tillvara (milj. m^3sk per femårsperiod); grön ring Dagens skogsbruk (DS), blå triangel Stormstabiliserande skogsbruk (SS) och röd kvadrat Stormriskskogsbruk (SR).

Skillnaderna i total möjlig avverkning mellan å ena sidan DS och å andra sidan SS och SR är mindre under de första cirka 50 åren och ökar mot slutet av hundraårsperioden för Västerbotten, medan det är tvärtom för Jönköpings län där SR tar ifatt mot slutet av seklet (figur 3.11). Samma mönster uppvisar möjlig avverkningsvolym för timmer, som stadigt utgör ungefär hälften av den totala potentiella avverkningen.

3.4.3 Trädparametrar

I de tre scenarierna/simuleringarna är medeltalen för trädens ålder, diameter, volym och höjd vid föryngringsavverkning genomgående störst i SR och lägst i SS (tabell 4). Det gäller i både F län och ACK och är en naturlig följd av utformningen av SR och SS i förhållande till DS. SR formades med fler gallringar och senare föryngringsavverkning, medan SS formades i motsatt riktning. Skillnaderna i avverkad volym per hektar vid föryngringsavverkning är små.

I stort sett liknande mönster avseende ålder, diameter och höjd samt avverkad volym per hektar finns i gallringsuttagen som vid föryngringsavverkning (tabell 5). En avvikelse från mönstret är dock de relativt stora gallringsuttagen för simuleringen SS i ACK, det vill säga stormstabiliserande gallringar har medfört förhållandevis stora totala uttag.

Tabell 4. Total ålder, brösthöjdsdiameter, höjd och volym för avverkade träd vid föryngringsavverkning samt volym per hektar vid föryngringsavverkning för *Dagens skogsbruk* (DS), *Stormstabilare skogsbruk* (SS) och *Stormskaderiskskogsbruk* (SR). Grundtyevägda medeltal för hundraårsperioden.

		DS	SS	SR
F län	Medelålder, år	70	66	76
	Medeldiameter, cm	30	28	34
	Medelhöjd, m	22	21	23
	Medelvolym per träd, m ³ sk ¹	0,72	0,60	0,93
	Avverkad volym, m ³ sk/ha	290	297	300
ACK	Medelålder, år	88	80	99
	Medeldiameter, cm	25	23	27
	Medelhöjd, m	17	16	19
	Medelvolym per träd, m ³ sk ¹	0,40	0,32	0,51
	Avverkad volym, m ³ sk/ha	233	238	236

¹ Beräknat med Näslunds mindre funktioner.

Tabell 5. Total ålder, brösthöjdsdiameter och höjd för avverkade träd vid gallring samt volym per hektar vid gallring för *Dagens skogsbruk* (DS), *Stormstabilare skogsbruk* (SS) och *Stormskaderiskskogsbruk* (SR). Grundtyevägda medeltal för alla gallringar utförda under hundraårsperioden.

		DS	SS	SR
F län	Medelålder, år	55	48	57
	Medeldiameter, cm	21	20	23
	Medelhöjd, m	18	17	19
	Avverkad volym, m ³ sk/ha	83	85	85
ACK	Medelålder, år	59	54	65
	Medeldiameter, cm	17	16	19
	Medelhöjd, m	15	15	15
	Avverkad volym, m ³ sk/ha	76	86	75

4 Diskussion

4.1 Klimatets inverkan på skogstillväxten

Den nya tillväxtmodellen i RegVis i Heureka-systemet skattar ökningen i tillväxt lägre för *Dagens skogsbruk* med RCP4,5 än vad SKA08 gjorde för referensscenariot med utsläppsscenario B2 trots att scenarierna inte skiljer sig så mycket och utsläppsscenarioerna hamnar ganska lika mot slutet av seklet. En stor del av skillnaden kan emellertid förklaras av att virkesförrådet tilläts öka mer i SKA08. Inom det spann som det handlar om är det fortfarande så att mer skog växer mer (*jämför figur 3.2*). Tillväxten skulle med andra ord kunna vara högre om avverkningsåldrarna höjdes. Å andra sidan skulle då risken för stormfällning också höjas (*jämför nedan*).

Det finns en rad anledningar att tro att skadenivåerna också kommer att höjas som resultat av klimatförändringarna. Stormfällning och skadeutbrott påverkar tillväxten negativt i de fall de medför förtida slutavverkning av medelålders eller yngre skog. Skadenivåerna måste bli betydligt högre än idag för att påtagligt sänka tillväxten. Stormen Gudrun beräknas sammantaget ha sänkt tillväxten med cirka 3 miljoner kubikmeter under de tre påföljande åren (Seidl och Blennow, 2012)..

En osäkerhet i tillväxtmodellen handlar om hur stor och ihållande produktionsökningen till följd av ökningen i atmosfärens koldioxidhalt blir. På längre sikt är en acklimatisering att förvänta. Eftersom näringstillgången fortfarande är begränsad är det sannolikt att själva fotosyntesens effektivitet regleras ned när tillgängligheten på koldioxid ökar. I gengäld kan man få en positiv effekt av att träden blir bättre på att hushålla med vattnet när avdunstningen från bladen minskar då bladens klyvöppningar inte öppnas lika mycket för att koldioxidhalten ökar. Den nuvarande modellen speglar inte denna dynamik på grund av bristen på information om kvantitativa samband. Ytterligare en osäkerhet är hur temperaturen kommer att påverka näringstillgången i marken, det vill säga bördigheten (ståndortsindex). Sambanden mellan temperatur och bördighet är nu baserade på empiriska data i modellen.

Effekten av perioder med vattenunderskott (det vill säga torka) är avsedd att vara inbyggd i modellen. Simuleringsresultaten visar att vattentillgången begränsar tillväxten relativt ofta sommartid i Sverige, mer i söder än i norr. Begränsningen är som förväntat störst på torr mark med mycket bladbiomassa och avtar successivt när bladbiomassan blir mindre och på ståndorter där markfuktigheten är högre.

4.2 Stormfällning – risker och åtgärder

Enligt SMHI:s skattningar kommer stormfällande vindar att bli marginellt vanligare i södra Sverige och motsvarande mindre vanliga i norra Norrland med RCP4,5 (*figur 1.8*). Men med färre dagar med tjäle och med ökade grundvattennivåer under höst och vinter (*figur 1.7a*) kan rötternas förankring försämrats och stormfällningen ändå öka. Vidare kan klimatet medföra att skogstillståndet utvecklas i en mer ”lättfälld” riktning, det vill säga får större andel gran och i medeltal högre träd. Å andra sidan påverkas också

gallringsregimer och slutavverkningsåldrar av den ökade tillväxten. Det är endast de faktorer som är kopplade till skogstillståndet som ingår i den nu utvecklade vindskademodulen i RegVis. Sannolikt underskattar således modulen i nuvarande utformning den ökade risk för stormfällning som klimatförändringen för med sig.

Stormskademodulen resulterade i liten skillnad i stormfälld volym mellan scenarierna (figur 3.8) och detta trots att RCP8,5 ger så pass mycket högre virkesförråd (figur 3.5). Förklaringen till den uteblivna skillnaden skulle kunna ligga i att andelen mark som ligger mellan sista gallring och föryngringsavverkning minskar då klimatförändringen är större, eftersom medelåldern vid föryngringsavverkning sjunker så pass mycket då (figur 3.9). Frågan är om denna effekt speglar hur det borde bli eller om den är mer av beräkningsteknisk karaktär?

I simuleringarna där stormskaderisken ändras jämfört med i scenariot *Dagens skogsbruk* (DS), minskar avverkningsmöjligheterna vid anpassning av skogsbruket genom tillämpning av en skogsskötsel som bedöms ge mindre stormfällning (simuleringen *Stormstabilare skog*, SS) i både Jönköpings län och Västerbotten. Orsaken är att den ändrade skogsskötseln (färre gallringar och föryngringsavverkning vid relativt låg ålder) visserligen leder till mindre stormfällning, men den mindre stormfällningen förmår inte kompensera för den lägre tillväxt en sådan skötsel leder till. I Västerbotten är minskningen större än i Jönköpings län. Det kan sannolikt förklaras av att träden i medeltal är betydligt lägre i norr och av den orsaken mindre stormkänsliga än i söder. Trädhöjd är en parameter med stor betydelse för stormfällningsrisken (Persson 1975).

Med en skogsskötsel med inbyggd ökad stormskaderisk genom fler gallringar och föryngringsavverkning vid relativt hög ålder fås en betydligt större reduktion av avverkningsmöjligheterna i Jönköpings län än i Västerbotten. Förklaringen är att det är betydligt mer riskabelt att gallra och att låta skog växa till hög höjd i söder än i norr. Med tiden tar emellertid detta scenario ifatt i avverkningspotential, sannolikt för att de förlängda omloppstiderna medger en högre tillväxt som kompenserar för stormfällningen.

Trädstorleken vid föryngringsavverkning har betydelse för avverkningskostnaden och virkets värde. I scenariot med ökad *Stormskaderisk* (SR) beräknades träden då vara i medeltal mer än 50 procent större än i scenariot med *Stormstabilare skogsbruk* (SS). En orsak till skillnaden torde vara att omloppstiden i simuleringarna är 15 längre i SR än SS för Jönköpings län respektive och 24 procent längre i Västerbotten. En annan orsak är sannolikt att skogen i SR gallras fler gånger än i SS och träden därför kan växa sig grövre. Trädstorleken i *Dagens skogsbruk* beräknas i medeltal ligga ungefär mitt emellan trädstorleken i SR och SS.

Att tjäl- och grundvattenfaktorn inte är beaktad i vindskademodellen (*jämför ovan*) innebär sannolikt att stormskaderisken är underskattad i simuleringarna, speciellt för Västerbotten där marken ännu så länge är tjälad en betydligt större del av året än i söder. Avgångar i form av stormfällt och tillvarataget virke är generellt sett betydligt högre i

Jönköpings län än i Västerbotten, både totalt sett och jämfört med total möjlig avverkningsvolym (*tabell 2*). Observera dock att modellen baseras på historik och stormfällning har ju förekommit i betydligt större omfattning i Jönköpings län än i Västerbotten.

En övergripande slutsats av effektanalysen av skogsbruk med olika stormskaderisk är att gallringsprogram och relativ ålder vid slutavverkning som är tänkt att efterlikna dagens skötsel (det vill säga som i DS) tycks vara bättre sett till framtida avverkningsmöjligheter än om skogsskötseln stormanpassas (som i SS). Det gäller åtminstone på en regional skala, men ganska säkert med stor variation mellan och inom olika fastigheter. Ju högre skogsägaren värderar att få råda över avverkningstidpunkten och slippa det extra besvär och de extra kostnader per kubikmeter som omhändertagande av vindfällan för med sig, desto mer förskjuts valet i riktning mot anpassad skötsel. Risken för större granbarkborreangrepp efter stormfällning kan också adderas till möjliga kostnader.

En praktiskt tillämpbar slutsats av effektanalysen är att det i den mer vindutsatta delen av skogslandskapet kan löna sig att stormanpassa skogsskötseln. Den positiva effekten är sannolikt större i söder (med bland annat högre träd) än i norr. Den arealandel där stormanpassning skulle vara klart positiv är med dagens kunskap omöjlig att bestämma och den varierar som sagt mellan olika skogsägare. Vi uppskattar att den i söder kan röra sig om kanske en fjärdedel av den grandominerade virkesproduktionsmarken och i norr kanske omkring en tiondel, det vill säga en betydligt mindre andel eftersom andelen grandominerad mark där är lägre och träden generellt sett är lägre.

Resultaten pekar i liknande riktning som en annan analys av effekter av dagens skötselval, i vilken även effekten av minskad tjäle på stormfällningsrisken beaktades (Jönsson m.fl., 2013). Här drogs slutsatsen att framtida stormfällning kan bli ekonomiskt känbar även i yngre och medelålders skog och att en kombination av åtgärder kan vara lönsamma för att minska risken för stormfällning och dess vanliga följdverkning – granbarkborreangrepp. Åtgärder som föreslås ingå i en strategi är ökad användning av blandskog, kortare omloppstider i vindutsatta bestånd och uttag av stormfällna träd (så kallade sök-och-plock). En analys av data från stormen Gudrun indikerar att granar i blandskog blåste ner i lägre grad än granar i trädslagsrena bestånd (Valinger & Fridman 2011, Valinger m.fl., 2014).

4.3 Skattning av andra risker som påverkas av klimatförändringarna

4.3.1 Rotröta

Den rotröta i granstammar som orsakas av rottickan (*Heterobasidium annosum*) skadar skog för mellan en halv och en miljard kronor årligen (Thor m.fl., 2005). Utbredningen är störst i södra Sverige, men är påtaglig även norröver. Röta är vanlig även i ogallrade fjällnära skogar, men är då oftare orsakad av andra rötsvampar. Rottickan angriper även tall i södra delen av landet.

I en studie av rötförekomsten i gran från Riksskogstaxeringen 1983–2001 (exklusive norra Norrlands inland) fanns i snitt röta i 7 procent av stammarna i brösthöjd, mest i

den region som innefattade östra Svealand och centrala och östra Götaland (Thor m.fl., 2005). Då materialet delades i två tidshalvor var förekomsten 6,4 procent i första perioden och 7,9 procent den andra, vilket indikerar en pågående ökning.

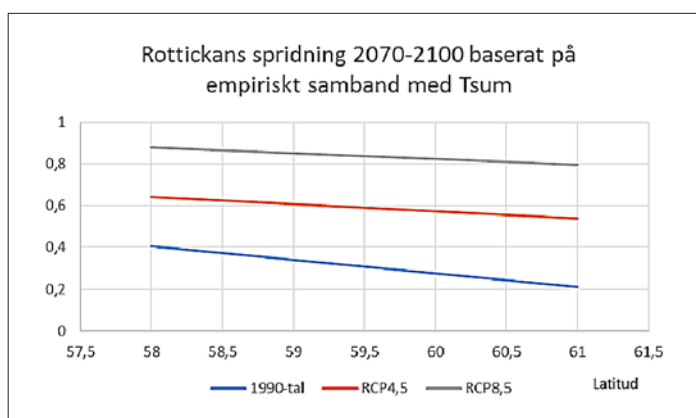
Svensk och finsk forskning har visat att spridningen av rottickan främst sker via sporspridning till färsk stubbar under växtsäsongen (jämför Pukkala m.fl., 2005). Från stubbarna sprider sig sedan rottickan via rotkontakt i marken över till rötter hos levande träd. Ju längre vegetationsperioden varar, desto längre finns en risk för sporinfektioner av rotticka. Detta har modellerats, bland annat av Pukkala m.fl. (2005), och i modellen ökar sannolikheten för sporinfektion av en enskild stubbe med högre temperatursumma. Sambanden för delen av modellen som berör stubbinfektion är:

$$\text{Gran: } P_{\text{inf}} = -8,78 + 2,92 \log(T_{\text{sum}})$$

$$\text{Tall: } P_{\text{inf}} = -0,631 + 0,00056 T_{\text{sum}}$$

där P_{inf} är sannolikheten att en stubbe ska bli infekterad av rottickesporer under en femårsperiod. (Sedan ska svampen växa vidare och sprida sig till intillstående träd innan skadan börjar märkas.)

En rak tillämpning av sambandet för gran för ökningen i temperatursumma (*enligt figur 2.3*) längs en medellongitud mellan latitud 58° och 61° ger följande bild av den ökade risken för sporinfektion till 2070–2100:



Om sambandet vore helt och hållet ett orsakssamband skulle infektionsrisken öka med runt 50 procent för RCP4,5 och fördubblas för RCP8,5 vid breddgrad 58 och med två respektive tre gånger vid breddgrad 61 till i slutet på seklet. I själva verket är detta sambandet troligen endast till del ett funktionssamband. Till andra delar beror det på faktorer som också samvarierar med temperatursumman, exempelvis hur vanlig granen är (jämför Thor m.fl., 2005) och hur avverkningshistoriken ser ut i bestånd och på landskapsnivå. Klimatförändringarna kan visserligen bidra till att granen blir vanligare norröver, om dels bördigheten, dels viltproblematiken ökar, men det tar i så fall betydligt längre tid att nå det jämförbara tillståndet. Dataunderlaget till sambandet är hämtat från platser med temperatursummor mellan 1 200 och 1 600, det vill säga i södra delen av Fennoskandia (*jämför figur 2.1*). Emellertid kommer nästan hela Sverige sannolikt att få temperatursummor över 1 100 mot slutet av seklet om de globala utsläppen minst ligger

på RCP4,5-nivån (*figur 2.1*). Samspelet mellan träd och skadesvamp (angrepp och försvar) samt förekomst och interaktion med andra mikroorganismer är andra viktiga faktorer som påverkar utfallet i ett varmare klimat. Dessa faktorer ingår inte heller i modellen som beskrivits av Pukkala m.fl. (2005). Från sporinfektion på stubbar till utvecklade rötskador i det kvarvarande eller nya beståndet krävs också tid (år till decennier).

Sammantaget bedömer vi att det finns logiska skäl till att rötförekomsten i landets granar mot slutet på seklet kan komma att vara betydligt större än idag (från cirka 8 procent 1993–2001 kanske upp emot 12–15 procent i brösthöjd), såvida inte motstrategier anläggs som är effektivare än vad som tillämpades under slutet av 1900-talet. Ju större granandel i landskapet, desto större ökning (jämför Thor m.fl., 2005). Ju större tillämpning av biologisk bekämpning och ju större andel av avverkningarna som förläggs till icke växtsäsong, desto mer motverkas spridningen (jämför Pukkala m.fl., 2005).

4.3.2 Granbarkborre

Granbarkborren är den skadeinsekt som genom åren skadat störst kvantiteter virke i Sverige. Framförallt efter stormfällning angriper granbarkborrar levande skog i större omfattning förutsatt att många stormfällda träd blir liggande över växtsäsongen och fungerar som yngelmaterial. Åren efter Gudrun och Per, 2006–2009, dödades över 3 miljoner kubikmeter stående skog (källor i Jönsson m.fl., 2011).

Flera faktorer talar för att granbarkborreskadorna kan komma att öka i svensk skog i det framtida klimatet. Det blir längre växtsäsonger (*figur 1.4*) som oftare möjliggör två färdigutvecklade generationer under en vegetationsperiod i ökande omfattning och generellt mer lyckade föryngringar av en generation norröver. Tidigare modellsimuleringar utifrån klimatscenarier (A1B) pekar emot att detta kan bli i stort sett årligen förekommande ända upp i mellersta Sverige när vi når perioden 2071–2100 (Jönsson m.fl., 2011). Ökningen kommer sannolikt främst i form av kraftigare men inte längre utbrott efter stormfällningar, eftersom föryngringen för barkborrarna inte går lika bra i stående friska träd som i nyligen stormfällda (Jönsson m.fl., 2012). Dock kan förekomsten av aptitliga torkstressade granar i landskapet öka till följd av torrare somrar (*figur 1.7c*), vilket i viss mån kan förlänga angreppen. Det blir mindre tjäle (*jämför figur 1.3*) och ökad vattentillgång vintertid (*figur 1.7a*) vilket ökar risken för stormfällning. Resultaten i SKA 15-studien indikerar att fortsatt tillämpning av dagens skötsel ger fortsatt ökad granandel i Götaland och i stort bibehållen i övriga landet (*figur 3.6*). Varmare vintrar kan innebära att mängden klövvilt ökar och därmed plantbetet, kanske främst norröver (Eriksson m.fl., manus), vilket kan ge ökad granandel även där.

Sammantaget gör vi bedömningen att RCP4,5 till RCP8,5 i kombination med ett skogsbruk utan motstrategier bör resultera i successivt ökande granbarkborreskador över hela landet, sannolikt mångdubbelt större mot slutet av seklet.

Förändringar i beteendet som kan komma att motverka dessa risker är exempelvis om stormfällningsrisken motverkas genom skötsel för ökad stormfasthet i grandominerad skog i vindutsatta lägen (*jämför ovan*) och/eller om ökningen i granandel i Götaland (och även norröver) motverkas genom utvecklad viltförvaltning och/eller ökade am-

bitioner att föryngra med andra trädslag, speciellt vad gäller tall på torkkänslig mark. Vidare gör graden av upparbetning av stormfällada träd stor skillnad för att minska risken för skador (Jönsson m.fl., 2012 och 2013).

Resultat från upprepad markvattenprovtagning på en granyta inom Krondroppsnätet öster om Göteborg visar att barkborreskador kan ge en markerad puls av försurande nitrifikation och kväveutlakning (muntlig ref. Per Erik Karlsson, IVL).

4.3.3 Andra skadegörare och brand

Enligt resultatet för trädslagsfördelningens utveckling (*figur 3.7*) förstärks grandominansen i Götaland och talldominansen i norra Norrland. Det kan ses som en negativ utveckling ur riskspridningssynvinkel eftersom många skadegörare är trädslagspecifika. Skadeutbrotten riskerar därmed att bli värre om trädslaget är vanligt i landskapet. Vidare finns det litteraturstudier som visar att angrepp av trädslagsspecifika skadegörare generellt är lägre i blandbestånd än i trädslagsrena bestånd (Jactel m.fl., 2007), kanske för att det blir lite svårare för många insekter att med luktens hjälp hitta från ena trädet till andra.

Södra Norrland och Svealand beräknas få en mer delad balans mellan gran, tall och löv, vilket kan ses som positivt ur detta perspektiv.

I framtiden beräknas brandriskerna öka i de områden som redan med dagens klimat är mest utsatta. I genomsnitt ökar brandrisksäsongens längd med i genomsnitt cirka 50 dagar mest i Östersjölandskapen och i Mälardalen (*figur 1.6*). Till detta kan adderas att det är mycket sannolikt att frekvensen av åskväder och blixtnedslag ökar i det varmare klimatet. Det är också sannolikt att vi i framtiden kommer att ha mer skog som är torkstressad till följd av kombination av minskad vattentillgång sommartid (*figur 1.7c*) och ökad granandel i Götaland (*figur 3.5a*). Sammantaget bedömer vi därför att risken för skogsbrand ökar mer än enbart vad ökningen i frekvensen av torra perioder ökar. Möjligheten för en skogsbrand att växa till och sprida sig påverkas av tillgången på bränsle på marken, det vill säga att det är en fördel om avverkningsrester tas ut i relativt hög grad. Emellertid, den verkliga risken beror i mycket hög grad av hur vi människor agerar, både vad gäller antändning och släckning. Sannolikt behöver vi ha kapacitet att släcka flera större bränder samtidigt i framtiden.

4.4 Behov av kunskapsutveckling

En slutsats från denna studie är att det råder ett stort behov av ökad kunskap kring klimatförändringarnas tänkbara kvantitativa effekter på skogstillväxt och på olika former av skogsskador.

För kunskapsutvecklingen behövs utveckling av själva modellerna såväl som bättre kunskap om funktionssamband och förbättrade underlag för parametrisering genom försök och fältstudier. I slutändan är det önskvärt med sammankoppling med modellbyggen för framskrivning av hela skogstillståndet, som exempelvis RegVis. Modelljämförelser och känslighetsanalyser är bra hjälpmedel i detta utvecklingsarbete.

När det gäller tillväxt bedömer vi att modellerna behöver utvecklas, speciellt med avseende på effekten av torka och luftens koldioxidhalt samt indirekt inverkan via markens bördighet.

För bättre prediktering av stormfällning i ett förändrat klimat är det som främst saknas är input i form av en framskrivning av tjälförekomsten som funktion av olika scenarier för klimatförändring. Fler studier kring tjälförhållandenas betydelse för stormfällningen vore därför också önskvärda. Modellen behöver då baseras på en simulerad fördelning av starka vindar (med stormfällningspotential), det vill säga upprepa ett mönster för starka vindar istället för tidigare stormfällningar. Vidare behövs studier kring rotstabiliteten beroende av fluktuerande grundvattennivåer som berör rotzonen. Modeller för hur grundvattennivåer fluktuerar över säsongen finns, men behöver anpassas för att fungera tillsammans med en provytobaserad modell som RegVis.

För granbarkborre behöver man bland annat titta närmare på hur ökande frekvenser av stormfällningar till följd av varmare och blötare höstar och vintrar (*jämför ovan*) och torra somrar kombinerat kan påverka angreppsriskerna.

Betydelsen av trädslagsfördelningen i landskapet och beståndet för såväl rottröterisken som risken för angrepp av olika skadeinsekter behöver studeras närmare, liksom effekten av olika faktorer på tillgången på predatorer på skadeinsekter.

Litteratur/källförteckning

- Bergh J., Freeman M., Sigurdsson B. D., Kellomäki S., Laitinen K., Niinistö S., Peltola H. & Linder S. 2003. Modelling the shortterm effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management* 183:327–340.
- Bergh J., McMurtrie R. E. & Linder S. 1998. Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: a modelbased analysis. *Forest Ecology and Management* 110: 127–139.
- Bergh J., Blennow K, Nilsson U. & Sallnäs O. 2007. Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket. Inst för sydsvensk skogsforskning, SLU, Alnarp. Rapport nr 34. ISBN 978-91-576-7231-5.
- Bergh J. (red) 2012. Är anpassning av skogsskötsel nödvändigt i dagsläget för att minska skogsskador i ett förändrat klimat? Inst f sydsvensk skogsvetenskap. Arbetsrapp. nr 43. SLU, Alnarp.
- Björkman C. & Niemelä P. 2015 *Climate Change and Insect Pests*. CABI Publishing. CABI Climate Change Series. (www.cabi.org)
- Claesson S., Andersson B., Bergh J., Duvemo K., Fridh M., Lundström A., Nilsson U., Nordfjell T., Sollander E. & Svensson S. A. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 – SKA-VB 08. Rapport 25/2008. Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.
- Claesson S., Duvemo K., Lundström A. & Wikberg P.-E. 2015. Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15. Skogsstyrelsen. Rapport 10/2015. ISSN 1100-0295.
- Duvemo K, Fridh M, Joshi S, Karlsson S & Svensson S A. 2015. Global framtida efterfrågan på och utbud av virkesråvara. Rapport 4/2015. Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.
- Eklund A., Axén Mårtensson J., Bergström S., Björck E., Dahné J., Lindström L., Nordborg D., Olsson J., Simonsson L. och Sjökvist E. 2015. Sveriges framtida klimat – Underlag till dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi Nr 14, 2015. ISSN 1654-2258.
- Eriksson A., Harrison P. J., & Snäll T. 2015. Analys av miljöförhållanden – SKA 15. Skogsstyrelsen. Rapport 11/2015. ISSN 1100-0295.
- Eriksson H. (Red). 2007. Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar. Skogsstyrelsen Rapport 2007:8. ISSN 1100-0295.

- Eriksson H., Bergqvist J., Hazell P., Isacson G. & Lomander A. (manus). Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning för bibehållna produktions- och miljövärden. Skogsstyrelsen Rapport 201x.
- Freeman M & Linder S. 2001. Boreal forests. In: Long-term effects of climate change on carbon budgets of forests in Europe (eds. Kramer, K. & Mohren, G.M.J.) pp. 197–203. Alterra-report 194. Alterra, Green World Research, Wageningen, 2001.
- Freeman M, Morén A-S, Strömgren M & Linder S. 2005. Climate Change Impacts on Forests in Europe: Biological Impact Mechanisms. In: Management of European Forests under Changing Climatic Conditions (eds. Kellomäki, S. and Leinonen, S.). ResearchNotes 163, University of Joensuu, Forest Faculty, pp. 45-115. ISBN 952-458-652-5
- Gertsson C.-A. & Isacson G., 2012. Gransköldlöss (Hemiptera, Coccoidea, släktet *Physokermes*) i Sydsverige. Entomologisk Tidskrift 133(4): 121-128.
- IPCC 2013. The physical science basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. www.ipcc.ch
- IPCC 2014a. Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. www.ipcc.ch
- IPCC 2014b. Mitigation of Climate Change. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. www.ipcc.ch
- Jactel H. & Brockerhoff E. G. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects ECOLOGY LETTERS Vol 10 Issue 9: 835-848.
- Jönsson A. M., Harding S., Krokene P., Lange H., Lindelöw Å., Økland B., Ravn H. P., Schroeder L. M. 2011. Modelling the potential impact of global warming on *Ips typographus* voltinism and reproductive diapause. Climatic Change 109:695-718.
- Jönsson A. M., Schroeder L. M., Lagergren F., Anderbrant O. & Smith B. 2012. Guess the impact of *Ips typographus* - an ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle out-breaks. Agricultural and Forest Meteorology 166-167:188-200.
- Jönsson A M. 2013. Klimatanpassad skogsskötsel. BECC Policy Brief 02-2013. Klimatanpassningsportalen (www.klimatanpassning.se).
- Jönsson A. M., Lagergren F. & Smith B. 2013 Forest management facing climate change – an ecosystem model analysis of adaptation strategies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 20:201-220.

-
- Kjellström E., Nikulin G., Hansson U., Strandberg G. & Ullerstig A. 2011. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63A: 24-20.
- Knutti R. & Sedláček J. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change Journal* Vol 3 (www.nature.com/natureclimatechange).
- Kollberg I. 2013. The effect of temperature on trophic interaction. Implications for the population dynamics of a forest pest insect in a warmer climate. *Acta Univ Agric Sueciae*, Doctoral thesis No 2013:57. SLU, Uppsala. ISSN 1652-6880.
- Krug J., Eriksson H., Heidecke C., Kellomäki S., Köhl M., Lindner M. & Saikkonen K. 2015. Socio-economic impacts – Forestry and agriculture. The BACC II Author Team, Second assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies, DOI 10.1007/978-3-319-16006_21.
- Lagergren F., Jönsson A. M., Blennow K., Smith B. 2012. Implementing storm damage in a dynamic vegetation model for regional applications in Sweden. *Ecological Modelling*. Volume: 247: 71-82.
- Lindelöw Å. 1997. Outbreak of the pine looper moth on Hökensås. *Växtskyddsnotiser* Vol 61 Issue 3: 100-103.
- Lundmark J.-E. 1986. Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk. Del 1, Grunder. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping. Sidan 82. 158s.
- McMurtrie R. E., Rook D. A. & Kelliher F. M. 1990. Modelling the yield of *Pinus radiata* on a site limited by water and nitrogen. *Forest Ecology and Management* 30: 381–413.
- Mistra-SWECIA syntesrapport. 2015. Klimatanpassat skogsbruk: Drivkrafter, risker och möjligheter. Red. Susanna Bruzell, Markku Rummukainen och Kristina Rörström. (www.mistra-swecia.se)
- MSB 2013. Framtida perioder med hög risk för skogsbrand - Analyser av klimat-scenarier. Red: Sjökvist E., Axén Mårtensson J., Sahlberg J., Andréasson J. & Hallberg K. (kontakt: Sandahl L. & Postgård U.) MSB535: 2013. ISBN 978-91-7383-323-3.
- Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. & Ullerstig A. 2010. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63A: 41-55.
- Nilsson C. 2008. Windstorms in Sweden – variations and impacts. Avhandling: Medd nr 197. Geografiska inst. Lunds universitet.

- Olsson P.-O., Jönsson A. M. & Eklundh L., 2012. A new invasive insect in Sweden – *Physokermes inopinatus*: Tracing forest damage with satellite based remote sensing. *For Ecol Man* 285: 29-37.
- Persson P. 1975. Stormskador på skog. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapport nr 36. (SLU).
- Pukkala T., Möykkynen, Thor M., Rönnerberg J. & Stenlid J. 2005. Modeling infection and spread of *Heterobasidion annosum* in even-aged Fennoscandian conifer stands. *Canadian J. Forest Research* 35:74-84.
- Samuelsson P., Colin G J, Willén U., Ullerstig A., Gollvik S., Hansson U., Jansson C., Kjellström E., Nikulin G. & Wyser K. 2010. The Rossby Centre Regional Climate Model RCA3: model description and performance. *Tellus* 63A: 4-23.
- Seidl R. & Blennow K., 2012. Pervasive growth reduction in Norway spruce forests following wind disturbance. *PLOS ONE*, 7(3): 1–8. <http://dx.plos.org/>.
- Skogsstyrelsen 2015. Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15. Skogsstyrelsen. Meddelande 3/2015. ISSN 1100-0295.
- Strandberg G., Barring L., Hansson U., Jansson C., Jones C., Kjellström E., Kolax M., Kupiainen M., Nikulin G., Samuelsson P., Ullerstig A. and Wang S., 2014. CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. *Reports Meteorology and Climatology*, 116, SMHI.
- Thor M., Ståhl G. & Stenlid J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. *Scand J. For. Res* 20:165-176.
- Valinger E. & Fridman, J. 2011. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *For Ecol Man* 262: 398-403.
- Valinger E., Kempe G & Fridman J. 2014. Forest management and forest state in southern Sweden before and after the impact of the storm Gudrun in the winter of 2005. *Scand J For Res* 29: 466-472.
- Wikström P., Edenius L., Elfving B. & Eriksson L. O. 2011. The Heureka forestry decision support system: An overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*. 3(2): 87-94.

Av Skogsstyrelsen publicerade Rapporter:

- 1988:1 Mallar för ståndortsbonitering; Lathund för 18 län i södra Sverige
- 1991:1 Tätortsnära skogsbruk
- 1992:3 Aktiva Natur- och Kulturvårdande åtgärder i skogsbruket
- 1993:7 Betespräglad äldre bondeskog – från naturvårdssynpunkt
- 1994:5 Historiska kartor – underlag för natur- och kulturmiljövård i skogen
- 1995:1 Planering av skogsbrukets hänsyn till vatten i ett avrinningsområde i Gävleborg
- 1995:2 SUMPSKOG – ekologi och skötsel
- 1996:1 Women in Forestry – What is their situation?
- 1996:2 Skogens kvinnor – Hur är läget?
- 1997:2 Naturvårdsutbildning (20 poäng) Hur gick det?
- 1997:5 Miljeu96 Rådgivning. Rapport från utvärdering av miljeurådgivningen
- 1997:6 Effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring – en litteraturstudie
- 1997:7 Målgruppsanalys
- 1997:8 Effekter av tungmetallnedfall på skogslevande landsnäckor (with English Summary: The impact on forest land snails by atmospheric deposition of heavy metals)
- 1997:9 GIS-metodik för kartläggning av markförsurning – En pilotstudie i Jönköpings län
- 1998:1 Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation
- 1998:3 Dalaskog – Pilotprojekt i landskapsanalys
- 1998:4 Användning av satellitdata – hitta avverkad skog och uppskatta lövröjningsbehov
- 1998:5 Baskatjoner och aciditet i svensk skogsmark – tillstånd och förändringar
- 1998:6 Övervakning av biologisk mångfald i det brukade skogslandskapet. With a summary in English: Monitoring of biodiversity in managed forests.
- 1998:7 Marksvampar i kalkbarrskogar och skogsbeten i Gotländska nyckelbiotoper
- 1999:1 Miljökonsekvensbeskrivning av Skogsstyrelsens förslag till åtgärdsprogram för kalkning och vitalisering
- 1999:2 Internationella konventioner och andra instrument som behandlar internationella skogsfrågor
- 2000:1 Samordnade åtgärder mot försurning av mark och vatten – Underlagsdokument till Nationell plan för kalkning av sjöar och vattendrag
- 2000:4 Skogsbruket i den lokala ekonomin
- 2000:5 Aska från biobränsle
- 2000:6 Skogsskadeinventering av bok och ek i Sydsverige 1999
- 2001:1 Landmolluskfaunans ekologi i sump- och myrskogar i mellersta Norrland, med jämförelser beträffande förhållandena i södra Sverige
- 2001:2 Arealförluster från skogliga avrinningsområden i Västra Götaland
- 2001:3 The proposals for action submitted by the Intergovernmental Panel on Forests (IPF) and the Intergovernmental Forum on Forests (IFF) – in the Swedish context
- 2001:4 Resultat från Skogsstyrelsens ekenkät 2000
- 2001:5 Effekter av kalkning i utströmningsområden med kalkkross 0 - 3 mm
- 2001:6 Biobränslen i Söderhamn
- 2001:7 Entreprenörer i skogsbruket 1993–1998
- 2001:8A Skogspolitisk historia
- 2001:8B Skogspolitiken idag – en beskrivning av den politik och övriga faktorer som påverkar skogen och skogsbruket
- 2001:8C Gröna planer
- 2001:8D Föryngring av skog
- 2001:8E Fornlämningar och kulturmiljöer i skogsmark
- 2001:8G Framtidens skog
- 2001:8H De skogliga aktörerna och skogspolitiken
- 2001:8I Skogsbilvägar
- 2001:8J Skogen sociala värden
- 2001:8K Arbetsmarknadspolitiska åtgärder i skogen
- 2001:8L Skogsvårdsorganisationens uppdragsverksamhet
- 2001:8M Skogsbruk och rennäring
- 2001:8O Skador på skog
- 2001:9 Projekterfarenheter av landskapsanalys i lokal samverkan – (LIFE 96 ENV S 367) Uthålligt skogsbruk byggt på landskapsanalys i lokal samverkan
- 2001:11A Strategier för åtgärder mot markförsurning
- 2001:11B Markförsurningsprocesser
- 2001:11C Effekter på biologisk mångfald av markförsurning och motåtgärder
- 2001:11D Urvalskriterier för bedömning av markförsurning

2001:11E	Effekter på kvävedynamiken av markförsurning och motåtgärder
2001:11F	Effekter på skogsproduktion av markförsurning och motåtgärder
2001:11G	Effekter på tungmetallers och cesiums rörlighet av markförsurning och motåtgärder
2002:1	Ekskador i Europa
2002:2	Gröna Huset, slutrapport
2002:3	Project experiences of landscape analysis with local participation – (LIFE 96 ENV S 367) Local participation in sustainable forest management based on landscape analysis
2002:4	Landskapsekologisk planering i Söderhamns kommun
2002:5	Miljöriktig vedeldning – Ett informationsprojekt i Söderhamn
2002:6	White backed woodpecker landscapes and new nature reserves
2002:7	ÄBIN Satellit
2002:8	Demonstration of Methods to monitor Sustainable Forestry, Final report Sweden
2002:9	Inventering av frötäktssbestånd av stjalkek, bergkek och rödek under 2001 – Ekdöd, skötsel och naturvård
2002:10	A comparison between National Forest Programmes of some EU-member states
2002:11	Satellitbildsbaserade skattningar av skogliga variabler
2002:12	Skog & Miljö – Miljöbeskrivning av skogsmarken i Söderhamns kommun
2003:1	Övervakning av biologisk mångfald i skogen – En jämförelse av två metoder
2003:2	Fågelfaunan i olika skogsmiljöer – en studie på beståndsnivå
2003:3	Effektivare samråd mellan rennärning och skogsbruk – förbättrad dialog via ett utvecklat samrådsförfarande
2003:4	Projekt Nissadalen – En integrerad strategi för kalkning och askspridning i hela avrinningsområden
2003:5	Projekt Renbruksplan 2000–2002 Slutrapport, – ett planeringsverktyg för samebyarna
2003:6	Att mäta skogens biologiska mångfald – möjligheter och hinder för att följa upp skogspolitikens miljömål i Sverige
2003:7	Vilka botaniska naturvärden finns vid torplämningar i norra Uppland?
2003:8	Kalkgranskogar i Sverige och Norge – förslag till växtsociologisk klassificering
2003:9	Skogsägare på distans – Utvärdering av SVO:s riktade insatser för utbor
2003:10	The EU enlargement in 2004: analysis of the forestry situation and perspectives in relation to the present EU and Sweden
2004:1	Effektuppföljning skogsmarkskalkning tillväxt och trädvitalitet, 1990–2002
2004:2	Skogliga konsekvensanalyser 2003 – SKA 03
2004:3	Natur- och kulturinventeringen i Kronobergs län 1996–2001
2004:4	Naturlig förnygring av tall
2004:5	How Sweden meets the IPF requirements on nfp
2004:6	Synthesis of the model forest concept and its application to Vilhelmina model forest and Barents model forest network
2004:7	Vedlevande arters krav på substrat – sammanställning och analys av 3 600 arter
2004:8	EU-utvidningen och skogsindustrin – En analys av skogsindustrins betydelse för de nya medlemsländernas ekonomier
2004:10	Om virkesförrådets utveckling och dess påverkan på skogsbrukets lönsamhet under perioden 1980–2002
2004:11	Naturskydd och skogligt genbevarande
2004:12	När vi skogspolitikens mångfaldsmål på artnivå? – Åtgärdsförslag för uppföljning och metodutveckling
2005:1	Access to the forests for disabled people
2005:2	Tillgång till naturen för människor med funktionshinder
2005:3	Besöksstudier i naturområden – en handbok
2005:4	Visitor studies in nature areas – a manual
2005:5	Skogshistoria år från år 1177–2005
2005:6	Vägar till ett effektivare samarbete i den privata tätortsnära skogen
2005:7	Planering för rekreation – Grön skogsbruksplan i privatägd tätortsnära skog
2005:8a-8c	Report from Proceedings of ForestSAT 2005 in Borås May 31 – June 3
2005:9	Sammanställning av stormskador på skog i Sverige under de senaste 210 åren
2005:10	Frivilliga avsättningar – en del i Miljökvalitetsmålet Levande skogar
2005:11	Skogliga sektorsmål – förutsättningar och bakgrundsmaterial
2005:12	Målbilder för det skogliga sektorsmålet – hur går det med bevarandet av biologisk mångfald?
2005:13	Ekonomiska konsekvenser av de skogliga sektorsmålen
2005:14	Tio skogsägares erfarenheter av stormen
2005:15	Uppföljning av skador på fornlämningar och övriga kulturlämningar i skog
2005:16	Mykorrhizasvampar i örtrika granskogar – en metodstudie för att hitta värdefulla miljöer
2005:17	Forskningsseminarium skogsbruk – rennärning 11–12 augusti 2004

2005:18	Klassning av renbete med hjälp av ståndortsboniteringens vegetationstypsindelning
2005:19	Jämförelse av produktionspotential mellan tall, gran och björk på samma ståndort
2006:1	Kalkning och askspridning på skogsmark – redovisning av arealer som ingått i Skogsstyrelsens försöksverksamhet 1989–2003
2006:2	Satellitbildsanalys av skogsbilvägar över våtmarker
2006:3	Myllrande Våtmarker – Förslag till nationell uppföljning av delmålet om byggande av skogsbilvägar över värdefulla våtmarker
2006:4	Granbarkborren – en scenarioanalys för 2006–2009
2006:5	Överensstämmelse anmält och verkligt GROT-uttag?
2006:6	Klimathotet och skogens biologiska mångfald
2006:7	Arenor för hållbart brukande av landskapets alla värden – begreppet Model Forest som ett exempel
2006:8	Analys av riskfaktorer efter stormen Gudrun
2006:9	Stormskadad skog – föryngring, skador och skötsel
2006:10	Miljökonsekvenser för vattenkvalitet, Underlagsrapport inom projektet Stormanalys
2006:11	Miljökonsekvenser för biologisk mångfald – Underlagsrapport inom projekt Stormanalys
2006:12	Ekonomiska och sociala konsekvenser i skogsbruket av stormen Gudrun
2006:13	Hur drabbades enskilda skogsägare av stormen Gudrun – Resultat av en enkätundersökning
2006:14	Riskhantering i skogsbruket
2006:15	Granbarkborrens utnyttjande av vindfällan under första sommaren efter stormen Gudrun – (The spruce bark beetle in wind-felled trees in the first summer following the storm Gudrun)
2006:16	Skogliga sektorsmål i ett internationellt sammanhang
2006:17	Skogen och ekosystemansatsen i Sverige
2006:18	Strategi för hantering av skogliga naturvärden i Norrtälje kommun ("Norrtäljeprojektet")
2006:19	Kantzonen ekologiska roll i skogliga vattendrag – en litteraturöversikt
2006:20	Ägoslag i skogen – Förslag till indelning, begrepp och definitioner för skogsrelaterade ägoslag
2006:21	Regional produktionsanalys – Konsekvenser av olika miljöambitioner i länen Dalarna och Gävleborg
2006:22	Regional skoglig Produktionsanalys – Konsekvenser av olika skötselregimer
2006:23	Biomassafflöden i svensk skogsnäring 2004
2006:24	Trädbränslestatistik i Sverige – en förstudie
2006:25	Tillväxtstudie på Skogsstyrelsens obsytor
2006:26	Regional produktionsanalys – Uppskattning av tillgängligt trädbränsle i Dalarnas och Gävleborgs län
2006:27	Referenshägn som ett verktyg i vilt- och skogsförvaltning
2007:1	Utvärdering av ÄBIN
2007:2	Trädslagens betydelse för markens syra-basstatus – resultat från Ståndortskarteringen
2007:3	Älg- och rådjursstammarnas kostnader och värden
2007:4	Virkesbalanser för år 2004
2007:5	Life Forests for water – summary from the final seminar in Lycksele 22–24 August 2006
2007:6	Renskadorna i plant- och ungskog – en litteraturöversikt och analys av en taxeringsmetod
2007:7	Övervakning och klassificering av skogsvattendrag i enlighet med EU:s ramdirektiv för vatten – exempel från Emån och Öreälven
2007:8	Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar
2007:9	Uppföljning av skador på fornlämningar i skogsmark
2007:10	Utgör kvävegödning av skog en risk för Östersjön? Slutsatser från ett seminarium anordnat av Baltic Sea 2020 i samarbete med Skogsstyrelsen
2008:1	Arenas for Sustainable Use of All Values in the Landscape – the Model Forest concept as an example
2008:2	Samhällsekonomisk konsekvensanalys av skogsmarks- och ytvattenkalkning
2008:3	Mercury Loading from forest to surface waters: The effects of forest harvest and liming
2008:4	The impact of liming on ectomycorrhizal fungal communities in coniferous forests in Southern Sweden
2008:5	Långtidseffekter av kalkning på skogsmarkens kol- och kväveförråd
2008:6	Underlag för en nationell strategi för skötsel och skydd av sumpskogar
2008:7	Regionala analyser om kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk
2008:8	Frötäkt och frötäktsområden av gran och tall i Sverige
2008:9	Vägledning vid skogsmarkskalkning
2008:10	Områden som skogsmarkskalkats inom Skogsstyrelsens försöksverksamhet 2005–2007
2008:11	Inventering av ädellövplanteringar på stormhyggen från 1999 i Skåne
2008:12	Aluminiumhalter i skogsbäckar och variationen med avrinningsområdenas egenskaper
2008:13	Åtgärder för ett hållbart brukande av skogsmarken – resultat från studier finansierade inom Movib
2008:14	Användningen av växtskyddsmedel inom skogsbruket
2008:15	Skogsmarkskalkning
2008:16	Skogsmarkskalkningens effekter på kemin i mark, grundvatten och ytvatten i SKOKAL-områdena 16 år efter behandling

2008:18	Effekter av skogsbruk på rennärningen – en litteraturstudie
2008:19	Hyggesfritt skogsbruk i ädellövskog – En litteratursammanställning
2008:20	Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk i ädellövskogar – slutrapport för delprojekt Ädellöv
2008:21	Skoglig kontinuitet och historiska kartor – en metodstudie för bokskog
2008:22	Kontinuitetsskogar och Kontinuitetsskogsbruk – Slutrapport för delprojekt Skötsel – hyggesfritt skogsbruk
2008:23	Naturkultur – Utvecklingen i försöksserien de 10 första åren
2008:24	Jämförelse av ekonomi och produktion mellan trakthyggesbruk och blädning i skiktad granskog – analyser spå bestånds nivå baserade på simulering
2008:25	Skogliga konsekvensanalyser 2008 – SKA–VB 08
2009:1	Åtgärdsplanering i reglerade vattendrag – arbetsgång och åtgärdsförslag i övre Ångermanälven
2009:2	Skog & Historia i Uppland – Gröna Jobb 2004–2008
2009:3	Utvärdering av metoder för kvantifiering av epifytiska hänglavar
2009:4	Kartläggning och Identifiering av kontinuitetsskog
2009:5	Skogsproduktion i stormområdet: Ett underlag för Skogsstyrelsens strategi för uthållig skogsproduktion
2009:6	Ekonomisk beskrivning av konsekvenser i samband med ledningsintrång i skogsmark
2009:7	Avverkning av nyckelbiotoper och objekt med höga naturvärden – en GIS-analys och inventeringsdata från Polytax
2009:8	Produktionsanalys i Gävleborgs län
2009:9	Skogsstyrelsens erfarenheter kring samarbetsnätverk i landskapet
2010:1	Föryngra – Vårda – Skydda – Underlag för Skogsstyrelsens strategi för hållbar skogsproduktion
2010:2	Effektiv rådgivning – Slutrapport
2010:3	Markägarenkäten. Skogsstyrelsens delrapport för undersökningarna om processen för formellt skydd 2005–2008
2010:4	Landskapsansats för bevarande av skoglig biologisk mångfald – en uppföljning av 1997 års regionala bristanalys, och om behovet av samverkan mellan aktörer
2010:5	Översyn av Skogsstyrelsens virkesmätningföreskrifter – Analys och förslag
2010:6	Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999–2008
2010:7	Behöver omvandlingstalen mellan m ³ f ub och m ³ sk revideras? – En förstudie
2010:8	Åtgärdsprogram för bevarande av vitryggig hackspett och dess livsmiljöer 2005–2009 – Slutrapport
2010:9	Störningskänslighet hos lavar i barrskogar
2011:1	Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999–2009
2011:3	Möjligheter att förbättra måluppfyllelse vad gäller miljöhänsyn vid föryngringsavverkning: Rapport efter en analys och rådgivande prioritering av åtgärder
2011:4	Fastighetsavtal – vidareutveckling av modell till flygfärdig produkt, Slutrapport
2011:5	Nedre Ångermanälven och Faxälven – förslag till miljöförbättrande åtgärder
2011:6	Upprättade renbruksplaner – 2005–2010
2011:7	Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk – Slutrapport för delprojekt naturvärden
2011:8	Utredningsrapport – Långsiktig plan för Skogsstyrelsens inventeringar och uppföljningar
2012:1	Kommunikationsstrategi för Renbruksplan
2012:2	Förstudierapport, dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennärning
2012:3	Hänsyn till kulturmiljöer – resultat från P3 2008–2011
2012:4	Kalibrering för samsyn över myndighetsgränserna avseende olika former av dikningsåtgärder i skogsmark
2012:5	Skogsbrukets frivilliga avsättningar
2012:6	Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområden i brukad skogsmark – utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning
2012:7	Nationella skogliga produktionsmål – Uppföljning av 2005 års sektorsmål
2012:8	Kommunikationsstrategi för Renbruksplan – Är det en fungerande modell för samebyarna vid samråd?
2012:9	Ökade risker för skador på skog och åtgärder för att minska riskerna
2012:10	Hänsynsuppföljning – grunder
2012:11	Virkesproduktion och inväxning i skiktad skog efter höggallring
2012:12	Tillståndet för skogsgenetiska resurser i Sverige. Rapport till FAO
2013:1	Återväxtstöd efter stormen Gudrun
2013:2	Förändringar i återväxtkvalitet, val av föryngringsmetoder och trädslagsanvändning mellan 1999 och 2012
2013:3	Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Kulturpolytaxen 2012
2013:4	Hänsynsuppföljning – underlag inför detaljerad kravspecifikation, En dellerans från Dialog om miljöhänsyn
2013:5	Målbilder för god miljöhänsyn – En dellerans från Dialog om miljöhänsyn

2014:1	Effekter av kvävegödsling på skogsmark – Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen
2014:2	Renbruksplan – från tanke till verklighet
2014:3	Användning och betydelsen av RenGIS i samrådsprocessen med andra markanvändare
2014:4	Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2013
2014:5	Förstudie – systemtillsyn och systemdialog
2014:6	Renbruksplankoncept – ett redskap för samhällsplanering
2014:7	Förstudie – Artskydd i skogen – Slutrapport
2015:1	Miljöövervakning på Obsytorna 1984–2013 – Beskrivning, resultat, utvärdering och framtid
2015:2	Skogsmarksgödsling med kväve – Kunskapssammanställning inför Skogsstyrelsens översyn av föreskrifter och allmänna råd om kvävegödsling
2015:3	Vegetativt förökad skogsodlingsmaterial
2015:4	Global framtida efterfrågan på och möjligt utbud av virkesråvara
2015:5	Satellitbildskartering av lämnad miljöhänsyn i skogsbruket – en landskapsansats
2015:6	Lägsta ålder för föryngringsavverkning (LÅF) – en analys av följder av att sänka åldrarna i norra Sverige till samma nivå som i södra Sverige
2015:7	Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2014
2015:8	Uppföljning av skogliga åtgärder längs vattendrag för att gynna lövträd och lövträdetablering.
2015:9	Ångermanälvsprojektet – förslag till miljöförbättrande åtgärder i mellersta Ångermanälven och nedre Fjällsjöälven
2015:10	Skogliga konsekvensanalyser 2015–SKA 15
2015:11	Analyser av miljöförhållanden i de skogliga konsekvensanalyserna 2015 – SKA 15

Av Skogsstyrelsen publicerade Meddelanden:

1991:2	Vägplan -90
1991:5	Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag
1995:2	Gallringsundersökning 92
1995:3	Kontrolltaxering av nyckelbiotoper
1996:1	Skogsstyrelsens anslag för tillämpad skogsproduktionsforskning
1997:1	Naturskydd och naturhänsyn i skogen
1997:2	Skogsvårdsorganisationens årskonferens 1996
1998:1	Skogsvårdsorganisationens Utvärdering av Skogspolitiken
1998:2	Skogliga aktörer och den nya skogspolitiken
1998:3	Föryngringsavverkning och skogsbilvägar
1998:4	Miljöhänsyn vid föryngringsavverkning – Delresultat från Polytax
1998:5	Beståndsanläggning
1998:6	Naturskydd och miljöarbete
1998:7	Röjningsundersökning 1997
1998:8	Gallringsundersökning 1997
1998:9	Skadebilden beträffande fasta fornlämningar och övriga kulturmiljövärden
1998:10	Produktionskonsekvenser av den nya skogspolitiken
1998:11	SMILE – Uppföljning av sumpskogsskötsel
1998:12	Sköter vi ädellövskogen? – Ett projekt inom SMILE
1998:13	Riksdagens skogspolitiska intentioner. Om mål som uppdrag till en myndighet
1998:14	Swedish forest policy in an international perspective. (Utfört av FAO)
1998:15	Produktion eller miljö. (En mediaundersökning utförd av Göteborgs universitet)
1998:16	De trädbevuxna impedimentens betydelse som livsmiljöer för skogslevande växt- och djurarter
1998:17	Verksamhet inom Skogsvårdsorganisationen som kan utnyttjas i den nationella miljöövervakning
1998:19	Skogsvårdsorganisationens årskonferens 1998
1999:1	Nyckelbiotopsinventeringen 1993–1998. Slutrapport
1999:3	Sveriges sumpskogar. Resultat av sumpskogsinventeringen 1990–1998
2001:1	Skogsvårdsorganisationens Årskonferens 2000
2001:2	Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling
2001:3	Kontrollinventering av nyckelbiotoper år 2000
2001:4	Åtgärder mot markförorening och för ett uthålligt brukande av skogsmarken
2001:5	Miljöövervakning av Biologisk mångfald i Nyckelbiotoper
2001:6	Utvärdering av samråden 1998 Skogsbruk – rennärning
2002:1	Skogsvårdsorganisationens utvärdering av skogspolitiken effekter – SUS 2001
2002:2	Skog för naturvårdsändamål – uppföljning av områdeskydd, frivilliga avsättningar, samt miljöhänsyn vid föryngringsavverkning
2002:4	Action plan to counteract soil acidification and to promote sustainable use of forestland
2002:6	Skogsmarksgödsling – effekter på skogshushållning, ekonomi, sysselsättning och miljö

2003:1	Skogsvårdsorganisationens Årskonferens 2002
2003:2	Konsekvenser av ett förbud mot permترینbehandling av skogsplanter
2004:1	Kontinuitetsskogar – en förstudie
2004:2	Landskapsekologiska kärnområden – LEKO, Redovisning av ett projekt 1999–2003
2004:3	Skogens sociala värden
2004:4	Inventering av nyckelbiotoper – Resultat 2003
2006:1	Stormen 2005 – en skoglig analys
2007:1	Övervakning av insektsangrepp – Slutrapport från Skogsstyrelsens regeringsuppdrag
2007:2	Kvävegödsling av skogsmark
2007:3	Skogsstyrelsens inventering av nyckelbiotoper – Resultat till och med 2006
2007:4	Fördjupad utvärdering av Levande skogar
2007:5	Hållbart nyttjande av skog
2008:1	Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk
2008:2	Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring
2008:3	Skogsbrukets frivilliga avsättningar
2008:4	Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2007 – SKA-VB 08
2009:1	Dikesrensningens regelverk
2009:2	Viltanpassad Skogsskötsel – Skogliga åtgärder för att minska skador
2009:3	Ny metod och nya definitioner i uppföljningen av frivilliga avsättningar
2009:4	Stubbskörd – kunskapssammanställning och Skogsstyrelsens rekommendationer
2009:5	Vidareutveckling av pågående viltskadeinventeringar
2009:6	En märkbar förändring i skogsägarnas vardag – Projekt Skogsägarnas myndighetskontakter
2009:7	Regler om användning av främmande trädslag
2010:1	Vattenförvaltningen i skogen
2010:2	Nationell tillämpning av FLEGT – Forest Law Enforcement, Governance and Trade
2011:1	Tillsyn enl 9 kap miljöbalken av verksamhet på mark som omfattas av skogsvårdslagen
2011:2	Skogs- och miljöpolitiska mål – brister, orsaker och förslag på åtgärder
2011:3	Skogliga inventeringsmetoder i en kunskapsbaserad älgförvaltning
2011:4	Uppdrag om nationella bestämmelser som kompletterar EU:s timmerförordning samt om revidering av virkesmätningarslagstiftningen
2011:5	Uppföljning av hänsyn till rennärigen
2011:6	Översyn av föreskrifter och allmänna råd för 30 paragrafen SvL – Del 1
2011:7	Hjortdjurens inverkan på tillväxt av produktionsträd och rekrytering av betesbegärliga trädslag – problembeskrivning, orsaker och förslag till åtgärder
2012:1	Förslag på regelförenklningar i skogsvårdslagstiftningen
2012:2	Uppdrag om nationella bestämmelser som kompletterar EU:s timmerförordning
2012:3	Beredskap vid skador på skog
2013:1	Dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennärigen
2013:2	Uppdrag om förslag till ny lagstiftning om virkesmätning
2013:3	Adaptiv skogsskötsel
2013:4	Ask och askskottsjukan i Sverige
2013:5	Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – Förslag och ställningstaganden
2013:6	Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – omvärldsanalys
2013:7	Ökad jämställdhet bland skogsägare
2013:8	Naturvårdsavtal för områden med sociala värden
2013:9	Skogens sociala värden – en kunskapssammanställning
2014:1	Översyn av föreskrifter och allmänna råd till 30 § SvL – Del 2
2014:2	Skogslandskapets vatten – en lägesbeskrivning av arbetet med styrmedel och åtgärder
2015:1	Förenkling i skogsvårdslagstiftningen – Redovisning av regeringsuppdrag
2015:2	Redovisning av arbete med skogens sociala värde
2015:3	Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15

Beställning av Rapporter och Meddelanden

Skogsstyrelsen,
Böcker och Broschyrer
551 83 JÖNKÖPING
Telefon: 036 – 35 93 40
växel 036 – 35 93 00
fax 036 – 19 06 22
e-post: bocker@skogsstyrelsen.se
www.skogsstyrelsen.se/bocker

I Skogsstyrelsens Meddelande-serie publiceras redogörelser, utredningar med mera av officiell karaktär.

Innehållet överensstämmer med myndighetens policy.

I Skogsstyrelsens Rapport-serie publiceras redogörelser och utredningar med mera för vars innehåll författaren/författarna själva ansvarar.

Skogsstyrelsen publicerar dessutom fortlöpande: Foldrar, broschyrer, böcker med mera inom skilda skogliga ämnesområden. Skogsstyrelsen är också utgivare av tidningen SkogsEko.

Skogsstyrelsen och SLU har genomfört en ny omgång skogliga konsekvensanalyser – SKA 15. I denna rapport redovisas metodutveckling angående

- 1) klimatförändringarnas effekt på tillväxt och
- 2) inverkan av större stormfällningar på skogstillståndets utveckling och skogstillståndets inverkan på stormfällningens omfattning. Vidare redovisas en effektanalys av skötselns inverkan på stormfällning och avverkningspotential och slutligen diskuteras klimatförändringarnas inverkan på framtida omfattning av skador, främst av granbarkborre och rotröta.