



Är anpassning av skogsskötseln nödvändigt i dagsläget för att minska skogsskador i ett förändrat klimat?

Del 1 –analyser på beståndsnivå

Av Johan Bergh¹ Ulf Johansson², Urban Nilsson¹ och Ola Sallnäs¹

¹Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

²Tönnersjöhedens och Skarhults försöksparker, SLU

Del 2 –analyser på regional nivå

Av Johan Bergh¹ Ulf Johansson², Anna Maria Jönsson³, Fredrik Lagergren³,

Anders Lundström⁴, Urban Nilsson¹ och Ola Sallnäs¹

¹Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

²Tönnersjöhedens och Skarhults försöksparker, SLU

³Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper, LU

⁴Institutionen för Skoglig resurshushållning, SLU

Editor: Johan Bergh

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

SLU

Box 49

SE-230 53 Alnarp

Telefon: 040-41 50 00

Telefax: 040-46 23 25

Southern Swedish Forest Research Centre

Swedish University of Agricultural Sciences

P.O. Box 49, SE-230 53 Alnarp

Sweden

Phone: +46 (0)40 41 50 00

Fax: +46 (0)40 46 23 25

Sveriges lantbruksuniversitet

Arbetsrapport nr 43

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

Alnarp 2012

Förord

En klimatförändring kommer att ändra förutsättningarna för de skogliga ekosystemen, vilket kommer sannolikt att kräva förändrade skogsbruks- och skötselmetoder. I denna rapport har vi analyserat tänkbara strategier för skogsbruket och sätta in dem i ett vidare perspektiv. En sådan analys måste naturligtvis göras med stor ödmjukhet, eftersom kunskapsläget om vilka effekterna kan tänkas bli är dåligt och osäkerheterna kring alla relevanta prognoser är mycket stora.

I den första delen av rapporten analyserar vi konsekvenserna av olika skogsskötselalternativ på beståndsnivå: (i) övergång till ett skogsbruk utan gallringar och med omloppstider kortare än de som idag tillämpas, (ii) en successiv övergång till ett lövskogsskogsbruk genom att efter slutavverkning alltid föryngra med löv var det andra alternativet och (iii) övergång till högproduktiva exotiska trädslag. De olika alternativen analyserades utifrån en beskriven klimatförändring och utvärderades i termer av virkesproduktion, ekonomi och skaderisker.

I den andra delen av rapporten försöker vi generalisera diskussionen till en regional nivå och undersöka om slutsatserna blir annorlunda i denna skala. Skogliga analyser på beståndsnivå blir gärna endimensionella, då en funktion eller ett värde analyseras i taget (produktion, ekonomin, rekreation, biodiversitet etc). Tidsperspektivet blir ofta syntetiskt behandlat genom exempelvis val av diskonteringsfaktor i en nuvärdeskalkyl. Skogen som system tillhandahåller samtidigt en mängd varor, tjänster och andra värden. Då det är kombinationen av en mängd bestånd som utgör detta system krävs analyser på systemnivå för att skapa en helhetsbild.

Vår förhoppning är att denna rapport leder till ökad kunskap och förståelse för de olika komplexa samband och avvägningar som det svenska skogsbruket kommer att möta. Ett stort tack riktas till forskningsprogrammen Mistra-SWECIA och Future Forests som har finansierat detta projekt.

Innehållsförteckning

	Sidnummer
Del 1 -analyser på beståndsnivå	
Sammanfattning	6
Summary	7
Bakgrund	8
En föränderlig värld	10
Ett förändrat klimat	10
Primärproduktion i ett förändrat klimat	11
Skador i ett förändrat klimat	12
Stormskador	12
Svampskador	13
Insektsskador	13
Frostskador	14
Skogsbränder	14
Viltskador	15
Samverkans effekter	15
Motiv för val av skötselprogram i ett förändrat klimat	16
Beståndskalkyler	17
Kalkylförutsättningar	19
Skötselprogram	19
Skadeanalys	22
Kalkylresultat och diskussion	22
Effekt av rotröta	22
Effekt av granbarkborre	24
Effekt av stormskador	26

Sammanvägd effekt av storm, rotröta och granbarkborre	28
Alternativa skötselprogram	30
Södra Sverige	30
Norra Sverige	32
Osäkerhet och implikationer	35
Beslut/åtgärder	37
Beslut under osäkerhet	38
Riskkostnad	38
Genomförbarhet	41
Andra skötselmetoder som kan minska riskerna för skadeverkningar	41

Del 2 -analyser på regional nivå

Tidigare resultat	43
Syftet med analyserna på regional nivå	44
Material och Metoder	44
Beräkningsmodell	44
Implementering av climateffekter i Heureka	45
Implementering av tillväxtvinster vid användning av förädlad material	45
Implementering av stormskador	46
Implementering av granbarksborreskador	47
Skötselstrategier och analysområden	47
Hur förändras klimatet i de utvalda länen	51
Resultat och Diskussion	51
Utveckling av skogstillståndet i Småland	51
Utveckling av skogstillståndet i Jämtland	56
Ekonomiska effekter för de olika skötselalternativen för respektive landskap	61

Förväntade stormskador och granbarksborreangrepp för respektive landskap	65
Gallringar eller inte gallring, det är frågan?	66
Klarar man försörjningen av virke till skogsindustrin med ändrad skötsel?	68
Felkällor och svagheter	70
Risker och skadenivåer mm	70
Några slutsatser	72
Referenser	73

Del 1 –analyser på beståndsnivå

Av Johan Bergh¹ Ulf Johansson², Urban Nilsson¹ och Ola Sallnäs¹

¹Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

²Tönnersjöhedens och Skarhults försöksparker, SLU

Sammanfattning

Ett förändrat klimat kommer att både öka tillväxten för de flesta av våra trädslag men även risken för skador i skogsbruket. Anpassning av skogsskötsel kan minska risken för skador. Anpassad skogsskötsel kan innebära ändrad gallringsregim och förkortad omloppstid för gran eller byte av trädslag. Beståndskalkyler visar att anpassad skötsel kan vara positivt för produktion och ekonomi. Produktiva trädslag som hybridlärk och hybridasp kan ge samma eller bättre ekonomi än gran. Däremot ger trädslag med lägre produktion som björk och bok betydligt sämre ekonomi jämfört med de andra alternativen. I norra Sverige är tall huvudalternativet och ökade storm, rotröte- och insektsproblem förbättrar inte granen konkurrenskraft gentemot tallen. Dock är färre gallringar och kortare omloppstider positivt för produktionen och ekonomin även i norra Sverige. Det trädslag som ger bäst ekonomi i norra Sverige är contortatalen. Analyser på regional nivå visade att möjligt att tillgodose skogsindustrin virkesförsörjning med ett skötselprogram utan gallringar och med lägre slutavverkningsåldrar. Detta skötselprogram visade också att gallringsfritt skogsbruk skulle medföra kraftigt minskade risker för skador, särskilt för gran i södra Sverige.

Summary

A changed climate will likely increase the growth for our native tree species but also increase the risk for damages in forestry. Adaption of forest management can reduce the risk for a number of potential damages, such as change of tree species, changed thinning regimes and reduced rotation length. Economic analysis on stand level showed that adapted forest management can be positive both for production and economy. Productive tree species such as hybrid larch and hybrid aspen can give the same or even better economy than Norway spruce growing in southern Sweden. Native tree species with lower productivity (birch, beech) gave substantial decrease in economical terms, compared with the other alternatives. In northern Sweden Scots pine is the main alternative and increased problems with storm, insects and pathogens reduce the competitiveness for Norway spruce against Scots pine. Contorta pine gave the best economy of all tree species in northern Sweden. Regional analysis showed that it is possible to supply the forest industry with raw material, with a forestry without thinning by increased final-fellings and reduced rotation periods. It showed also reduced risks for damages, especially for Norway spruce in southern Sweden.

Bakgrund

I diskussionen om klimatförändringar och skogsbruk framförs ofta att effekterna av en eventuell klimatförändring på de skogliga ekosystemen kommer att kräva förändrade skogsbruks- och skötselmetoder. I denna skrift vill vi något närmare analysera dessa påståenden och sätta in dem i ett vidare perspektiv. En sådan analys måste naturligtvis göras med stor ödmjukhet – kunskapsläget om vilka effekterna kan tänkas bli är dåligt och osäkerheterna kring alla relevanta prognoser är mycket stora.

För att på ett pedagogiskt sätt kunna diskutera frågan behöver vi först definiera spelplanen – vad menar vi med ”förändrade metoder” och vad inkluderar vi i ”förväntade effekter”?

Bergh och Linder (2010) skriver: ”Ökad temperatur och högre koldioxidhalt i luften ger förutsättningar för ökad skogsproduktion. Men fördelarna med ett nytt klimat ska vägas mot ökade risker för skador på grund av svampar, insekter och stormfällning. Klimatförändringen kommer att vara gynnsam för produktionen, men hur stor effekten blir är osäkert. Samtidigt ökar möjligheten att använda nya och mer produktiva trädslag. Skogsbruket måste snarast planera för klimatanpassade skötselmetoder – omställningen är en trög process.”

I det citerade stycket antyds vilka effekter som kan vara relevanta att diskutera – positiva effekter på den biologiska primärproduktionen och negativa effekter orsakade av skador av olika slag. I senare avsnitt kommer vi att närmare behandla de olika effekterna men låt oss här bara konstatera att skadornas effekter kan delas in i olika kategorier:

- skador som påverkar resultaten av olika föryngringsåtgärder, t.ex. snytbaggskador på plantor
- skador som påverkar tillväxten i beståndet, t.ex. angrepp av *Gremmeniella* svampen eller angrepp av barkborrar.
- skador som förstör eller minskar värdet på stående skog/virke, t.ex. stormskador eller rotröta

Utöver dessa skador kan man förvänta sig effekter som ökade drivningssvårigheter, ökade markskador i samband med drivning, problem med bärigheten på norrländska vägare etc. Denna typ av negativa effekter kommer inte att behandlas i denna skrift.

I det ovan citerade avsnittet efterlyses klimatanpassade skötselmetoder. I andra sammanhang diskuteras förändrade skogsbruksmetoder. Vi vill göra en distinktion mellan dessa begrepp genom att använda ”skötselmetod” för att ange ett sätt att hantera skogen inom ramen för ett trakthyggesbruk som in sin tur utgör en av flera tänkbara skogsbruksmetoder. I det följande kommer vi att hålla oss inom trakthyggesparadigmet och inte vidare diskutera alternativa skogsbrukssätt.

Inom trakthyggesbruket formar, mer eller mindre, ett antal beslut tillsammans en ”skötselmetod”. I vid mening är det tre beslut som bestämmer metoden:

- val av trädslag vid föryngring och röjning
- slutavverkningstidpunkt eller längd på omloppstiden
- gallringsprogram

Naturligtvis består en skötselmetod av fler komponenter, som röjningsstyrka, val av plantmaterial, stubbehandling etc., men vi fokuserar på de tre huvudbesluten i denna rapport.

En komplicerande faktor för en beslutsanalys är att vi, när det gäller klimatförändringen, sannolikt inte befinner oss i ett stationärt läge. Antagligen har förändringen redan börjat och vi befinner oss i en utveckling som kommer att hålla på ett tag och där omfattningen av, men kanske inte riktningen på, förändringen är mycket osäker. I sin tur innebär detta att vi sannolikt kommer att veta mer om vart utvecklingen är på väg ju längre tiden går. Att göra en beslutsanalys baserad på ett antaget nytt klimatläge är därför inte tillräckligt – i analysen måste ingå timingen av besluten, det kan t.ex. vara bra att skjuta upp beslut i avvaktan på förbättrad kunskap/minskad osäkerhet.

Diskussionen bör således föras längs två linjer. Den första blir frågan om vi kan förvänta oss att klimatutvecklingen, med alla följdutvecklingar, blir sådan att vi i framtiden behöver tillämpa nya skogsskötselmetoder. Om så är fallet, bör en process kanske starta redan nu – t.ex. tar det lång tid att bygga upp plantförsörjningssystemen vid ett storskaligt byte av trädslag i föryngringarna. Det är en diskussion som är relevant i ett samhällsperspektiv. Den andra frågan är om vi idag bör ändra våra operativa skötselbeslut för enskilda bestånd med tanke på den osäkra framtiden. Denna diskussion har relevans såväl på samhällelig nivå som för den enskilde skogsbrukaren.

Över hela diskussionen om klimatförändringar svävar en mycket stor osäkerhet. Detta gäller såväl förändringen i sig som dess eventuella effekter. Ett identifierande och erkännande av denna osäkerhet bli en viktig komponent i all form av beslutsanalys. Ett medvetet val av riskhanteringsstrategi blir lika viktigt som fastställande av ”bästa” handlingsalternativ under osäkra förutsättningar. Egenskaper som adaptivitet och flexibilitet blir viktiga för alla metoder och scheman. Även här torde det finnas anledning att betrakta problemen ut två perspektiv, det samhälleliga och den enskilde brukarens.

Den första delen av rapporten är uppdelad i tre olika sektioner. I den första för vi en allmän diskussion komponenterna vi har att hantera i en föränderlig situation: klimat, skador, primärproduktion och skötselprogram. Den andra består av beståndskalkyler för några olika ståndorter och situationer. Bl.a. resultaten från dessa kalkyler används sedan i den avslutande tredje sektionen för att något vidga diskussionen till osäkerheter, beslutsunderlag och genomförandemöjligheter.

I den andra delen av rapporten försöker vi generalisera diskussionen till en regional nivå och undersöka om slutsatserna blir annorlunda i denna skala. Skogliga analyser på beståndsnivå blir gärna endimensionella – i så mening att en funktion eller ett värde analyseras i taget, produktionsekonomin, rekreationsvärdet eller naturvårdsvärdet. Tidsperspektivet blir ofta

syntetiskt behandlat genom exempelvis val av diskonteringsfaktor i en nuvärdeskalkyl. Skogen som system tillhandahåller samtidigt en mängd varor, tjänster och andra värden. Då det är kombinationen av en mängd bestånd som utgör detta system krävs analyser på systemnivå för att skapa en helhetsbild. Många av de processer som genererar skogens output sker på landskaps eller regional nivå. Skogen har en roll som råvaruförsörjare av skogsindustrin. Hur väl skogen kan uppfylla den rollen vid en given tidpunkt avgörs av kombinationen av faktisk skogsskötsel och skogens totala tillstånd vid den aktuella tiden. För att klara biodiversiteten i norra Sverige behövs kanske att det vid varje tidpunkt skall finnas en viss mängd gammal skog arrangerad i ett visst mönster. Detta innebär inte att varje bestånd med nödvändighet bör skötas med extremt lång omloppstid, utan snarare att vissa bestånd vid varje tillfälle sköts på detta vis.

Även riskbegreppet kan ges olika innebörd på bestånds- och regional nivå. I andra sammanhang har visats att riskperspektivet skiljer sig radikalt mellan en mycket stor och en mycket liten skogsägare. För den store skogsägaren jämnar risken ut sig över tiden och rummet medan så inte är fallet för skogsägaren med det lilla innehavet.

Skogen är ett trögt system i den meningen att eftersom vi opererar med omloppstider på 50-100 år så tar det lång tid innan förändringar av skogsskötseln slår igenom i ett märkbart förändrat skogstillstånd. Detta medför i sin tur att förändringsprocessen i sig är intressant att analysera, vilket bara kan göra på en integrerad nivå – landskapet, regionen eller nationen.

I Sverige har vi tillgång till instrument som i ett internationellt perspektiv måste betraktas som oerhört kraftfulla för att beskriva och analysera utvecklingen av skogslandskapet under alternativa skötselstrategier. Det finns en lång tradition att basera strategiska skogspolitiska beslut på s.k. avverkningsberäkningar. HUGIN-systemet som utvecklades på 70-80 talen har fram till nu varit det centrala verktyget för att genomföra regionala framskrivningar av skogen. En del av de begränsningar som HUGIN hade finns inte i dess efterföljare RegWise komponenten i Heureka. Genom att kombinera dessa system finns det mycket goda möjligheter att allsidigt belysa konsekvenserna av olika skogsskötselstrategier.

En föränderlig värld

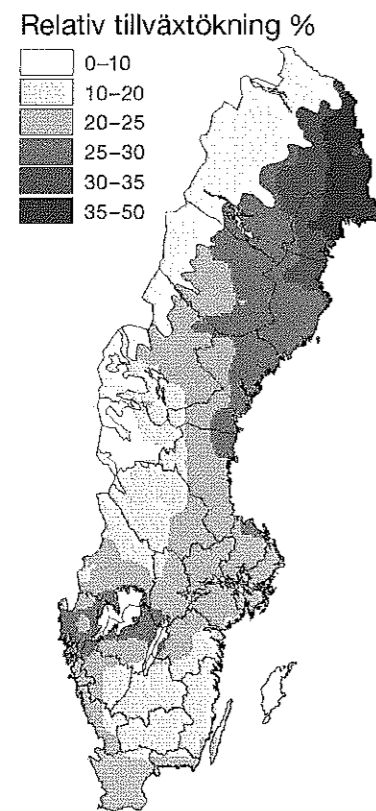
Ett förändrat klimat

Ett förändrat klimat innebär att produktionsförutsättningarna ändras för våra trädslag. I vårt kärva vinterklimat skulle en ökad temperatur och koldioxidhalt sannolikt öka produktionen för de flesta trädslag i Sverige. Detta förutsatt att nederbörden inte minskar drastiskt. En ökad temperatur vår och höst leder till en förlängd växtsäsong med 30-45 dagar om 100 år, enligt B2-scenariot. Detta innebär att mer av solljuset kan utnyttjas till fotosyntes- och biomassaproduktion (Bergh et al., 2003). Detta leder högst sannolikt till en ökad biomassa- och stamvedsproduktion för samtliga av våra trädslag i alla delar av Sverige. I B2-scenariot

som vi har använt oss av kommer medeltemperaturen öka med 3-4 grader, där temperaturökningen är något högre i norra Sverige och under vinterhalvåret (IPCC, 2007; Nikulin et al., 2011). Nattfroster styrs av strålningsbalansen mellan dag och natt och kanske inte kommer att tidigareläggas trots ett varmare temperaturklimat. Nederbörds mängden förväntas öka under det närmaste seklet med 10-20 % (IPCC, 2007). Under vegetationsperioden får Götaland minskad nederbörd medan i norra Norrland förväntas nederbörden öka något även på sommaren. Dock vägs den ökade nederbörden upp av ökad avdunstning, vilket medför att avrinningen inte ökar, och då sannolikt inte heller grundvattennivåerna i medeltal. Även vindklimat kommer att påverkas och i B2-scenariet, baserade på Echam-modellen (Alexandersson & Vedin, 2002), ökar vindhastigheterna under vintern med i medeltal 7 till 13% till i slutet av seklet, beroende på vilket utsläppsscenario som användes. Något större ökning sker över Östersjön på vintern, speciellt Bottenviken och Bottenhavet. Detta beror på att havsisen till stor del försvinner i scenarierna. Den maximala vindhastigheten beräknas förändras ungefär lika mycket som medelvindhastigheten. Därför är det sannolikt att stormrisken ökar framöver i både södra och norra Sverige. Snödjupet och snötäcket varaktighet förväntas minska i ett varmare klimat. Detta gäller även förekomsten av tjäle som förväntas minska i framför allt norra Sverige jämfört med idag.

Primärproduktion i ett förändrat klimat

För att kunna väga samman de olika klimatteffekterna på skogens tillväxt och överlevnad måste man använda sig av processbaserade tillväxtmodeller med hög upplösning i tid och rum. Baserat på ett scenario med begränsade utsläpp (B2-scenariot) av växthusgaser visar sådana modellsimuleringar att man kan förvänta sig stora regionala skillnader när det gäller effekten av ett förändrat klimat på skogsproduktionen (figur 1). Den största relativa tillväxtökningen förutspås i norra Sverige och ligger för åren 2071-2100 på 15-40 procent (Bergh & Linder, 2010) över referensperiodens nivå (1961-1990). I absoluta tal (kubikmeter per hektar) kommer dock tillväxtökningen i de flesta fall att vara högre i södra än i norra Sverige.



Figur 1. Modellberäkning av den relativa förändringen av skogsproduktionen i Sverige i ett framtida klimat (2071–2100) jämfört med referensperiodens klimat (1961–1990).

Skador i ett förändrat klimat

Ett förändrat klimat kommer sannolikt innebära ökade risker för skador av svampar, insekter, stormfällning och frost. Skogsbruket måste därför ta ställning till en rad olika aspekter som trädslagsval, ändra och/eller anpassa befintlig skogsskötsel, möjligheter till kemiska bekämpningsåtgärder och utveckla ett väl fungerande övervakningssystem för att i tid kunna begränsa eventuella skadeangrepp (Bergh och Linder, 2010). Skadetyper leder även till olika skador och bör därför hanteras olika.

Stormskador

Vindfällning av skog har historiskt sett gett upphov till stora och kostsamma skador. Gran och contortatall är de mest stormkänsliga trädslagen, medan lövträden i regel klarar sig bättre eftersom de står avlödade under den stormiga höst- och vintersäsongen. Risken för vindfällnen är störst i nygallrade och medelålders/äldre granbestånd.

Av det virke som har blåst ner under de senaste hundra åren har 90 procent varit i södra Sverige. Det var också där som stormen Gudrun 2005 fällde nästan en hel årsavverkning. Klimatscenerierna pekar inte entydigt på att frekvensen hårda vindar kommer att öka, men

ökad tillväxt och större barrmassa ökar risken för stormfällning (Blennow et al., 2009). Minskad tjäle på grund av varmare vintrar kan också bidra till ökad risk för stormfällning genom att trädens förankring försämras på våt och ofrusen mark. Risken för stormskador i granbestånd kan redan nu minskas genom gallringsfritt, färre gallringar och kortare omloppstider, medan att byta ut gran mot stormtåligare trädslag tar mycket lång tid. Detta är ett viktigt vägval för granskogsbruket i södra Sverige men har även betydelse för contortaskogsbruket i norra Sverige.

Stormfällningar kan innebära kvalitetsförsämring av virket men också dyrare upparbetning och påverkan på marknaden genom att utbudet kan öka kraftigt och minska virkespriserna. Vid stambrott kan en viss andel av virket gå förlorat och kvalitetsförsämringar kan fås om virket måste lagras under längre perioder. Vid en stormskadeanalys måste man ta dessa aspekter i beaktande och beräkna vad anpassad skogsskötsel och byte av trädslag innebär i ekonomiska termer.

Svampskador

Varmare väder och förändrat nederbörds klimat kan påverka vissa skadesvampar som angriper skogsträden. Det finns en allmän oro för att skadorna kommer att öka i ett varmare klimat, men än så länge finns det inga säkra belegg för att detta kommer att ske. En nordförflyttning av nya skadesvampar inom landet och från kontinenten kan också ske och därför är det viktigt med utökad övervakning och beredskap.

Rotröta drabbar främst gran och har stor ekonomisk betydelse för skogsbruket. Dess spridning gynnas av varmt och fuktigt väder och idag är problemen störst i södra Sverige. Varmare somrar och längre växtsäsong kommer att öka spridningen och påskynda rotrotteförloppet (SOU, 2007). Skadorna kommer att öka i omfattning, speciellt i Norrland. Rotröta ger främst kvalitetsförsämringar i rotstocken och kan öka risken för stormskador. Ett sätt att begränsa rotrotteangreppens omfattning är att ha skötselprogram med färre gallringar och kortare omloppstider.

Gremmeniella är en svamp som framförallt angriper tall och contortatall (tallens knopp- och grentorka), men även gran (granens topporka). Barrförluster leder till minskad tillväxt, och om angreppet är kraftigt kan det leda till att träden dör (Hanson et al., 2005). Även om träden överlever och återhämtar sig innebär barrförlusterna minskad tillväxt under 5 -15 år. Svampen gynnas av kalla och våta somrar, samtidigt av milda och varma vintrar. Därför är det svårt att säga hur angreppen kan påverkas av ett förändrat klimat. Om kraftiga angrepp drabbar slutavverkningsmogen skog är det ur ekonomisk synvinkel fördelaktigt att avverka skogen medan det är en avvägningsfråga att förtidsavverka skogen om det inte har nått slutavverkningsålder.

Insektsskador

Snytbagge är en av våra två mest betydande skadeinsekter. Snytbaggen gynnas av ett varmare klimat, men i första hand av tillgången på yngelmateriale i form av färska stubbar. Snytbaggen

drabbar barrplanteringar främst i södra Sverige, och i ett varmare klimat kan problemet öka framförallt i Norrland (Sonesson et al., 2004). Stora snytbaggeangrepp kan leda till omplantering eller tillväxtförluster om man får alltför glesa och luckiga bestånd. Markberedning, skärmar, kemisk bekämpning och mekaniska skydd är viktigt för föryngringarna idag och kommer sannolikt bli ännu viktigare i ett förhöjt temperaturklimat i framtiden (Nordlander et al., 2007). Hyggesvila innan plantering är ett alternativ att minska angreppen men hyggesvila försvårar etableringen genom kraftigt ökad vegetationskonkurrens på hygget. Ett annat skötselalternativ är byte av träslag.

Med varmare somrar kommer granbarkborren att ha möjlighet till en sensommarsvärmning, vilket leder till snabbare generationsväxling (Jönsson et al., 2007, 2011a; Appelberg, 2007). I kombination med riskerna för vattenstress hos stående träd och ökad stormfällning kan det i framtiden innebära betydande risker för svåra angrepp av granbarkborren på stående granskog. Frekvensen av massiva granbarksborreangrepp kan därför öka markant. Men det är vanskligt att förutsäga hur risken för massförekomst av skadeinsekter kommer att öka eftersom populationsstorleken hos de växtätande skadeinsekterna är ett samspel mellan värdväxt, skadegörare och deras naturliga fiender.

Mindre granbarksborreangrepp ger endast mindre tillväxtnedsättningar och ingen påverkan på virkeskvaliteten. Däremot leder massiva angrepp till stora tillväxtförluster och att träden dör, vilket gör att kvaliteten på virket försämras. Beslutssituationen när man ska avverka/förtidsavverka kraftigt skadade bestånd är densamma som för *Gremmeniella*. Det är viktigt med övervakning och god skogshygien där man tar hand om angripna träd för att minska angreppen. Anpassad skogsskötsel för att minska stormfällningar och byte av träslag kan övervägas.

Frostskador

Ett förhöjt temperaturklimat har även en inverkan på knoppsprickning och skottskjutning på våren hos barr- och lövträd, eftersom den påverkas av både dagslängden och av lufttemperaturen (Jönsson et al., 2004; Jönsson & Barring, 2011b). Hos barrträden är skottskjutningstidpunkt ofta korrelerad till en temperatursumma, medan lövsprickningen hos vissa av våra lövträd är en kombination av temperatursumma och dagslängd. Tall och gran behåller sina barr på vintern medan lövträden bygger upp sin bladmassa varje år. Detta innebär att tidigare skottskjutning och lövsprickning på våren har en större betydelse för produktionen hos lövträden jämfört med barrträden, eftersom hela lövskrudens omsätts varje år. Skottskjutningstidpunkt har varit 2-5 veckor tidigare i fältexperiment med gran, där grenar och träd har utsatts för ett förhöjt temperaturklimat. Tidigare skottskjutning och lövsprickning kan dock under vissa omständigheter öka risken för frostskador på våren, som kan bli allvarliga i plant- och ungskogar. Frostskadorna kan leda till stora avgångar så att omplantering kan bli nödvändig. Det är därför viktigt att ha plantmaterial som inte skjuter alltför tidigt på våren.

Skogsbränder

Skogsbränder inträffar oftast då man har längre torkperioder. Vanligtvis är de flesta skogsbränder markbränder med relativt långsamt brandförlopp. Vid vissa tillfällen tar dock elden sig upp i trädskronorna och man får ett betydligt snabbare och mer okontrollerat brandförlopp. Vid dessa bränder kan man få betydande virkesförluster. I och med att de flesta skogsbränder är markbränder i Sverige har vi sällan omfattande virkesförluster men släckningskostnaderna är dock större. Enligt en utredningen utförd av SMHI, SLU och Räddningsverket kan skogsbrandsfrekvensen komma att öka påtagligt i ett framtida klimat enligt de klimatscenarier vi studerat. Ökningen väntas bli störst i södra Sverige. Det är mycket viktigt att försöka förebygga skogsbränder genom restriktioner under de perioder då hög brandrisk råder. Någon anpassning av skogsskötseln är inte gjorda för att motverka skogsbränder.

Viltskador

Älg och rådjur orsakar årligen stora skador på föryngringar av tall och gran. Gran är mindre drabbad av viltbetning än tall, och lövträd kräver stängsling för att få en godtagbar föryngring. Rådjur finns idag i hela landet men på grund av födotillgången under vintern är antalet i norra Sverige relativt lågt. Med ett varmare klimat, med kortare vintrar och mindre snö, kommer troligen rådjurstammen att öka. Varmare somrar kan dock leda till att älgen drar sig norrut eftersom den stressas av temperaturer över +15 °C. I ett varmare klimat kan därför älgstammen i söder minska medan rådjurstammen ökar i norr. En typ av viltskada som kan öka är fejning på stam och kvalitetsförsämring av virket. Viltstammarna styrs i hög utsträckning av jakt, vilket innebär att jakttrycket bör öka för att bibehålla skadorna på samma nivå som idag.

Genom kortare vintrar kommer tillgången på markvegetation att finnas under längre tid av året, och det gör att betet av barrträd kan komma att minska. Viltstammarnas framtida storlek och betetryck kommer dock i huvudsak att vara beroende av framtida jakt på vilt och stora rovdjur. Någon anpassning av skogsskötseln är inte gjord för att motverka viltskador, utan vi har förutsatt att man reglerar vilttrycket till en rimlig skadenivå.

Samverkans effekter

Samverkans effekter mellan olika skadeorsaker kan förvärra skadornas omfattning. Stormskador och granbarksborreangrepp är ett känt exempel och sänkt vitalitet ger ökad risk för sekundära skadegörare som annars inte får någon nämnvärd omfattning på friska träd. Nya skadegörare kan etablera sig dels genom att de får möjlighet som sekundära skadegörare eller att de introduceras från kontinenten.

Tabell 1. Tänkbara skadeorsaker som kan öka i ett förändrat klimat och hur virket och beståndet kan påverkas.

	Kvalitet	Tillväxtförlust	Träddöd	Etableringskador
Storm			x	
Svampar				
<i>Rotröta</i>	x	(x)		
<i>Greminiella</i>		x	x	
Insekter				
<i>Granbarksborre</i>	x	x	x	
<i>Snytbagge</i>		(x)		x
Frost		(x)		x
Brand	x	x	x	
Vilt	x			x

Motiv för val av skötselprogram i ett förändrat klimat

Skogsbruket har olika valmöjligheter att anpassa skogsskötseln som kan minska risken för de skadeangrepp som är beskrivna tidigare avsnitt. Följande fyra valmöjligheter skulle minska eller förhindra skador helt:

- 1) förkortade omloppstider
- 2) färre gallringar
- 3) ökad satsning för att säkerställa snabb och säker vid etablering av ny skog
- 4) byte av trädslag

En förkortning av omloppstiden skulle (i) minska stormrisken eftersom man förkortar den del av omloppstiden då bestånden är som känsligast för stormfällning, (ii) minska rotrötan då den inte hinner spridas eller utvecklas i samma omfattning i beståndet och (iii) minska granbarksborreangreppen eftersom de sker främst i äldre skog där man nått en medeldiameter på 20 cm i brösthöjd. Färre gallringar innebär minskade risker, dels för stormskador och dels för att beståndet blir angripet av röta. Snytbaggeangrepp och frostsador går att minska genom att man satsar mer på plantmaterial, snytbageskydd och markberedning. Byte av trädslag från gran och tall till exotiskt trädslag, björk eller annat lövträd, skulle minska skaderisken i ett framtida klimat.

Beståndskalkyler

Som tidigare angetts har vi i analysen att göra med olika typer av tänkbara effekter av en eventuell klimatförändring, på de skogliga ekosystemen. Dels effekterna på primärproduktionen, dels effekter genom ökad frekvens och omfattning av olika typer av skador. Den första typen av effekter är delvis studerade genom experiment och modellstudier. Resultaten från dessa studier gör det möjligt att med någon grad av tillförlitlighet kvantifiera effekterna och att differentiera dem mellan t.ex. olika trädslag. Skadorna och deras effekter är mindre väl undersökta varför det i många fall enbart är rimligt att uttrycka riktning på förändringarna.

Vi vet att idag vissa skador drabbar framförallt vissa trädslag och vissa utvecklingsstadier av dessa trädslag. Genom att via skogsskötseln påverka förekomsten av dessa trädslag/utvecklingsstadier kan vi därigenom påverka förekomsten av skador. En utgångspunkt för de följande analyserna är att genom att tillräckligt förändra skogsskötseln är det möjligt att i stort undvika skador.

Analysen baserar sig på grundläggande traditionella beståndskalkyler där markvärdet (nuvärdet av alla framtida omloppstider) beräknas under olika förutsättningar. I ett första steg har partiella analyser gjorts där effekterna av enskilda skador på beståndskalkylen studerats. Dessa kalkyler har gjorts för ett antal olika skador och kan betraktas som en form av känslighetsanalys som anger hur kritiskt ett antagande om en viss skadeutveckling är för nuvärdet. Samtliga prognoser över förväntad beståndsutveckling har gjorts med hjälp av DT-modellen (Nilsson & Fahlvik, 2006).

Den empiriska tillväxtmodellen (DT) prognostiserar bestånds tillväxt från ungskog (ca 5 år efter plantering) till slutavverkning. De enskilda trädens höjd- och diametertillväxt, stamform och gagnvirkesvolym beräknas årligen. Bestånden i utgångsläget beskrivs med stamantal, ålder, ståndortsindex och medelhöjd (unga bestånd med medelhöjd < 7 m) eller grundyta (bestånd med medelhöjd > 7 m). DT beräknar sedan trädvisa data för träd på en cirkulär provyta med radien 10 m. Den unga skogens utveckling beskrivs med höjdtillväxtfunktioner och statiska höjd-diameter samband (Fahlvik och Nyström 2006). Höjd och diameter beräknas för individuella träd och separata funktioner används för tall, gran och björk. De mogna beståndens utveckling drivs av grundytetillväxtfunktioner för enskilda träd och separata funktioner finns utvecklade för tall, gran och björk (Elfving 2004). Diametern för de enskilda träden justeras med beståndets grundytetillväxt som beräknas parallellt med ProdMod (Ekö 1985). De enskilda trädens höjd i den mogna skogen beräknas med Näslunds höjdkurva (Näslund 1936). Parametrarna a och b i funktionen beräknas med hjälp av beståndens ålder, stamantal och övre höjd. För simuleringarna skattades beståndens grundyta i utgångsläget vid övre höjden 9 m med hjälp av data från förbands- och röjningsförsök (Karlsson och Ulvcroona 2010) och med data från gallrings och gödslingsförsök (Nilsson et al. 2010). Stamantalet i utgångsläget varierades för de olika skötselprogrammen och beståndens ålder beräknades med hjälp av ståndortsindex och övre höjd. För en mer detaljerad beskrivning av DT-modellen se Fahlvik & Nilsson (2006).

I grundskötselalternativet har vi utgått ifrån hur skötsel av gran och tall sker idag inom skogsbruket. I det anpassade alternativet har vi samma trädslag som grundalternativet men anpassat skötseln för att minimera eller helt förhindra skador. I det anpassade alternativet ändrar vi skötseln enligt punkt 1-3 ovan. Vidare har vi jämfört dessa två alternativ med att byta ut trädslaget mot lämplig exotiskt trädslag och/eller lövträdslag. Vi har förutsatt att viltstammen har reglerats så att hägn i normalfallet inte behövs vid etablering och att de alternativa trädslagen inte drabbas av några skador. Trakthyggesskogsbruk är gällande skogsbrukssätt. Produktionsutvecklingen i ett förändrat klimat beräknas för de olika skötselalternativen och trädslagen, där ekonomin jämförs.

Genom att jämföra de alternativa skötselprogrammen, alla inkluderande en skademinskande beståndsbehandling, skapas ett underlag för en diskussion kring i vilken utsträckning en "skadeanpassning" av beståndsbehandlingen för dagens trädslag har sådana konsekvenser att alternativa trädslagsval bör övervägas.

Kalkylförutsättningar

Virkespriser: för sågtimmer och massaved används medelpriser för perioden 2000-2010 (<http://www.svo.se/episerver4/templates/SFileListing.aspx?id=15353>)

Kostnader: för skogsvård och avverkning används kostnader i 2010 års nivå.

Skötselprogram

Skötselprogram utformades för två typståndorter (Tabell 3), en bördig mark i södra Sverige och en normal mark i norra Sverige. Avsikten med dessa typståndorter var att illustrera för respektive landsdel representativa ståndorter och använda dem som underlag för att ge exempel på skötselprogram i dagens klimat och i ett förändrat klimat.

Typståndorten i södra Sverige är en bördig mark med ståndortsindex G30 där gran utgör huvudträdslag. I dagens klimat antas ett bestånd på denna mark anläggas genom plantering av 2500 pl/ha vilket efter normal avgång reduceras till 2000 pl/ha. Beståndet gallras 2 gånger och slutavverkas därefter vid 70 års ålder. Ett bestånd på denna ståndort antas i ett förändrat klimat få en förhöjd produktionsförmåga motsvarande ståndortsindex G34. Ett förslag till skadeanpassat skötselprogram för denna ståndort är att plantera 1200 förädlade granplantor per ha. Genom väl utförd markbehandling och omsorgsfull plantbehandling mot snytbagge uppnås nästan 100 % överlevnad i planteringen. Beståndet gallras inte och slutavverkas vid 45 års ålder. Exempel på alternativa lövträdslag för denna typståndort i ett förändrat klimat är björk och bok. Björkbeståndet anläggs genom naturlig förnygring efter markberedning, gallras 1 gång och slutavverkas vid 50 års ålder. Bokskogen anläggs efter markberedning och plantering av 4000 pl/ha i en lågskärm av naturligt förnygrad björk. Efter 3 röjningsingrepp avvecklas lågskärmen och bokbeståndet har vid 25 års ålder 1200 st/ha. Beståndet gallras 5 gånger och är moget för slutavverkning vid 105 års ålder. Exempel på alternativa främmande trädslag för denna bördiga typståndort i ett förändrat klimat är hybridlärk och hybridasp. Hybridlärkbeståndet anläggs genom plantering av 2000 pl/ha, gallras 3 gånger och slutavverkas vid 35 års ålder. Hybridaspbeståndet anläggs genom plantering av 1000 pl/ha och måste skyddas mot viltskador genom inhägnad. Efter 2 gallringar är beståndet moget för slutavverkning vid 25 års ålder. Nästa generation av hybridasp anläggs på denna mark genom rotskottsförnygring vilken normalt blir mycket rikligt. Rotskottsförnygringen röjs 2 gånger varefter beståndet gallras 2 gånger och slutavverkas vid 25 års ålder.

Typståndorten i norra Sverige är en normal mark med ståndortsindex T22 där tall utgör huvudträdslag. I dagens klimat antas ett bestånd på denna mark anläggas genom plantering av 2000 pl/ha vilket efter normal avgång reduceras till 1500 pl/ha. Beståndet gallras 1 gång och därefter slutavverkas det vid 70 års ålder. Ett tallbestånd på denna ståndort antas i ett förändrat klimat få en produktionsförmåga motsvarande ståndortsindex T26. Eftersom tall inte på samma sätt som gran utsätts för skador av storm, rottröta och granbarkborrar, föreligger inte samma motiv till skadeanpassning av skötselprogrammet genom att inte gallra och förkorta

omloppstiden. Skötselprogram för tall på denna ståndort i ett framtida klimat blir därför att plantera 2500 tallplantor per ha vilka efter normal avgång reduceras till 2000 pl/ha. Efter 2 gallringar kan beståndet slutavverkas vid 65 års ålder. Skaderiskerna för tall i ett förändrat klimat är bl a ökade svampangrepp såsom törskate och Gremeniella. Möjligheterna till skadeförebyggande skötsel i ett förändrat klimat innebär främst att byta trädslag. Exempel på ett alternativt lövträdslag för denna typståndort i ett förändrat klimat är björk. Björkbeståndet anläggs genom naturlig föryngring efter markberedning, gallras 1 gång och slutavverkas vid 50 års ålder. Exempel på ett alternativt främmande trädslag för denna typståndort i ett förändrat klimat är contortatall. Ett skadeförebyggande skötselprogram för contorta är plantering av 1200 pl/ha, gallringsfritt och slutavverkning vid 45 års ålder.

Tabell 3. Skötselprogram för typståndorter

Typståndort	Trädslag	Ståndortsindex	Utgångs-stamantal	Antal gallringar	Omloppstid	Medeltillväxt, m ³ sk/ha, år
Södra	Gran	G30	2000	2	70	9,4
	Gran	G30	1200	0	50	8,8
	Gran	G34	2000	2	65	12,7
	Gran	G34	1200	0	45	11,5
	Björk	B22	1500	1	50	5,0
	Bok	F28	4000	5	105	7,9
	Hybrid-lärk					
	Hybrid-asp	G34	1000	2	25	20,6/23,3
Norra	Tall	T22	1500	1	80	5,9
	Tall	T22	1000	0	70	5,3
	Tall	T26	2000	2	65	7,6
	Tall	T26	1200	0	50	6,9
	Björk	B18	1200	1	80	3,0
	Contorta	T31	2000	2	55	10,7
	Contorta	T31	1200	0	45	10,5

Skadeanalys

För rotröta har den årliga ökningen av andelen infekterade träd antagits vara 0.2, 0.5, 1 respektive 2 procent per år efter förstagallringstillfället. En ökningstakt på 0.2% per år ger en infektionsgrad i slutavverkningsbeståndet som grovt motsvarar dagens nivå i Götaland medan de övriga motsvarar en ökad infektionstakt i ett framtida klimat som är mer gynnsamt för rotrötesvampens spridning. De rötskadade träden har antagits vara infekterade till 3 m höjd i medeltal. Vid den ekonomiska beräkningen har värdet för den rötskadade volymen minskats från timmervärde till värdet för massaved.

Granbarkborreskador har beräknats med en ökningstakt om 0.1, 0.5, 1.0 och 1.5% per år. En ökningstakt av andelen skadade träd av granbarkborre på 0.5% per år motsvarar de skadenivåer som registrerades under toppåret 2006 efter stormen Gudrun. Endast träd med brösthöjdsdiameter grövre än 20 cm har utsatts för barkborreskador. Värdet för de skadade träden har sänkts från det ursprungliga till värdet för biobränsle.

För att beräkna risken för stormskador för träd med olika övre höjd användes det samband mellan övre höjd och stormskaderisk som beräknats av Persson (1975). Funktionen skalades om så att den motsvarar risken för att få stormfällning motsvarande det som föll i stormen Gudrun (Figur). Funktionen för risken för stormskador vid olika övre höjd användes därefter för att beräkna en ny funktion för risken för stormskador vid olika ålder för ståndortsindex G34. Funktionen för stormskador representerar den skogsskötsel som användes i Götaland före stormen Gudrun och bör därför inte användas för beståndsbehandlingsprogram som drastiskt skiljer sig ifrån denna skogsskötsel.

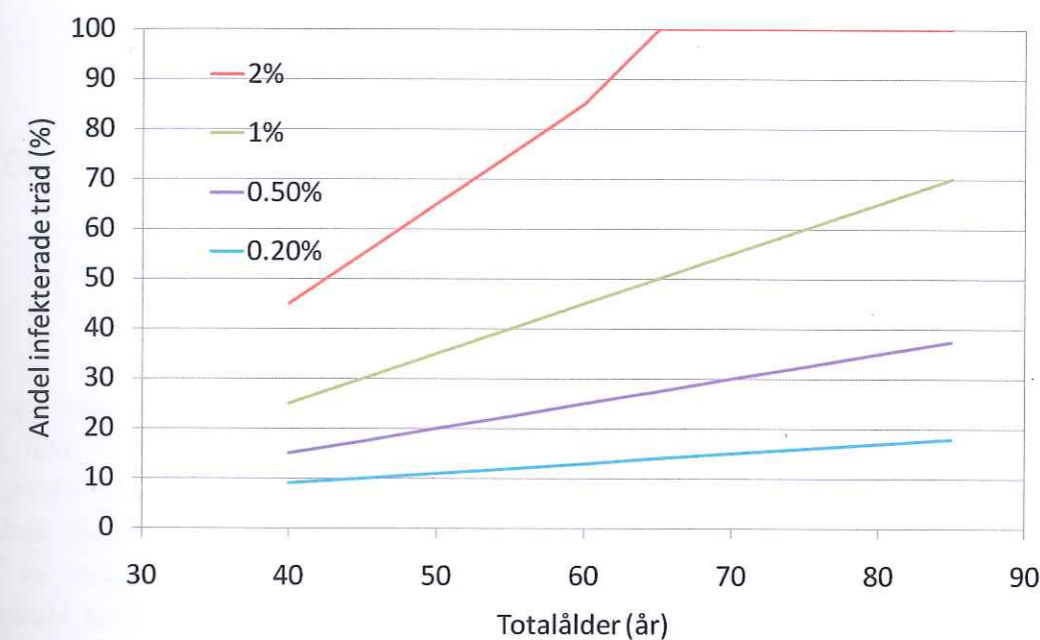
Med stormskadefunktionen beräknades sedan risken för stormfällning vid olika ålder för beståndsbehandlingsprogrammet enligt ovan. Riskmättet användes för att beräkna andelen stormskadade träd. Andelen stormfällda träd i tidigare åldersklasser subtraherades vid beräkning av stormskadeandel för en viss åldersklass. Värdet för den stormskadade volymen minskades med 50% och kostnaden för att avverka stormskadade träd ökades med 100%.

Kalkylresultat och diskussion

Effekt av rotröta

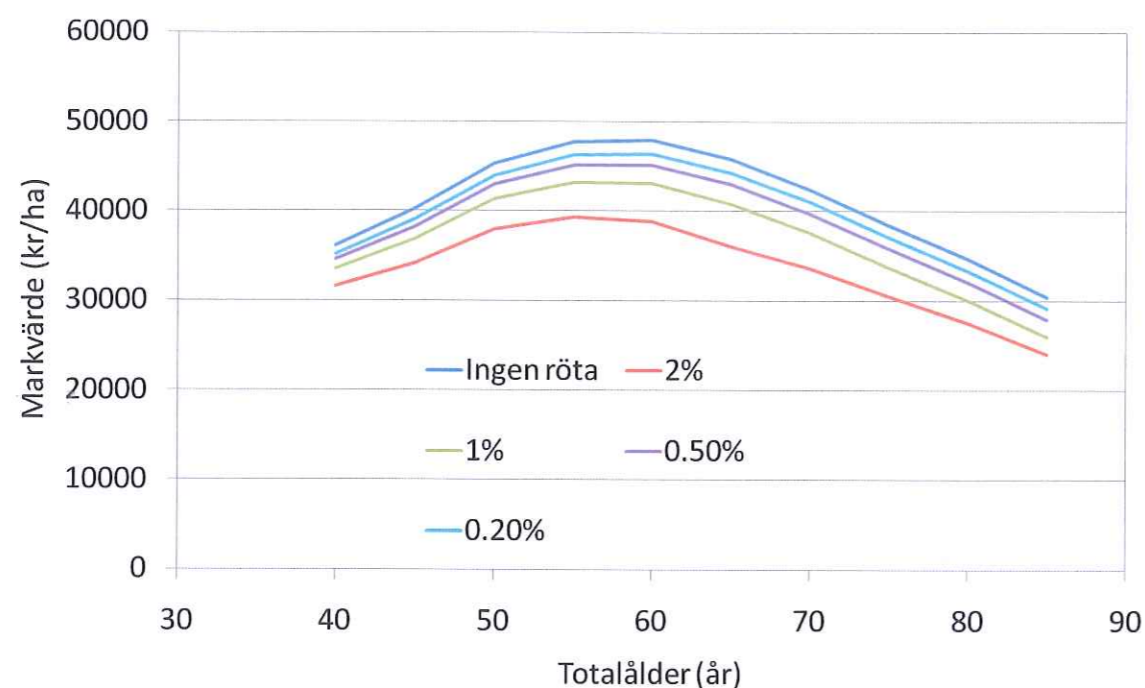
Med den högsta infektionshastigheten (2% per år) blir samtliga träd infekterade av rotröta vid en totalålder av 65 år (Figur 2). Detta är ett scenario som är ytterst ovanligt i dagens granbestånd. I medeltal är ca 15% av dagens slutavverkningsstammar infekterade av rotröta (Rönneberg et al., webbok). En tillväxt av andelen infekterade träd med 0.2% per år vilket i medeltal ger 10-20% skadade träd i slutavverkningsbestånden beroende på slutavverkningsålder är därför ett scenario som bättre speglar dagens spridningshastighet. En

framtida klimatförändring skall kunna medföra ökad tillväxthastighet av andelen infekterade träd bland annat på grund av att tillväxten av rötsvampen i rötter och stam går snabbare och på grund av att perioden när sporer kan spridas och infektera nya stubbar förlängs. Det är naturligtvis väldigt svårt att kvantifiera vilken effekt klimatförändringarna kommer att få på spridningshastigheten av rotröta. Vi kan dock anta att en två procentig årlig ökning av andelen skadade träd är ett mindre troligt scenario eftersom det nästan aldrig har registrerats i dagens skogar. En ökningstakt på 1% per år medför 50-70% infekterade träd i slutavverkningsstammar vilket motsvarar nivån i dagens svårt rotröteskadade bestånd. Om klimatförändringen innebär ökad medeltemperatur och om rotickans infektionshastighet påverkas klart positivt av den ökade medeltemperaturen så är detta ett möjligt framtida scenario.



Figur 2. Andel rötskadade träd vid slutavverkning för olika infektionshastigheter.

Markvärdet för den oskadade skogen kulminerade vid 60 års ålder och hypotetiska skador av rotröta ändrade inte tidpunkten för markvärdets kulmination för tillväxthastigheter under 1 procent per år (Figur 3). För alternativet med en procent tillväxthastighet var markvärdet relativt konstant mellan 50-60 års totalålder medan det kulminerade vid 55 års ålder för alternativet med 2 procent årlig tillväxt.



Figur 3. Markvärdet vid olika infektionshastigheter.

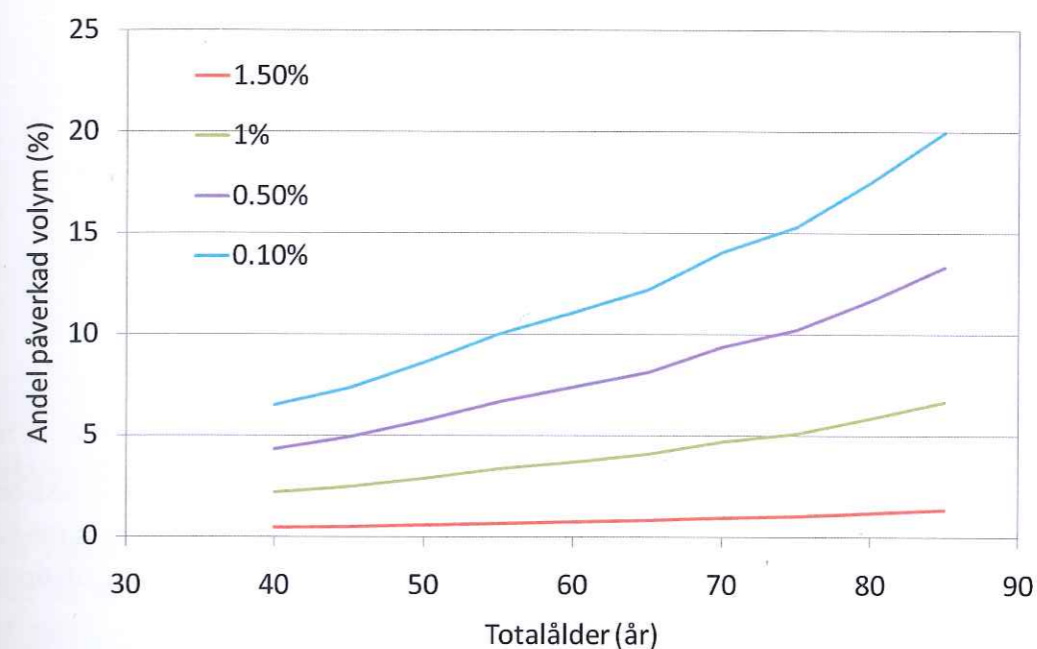
Alternativet med 0.2% årlig tillväxt av andelen infekterade träd medförde en sänkning av markvärdet med i medeltal 3.3% vilket vid första anblicken kan tyckas vara oväntat lite eftersom bestånden i slutavverkningsfasen har ca 10-20 procent infekterade träd. Anledningen till att påverkan på markvärdet blir relativt marginellt är dels att rotrötan antas att endast påverka de första tre metrarna av stammen vilket motsvarar ca 20 procent av en slutavverkningsstam med 30 cm diameter. Dessutom innebär inte rotröta att virket kasseras utan att värdet sjunker från timmer till brännved. Slutligen så kommer effekten av rotröta i slutet av omloppstiden och får därför ett lågt inflytande på nuvärde och markvärde.

Om vi antar att infektionshastigheten kommer att öka till 1 procent per år blir reduktionen av markvärdet 8-15% jämfört med alternativet utan skador beroende på slutavverkningsålder. Om en framtida klimatförändring skulle innebära så stor ökning av spridningshastigheten kommer alltså markvärdet att påverkas signifikant negativt och det finns då möjligen utrymme för mer kostsamma åtgärder för att motverka rotrötans spridning.

Effekt av granbarkborre

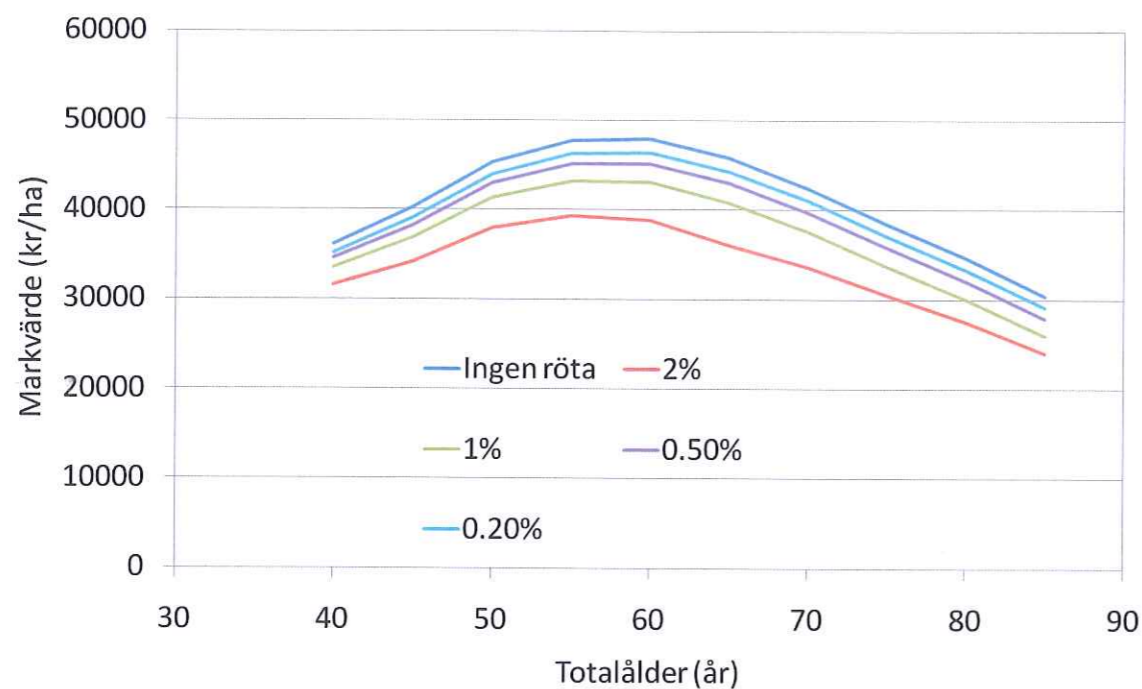
Efter stormen 2005 ökade granbarkborrepopulationerna med påföljande skador på stående skog. Även om skadenivån antagligen har påverkats betydligt med hjälp av diverse motåtgärder var antagligen skadenivån under 2006 relativt högt beroende på tillgänglighet av yngelmaterial och en väderlek som medgav två generationer (Långström et al. 2009). Under 2006 skadades ca 1.5 miljoner kubikmeter i stormskadeområdet. Det innebar att ca 1-1.5% av den stående volymen i träd med diameter grövre än 20 cm påverkades av granbarkborre. En

årlig utveckling av andelen granbarkborreskadade träd mellan 1-1.5% skulle innebära att mellan 10-20 procent av slutavverkningsvolymen påverkas av granbarkborreskador (Figur 4) men det är alltså mycket högt räknat eftersom det förutsätter att 2006 års nivå upprepas varje år. Att uppskatta dagens nivå för granbarkborreskadorna låter sig inte göras på samma sätt som för rotröta men den är antagligen mycket lägre. Vi har antagit att dagens skadenivå motsvarar en utveckling av granbarkborreskadorna på 0.1% per år vilket innebär att 0.7-1.3% av virkesvolymen påverkas beroende på slutavverkningsålder (Figur 4).



Figur 4. Andel av volymen som är påverkade av granbarkborreangrepp vid slutavverkning för olika skadenivåer.

Den antagna nivån för dagens påverkan av granbarkborre reducerade endast marginellt markvärdet (Figur 5). Om granbarkborreskadorna skulle öka dramatiskt på grund av framtida klimatförändringar skulle dess påverkan på markvärdet naturligtvis också öka och påverkan är relativt sett större vid långa omloppstider än om bestånden avverkas tidigt. I likhet med effekten av rotröta innebär ökade angrepp av granbarkborre att medeltillväxten kulminerar tidigare. Den teoretiska slutavverkningsåldern är fem år lägre för alternativet med 1.5% årlig angreppsökning jämfört med det oskadade alternativet.



Figur 3. Markvärdet vid olika infektionshastigheter.

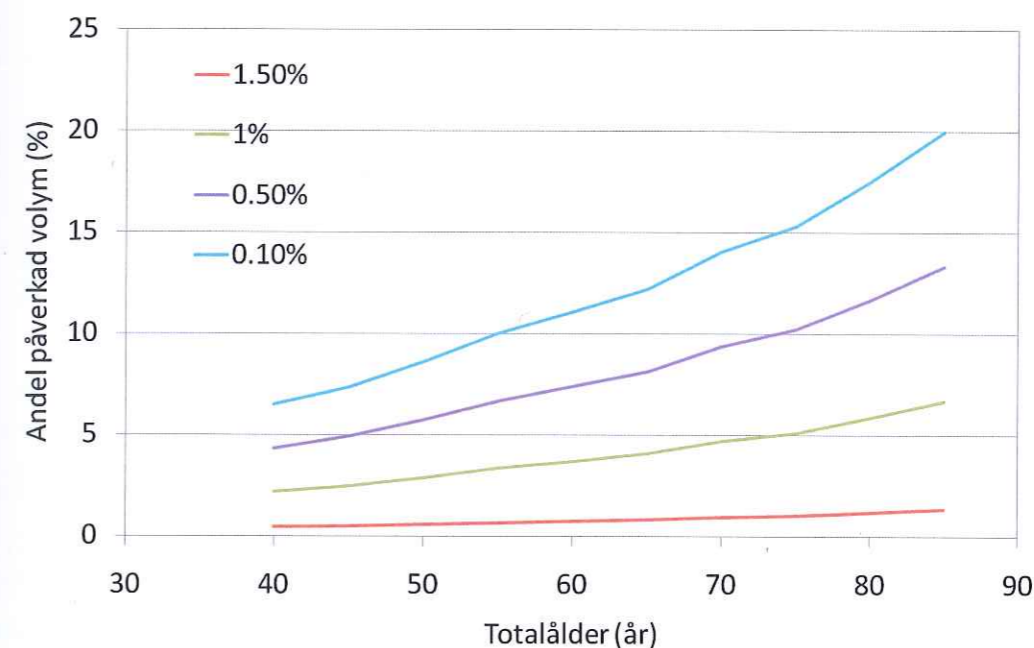
Alternativet med 0.2% årlig tillväxt av andelen infekterade träd medförde en sänkning av markvärdet med i medeltal 3.3% vilket vid första anblicken kan tyckas vara oväntat lite eftersom bestånden i slutavverkningsfasen har ca 10-20 procent infekterade träd. Anledningen till att påverkan på markvärdet blir relativt marginellt är dels att rotrötan antas att endast påverka de första tre metrarna av stammen vilket motsvarar ca 20 procent av en slutavverkningsstam med 30 cm diameter. Dessutom innebär inte rotröta att virket kasseras utan att värdet sjunker från timmer till brännved. Slutligen så kommer effekten av rotröta i slutet av omloppstiden och får därför ett lågt inflytande på nuvärde och markvärde.

Om vi antar att infektionshastigheten kommer att öka till 1 procent per år blir reduktionen av markvärdet 8-15% jämfört med alternativet utan skador beroende på slutavverkningsålder. Om en framtida klimatförändring skulle innebära så stor ökning av spridningshastigheten kommer alltså markvärdet att påverkas signifikant negativt och det finns då möjligen utrymme för mer kostsamma åtgärder för att motverka rotrötans spridning.

Effekt av granbarkborre

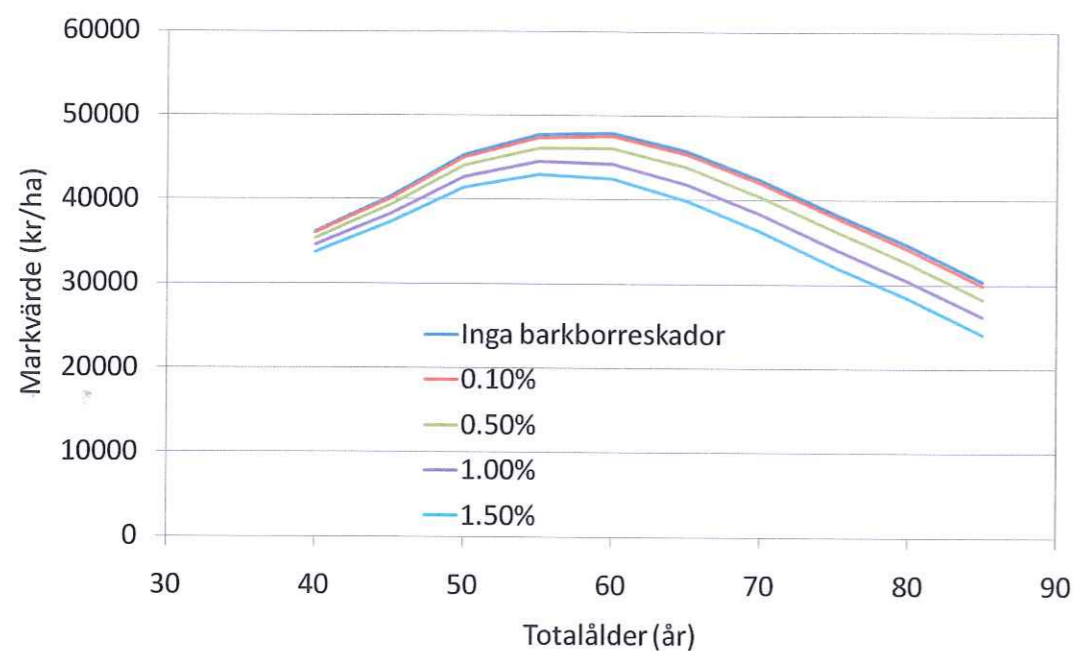
Efter stormen 2005 ökade granbarkborrepopulationerna med påföljande skador på stående skog. Även om skadenivån antagligen har påverkats betydligt med hjälp av diverse motåtgärder var antagligen skadenivån under 2006 relativt högt beroende på tillgänglighet av yngelmaterial och en väderlek som medgav två generationer (Långström et al. 2009). Under 2006 skadades ca 1.5 miljoner kubikmeter i stormskadeområdet. Det innebär att ca 1-1.5% av den stående volymen i träd med diameter grövre än 20 cm påverkades av granbarkborre. En

årlig utveckling av andelen granbarkborreskadade träd mellan 1-1.5% skulle innebära att mellan 10-20 procent av slutavverkningsvolymen påverkas av granbarkborreskador (Figur 4) men det är alltså mycket högt räknat eftersom det förutsätter att 2006 års nivå upprepas varje år. Att uppskatta dagens nivå för granbarkborreskadorna låter sig inte göras på samma sätt som för rotröta men den är antagligen mycket lägre. Vi har antagit att dagens skadenivå motsvarar en utveckling av granbarkborreskadorna på 0.1% per år vilket innebär att 0.7-1.3% av virkesvolymen påverkas beroende på slutavverkningsålder (Figur 4).



Figur 4. Andel av volymen som är påverkade av granbarkborreangrepp vid slutavverkning för olika skadenivåer.

Den antagna nivån för dagens påverkan av granbarkborre reducerade endast marginellt markvärdet (Figur 5). Om granbarkborreskadorna skulle öka dramatiskt på grund av framtida klimatförändringar skulle dess påverkan på markvärdet naturligtvis också öka och påverkan är relativt sett större vid långa omloppstider än om bestånden avverkas tidigt. I likhet med effekten av rotröta innebär ökade angrepp av granbarkborre att medeltillväxten kulminerar tidigare. Den teoretiska slutavverkningsåldern är fem år lägre för alternativet med 1.5% årlig angreppökning jämfört med det oskadade alternativet.

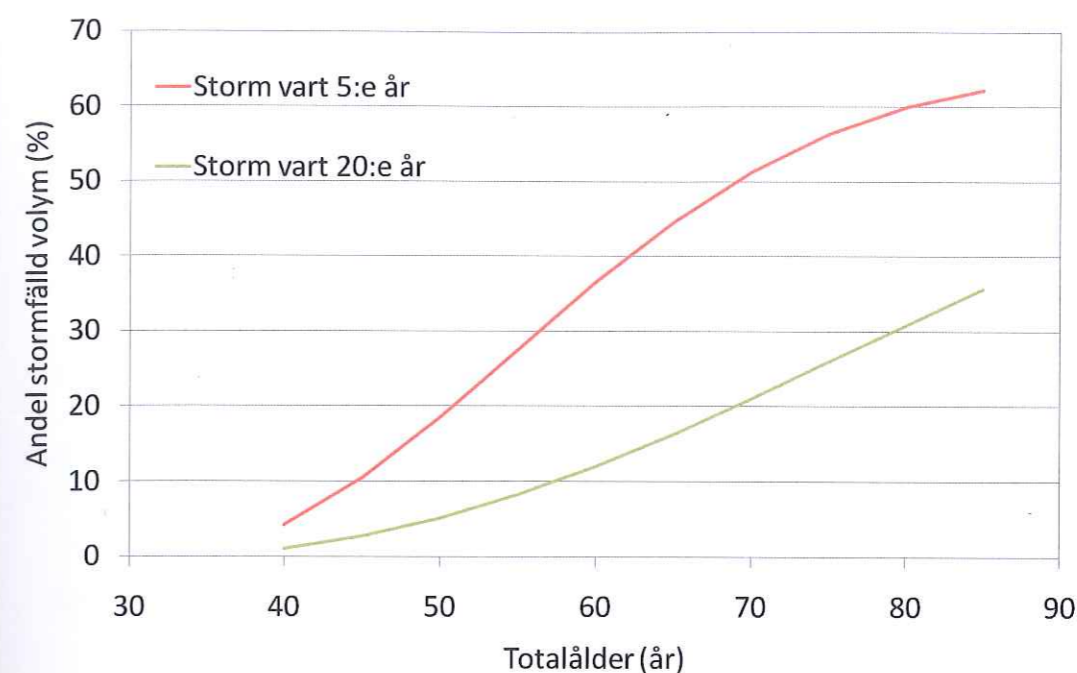


Figur 5. Markvärdet vid olika skadenivåer av granbarkborreangrepp.

Effekten av granbarkborre har analysmässigt behandlats på samma sätt som infektion av rotröta, med en procentuell årlig ökning av andelen skadade träd. Granbarkborreskador drabbar dock bestånden med olika frekvens beroende på utveckling av insektspopulationerna och denna analys skall ses som ett medeltal skador med stor årlig variation.

Effekt av stormskador

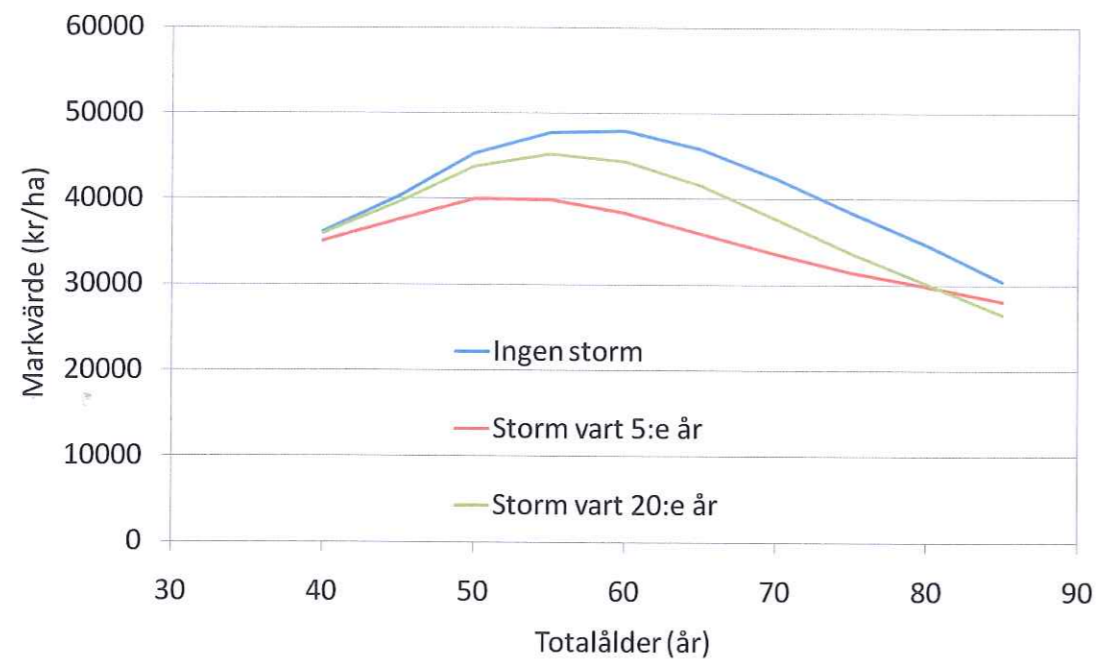
Om stormar av Gudruns storlek skulle drabba godtyckliga granbestånd vart femte år skulle drygt 60% av virkesvolymen någon gång ha fällts av storm. Motsvarande siffra för storm vart tjugonde år är ca 35% (Figur 6). Att nästan 40% av volymen skulle nå en 85 års ålder med Gudrunstormar vart femte år kan vid en första anblick verka orimligt. Man skall dock ha i åtanke att en hel del av stormarna drabbar bestånden när de är i en ålder (eller snarare höjd) när risken för stormfällning är relativt liten. Det är också så att Gudrunstormar inte drabbar all granskog vid varje tillfälle. Gudrun drabbade centrala Götaland speciellt hårt medan granskogar i andra områden var mycket mindre drabbade.



Figur 6. Andel stormfälld volym av total virkesvolym i Götaland om Gudruns inträffade vart 5:e respektive 20:e år.

Det är väldigt svårt att avgöra med vilken frekvens stormar drabbar Götaland i dagens klimat. Vi har på senare tid haft allvarliga stormfällningar i slutet av 60-talet och senast 2005 och 2007. Götaland drabbades också av en kraftig storm 1999 men den påverkade endast de södra delarna. En stormfrekvens på vart 20:e år är därför ett antagande som kanske är lite i överkant men man skall också komma ihåg att det förekommer mindre stormfällningar mellan de stora stormarna.

Om stormar av Gudruns styrka drabbar Götaland vart femte år sänktes markvärdet med 20% vid 60 års omloppstid. Motsvarande siffra för stormar vart 20:e år var ca 8% (Figur 7). Båda stormfrekvenserna påverkade markvärdets kulmination. Den teoretiska slutavverkningsåldern sänktes från 60 år för alternativet utan skador till 50-55 år om effekten av stormskador inkluderades.

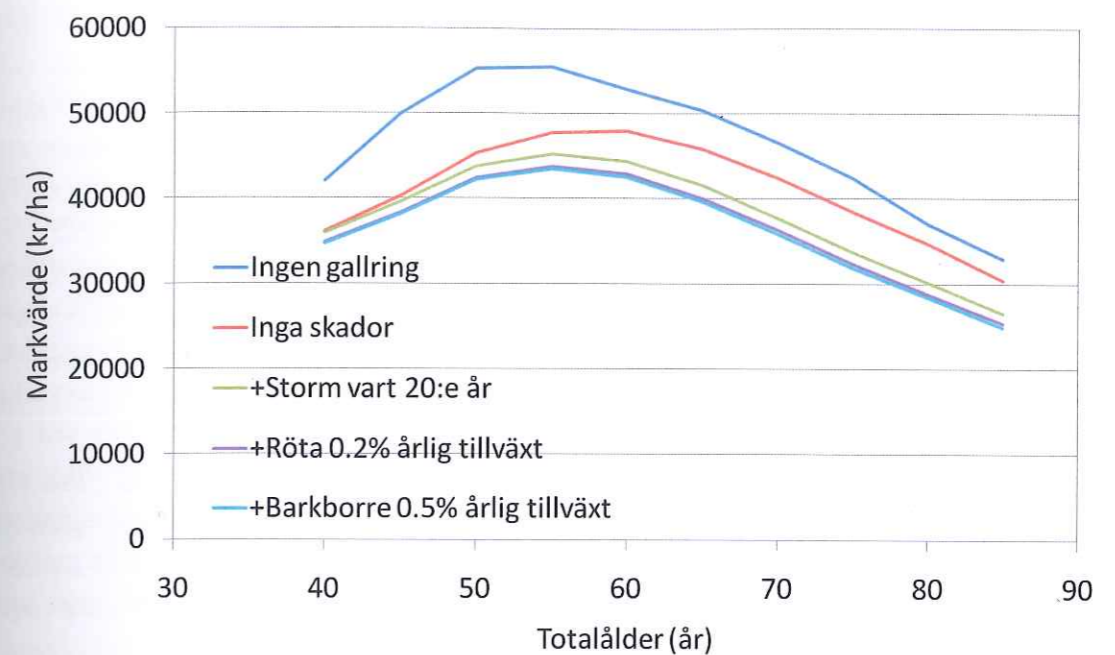


Figur 7. Markvärdet vid olika stormfällningsfrekvens.

För riktigt långa omloppstider var markvärdet högre för den högre stormfrekvensen än för den lägre. Detta oväntade resultat beror på att vid så långa omloppstider blir nuvärdet av slutavverkningen relativt låg och värdet av tidigare stormfälld skog får en relativt sett högre betydelse för nuvärdet eftersom dessa inkomster faller ut tidigare under omloppstiden. Ökningen av stormfälld volym sent i omloppstiden är också högre för den lägre stormfrekvensen än för den högre beroende på att en stor andel av volymen redan har fällts om stormar är så frekventa som vart femte år.

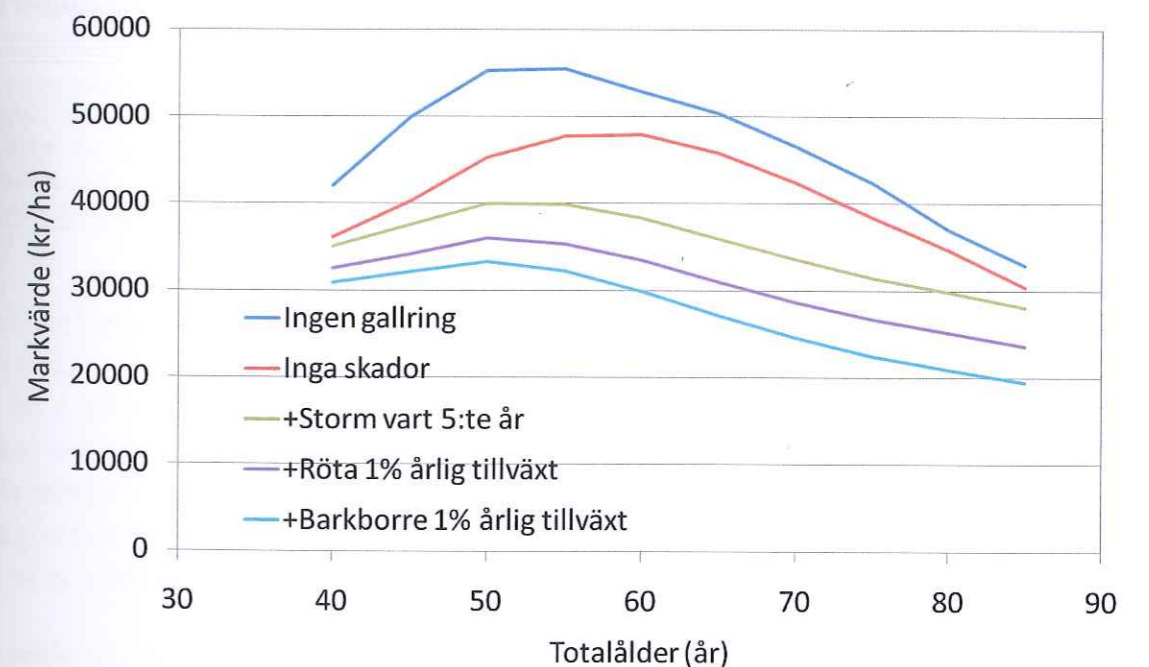
Sammanvägd effekt av storm, rotröta och granbarkborre

Med dagens antagna skadenivåer sänktes markvärdet vid kulminationen för det oskadade beståndet (60 år) med ca 15% (Figur 8). Det var också tydligt att markvärdets kulmination påverkades om skador av storm, rotröta och granbarkborre inkluderades i analysen. För det oskadade alternativet kulminerade markvärdet fem år senare än om skador tillåts påverka beståndsutvecklingen. Denna analys indikerar alltså att skogsskötselstrategin bör ändras redan i dagens skogsbruk och det finns tecken som tyder på att det håller på att ske. Efter Gudrun har rekommendationerna om gallringsprogram och omloppstider förändrats mot lägre antal gallringar och kortare omloppstid och denna förändring av skogsskötseln har kanske kommit längre i södra Götaland som under längre tid har varit påverkad av alla tre skadegörarna.



Figur 8. Markvärdet vid olika gallringsprogram och addering av olika skadetyper.

En hypotetisk ökning av alla tre skadegörarna på grund av kommande klimatförändring innebar att markvärdet vid 60 års totalålder sänktes från ca 48000 kr till ca 29300, d.v.s. en sänkning med nästan 40% (Figur 9). En ökning av skadenivån innebar också en tydligare sänkning av markvärdets kulmination och den kulminerade fem år tidigare än dagens antagna skadenivå.



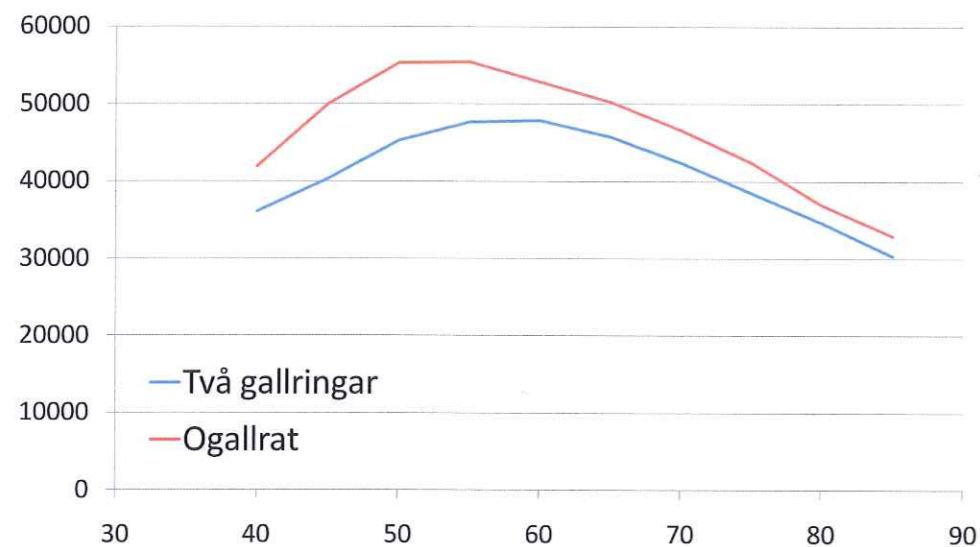
Figur 9. Markvärdets kulmination vid olika gallringsprogram och addering av skadetyper.

Alternativa skötselprogram

Södra Sverige

I det tidigare avsnittet identifierades skador av storm, rotröta och granbarkborre som potentiella problem om det i framtiden blir varmare och mer frekvent med starka stormar. Alla tre skadeorsakerna har det gemensamt att risken för skador är större sent i omloppstiden jämfört med den första halvan. Ett sätt att minska risken för storm, rotröta och granbarkborreskadorna är därför att välja beståndsbehandlingsprogram med korta omloppstider. Det finns flera olika sätt att minska omloppstidens längd. Dels kan man naturligtvis avverka bestånden i förtid men det kan vara kostsamt eftersom slutavverkningen då sker vid en tidpunkt när beståndens värdetillväxt är hög. Ett annat och bättre sätt att förkorta omloppstiden är att välja ett beståndsbehandlingsprogram som medför en tidigare kulmination av markvärdet. Generellt gäller att gallringar försenar markvärdets kulmination och ju mer av produktionen som tas ut i gallringar desto senare kulminerar markvärdet. Om man vill förkorta omloppstiden är gallringsfritt därför ett alternativ som kan övervägas.

I figur 10 jämförs markvärdets utveckling för gallrad och ogallrad gran på ståndortsindex G34. Granens markvärde kulminerar fem år tidigare för det ogallrade alternativet än för beståndsbehandlingsprogrammet med två gallringar. Det är också tydligt att markvärdet vid kulminationen är betydligt högre för det ogallrade alternativet. En femårig förkortning av omloppstiden är dock alltför lite för att ha signifikant effekt på risken för skador. En jämförelse av markvärdena visar att markvärdet vid 45 års ålder för det ogallrade är ungefär i nivå med markvärdet vid kulminationen vid 60 års ålder för gallringsalternativet. Dessutom var markvärdet vid 45 års ålder endast 10% lägre än markvärdet när det kulminerade för det ogallrade alternativet. Vi har därför i de fortsatta diskussionerna antagit att omloppstiden kan sänkas till 45 år på bördig granmark.



Figur 10. Markvärdets kulmination för en G34 vid ogallrat och gallrat två gånger under en omloppstid.

Att överge gallringsskogsbruket och istället sköta gran utan gallringar med kort omloppstid har stora effekter på risken för storm, granbarkborre och rotröteskadorna. Som beskrivits ovan innebär en kortare omloppstid i sig en reduktion av skaderisken i och med att risken för alla tre skadegörare ökar med beståndsåldern, eller snarare trädens storlek. Till det kommer att skadorna också är kopplade till gallringarna. Risken för både rotröta och stormskador ökar betydligt efter gallring. Det kan också förekomma att trädens vitalitet sänks under de närmast följande åren efter gallring på grund av friställningen och då blir de mer mottagliga för barkborreskadorna. Det finns därför mycket som talar för att ogallrad gran med kort omloppstid kommer utsättas för skador i begränsad utsträckning även om klimatförändring innebär ökad frekvens av stormar och ökad spridningshastighet av rotröta och granbarkborre.

Ett annat alternativ att minska risken för skador är att byta till trädslag som antingen är mindre mottagliga för skadorna eller som har korta omloppstider. På bördiga marker finns det relativt många alternativ till det traditionella granskogsbruket. Vi har räknat på björk, hybridlärk, hybridasp och bok (tabell 4). Av dessa trädslag har bok och björk så dålig ekonomi i jämförelse med andra alternativ att de inte är aktuella i ett produktionsskogsbruk. Hybridasp och hybridlärk ger ett ekonomiskt resultat i nivå med eller lite bättre än gran vilket gör att de är goda alternativ på denna typ av mark. Produktionsmässigt är hybridasp i en klass för sig med drygt 20 m³/ha medan hybridlärk har en medelproduktion i nivå med granens.

Tabell 4. Ekonomiska beräkningar för olika gallringsprogram för gran och byte av trädslag till hybridlärk, hybridasp, bok och björk. Hybridasp inkluderar 4 generationer om vardera 25 år, där man i första generationen planteras 1100 aspar för 17000 kr och hägnar för 40000 kr. I andra generationen tas hägnat bort för 10000 kr och samtliga generationer röjs 2 ggr (2300 kr/röjning).

	Småland							
	G30-2	G30-0	G34-2	G34-0	Hybridlärk	Hybridasp	Bok	Björk
Omloppstid	75	50	60	45	35	100 (25)	105	60
Förnyingskostnad inkl röjning	17000	12000	17000	12000	17000	68900	30000	12000
Totalproduktion	711	440	745	516	453	2125	716	306
Medelproduktion	9,48	8,8	12,4	11,5	12,9	21,2	6,8	55,1
Kassaöverskott	2230	2160	3400	3045	2600	3300	2600	1235
Markvärde 2.5%	19500	35100	49000	49900	56300	59700	652	12300

Beståndsbehandlingsprogrammen i hybridlärk och hybridasp innebär att trädens höjd under den senare delen av omloppstiden överstiger 25 m och det innebär att de teoretiskt löper risk för att drabbas av stormskador. Dock är båda trädslagen avlödade (avbarrade) under vintern vilket innebär att risken för stormfällning troligen är mindre än för gran vid samma höjd. Hybridlärk är mycket känslig för infektion av rotröta (Rönnerberg & Vollbrecht 1999) och bör inte planteras på mark där det har vuxit träd som har varit infekterade. Granbarkborreskadorna är troligen inte aktuella i något av dessa trädslag.

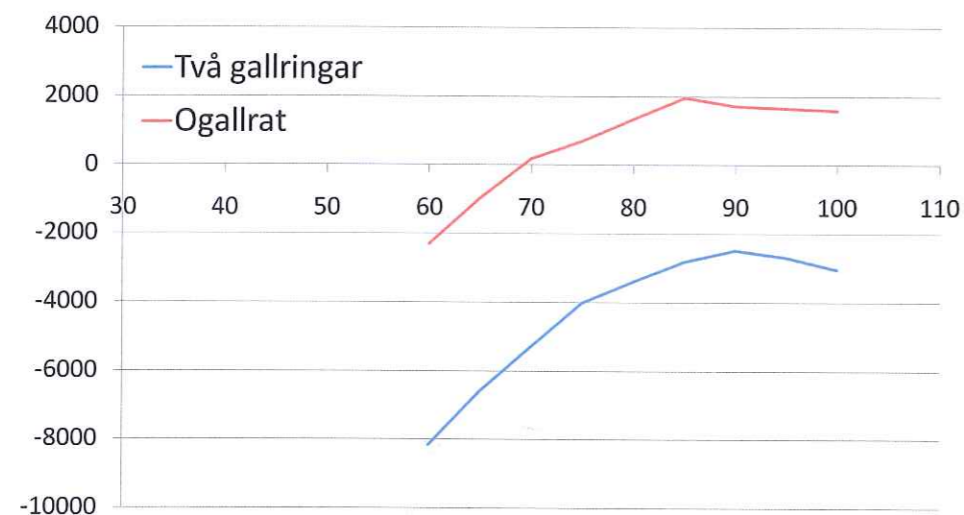
Ovanstående analys visar att med dagens kunskap är det troligt att skador av storm, rotröta och granbarkborre kan minskas betydligt med hjälp av byte av beståndsbehandlingsprogram eller med byte av trädslag. Det är också möjligt att göra denna justering av sättet att sköta

skog utan att förlora alltför mycket i vare sig produktion eller ekonomi. Att det skiljer så lite i ekonomi mellan trädslagen talar för att alla tre alternativen bör användas i riskspridningssyfte.

En fråga som uppkommer är varför skogsbruket inte redan använder gallringsfritt skogsbruk med korta omloppstider när denna analys visar att risken blir väsentligt lägre samtidigt som ekonomin förbättras. Svaret ligger i beståndens uppkomstsätt samt en ambition att skapa bestånd med hög virkeskvalitet. De skogar som gallras idag etablerades på 1960- och 1970-talen och då var det tradition att plantera i täta förband. Anledningen till de täta planteringsförbanden var främst en strävan efter att skapa bra virkeskvalitet men också en strävan att inte förlora produktion. Idag vet vi att virkeskvaliteten i gran förbättras endast marginellt av täta förband, i alla fall för de användningsområden som idag är dominerande (Pfister et al. 2007). Vi vet också att volymproduktionen förbättras fram till dess att bestånden har slutit sig men att den är jämförbar i täta och glest planterade bestånd i den mogna skogen). Därför kommer produktionen i bestånd med gles plantering att ha nästan lika hög produktion som täta planteringar.

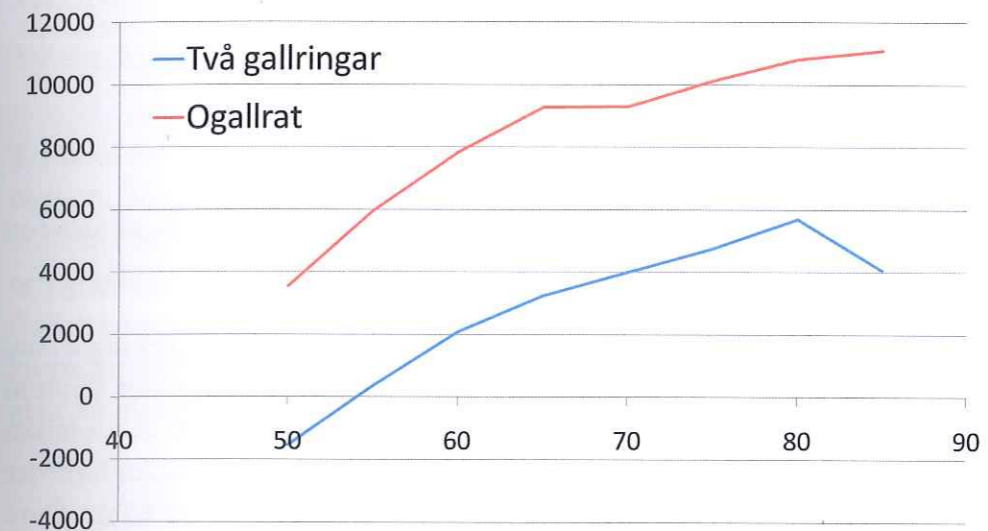
Norra Sverige

För gran i norra Sverige finns inte samma möjlighet som på bördig mark i södra Sverige att sänka omloppstiden genom gles plantering och gallringsfritt (figur 11). Markvärdet kulminerar 5 år tidigare för det gallringsfria alternativet men för både gallringsalternativet och det gallringsfria alternativet gäller att markvärdet stiger relativt kraftigt ända till kulminationen. Man förlorar alltså mycket på att avverka före markvärdets kulmination. Markvärdet är dock signifikant högre för gallringsfritt än för ett beståndsbehandlingsprogram med en gallring vilket talar för att om gran planteras i Norrland så bör också den skötas utan gallringar.



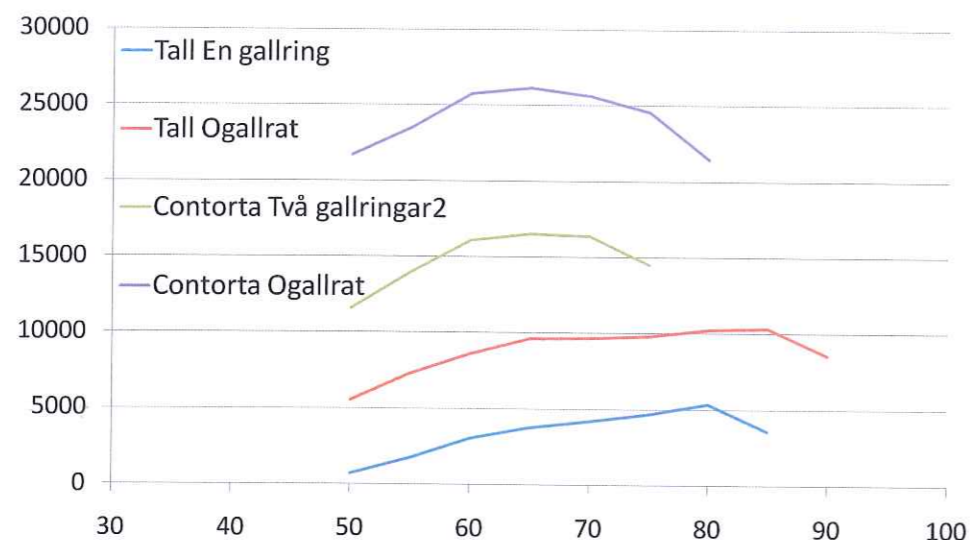
Figur 11. Markvärdets kulmination för en G22 vid ogallrat och gallrat två gånger under en omloppstid.

För tall inträffar markvärdets kulmination senare för det gallringsfria alternativet än för ett program med en gallring (figur 12). Kurvan för det gallringsfria alternativet är dock relativt flack från 65 års totalålder och man förlorar endast ca 7% av markvärdet om en omloppstid på 65 år väljs istället för den optimala 90-åriga omloppstiden. En sänkning av omloppstiden till 65 år för gallringsalternativet skulle innebära 35% mindre markvärde än den optimala omloppstiden (figur 12). För tall på medelgod mark i Norrland finns det alltså goda möjligheter att minska eventuella risker sent i äldre skog genom att sköta skogen gallringsfritt och med kortare omloppstider än vad som är vanligt idag.



Figur 12. Markvärdets kulmination för en T22 vid ogallrat och gallrat två gånger under en omloppstid

I norra Sverige finns det inte lika många alternativa trädslag som i södra Sverige men contortatall har använts i relativt stor skala sedan 60-talet. Det finns relativt gott om jämförande försök mellan tall och contorta och de pekar på en produktionsöverlägsenhet för contorta på minst 40% (Agestam & Karlsson 2009). Denna stora skillnad i produktion medför naturligtvis att ekonomin i contortaskogsbruk blir mycket bättre än för traditionellt tallskogsbruk eftersom det inte är några högre kostnader eller minskade intäkter associerat med contortaodling. Markvärdet för contorta är därför signifikant högre än för tall på en medelgod mark i norrland. Det är också signifikant högre för det ogallrade alternativet än för alternativet med två gallringar (figur 13).



Figur 13. Markvärdets kulmination för tall och contorta, vid ogallrat och gallrat två gånger under en omloppstid.

En så stor skillnad i markvärde mellan tall och contorta borde tala för att så mycket mark som möjligt skall föryngras med contorta i framtiden. Det finns dock en del aspekter förutom naturvårdsskäl som talar emot en ensidig användning av contorta. Den ekonomiska omloppstiden för contorta på medelgod mark kan endast med avsevärda ekonomiska förluster sänkas under 60 år medan ogallrad tall på motsvarande mark kan avverkas vid 65 år. Övre höjden för contortan är vid 60 års ålder ca 27 m (på C26) medan den är ca 17 m (på T22) för tall vid 65 års ålder. Eftersom contorta anses vara ett stormkänsligare trädslag än tall (Agestam & Karlsson 2009) och eftersom den når en högre höjd före slutavverkning är troligen risken för stormfällning högre för contorta än för tall. Om en framtida klimatförändring innebär högre frekvens av stormar också i norra Sverige kommer det att tala emot en storskalig introduktion av contorta.

En framtida klimatförändring förväntas ge en produktionsökning motsvarande en ökning av ståndortsindex med 4 m. Produktionsökningen medför naturligtvis en avsevärd förbättring av ekonomin under antagandet att allt övrigt är lika, inklusive skador och virkesmarknad (tabell 5). Jämfört med dagens odling av tall i Jämtland vilket ger ett markvärde på ca 5 700 kr/ha med 2.5% ränta skulle odling av contorta i ett förändrat klimat ge i det närmaste en tiodubbling av markvärdet (ca 52 000 kr/ha). Denna dramatiska ökning av markvärdet uppkommer genom den produktionsökning som klimatförändringen medför, contortans bättre produktion jämfört med tall och slutligen genom den bättre ekonomin för skötselprogram utan gallringar jämfört med dagens gallringsprogram med två gallringar. Om jämförelsen istället görs med gran blir skillnaden ännu större eftersom gran har ett negativt markvärde med dagens klimat och gallringsprogram (tabell 5)

För både tall och contorta gäller att vi har räknat med samma inkomster per avverkad kubikmeter oavsett utgångsstamantal (tabell 5). För tall är detta ett mindre välgrundat antagande än för gran. Med dagens virkesanvändning är det mycket som talar för att virke

från bestånd som uppkommit ur planteringar med högt stamantal kommer att få en bättre virkeskvalitet och därmed högre intäkt än virke från bestånd med låga utgångsstamantal.

Tabell 5. Ekonomiska beräkningar för olika gallringsprogram för gran, tall och contorta på olika ståndorter i Jämtland.

	Jämtland									
	G22-1	G22-0	G26-1	G26-0	T22-1	T22-0	C26-2	C26-0	C31-2	C31-0
Omloppstid	90	85	75	70	80	65	70	60	55	45
Föryngringskostnad inkl röjnin	17000	12000	17000	12000	17000	12000	17000	12000	17000	12000
Totalproduktion	425	350	557	437	413	340	504	450	586	470
Medelproduktion	4,7	4,1	7,2	6,2	5,9	5,2	7,2	7,5	9,8	10,5
Kassaöverskott	410	1120	1850	1790	1270	1020	1706	1860	2620	2570
Markvärde 2.5%	-2700	1700	11900	15200	5700	9600	17000	25700	38400	52600

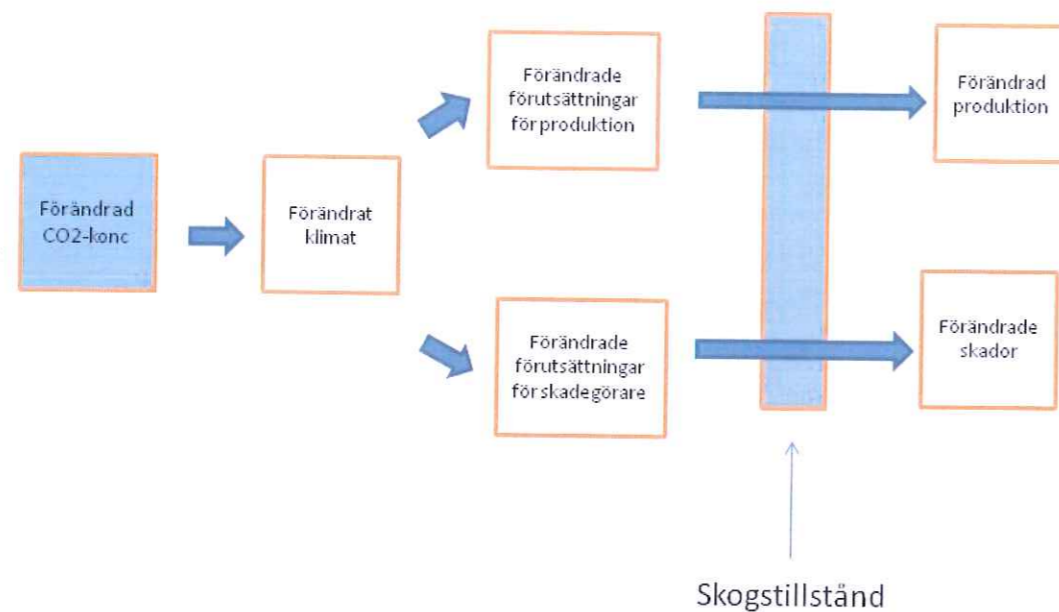
Traditionellt har skogarna i norra Sverige föryngrats med tall och i mindre utsträckning med contorta. Idag är det dock en trend mot ökad användning av gran på grund av höga skador av viltbete i tall och contorta. Om den trenden fortsätter finns risk för ökade skador av rotröta och granbarkborre i framtidens bestånd och det finns små möjligheter att som i södra Sverige förkorta omloppstiden för att undvika de höga riskerna sent i omloppstiden. En framtida klimatförändring med ökade skaderisker i gran är därför något som talar emot att använda gran för att undgå viltskador.

Osäkerhet och implikationer

Hela diskussionen om eventuella klimatförändringar och dess effekter på skogen utmärks av en mycket hög grad av osäkerhet vad gäller alla ingående komponenter. Dessa osäkerheter måste naturligtvis vara en integrerad del av alla analyser. Det faktum att osäkerheterna finns bör också påverka de beslut som fattas eller diskuteras.

De osäkerheter som finns är av olika karaktär. I det följande vill vi ge en mycket schematisk beskrivning av hur vi uppfattar situationen (figur 14).

Systemet vi arbetar skulle kunna beskrivas:



Figur 14. Schematisk beskrivning av hur komponenterna hänger ihop.

I alla pilar ligger det osäkerheter; förändringen av CO₂-koncentration är ett resultat av mänskliga aktiviteter. Om vi fortsätter som hittills kommer koncentrationerna fortsätta att stiga. Den framtida utvecklingen har bl.a. formulerats i scenariotermer av IPCC i deras olika A- och B-scenarier. Vi vet idag inte hur världssamfundet kommer att agera i framtiden. Denna osäkerhet är av en karaktär som inte går att reducera genom forskning eller liknade. Om vi flyttar oss fram 25 år i tiden vet vi naturligtvis hur samfundet agerat under de 25 åren som då gått men vi vet då inte mer om hur man kommer att agera i den framtid som startar då.

Om koncentrationen av CO₂ i atmosfären förändras, förändras sannolikt klimatet. De flesta, inom området verkamma forskare hävdar denna ståndpunkt men det finns också skeptiker. Alla är dock överens om att magnituden av klimatförändringen är svår att förutsäga - IPCC för fram olika klimatprojektioner, med avseende på framtida utveckling (befolkning, ekonomi, tekniska framsteg) och utsläpp, där den globala temperaturökningen ligger inom intervallet 1.1-6.4 grader. Sambandet mellan ökning av CO₂ koncentration och klimatförändring är osäkert men förhoppningsvis kan osäkerheten minska under det hypotetiska 25-års intervallet genom forskning, modellerande och naturligtvis en med tiden ökad empiri. En klimatförändrings inverkan på förutsättningarna för den skogliga primärproduktionen och för olika skador är också osäker. Vad gäller primärproduktionen finns det någon form av fast mark att stå på. Kontrollerade experiment, jämförelser mellan olika klimatzoner och verifierade processbaserade modeller har skapat en kunskapsbas som kanske motiverar påståendet att denna osäkerhet är den som vi har bäst grepp om. En förflyttning 25 år framåt i tiden borde innebära att kunskapsläget ytterligare kan förbättras.

Förutsättningarna för "skadegörare" är svårare. I vissa fall ligger förutsättningarna i själva klimatförändringen, t.ex. stormar, och i några fall finns det relativt detaljerade modellstudier, t.ex. granbarkborrar, men i de flesta fall är påståenden av relativt spekulativ karaktär. Det förefaller emellertid rimligt att anta att en temperaturökning gynnar många skadegörare. Osäkerheten här är således mycket stor men borde kunna reduceras över tiden om forskning bedrivs inom området.

Givet förutsättningarna för produktion och skadegörare, beror effekterna på de skogliga ekosystemen på vilket skogstillstånd vi har. T.ex. påverkar andelen gran i skogslandskapet vilken omfattning på skador från granbarkborren vi kommer att få alldeles oavsett vilka klimatomständiga betingelser som gäller för granbarkborren. På samma sätt torde ett skogstillstånd med liten andel hög skog innebära begränsad omfattning av vindskador även om stormfrekvensen ökar. Skogstillståndet är delvis ett resultat av människans hanterande av skogen. Detta innebär att vi inte vet med säkerhet vilket skogstillstånd vi kommer att ha i framtiden, även om det naturligtvis finns biologiska begränsningar för vilka tillstånd som är möjliga att åstadkomma.

Sammantaget innebär detta att vi grovt sett har två olika typer av osäkerheter att förhålla oss till: de osäkerheter som rör samband mellan olika företeelser och de osäkerheter som rör utvecklingar drivna av mänskliga eller samhälleliga aktiviteter..

En ytterligare aspekt som sannolikt är relevant för bägge typerna av osäkerheter är vad som skulle kunna kallas "time-lag" - det finns sannolikt fördröjningar i systemet. Om vi som ett hypotetiskt exempel antar att det finns ett kausalt samband mellan CO₂ koncentration i atmosfären och stormfrekvens och tänker oss en utveckling av koncentrationen där den fortsätter att stiga under en 25-årsperiod för att sedan abrupt sjunka till dagens nivå. Det är svårt att tänka sig att stormfrekvensen, om det grundläggande antagandet stämmer, lika abrupt skulle minska efter 25 år.

Vad gäller de mänskligt drivna utvecklingarna finns också fördröjningar, inte minst genom att systemen är tröga i det att t.ex. den äldre skog som skall finnas om 25 år finns redan i dag. Gårdagens åtgärder lägger restriktioner på vad som är möjligt att uppnå imorgon. Samma resonemang kan tillämpas på utvecklingen av CO₂-koncentrationen. Detta medför att en analys av handlingsutrymmet blir en del av osäkerhetsanalysen.

Beslut/åtgärder

Avsikten med föreliggande arbete är att i någon utsträckning bidra till att skapa underlag för handlande inom skogsbruket i relation till klimatförändringsdiskussionen. När vi återigen betraktar figuren framgår det att det är två komponenter som påverkas av våra skogliga beslut vilket också framgår av den debatt som idag bedrivs. Debatten är fokuserad på två frågor

- ⇒ Hur vi med skogliga åtgärder kan påverka utvecklingen av CO₂ koncentrationen i atmosfären. Diskussionen om vi bör lagra kol i ett ökande virkesförråd eller om vi bör ta ut biomassan ur skogen och använda den för att ersätta betong och metall i byggnadskonstruktioner och/eller fossilt bränsle kan vara ett exempel.
- ⇒ Vilka skogliga åtgärder som kan vidtas för att öka effekterna av de förändrade förutsättningarna för primärproduktionen och att minska effekterna av skadegörarna, dvs. vilket skogstillstånd är lämpligt i de nya förutsättningar som ev. kommer att gälla.

I detta arbete sysslar vi enbart med den andra frågeställningen. Grundanalysen måste då göras utifrån antaganden om utvecklingen av CO₂-koncentrationen och om sambanden mellan de olika delarna. Osäkerheterna kan belysas genom att genomföra analysen med alternativa antaganden.

Beslut under osäkerhet

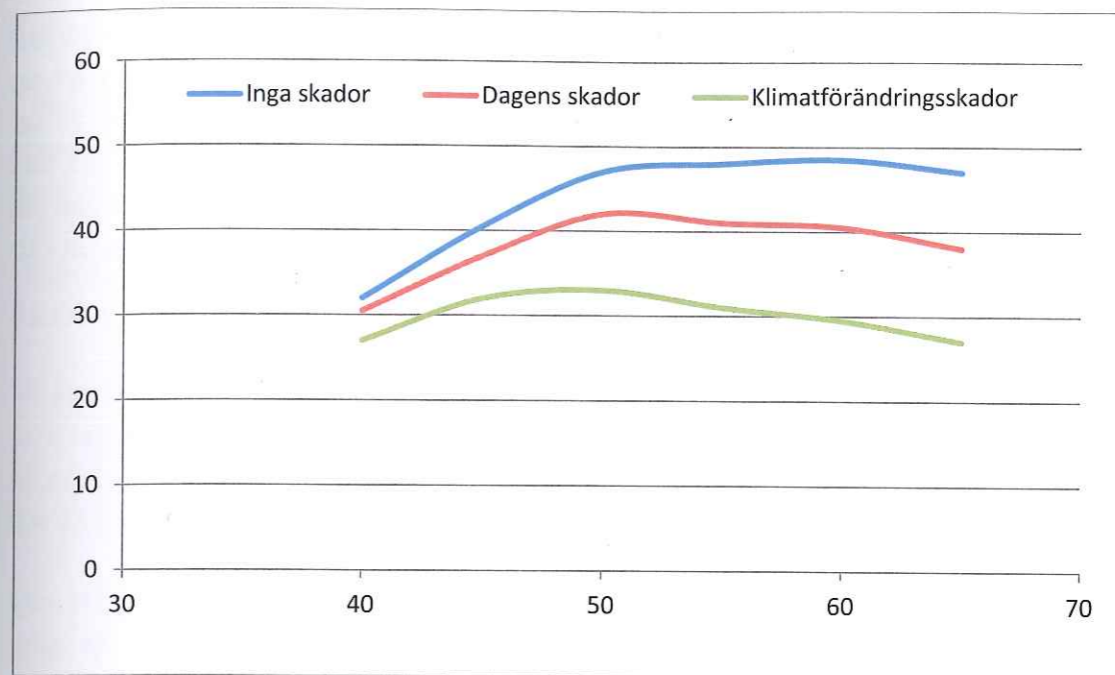
Osäkerheten som man står inför vid ett beslut kan vara av varierande karaktär – i vissa fall känner man utfallsrummet och sannolikhetsfördelning över det, i andra vet man kanske bara riktningen på en förändring. Man kan också förhålla sig till osäkerheten på olika sätt – det finns klassiska strategier vid beslut under osäkerhet. Man kan söka ett beslut som maximerar sämsta tänkbara utfall – max-min, man kan söka ett beslut som maximerar det bästa tänkbara utfallet – max-max och man kan under vissa förutsättningar söka det högsta förväntade utfallet. Dessa strategier förutsätter att man känner utfallsrummet och i förväntningsvärdefallet även sannolikhetsfördelningen.

I detta läge har vi, eftersom osäkerhetssituationen är som den är, valt att försöka skapa skötselprogram som, enligt vår bedömning, leder till ett skogstillstånd som i stor utsträckning motverkar att en ökad skadefrekvens uppstår även om förändringarna i förutsättningarna för skador skulle drastiskt förändras.

Risikkostnad

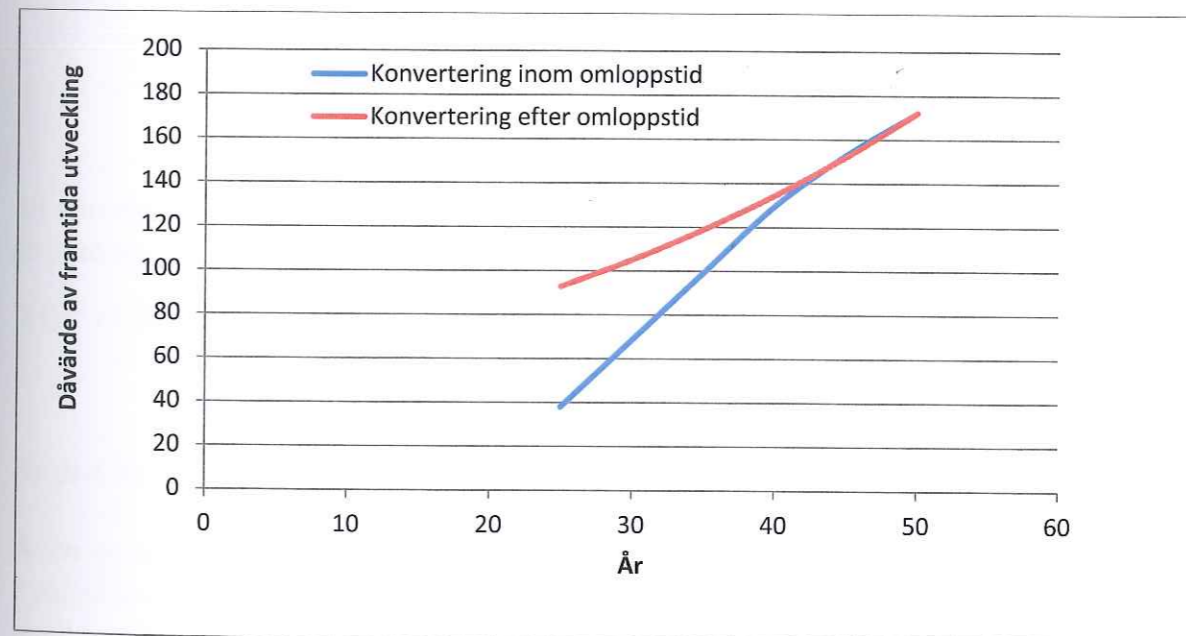
Nedanstående grafer återfinns i tidigare figurer och avser utvecklingen av markvärdet för gallringsalternativet i gran under olika antaganden om skador.

Om vi antar "inga skador" leder det till att den optimala omloppstiden är 60 år och att markvärdet blir ca 48500 kr (Figur 15). Vid dagens skadenivå blir motsvarande siffror 50 år och ca 42 kkr. Eftersom skadorna knappast kan förväntas minska är väl detta det "optimistiska" alternativet. Om vi istället antar att det blir "klimatförändringsnivå" på skadorna innebär det fortfarande en omloppstid på 50 år, men nu ett markvärde på 34 kkr.



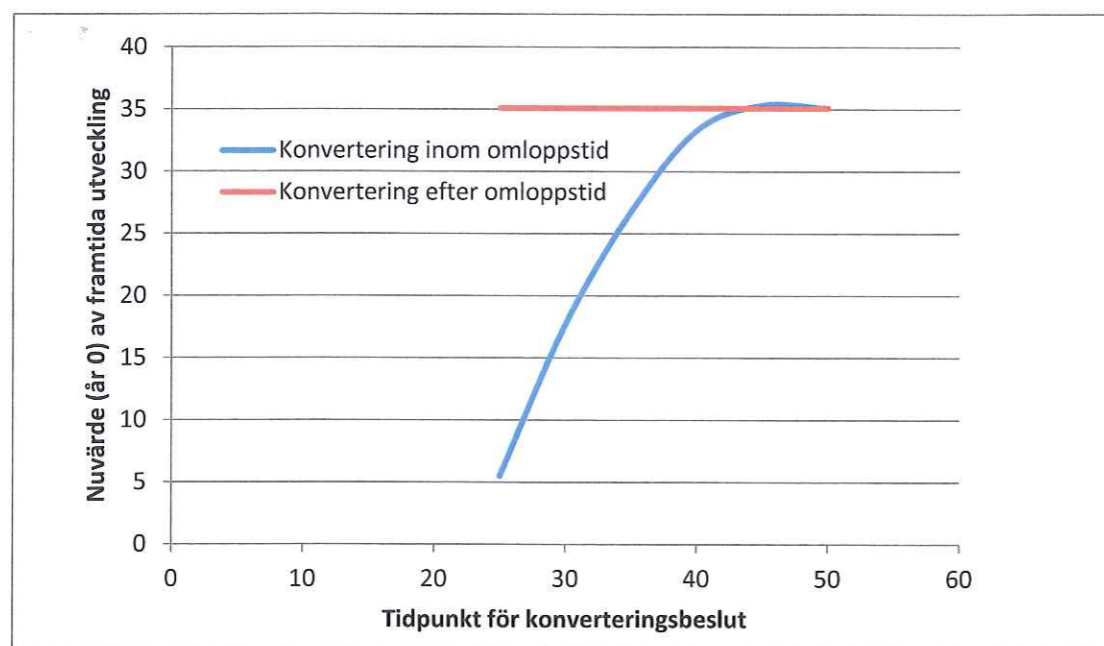
Figur 15. Markvärdet (i kkr) vid olika skadescenarier.

Låt oss nu säga att det finns ett alternativ (trädslag) som under alla omständigheter (skadescenarier) skulle generera ett markvärde på 38 kkr. Om vi använder detta alternativ idag får vi med säkerhet ett värde på 38 kkr. Om vi vidhåller gallringsalternativet i gran, och det inte blir förvärrade skador får vi 42 kkr. Men hur blir det om vi, t.ex. p.g.a. ny kunskap, bryter granalternativet och konverterar till "alternativet" innan 50 år har gått och sedan fortsätter med detta.



Figur 16. Dåvärdet (i kkr) vid olika tidpunkter av framtida utveckling vid olika konverteringsalternativ.

I figur 16 är den beslutssituation som skogsägaren står inför vid beslut om en eventuell konvertering. Han har under tiden som har gått efter beståndsetableringen, med gran, insett att det blir nog mer skador än vad som förutspåddes vid etableringen. När han står vid år 25 ser han att nuvärdet av framtida utveckling är 38 kkr om han konverterar nu och 93 kkr om han låter granen fortsätta till 50 års ålder. Först när han kommer till år 45 är de båda alternativen likvärdiga. Det kloka beslutet, även med kunskap om den förvärrade skadeutvecklingen blir således att låta granen stå till 45 år.



Figur 17. Nuvärdet (i kkr) för olika tidpunkt för konvertering.

I figur 17 visas nuvärdet av den framtida utvecklingen vid olika tidpunkt för konvertering. Ett beslut om konvertering vid 45 eller 50 (efter första generationen) ger i stort samma nuvärde ca 35 kkr. Resonemanget kan nu sammanfattas i en tabell 6.

Tabell 6. Jämförelse av olika konverteringsalternativ vid olika skadeutvecklingar.

Nuvärde, kkr	Dagens skadenivå	Förvärrad skadeutveckling
Granalternativ med lämplig konv. tidpunkt	42	35
Alternativet från början	38	38

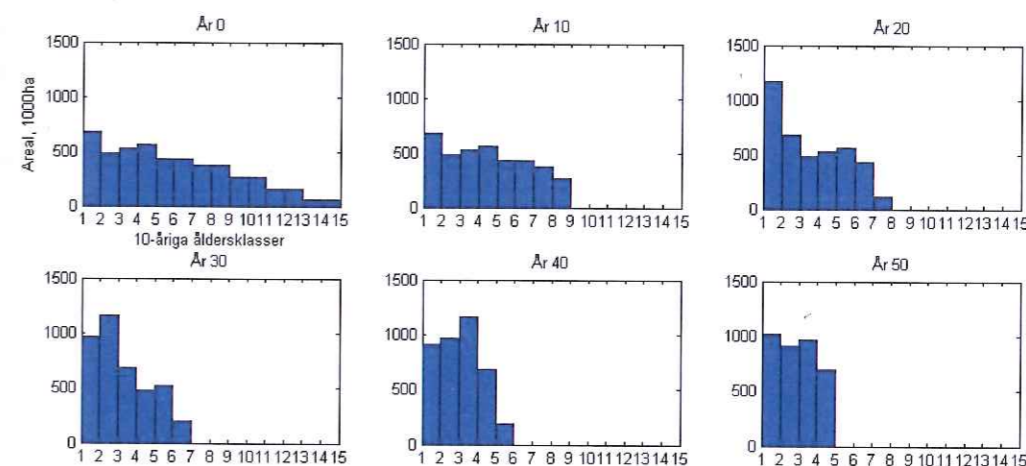
Detta innebär "kostnaden" för att göra "fel" bedömning av den framtida skadeutvecklingen är större om vi satsar på alternativet idag, än om vi satsar på granen idag och gör "fel" bedömning åt andra hållet.

Genomförbarhet

I diskussionen om anpassade skötselprogram används för Sverige ett program som innebär att granen inte skulle hållas längre än till ca 45 års ålder. Frågan uppstår då om hur kraftfulla åtgärder som skulle krävas för att skapa ett skogstillstånd utan granskog äldre än 45 år. Detta behöver naturligtvis undersökas med de strategiska hjälpmedel som finns, HUGIN och Heureka t.ex. Redan en mycket enkel kalkyl kan emellertid ge en viss vägledning och vi har därför gjort en sådan.

Vi antar att all skog i Götaland är gran och att denna skog har den faktiska åldersfördelning som redovisas av rikskogstaxeringen. Vidare antar vi att skogens tillväxt ges av P-mallen, där vi använt mallen för en medelproduktion av 8 m³sk vid en växttid på 80 år och en exponent på 0.4 för kvoten mellan faktisk volym och normförråd.

Om vi rullar den initiala åldersklass fördelningen med ett antagande om att vi avverkar 34 milj. m³ varje år (vilket motsvarar dagens avverkningsnivå) får vi resultat enl. figur 18. Avverkningen sker enbart genom slutavverkning och sker hela tiden "uppifrån" i åldersgradienten. Enligt beräkningen skulle det ta ca 50 år att med dagens avverkningsnivå skapa detta tillstånd med all skog yngre än 50 år.



Figur 18. Åldersklassfördelning vid olika tidpunkter.

Andra skötselmetoder som kan minska riskerna för skadeverkningar

Även andra skötselåtgärder kan minska riskerna för skadeverkning men som inte är medtagna i skötselprogrammen, Stubbrytning av rötskadade bestånd kan medföra att rötan inte följer med till nästa omloppstid, åtminstone inte i samma utsträckning. Man har också möjlighet att stubbehandla mot rotröta vid gallring och slutavverkning.

Insektsangrepp och spridning kan motverkas genom att man avverkar och plockar ut angripna träd. Det är också viktigt att avverkat virke kommer snabbt ut ur skogen, där det kan vattnas och barkas. Vilken tid på året man avverkar är också av viss betydelse. Förtidsavverkning kan tillämpas i större omfattning framöver för att förhindra spridning från svårt insektsangripna bestånd. För att kunna stävja problemen i sin linda behövs en intensifierad och rutinmässig övervakning, samt inventering av skador genom flyg- och fältinventeringar. En organisation kan behöva etableras som arbetar med skogsskydd.

Del 2 -analyser på regional nivå

Av Johan Bergh¹ Ulf Johansson², Anna Maria Jönsson³, Fredrik Lagergren³, Anders Lundström⁴, Urban Nilsson¹ och Ola Sallnäs¹

¹Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU

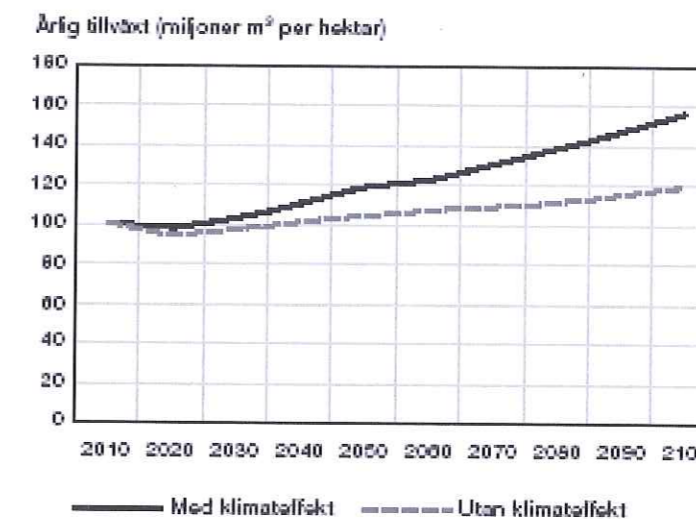
²Tönnersjöhedens och Skarhults försöksparker, SLU

³Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskaper, LU

⁴Institutionen för Skoglig resurshushållning, SLU

Tidigare resultat

De senaste konsekvensanalyserna av möjlig avverkning och hur skogstillståndets utveckling de närmaste 100 åren gjordes i SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen, 2008). I dessa analyser byggde man in tillväxteffekterna av ett förändrat klimat. Om skogsbruket fortsätter att bedrivas som idag och klimatet inte förändras, visar analyserna att den möjliga avverkningsnivån fram till slutet av seklet kommer att öka från ca 100 till ca 120 miljoner m³sk per år (Figur 1). Med klimatförändring kommer tillväxten successivt att öka under kommande 100-års period, och den möjliga avverkningen vara drygt 30 % högre om 100 år. Det som saknas i SKA-VB 08 är analyser av hur ett förändrat klimat kan påverka riskerna för olika skador såsom storm, insekt- och svampangrepp, beroende på att underlag för att beräkna dessa risker inte fanns tillgängliga vid tiden för analysernas genomförande.



Figur 1. Årlig bruttotillväxt 2010-2110 med oförändrat klimat (streckad linje) jämfört med antagande om ett framtida förändrat klimat (heldragen linje). Från SKA-VB 08.

Syftet med analyserna på regional nivå

I den första delen av denna rapport diskuterade och analyserade vi på beståndsnivå konsekvenserna av två olika alternativa skötselstrategier. En strategi innebar en övergång till ett skogsbruk utan gallringar och med omloppstider kortare än de som idag tillämpas. En successiv övergång till ett lövskogsskogsbruk genom att efter slutavverkning alltid föryngra med löv var det andra alternativet. De olika alternativen analyserades utifrån en beskriven klimatförändring och utvärderades i termer av virkesproduktion och skaderisker.

I den andra delen av denna studie vill vi analysera likande skogsskötselstrategier men på regional nivå. I en regional skala blir det mera relevant att också diskussionsmässigt analysera skogens framtida tillstånd ur ett amenitetsperspektiv. Vi har därför valt att genomföra analyserna enligt följande:

Tabell 1. Effekter av anpassade skötselstrategier på virkesproduktion, ekonomi, skaderisk och trivsel. Plustecken avser antagen ökning/förbättring och minustecken minskning/försämring.

	Utvärderingsdimension			
	Virkesproduktion	Ekonomi	Skaderisk	Biodiversitet
Skötselstrategi södra Sverige				
Dagens skogsbruk				
Gallringsfritt granskogsbruk med kort omloppstid		+	+	-
Lövskogsskogsbruk	-	-	+	+
Skötselstrategi norra Sverige				
Dagens skogsskötsel				
Gallringsfritt contortaskogsbruk	+	+		-
Gallringsfritt tallskogsskogsbruk			+	

Material & Metoder

Beräkningsmodell

Samtliga beräkningar av scenarierna har utförts med den regionala applikationen i Heureka-systemet, RegWise (Wikström et al, 2010). Även beräkningarna för referensalternativen A1 och B1 (dagens skogsbruk) som i SKA-VB 08 gjordes med Hugin-systemet (Lundström & Söderberg, 1996), kördes om med RegWise. Detta för att kunna göra jämförande analyser mellan de olika alternativen med samma beräkningsmodell. Beräkningarna är gjorda på produktiv skogsmark, och den avverkning som presenteras avser avverkning av levande träd på produktiv skogsmark. Avverkning av nyligen döda träd eller avverkning på andra ägoslag än produktiv skogsmark ingår således inte. De tillväxtfunktioner som använts för etablerad skog är baserade på i Riksskogstaxeringen inmätta träd mellan åren 1983-1987 (Elfving,

2004), medan funktioner för tillväxt i yngre skog är baserade på bestånd som föryngrats mellan 1950-1965 (Elfving 1982).

Implementering av klimateffekter i Heureka

Tillväxteffekterna av en klimatförändring i Heureka är baserade på analyser gjorda med hjälp av den processbaserade modellen BIOMASS. BIOMASS är beräkningsmässigt tung och det har därför inte bedömts som lämplig att inkludera modellen i Heureka-systemet. Istället har en approximation av BIOMASS skapats genom att göra beräkningar för olika delar av landet, för olika ståndortsförhållanden och trädslag med specificerad klimatutveckling. Detta innebär att för varje klimatscenario som skall analyseras i Heureka måste en omgång analyser göras med BIOMASS. Resultaten av dessa analyser sammanfattas i en styrfil som utgör input till Heureka-systemet. Varje styrfil är unik för ett klimatscenario.

Styrfilen har följande struktur:

Ruta (lat-long) ΔTS Trädslag (3) Markfuktighet (5) a, b, c

Där "Ruta" är en 50 x 50 km stor ruta i Sverige och " ΔTS " den förväntade förändringen av temperatursumman i "rutan" enligt klimatscenariet. A, b, c är koefficienter till en funktion (se nedan). Dessa koefficienter, som ges för tre olika trädslag och 5 olika markfuktighetsklasser, är resultatet av analyserna med BIOMASS.

I Heurekas tillväxtmotor uppstår effekter på två nivåer. Den förväntade ökningen av temperatursumman, ΔTS , ger upphov till en förändring av ståndortsindex och av ett "vegetationsindex" som ingår i tillväxtfunktionerna.

Koefficienterna a, b, c används i en responsfunktion, där LAI ingår som drivande variabel. Responsen uttrycks som en korrektionsfaktor för tillväxten enligt de basala tillväxtfunktionerna. Denna korrektionsfaktor justeras sedan med hjälp av vegetationsindex.

När så tillväxten är framtagen sätts en biologisk ålder som motsvarar tillväxten. Den biologiska åldern används i senare tillväxtberäkningar.

Implementering av tillväxtvinster vid användning av förädlat material

Inget av de material som använts vid framtagande av tillväxtfunktioner innehåller träd med förädlingseffekter eller effekter av proveniensförflyttning av "modernt slag". Den tillväxt som dessa funktioner ger behöver således justeras vid användning av proveniensförflyttat eller förädlat skogsodlingsmaterial. Framtida förädlingsvinster som kan uppnås vid traditionell skogsträdsförädling har beräknats per län och trädslag av Rosvall & Wennström (2008). Här

innefattas också en prognos för produktionen av plantagefrö från befintliga fröplantager och beslutade planer för investeringar i nya fröplantager per län och trädslag.

Förädlingsvinsterna från Rosvall & Wennström (2008) är använda för att justera tillväxten vid användning av förädlad skogsodlingsmaterial. Fortsatt förädlingsarbete förväntas ge 10 procentenheter tillväxtökning vart 20:e år, räknat från utgångsläget.

Tillväxtökningen implementeras i Heureka genom att justera ståndortsindex vid beräkning av trädens tillväxt i ungskog och etablerad skog för de ytor som planterats med förädlade planter. Modellen att justera ståndortsindex är utförligt beskriven av Rosvall & Wennström (2008). Justeringen av ståndortsindex påverkar det trädslag som planterats, men inte naturligt föryngrade stammar av andra trädslag som finns på ytan. För att inte överskatta tillväxteffekten så har effekterna reducerats med andelen naturligt föryngrade planter av det planterade trädslaget. Den här reduktionen är baserad på fördelningar av planterade och självföryngrade huvudplanter i Skogsstyrelsen återväxtuppföljning (Polytax R5/7).

Tillväxtökningarna inkluderar tillväxtökning orsakad av att ursprungsmaterialet till fröplantagerna består av proveniensförflyttat material. Utöver förädlad skogsodlingsmaterial så används proveniensförflyttat skogsodlingsmaterial av gran i scenarierna. Att inte proveniensförflyttat skogsodlingsmaterial av tall ingår i scenarierna beror på att det enligt prognosen över tillgång på förädlad frö inte kommer att finnas någon brist på förädlad tallfrö i någon del av landet. Även den tillväxthöjande effekten av användning av proveniensförflyttat material av gran är hämtad från Rosvall & Wennström (2008).

Justeringen av ståndortsindex för att fånga tillväxteffekten av förädling påverkar ny skog som skapas i Heureka efter föryngringsavverkning, dvs. föryngringsavverkningar från 2005 och framåt. Redan i utgångsmaterialet (Riksskogstaxeringens provytor från 2002-2006) finns träd i olika utvecklingsstadier som består av förädlad eller proveniensförflyttat skogsodlingsmaterial. Inga förändringar är gjorda i Heureka för att försöka fånga effekten på dessa arealer.

Implementering av stormskador

De förväntade stormskadorna har beräknats genom att ett skogstillstånd beskrivet genom tillståndet vid en viss tidpunkt på de ytor som användes i Heureka-simuleringen "lyfts" ur systemet och sedan använts som underlag för en separat beräkningsmodul. Beräkningsmodulen som använts är baserad på en metod som beskrivs i Lagergren et al., 201X. Viss anpassning behövde göras eftersom Lagergrens metod är utvecklad för att tillämpas i den LPJ-Guess

modell som användes vid Lunds universitet. Här ges enbart en schematisk framställning av beräkningsgången – för en detaljerad beskrivning hänvisas till originaldokumenten.

Kärnan i modellen är uttrycket:

$DF = STI * WL * FSI * m$, där

DF står för andel skadat, STI för ett känslighetsindex, WL för vindbelastning, FSI ett tjälindex och slutligen m är en kalibreringsfaktor. STI beror på skogstillståndet på beräkningsenheten, WL på vindklimatet och FSI är ett uttryck för sannolikheten att marken är tjälad. STI beror generellt på gallringshistorik för beräkningsenheten och förhållandet mellan trädhöjder inom enheten (beståndet) och mellan enheten och omgivningen.

I vår tillämpning, på provytor, har DF tolkats som en sannolikhet för att ett träd blåser ner. STI har gjorts beroende av ytans gallringshistorik, trädets höjd i förhållande till ytan och ytans medelhöjd i förhållande till landskapets. För att få ett värde på kalibreringsfaktorn m, tillämpades beräkningen på skogstillståndet år 2004 (dvs. före Gudrun), med förutsättningen $WL=0.14$ (ungefär vindbelastning vid Gudrun stormen) och ej tjälad mark. Den kalibreringsfaktor som gav samma mängd fälld volym som faktiskt föll i Gudrun, användes senare i beräkningarna. Ovanstående rutin användes för att beräkna risken för stormskador i det skogstillstånd som genererades efter 50 år i simuleringarna.

Implementering av granbarkborreskador

Effekter av granbarkborrar studeras genom beräkning av en förväntad andel av volymen som skadas. Beräkningarna baseras på en modell utvecklad av Anna-Maria Jönsson (Jönsson et al., 2011) där den förväntade andelen drivs av variablerna "initial population", "mängd stormskadat virke" och "förekomst av 2:a generation". Den senare variabeln drivs i sin tur av väderantaganden. Då klimatscenerierna brutis ner på "lat-long rutor" i landet är det möjligt att beräkna olika förväntade utvecklings förlopp för olika delar av landet. Eftersom "mängd stormskadat virke" är en av drivvariablerna kopplas beräkningen av barkborreskador till modelleringen av stormskador.

Skötselstrategier och analysområden

Skogsskötselstrategier för ny skog utformades för två landskap, "Småland" och "Jämtland". Syftet med valet av dessa landskap var att analysera regionala effekter på skogstillståndets utveckling av förändrade skogsskötselstrategier på för respektive landsdel (norra och södra Sverige) representativa ståndorter. Skötselstrategierna tillämpades endast på virkesproduktionsmarker. Hänsynsmarker ingick inte i dessa analyser.

Uppgifter om arealer, virkesförråd och tillväxt vid beräkningarnas början för de studerade landskapen framgår av tabell 2.

Tabell 2. Skogsmarksareal, virkesförråd och tillväxt vid beräkningarnas början för de studerade landskapen.

		"Småland"	"Jämtland"
Skogsmarksareal	1 000 ha	1 400	2 200
Virkesförråd	1 000 m ³ sk	195 000	250 000
Tillväxt	1 000 m ³ sk per år	8 100	7 700

För att förändrade skogsskötselstrategier skall kunna tillämpas på "ny skog" så måste först den befintliga, nu växande skogen successivt avvecklas. För att de förändrade skötselstrategier skall slå igenom snabbare och därmed påverka skogstillståndet, så förhöjs avverkningsnivån ibefintlig skog med 50 % jämfört med referensalternativet i SKA-VB 08 tills den gamla skogen tar slut. Valet av denna avverkningsnivå baserades på en bedömning att den gamla skogen bör avvecklas successivt under den 40-50 års period som det tar innan den nya skogen är mogen att börja slutavverkas. Alternativet att avveckla den gamla skogen enligt den slutavverkningsnivå som användes i SKA-VB 08 skulle ha inneburit att det hade tagit mellan 70-100 år innan all areal blev omförd. Det hade också inneburit en minskad total avverkningsnivå eftersom antalet gallringar minskas också i den gamla skogen som ett led att anpassa skogsskötseln till ökad risk för stormskador (se nedan):

- I tidigare ogallrad utförs endast ett starkt gallringsingrepp vid normal tidpunkt för första gallring.
- I bestånd som tidigare gallrats följer ett normalt gallringsprogram men efter 18 m övre höjd genomförs ingen ytterligare gallring.
- Bestånd som passerat 18 m övre höjd gallras inte mera.

För den "nya skogen" tillämpades nedanstående skogsskötselprogram. I samtliga skötselprogram ingår klimat- och förädlingseffekter på samma sätt som i referensalternativet i SKA-VB 08. All ny skog som uppnår slutavverkningsålder under 100-årsperioden avvecklas vid denna ålder utan krav på ransonering eller jämnhet i avverkningsnivåerna. Ny skog som hinner avverkas under 100-årsperioden ersätts med ett likadant bestånd med samma skötselprogram.

A. "Småland"

A1. Dagens skogsbruk. Ny ungskog skapas och skogen sköts efter de program som ingår i referensalternativet i SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen, 2008) och skall avspegla dagens (början av 2000-talet) ambitioner vad gäller skogsskötsel.

Fördelning av föryngringsmetoder och trädslagsval vid plantering/sådd framgår av tabell 3.

I båda områdena kommer plantmaterialet till 95% från förädlat frö medan 5% härstammar från lokalt producerat frö. Dock är det en brist på förädlat granfrö under de första 30 åren och då planteras istället proveniensförflyttat material. Antalet plantor vid plantering var för gran ca 2000 per ha på marker med låga ståndortsindex och ca 2500 per ha för högre ståndortsindex. Antalet tallplantor varierade från ca 2300 per ha på marker med låga ståndortsindex till ca 2800 per ha för högre ståndortsindex. Vid naturlig föryngring lämnades ca 70 fröträd per ha i båda områdena. I "Småland" markbereddes ca 75% av den planterade arealen och ca 50% av den naturligt föryngrade. För "Jämtland" var markberedningsarealen ca 95% för plantering och ca 75% för naturlig föryngring.

Tabell 3. Fördelning av föryngringsmetoder och trädslag enligt SKA-VB 08.

Markfuktighet	"Jämtland"			"Småland"		
	Torr	Frisk	Fuktig	Torr	Frisk	Fuktig
Plantering	36	82	94	33	79	42
Sådd	3	2	0	0	0	0
Naturlig föryngring med fröträd	48	12	5	56	13	15
Ingen åtgärd	13	5	1	11	8	42

Markfuktighet	"Jämtland"					"Småland"				
	Torr	Frisk	Fuktig		Torr	Frisk	Fuktig			
	SI<22	26	SI>26		SI<22	SI 22-26	SI>26			
Tall/cont	90	58	64	0	11	21	0	15	1	4
Gran	10	42	36	0	89	79	0	83	97	96
Björk	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0

Väntetiden vid skogsodling från föryngringsavverkning till dess föryngringsåtgärderna har utförts var tre år i "Jämtland" och två år i "Småland".

Plantering av contorta har maximerats till 3250 ha per år, där huvuddelen planteras inom övriga ägare (bolagsmark) i norra och södra Norrland.

Röjningen har specificerats som en andel av den föryngringsavverkade arealen, och är i Götaland 90%. Motsvarande för norra Sverige är 95%. Totalt stamantal efter röjning är i Götaland 3600 st/ha (varav andel tall 23%, gran 60% och 16% löv). Motsvarande för södra Norrland är 3400 st/ha (varav andel tall 53%, gran 35% och 11% löv).

Gallringsuttagens storlek bestäms enligt Skogsstyrelsens gallringsmallar (Skogsstyrelsen 1984). Gallringsstyrkan uttryckt som uttagets andel av grundytan före gallring är för första

gallring i Götaland 35%. Motsvarande för södra Norrland 30%. För övriga gallring är uttagsprocenten i Götaland 25%. Motsvarande för södra Norrland är 27%. Trädslagsvalet vid gallring uttryckt som utgallrad grundyta i procent av grundytan före gallring för tall, gran och löv är i Götaland 19%, 27% och 23%. Motsvarande för södra Norrland är 25%, 44% och 20%.

Gödsling av fastmark sker på totalt 4200 ha per år i "Jämtland", och 400 ha per år i "Småland".

A 2. Gallringsfritt granskogsbruk med förkortade omloppstider (Tabell 4). Ny skog anläggs genom plantering av 1200 förädlade granplantor per ha eller röjning till 1200 st/ha om ett bestånd uppkommit på annat sätt än genom plantering. Genom väl utförd markbehandling och omsorgsfull plantbehandling mot snytbagge uppnås nästan 100% överlevnad vid plantering. Beståndet gallras inte och slutavverkas vid 45 års ålder på en mark med ståndortsindex G34 och vid 50 års ålder på en G30.

A 3. Lövskogsbruk. På bördig mark (ståndortsindex >G32) planteras 1000 pl/ha av hybridasp vilken gallras 2 gånger och därefter slutavverkas vid 25 års ålder. På all övrig mark anläggs björkskog genom naturlig förnygring efter markberedning. Björkskogen gallras en gång och slutavverkas vid 50 års ålder.

B. "Jämtland"

B 1. Dagens skogsbruk. Ny ungskog skapas och skogen sköts efter de program som ingår i referensalternativet i SKA-VB 08. Jämför beskrivning under A 1 ovan.

B 2. Gallringsfri contortatall med förkortade omloppstider. Ny skog anläggs genom plantering 1200 förädlade contortatall plantor per ha. Bestånden gallras inte och slutavverkning sker vid 45 års ålder. De allra bördigaste markerna undantas från contortaodling och planteras istället med gran.

B 3. Gallringsfritt tallskogsbruk. Ny skog anläggs genom plantering eller röjning till 1200 tallplantor per ha. Bestånden gallras inte och slutavverkas vid 50 års ålder på en mark med ståndortsindex T26 och vid 70 års ålder på en T22.

Tabell 4. Sammanfattning av skogsskötselprogram för beräkningsområdena "Småland" och "Jämtland".

Skötselprogram	Landskap	Trädslag	Utgångs-stamantal	Antal gallringar	Omloppstid
A1.Dagens skogsbruk	"Småland"	Tall Gran Löv	Enligt SKA-VB 08		

A2.Gallringsfritt granskogsbruk	"Småland"	Gran	1200	0	45
A3.Lövskogsbruk	"Småland"	Hybridasp/Björk	1500	1	50
B1.Dagens skogsbruk	"Jämtland"	Tall Gran Löv	Enligt SKA-VB 08		
B2.Gallringsfri contortatall	"Jämtland"	Contortatall	1200	0	45
B3.Gallringsfritt tallskogsbruk	"Jämtland"	Tall	1200	0	50-70

Hur förändras klimatet i de utvalda områdena

Jämtland kännetecknas av ett borealt klimat med en årsmedeltemperatur på + 1-2 °C och en årsmedelnederbörd på 600-700 mm över stora delar av länet med upp till 1500 mm i de västligaste delarna. Vegetationsperiodens längd varierar mellan 120-160 dagar per år. Småland har ett kalltempererat klimat med en årsmedeltemperatur på + 5-6 °C, där årsmedelnederbörden är ca 500-600 mm i de östra delarna och upp emot 1000 mm i de västra delarna. Vegetationsperiodens längd i Småland är nästan två månader längre än i Jämtland och varierar mellan 190-210 dagar.

I B2-scenariet förväntas ökningen av årsmedeltemperaturen bli ca 3,6 °C i Jämtland och 2,8 °C i Småland, där temperaturökningen är högre under vinterhalvåret och lägre under sommaren. Temperaturökningen kommer leda till en ca 60 dagar längre vegetationsperiod i både Jämtland och Småland. Årsmedelnederbörden förutspås att öka i Jämtland medan den antas bli oförändrad i Småland. Däremot minskar den under sommarhalvåret i Småland vilket tillsammans med ökad temperatur kan leda till större vattenunderskott under sommaren.

Resultat och Diskussion

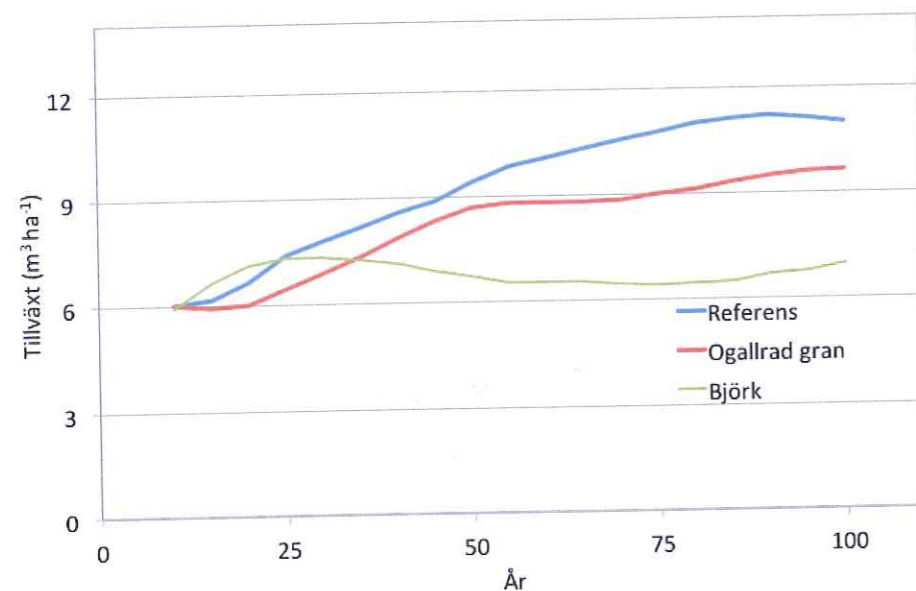
Utveckling av skogstillståndet i Småland

Den årliga medeltillväxten på skogsmark i Småland under en 100-årsperiod ökar i referensalternativet (A1) från 6 till ca 11 m³sk/ha (Figur 2). Ökningen avtar först i slutet av 100-årsperioden och sjunker svagt under den allra sista 10-årsperioden. Den kraftiga tillväxtökningen är en samlad effekt av flera faktorer där de viktigaste är skogstillståndet, det valda skogsskötselprogrammet, användningen av förädlad skogsodlingsmaterial och en klimatförändring. De stora tillväxtökningar som kan realiseras i referensalternativet är en följd av att skogarna i Småland redan idag har en hög andel gran och att markerna i genomsnitt är bördiga. Tillväxtnivåerna i dagens växande skogar ligger således långt under

produktionspotentialen. Samtidigt kommer produktionspotentialen (boniteten) under en kommande 100-årsperiod att öka till följd av ett förändrat klimat.

En övergång till ett skötselprogram med ogallrad granskog i Småland (A2) innebär inledningsvis en oförändrad tillväxtnivå på ca 6 m³sk/ha årligen (Figur 2). Detta blir ett resultat av förhöjda avverkningsvolymerna vilket leder till större föryngrings- och ungsogsarealer som kommer att vara be vuxen med skog med låg tillväxt i dessa ålderklasser. Efter några decennier blir avverkningsnivåerna under en period lägre i det ogallrade granalternativet, samtidigt som tillväxtnivåerna ökar när nyanlagda skogar växer in i ålderklasser med hög löpande volymtillväxt vilket leder till högre total tillväxt. Här efter följer en period med ökade avverkningsvolymerna tills merparten av den första generationen i den nya skogen hunnit avverkas. Därefter kommer detta "cykliska" förlopp att återupprepas. Vid slutet av 100-årsperioden är den årliga medeltillväxten ca 1 m³sk/ha lägre för ogallrad gran (A2) jämfört med referensalternativet (A1). En storskalig övergång till lövskogsbruk i Småland (A3) innebär inledningsvis en ökad årlig medeltillväxt men efter ca 25 år sjunker tillväxten igen för att därefter plana ut på en nivå av drygt 6 m³sk/ha (Figur 2). Först under senare delen av 100-årsperioden stiger den årliga tillväxten åter svagt och ligger vid 100-årsperiodens slut i medeltal ca 4 m³sk/ha lägre än i referensalternativet (A1).

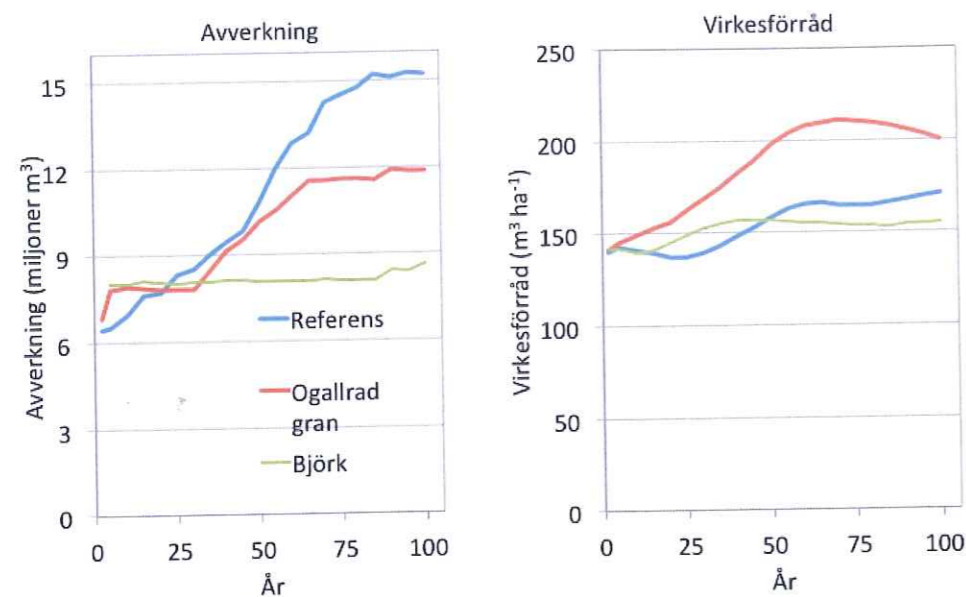
Sammanfattningsvis kommer de båda alternativa skötselprogrammen med gallringsfritt granskogsbruk (A2) och lövskogsbruk (A3) att innebära lägre tillväxtnivåer än referensalternativet (A1) i Småland. Dock kommer en förändrad skogsskötselstrategi med gallringsfritt granskogsbruk i förkortade omloppstider endast att leda till en begränsad påverkan på tillväxten (ca 10 % lägre). En storskalig övergång till lövskogsbruk dominerat av naturligt föryngrad björkskog kommer däremot att innebära betydligt lägre tillväxtnivåer (ca 40 % lägre). Det är dock möjligt med förädlings effekter för löv, vilket skulle kunna minska skillnaderna om man planterade exempelvis björk med hägn.



Figur 2. Årlig medeltillväxt på skogsmark i Småland under en 100 års period för skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfritt granskogsbruk och lövskogsbruk.

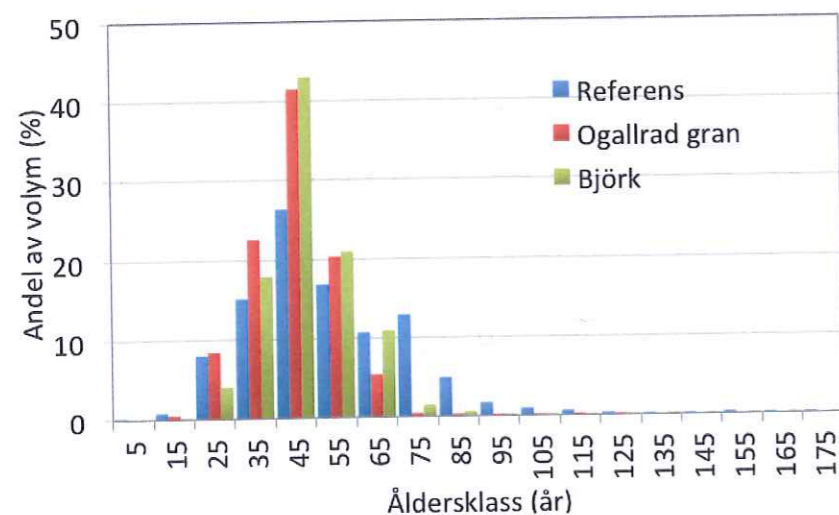
Den årliga avverkningen i Småland under en 100-årsperiod ökar i referensalternativet (A1) från 6 till 15 milj m³ (Figur 3). Ökningstakten är jämn under större delen av perioden och avtar först under de sista 10-årsperioderna. Analysen visar att det kommer att det finns en stor potential att öka avverkningarna i Småland under en kommande 100-årsperiod. En övergång till gallringsfritt granskogsbruk (A2) innebär initialt ökad avverkning men därefter följer några 10-årsperioder med oförändrade avverkningsnivåer, främst som en följd av att gallringar upphör varför inga gallringsvolymerna blir tillgängliga för avverkning. Efter ca 20 år kommer den årliga avverkningen under hela den resterande delen av den studerade perioden att vara lägre än i referensalternativet. Mot slutet av 100-årsperioden är den årliga avverkningsnivån ca 3 milj m³sk lägre än i referensalternativet (A1). En övergång till lövskogsbruk (A3) innebär en jämn årlig avverkningsnivå på ca 8 milj m³sk under större delen av 100-årsperioden. Efter ca 25-30 år är avverkningsnivån i lövskogsbruksalternativet permanent lägre än i de båda alternativen referens- och gallringsfritt granskogsbruk. Mot slutet av perioden ligger den årliga avverkningen drygt 6 milj m³sk lägre jämfört med referensalternativet. Sammantaget innebär de båda alternativa skötselprogrammen lägre möjliga avverkningsnivåer än i referensalternativet i Småland, vid en övergång till gallringsfritt granskogsbruk en sänkning med ca 20 % och för lövskogsbruksalternativet med ca 40 %.

Medelvirkesförrådet på produktiv skogsmark i Småland sjunker de första 25 åren svagt i referensalternativet (A1) för att därefter successivt öka till en nivå som är ca 30 m³sk/ha högre vid 100-årsperiodens slut jämfört med början (Figur 3). Att de kraftigt ökande tillväxtnivåerna inte slår igenom mer på medelvirkesförråden beror främst att avverkningstakten är hög under hela 100-årsperioden vilket begränsar förrådsupbyggnaden. En övergång till gallringsfritt granskogsbruk (A2) leder till konstant ökande virkesförråd de första 60 åren. De sista 10-årsperioderna sjunker medelförrådet svagt och är vid periodens slut ca 30 m³sk/ha högre än i referensalternativet. En stark förrådsupbyggnad i skogar som sköts utan gallringar är logisk eftersom de stående beståndsvolymererna kommer att vara högre under en stor del av omloppstiden jämfört med skogar som behandlas med gallring. Lövskogsbruksalternativet (A3) ger endast en svag virkesförrådsupbyggnad och medelförråden mot slutet av 100-årsperioden är ca 20 m³sk/ha lägre än i referensalternativet (A1) och ca 50 m³sk/ha lägre än i alternativet med gallringsfritt granskogsbruk.



Figur 3. Utvecklingen av årlig avverkning och virkesförråd på skogsmark under en 100-årsperiod i Småland (F och G län) för skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfritt granskogsbruk och lövskogsbruk.

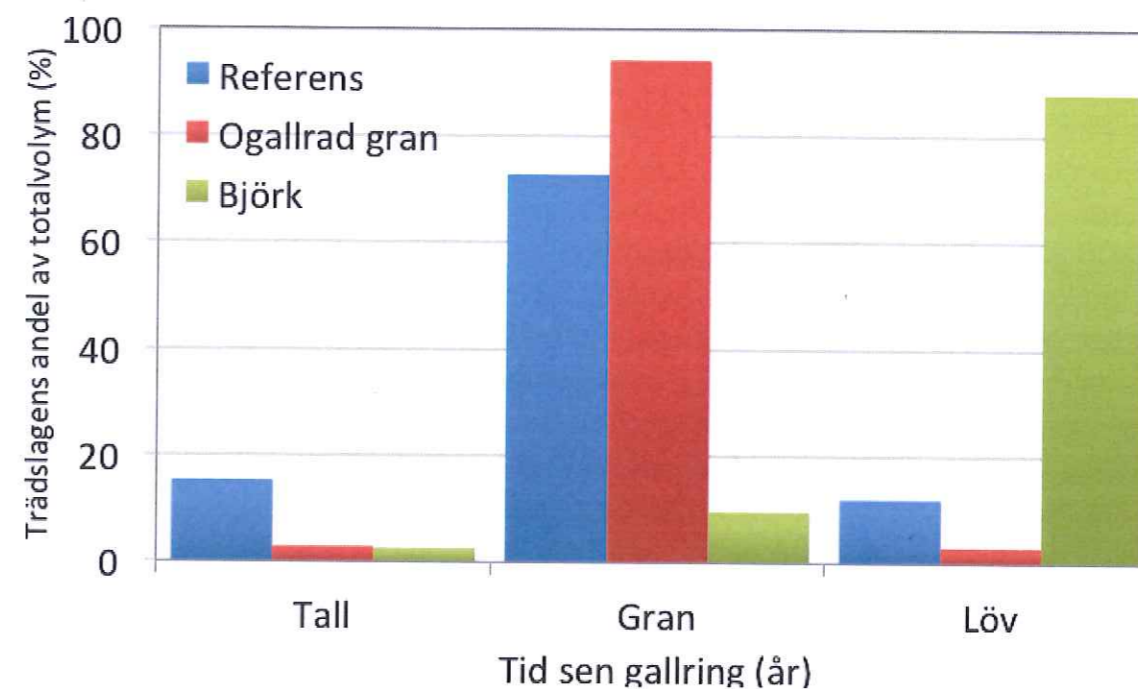
Andelen av virkesförrådet i medelålders skog (30-60 år) blir ganska likartad för alternativen med gallringsfritt granskogsbruk (A2) och lövskogsbruk (A3) i Småland (Figur 4). Det gallringsfria granalternativet kommer att ha en något högre andel av volymen i yngre åldersklasser och lövalternativet något högre i äldre klasser. I absoluta tal är naturligtvis volymerna i olika åldersklasser väsentligt högre i det ogallrade granalternativet i jämförelse med lövalternativet. Referensalternativet har lägre volymandelar i medelålders skog men också större volymandelar i äldre skog jämfört med de båda övriga skötselprogrammen. Sammanfattningsvis påverkar de båda alternativa skötselprogrammen skogarnas åldersklassfördelning i Småland genom att högre andelar av virkesförråden koncentreras till medelålders skogsbestånd i jämförelse med dagens skogsbruk enligt referensalternativet.



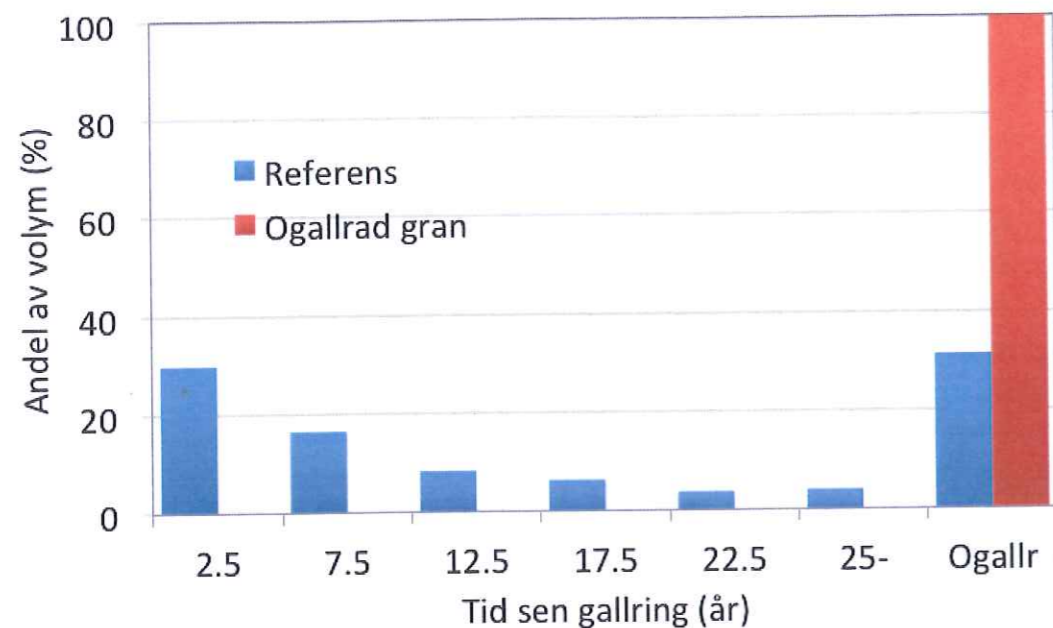
Figur 4. Andelen av volymen i olika åldersklasser 50 år efter simuleringsstart för skogen i Småland (FG-län) i skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfritt granskogsbruk och lövskogsbruk.

Jämfört med referensalternativet (A1) innebär en övergång till gallringsfritt granskogsbruk i Småland (A2) att granandelen vid 100-årsperiodens slut kommer att stiga från 70% till drygt 90% medan andelarna tall och löv sjunker från ca 10-15% till under 5% av varje trädslag (Figur 5). En storskalig övergång till lövskogsbruk (A3) ger efter 100 år en lövandel på ca 85% och en barrandel på ca 15%. Effekterna på trädslagssammansättningen är för båda de alternativa skötselprogrammen logiska resultat av övergång till granskog respektive lövskog. Även i referensalternativet kommer granandelen om 100 år fortfarande att vara hög (ca 70%) eftersom gran kommer att vara det ur produktionssynpunkt mest naturliga trädslagsvalet på de genomsnittligt bördiga skogsmarkerna som dominerar i Småland.

I referensalternativet för Småland (A1) kommer vardera ca 30% av volymen att vara ogallrad eller nygallrad skog medan resterande volymandelar (ca 40%) ligger i skog som gallrades för mer än 5 år sedan (Figur 6). I alternativet med gallringsfritt granskogsbruk kommer av naturliga skäl 100% av volymen att finnas i skog som aldrig gallrats.



Figur 5. Trädslagsfördelning 50 år efter simuleringsstart för skogen i Småland (F och G län) i skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfritt granskogsbruk och lövskogsbruk.



Figur 6. Andelen av volymen med olika tid efter gallring för skogen i Småland 50 år efter simuleringsstart i skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk) och gallringsfritt granskogsbruk.

Utveckling av skogstillståndet i Jämtland

Den årliga medeltillväxten på skogsmark i Jämtland under en 100-årsperiod ökar i referensalternativet (B1) stadigt från ca 3,5 till ca 7 milj m³sk (Figur 7). Denna fördubbling av tillväxten visar att skogarna i norra Sverige precis som i Småland har betydande potentiella produktionspotentialer. Precis som i Småland samverkar flera faktorer till ökad tillväxt, bl a skogstillstånd, skogsskötsel, skogsträdsförädling och förändrat klimat. En faktor som tillkommer är att det i Jämtland redan idag finns betydande arealer med snabbväxande planteringar av contortatall vilka kommer att växa in i produktiva åldersklasser och bidra till ökande medeltillväxt.

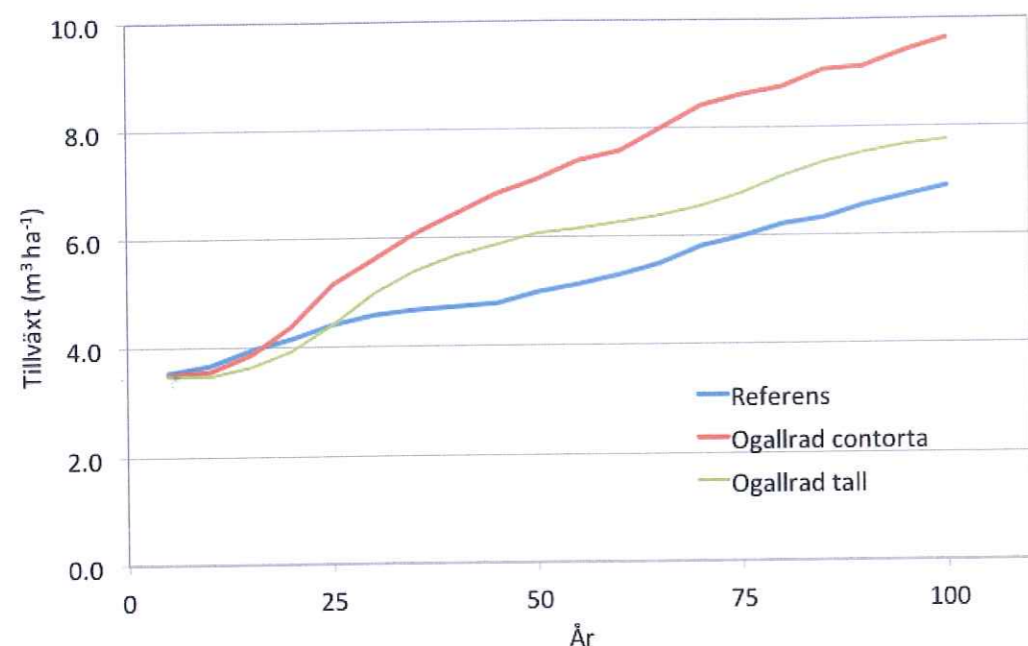
En storskalig övergång till ett skogsbruk med gallringsfri contortatall (B2) innebär att medeltillväxten fränsett de inledande 10-årsperioderna stadigvarande kommer att vara 40-50% högre än i referensalternativet (B1) under resterande del av 100-årsperioden (Figur 7). Denna skillnad förefaller logisk mot bakgrund av att contortatall jämfört med vanlig tall har 40-50 % högre produktionsförmåga (Agestam & Karlsson 2009).

Et annat möjligt skadeförebyggande skötselprogram är att istället för gallringsfri contortatall gå över till gallringsfritt tallskogsbruk med förkortade omloppstider. Tanken bakom detta är att risken för skador av storm i ogallrad skog med korta omloppstider skulle bli ännu lägre i tall än i gran eller contortatall. Risken för granbarkborreskador är naturligtvis obefintlig för tall och andra barkborrar som angriper tall bedöms också vara i mindre omfattning för tall än för gran.

En övergång till ett skötselprogram med gallringsfritt tallskogsbruk (B3) innebär fränsett de första 25 åren att medeltillväxten på skogsmark kommer att genomsnittligt vara 10-20% högre än i referensalternativet (Figur 7). Möjliga förklaringar till detta kan vara högre genomsnittliga beståndsvolymer i ogallrade tallskogar vilket ökar de löpande tillväxtnivåerna, speciellt i medelålders och äldre skogar. Sannolikt beror det också på att många skogsmarker i Jämtland är "mellanboniteter" där produktionskillnaden mellan tall och gran inte är så stor. En övergång till högre tallandel får därför inte så stor påverkan på tillväxtnivåerna som skulle blivit fallet på bördigare marker i andra delar landet där högre andel tall normalt skulle resultera i lägre tillväxt.

Principiellt bör en övergång till gallringsfritt tallskogsbruk få likartade effekter på tillväxten som det gallringsfria granskogsbruket i Småland. Det bör innebära att skillnaderna i tillväxt under en 100-årsperiod blir ganska små för både ogallrade tall- och granalternativen vid jämförelse mot referensalternativet. Vid jämförelse mellan de ogallrade tall- och granalternativen förväntas skillnaderna i tillväxt och avverkning bli relativt små för hela 100-årsperioden. Trots att tallskog på beståndsnivå på många marker har lägre bonitet än granskog så blir skillnaderna i produktion mindre på regional nivå för skötselprogram med korta omloppstider. Förklaringen ligger främst i att tallskog har högre relativ löpande volymtillväxt än granskog i unga åldersklasser. Korta omloppstider får till följd att granskogens högre löpande volymtillväxt i äldre åldersklasser inte utnyttjas. Totalproduktionen i volym över korta omloppstider kan därför principiellt förväntas bli ganska likartad mellan trädslagen trots att granens bonitet genomsnittligt kan vara högre än tallens. Dessa förhållanden faller tillbaka på grundläggande biologiska skillnader i tillväxtmönster mellan tall och gran. Tall som ett utpräglat pionjärträdslag karaktäriseras av snabb ungdomsutveckling med tidig kulmination av löpande volymtillväxt medan ett sekundärträdslag som gran uppvisar motsatsen med långsam ungdomsutveckling och sen tillväxtkulmination. Effekterna av dessa förhållanden kan bli svåra att prognostisera och tolka vid uppskalning till regional nivå av skötselprogram med korta omloppstider.

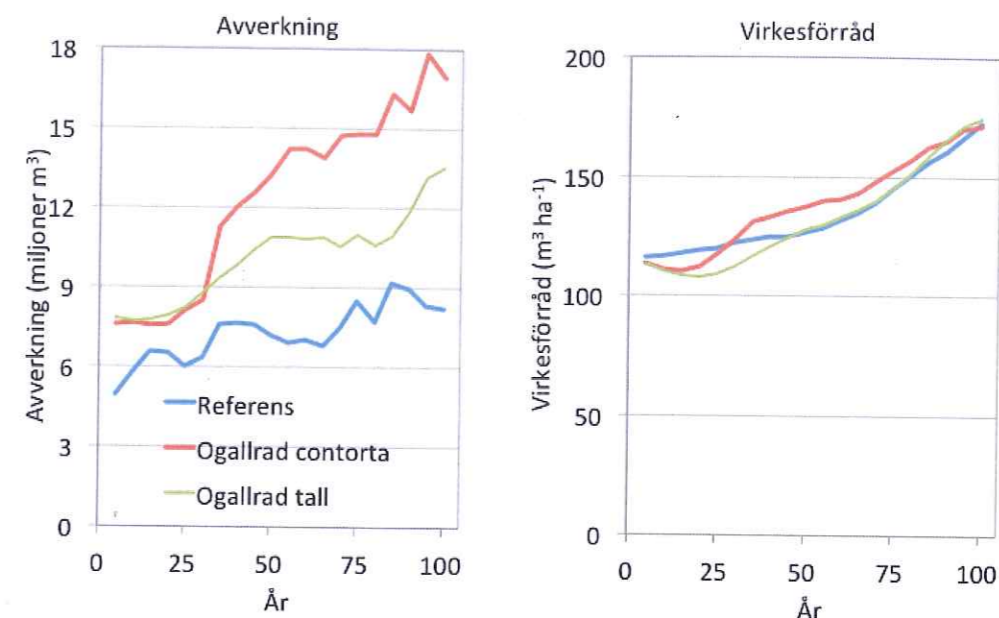
Sammanfattningsvis kommer de båda alternativa skötselprogrammen med gallringsfri contortatall (B2) och gallringsfritt tallskogsbruk (B3) att innebära högre tillväxtnivåer än referensalternativet (B1) i Jämtland, för ogallrad contortatall 40-50% högre och för det ogallrade tallalternativet 10-20% högre.



Figur 7. Årlig medeltillväxt på skogsmark i Jämtland under en 100 års period för skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfri contortatall och gallringsfritt tallskogsbruk.

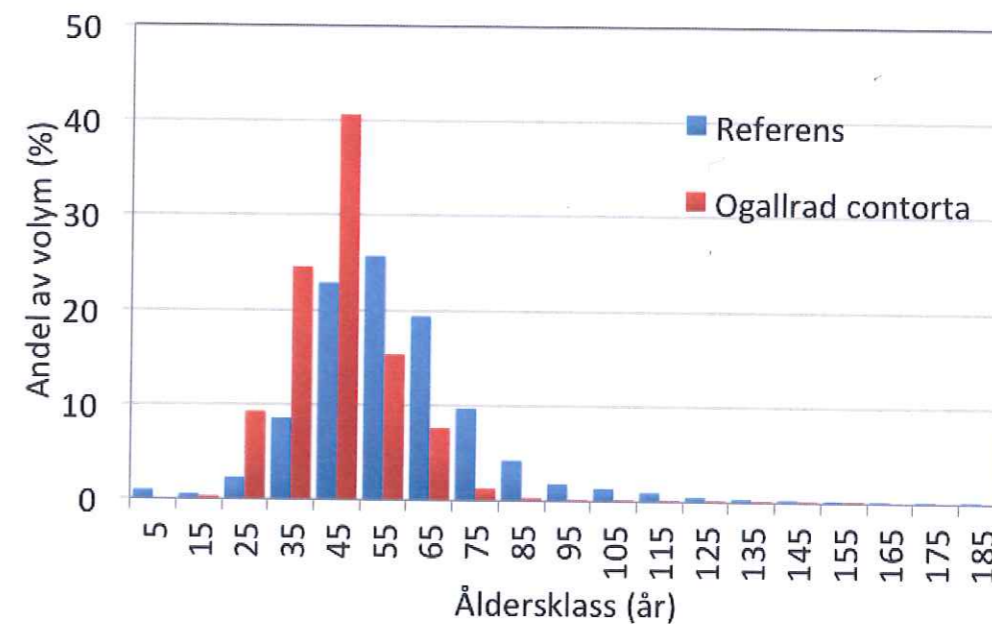
Den årliga avverkningen i Jämtland under en 100-årsperiod ökar svagt i referensalternativet (B1) från ca 5 till ca 8 milj m^3 sk vid perioden slut (Figur 8). Ökningstakten är emellertid inte jämn och det är ganska stor variation i avverkningsnivå mellan enskilda 10-årsperioder. Storskalig odling av contortatall utan gallringar (B2) innebär att det finns stora avverkningsmöjligheter som kan realiseras under en kommande 100-årsperiod. Avverkningsnivåerna ökar med ca 2,5 gånger om 100 år jämfört med idag. Den viktigaste anledningen till ökande avverkningsmöjligheter är de kraftigt förhöjda medeltillväxtnivåerna i contortaskogarna (Figur 6) men även de kortare omloppstiderna bidrar till detta. En övergång till gallringsfritt tallskogsbruk (B3) innebär också högre avverkningsnivåer jämfört med referensalternativet (B1). Sammantaget innebär de båda alternativa skötselprogrammen i Jämtland att kraftigt ökade avverkningsmöjligheter kan realiseras under 100-årsperioden jämfört med referensalternativet.

Medelvirkesförrådet på produktiv skogsmark i Jämtland ökar i samliga studerade skötselprogram (B1-3) från ca 115 m^3 sk/ha idag till ca 170 m^3 sk/ha om 100 år (Figur 8). Ökningen är likartad i alla tre alternativen. De första 10-årsperioderna sjunker medelförråden svagt i båda skötselprogrammen gallringsfri contortatall (B2) och gallringsfritt tallskogsbruk (B3), främst som en följd av ökande avverkningsnivåer under dessa perioder. Därefter är ökningstakten för medelvolymerna ungefär densamma i båda dessa skötselprogram som i referensalternativet.



Figur 8. Utvecklingen av avverkning och virkesförråd på skogsmark under en 100-årsperiod i Jämtland för skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfri contortatall och gallringsfritt tallskogsbruk.

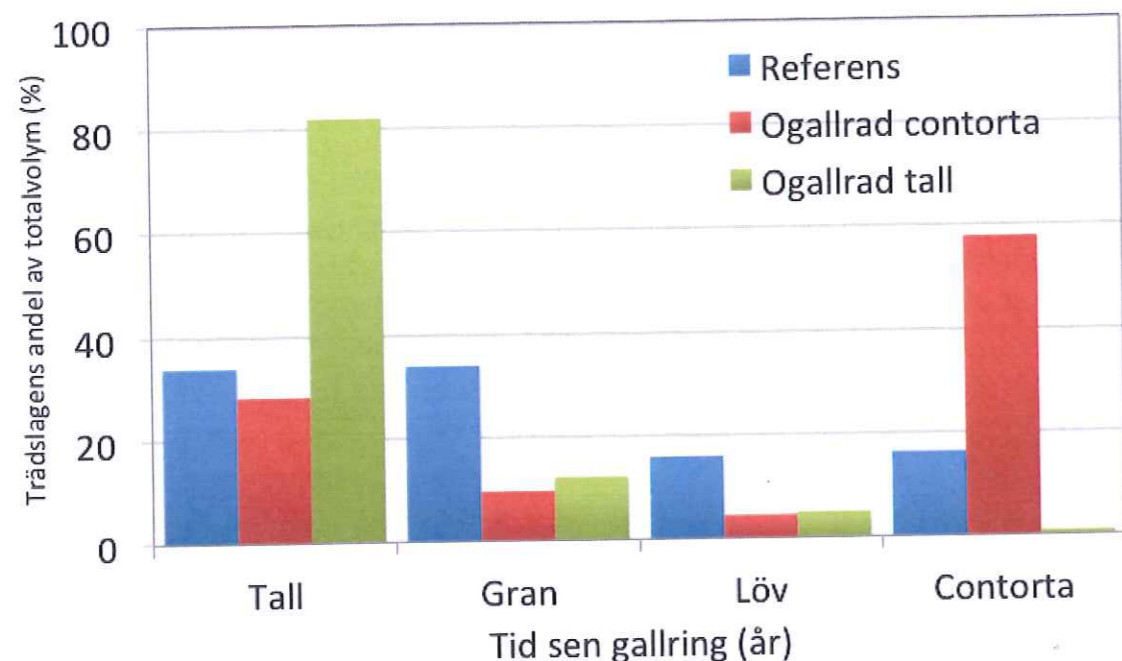
Andelen av virkesförrådet i yngre och medelålders skog (20-50 år) blir högre i skötselprogrammet med gallringsfri contortatall (B2) jämfört med referensalternativet (B1) i Jämtland (Figur 9). I högre åldersklasser är däremot volymandelarna lägre för det förstnämnda alternativet, vilket är en naturlig följd av förkortade omloppstider.



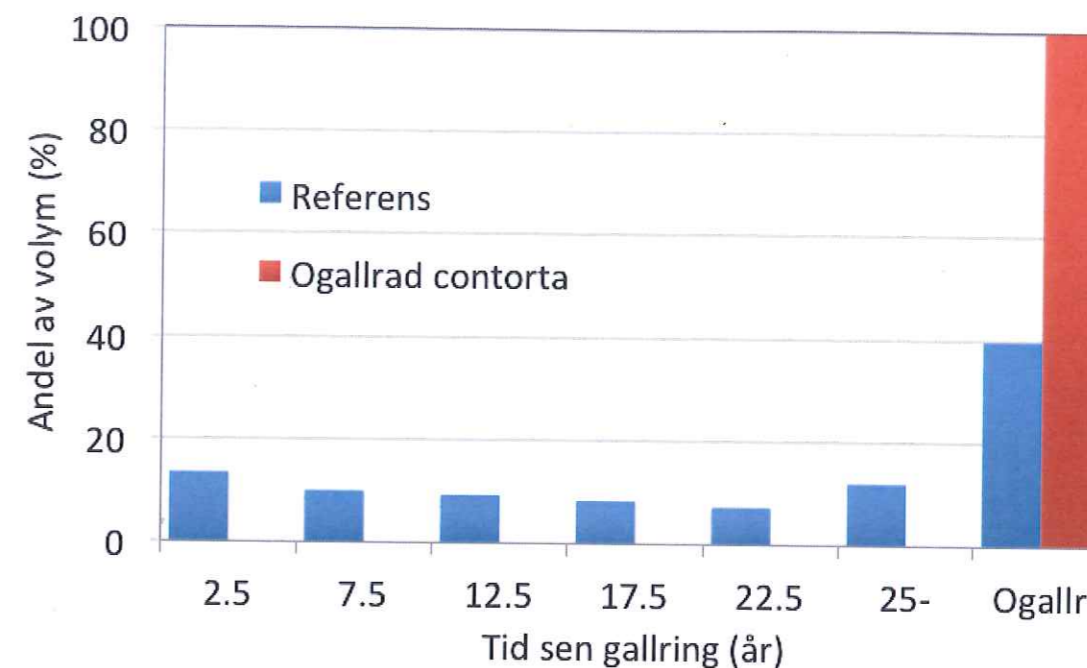
Figur 9. Andelen av volymen i olika åldersklasser 50 år efter simuleringsstart för skogen i Jämtland i skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk) och gallringsfri contortatall.

I referensalternativet för Jämtland (B1) är trädslagsfördelningen vid 100-årsperiodens slut ca 35 % av vardera tall och gran och ca 15% av vardera löv och contortatall (Figur 10). En storskalig övergång till ett skogsbruk med gallringsfritt contortatallskogsbruk innebär att contortatallens andel blir knappt 60% om 100 år, medan andelarna av övriga trädslag sjunker jämfört med referensalternativet. En övergång till ett skötselprogram med gallringsfritt tallskogsbruk ger om 100 år en tallandel på strax över 80% medan volymandelarna av övriga trädslag ligger mellan 1 och 12%. Förskjutningarna av trädslagsfördelningen i båda de alternativa skötselprogrammen jämfört med referensen är naturliga effekter av de storskaliga trädslagsbytena.

I referensalternativet i Jämtland (B1) kommer ca 40% av volymen att utgöras av ogallrad skog vid 100-årsperiodens slut (Figur 11). Resterande volym är ganska jämnt fördelad på nygallrad skog (senaste 5 åren) och skog med längre intervall efter utförd gallring. I alternativet med gallringsfri contortatall (B2) kommer av naturliga skäl 100% av volymen att finnas i skog som aldrig gallrats.



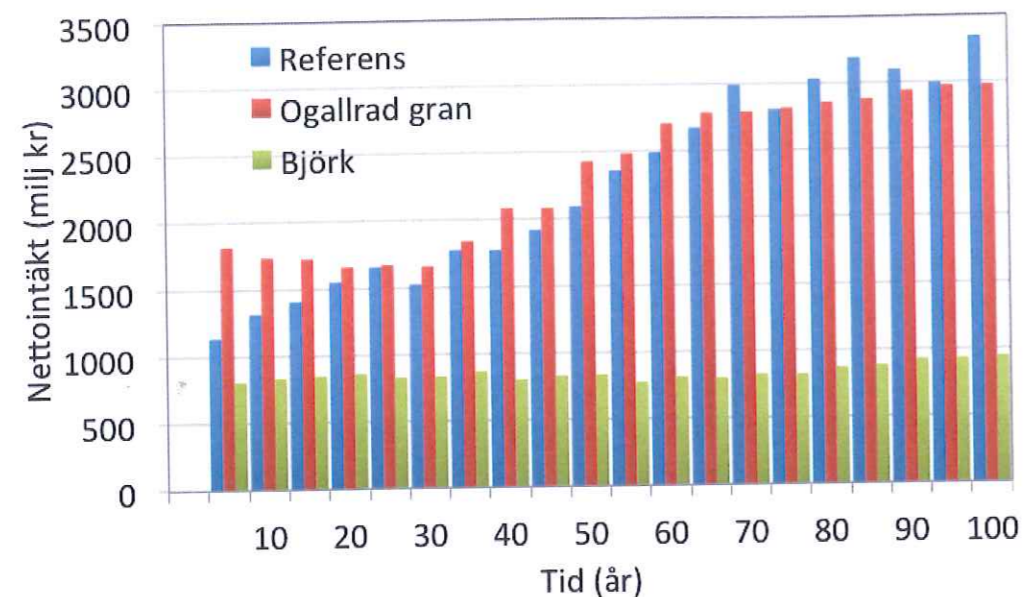
Figur 10. Trädslagsfördelning 50 år efter simuleringsstart för skogen i Jämtland enligt skötselprogrammen referens (Dagens skogsbruk), gallringsfri contortatall och gallringsfritt tallskogsbruk.



Figur 11. Andelen av volymen med olika tid efter gallring för skogen i Jämtland 50 år efter simuleringsstart.

Ekonomiska effekter för de olika skötselalternativen i Småland

Skötselprogrammet med gallringsfritt granskogsbruk (A2) gav högre nettoinkomster än referensalternativet (A1) under simuleringsperiodens första 15 år (figur 12). Därefter var nettointäkten relativt lika för de båda alternativen. Den totala nettointäkten under 100-årsperioden var ca 4% högre för gallringsfritt granskogsbruk i jämförelse med referensalternativet. Den relativt stora skillnaden i nettointäkt under de första 15 åren beror på höga avverkningsvolymerna i den ogallrade granskogen och på att all avverkning sker som slutavverkning (se nedan).



Figur 12. Årliga nettointäkter för skogen i Småland (F och G län) under 100 årsperioden för referens-, ogallrad gran- och björkalternativet.

Nettointäkten påverkas av en rad faktorer som slår olika för de två skötselprogrammen. För det första var tillväxten högre för referensalternativet vilket möjliggjorde 13% högre avverkningsvolym. För det andra var skogsvårdskostnaderna ca 20% högre för ogallrad gran än för referensen (figur 13). Den högre skogsvårdskostnaden berodde på korta omloppstider vilket medförde högre slutavverkningsareal och därmed högre årlig planterings- och röjningsareal. Slutligen så var intäkten per avverkad kubikmeter nästan 20% högre för ogallrad gran än för referensalternativet (figur 13). Intäkten per avverkad kubikmeter påverkas kraftigt av trädens storlek när de avverkas eftersom det är dyrare att avverka små stammar än stora. I medeltal var volymen hos de avverkade träden i referensalternativet 0,39 m³ medan medelvolymen hos avverkningsstammarna i gallringsfritt granskogsbruk var 0,41 m³. Att en så liten skillnad i medelstam medförde en 20% ökning i intäkten per kubikmeter beror på att relationen mellan intäkt och medelstam inte är linjär och på grund av att det är dyrare att avverka i gallringar än i slutavverkningar. Ca 40% av avverkningsvolymen togs ut i gallringar i referensalternativet.

Sammantaget ger alltså skötselprogrammet med gallringsfritt granskogsbruk (A2) högre skogsvårdskostnader och lägre avverkad volym men det kompenseras av ett högre netto per avverkad kubikmeter på grund av att all avverkning sker i slutavverkningar

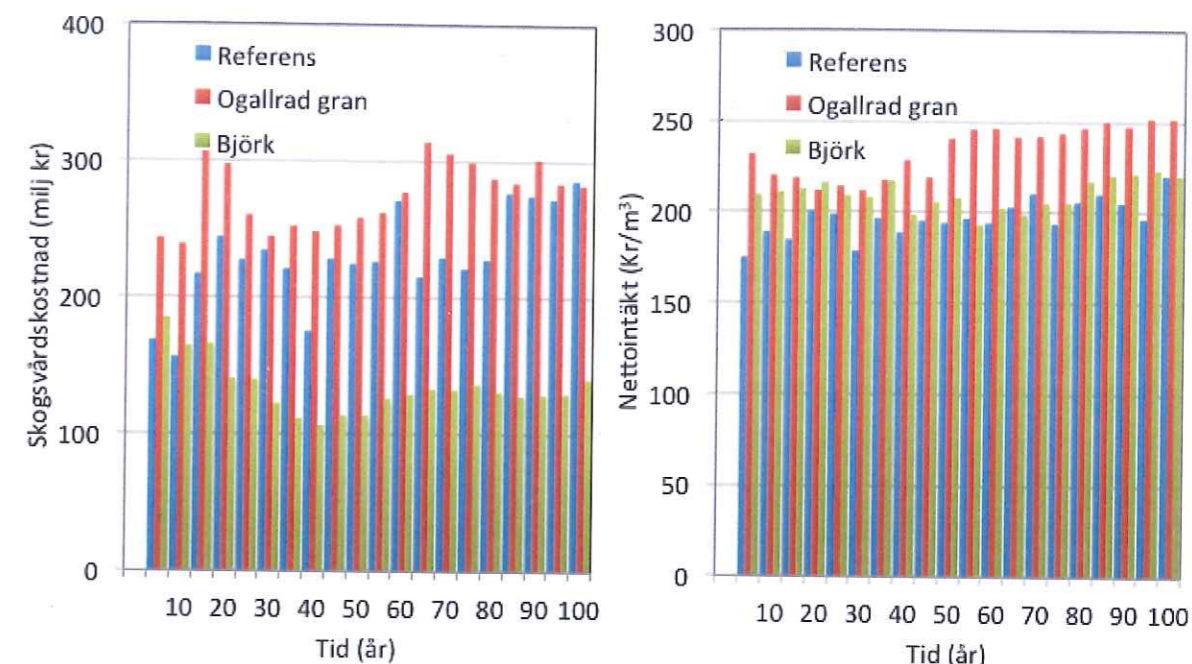
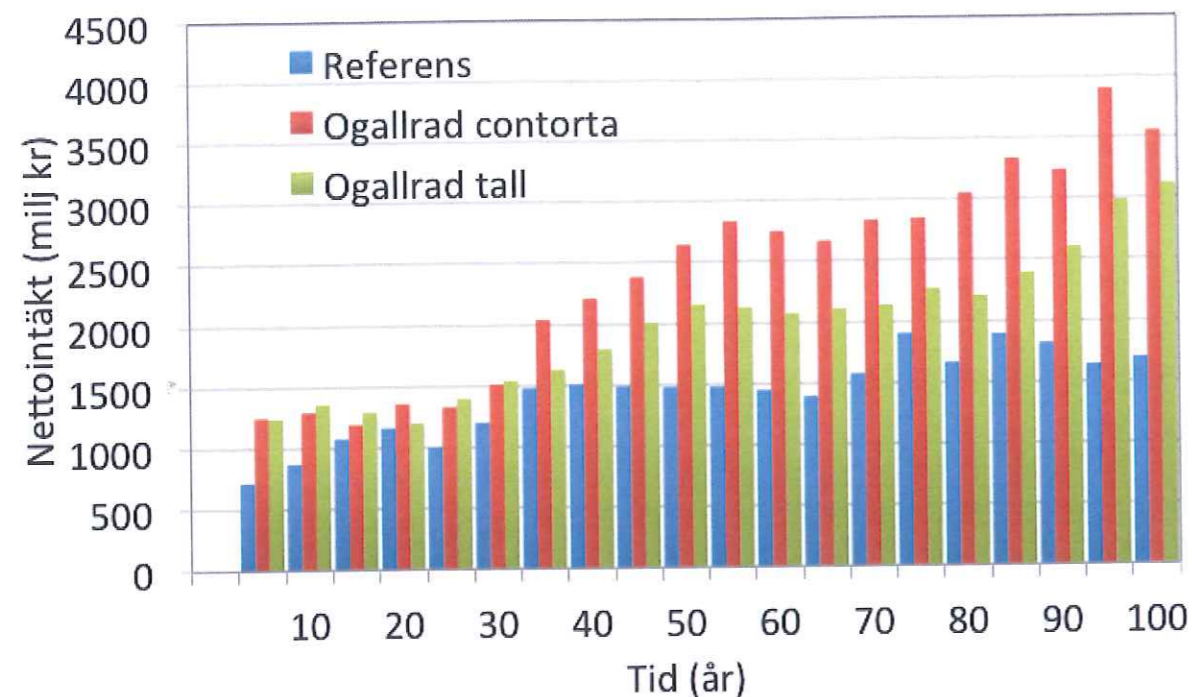


Figure 13. Årliga skogsvårdskostnader och nettointäkt per avverkad m³ för skogen i Småland (F och G län) under 100 årsperioden för referens-, ogallrad gran- och björkalternativet.

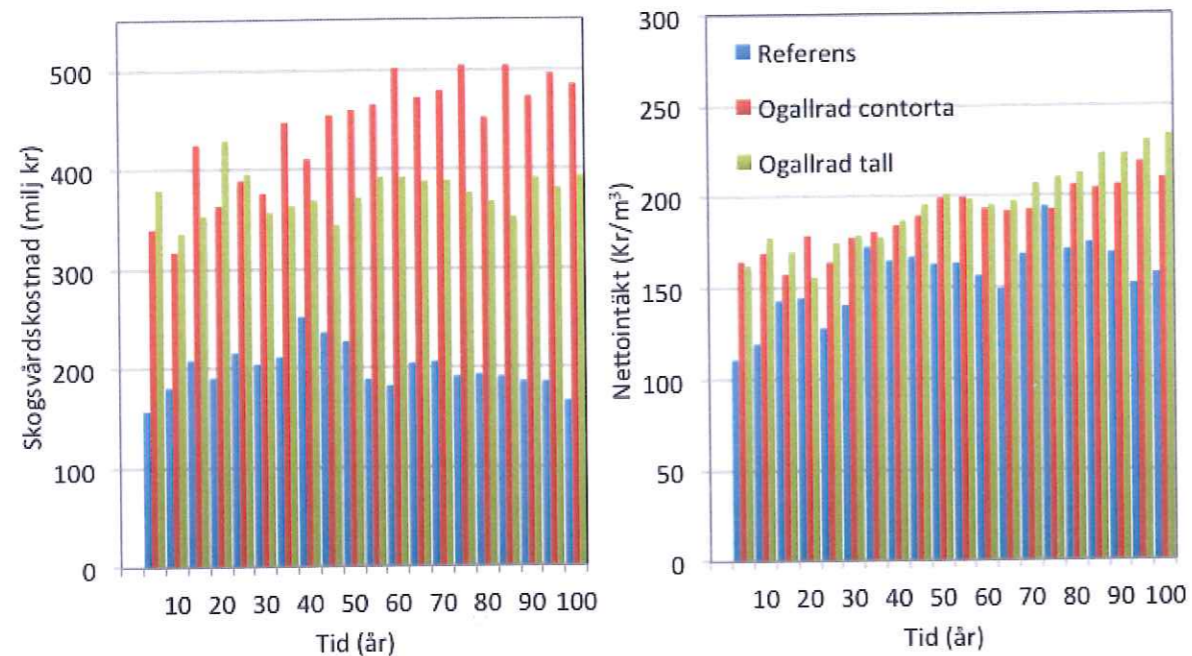
Ekonomiska effekter för de olika skötselalternativen i Jämtland

Den ogallrade contortan gav ett klart högre netto än både ogallrad tall och referensalternativet i Jämtland (figur 14). Sett över hela 100 års perioden var nettointäkten nästan 70% högre för ogallrad contorta än för referensen och ogallrad tall hade 40% högre nettointäkter. Både contorta och tall hade klart högre nettointäkter än referensen under de första 10-15 åren till följd av ökade avverkningstakt i den gamla skogen för att kunna ge plats för nya glest planterade bestånd. Skillnaderna minskade något under ett tiotal år för att återigen öka när slutavverkningar i de nyplanterade bestånden blev tillgängliga för avverkning.

Skillnaderna i nettointäkter mellan de olika alternativen berodde huvudsakligen på skillnader i tillväxt (se figur 8). Men nettoinkomsten per avverkad m³ var också högre för tall och contorta än för referensen vilket också bidrog till skillnaderna i nettoinkomst (Figur 15). Kostnaden för skogsvård var mer än 100% högre för contorta än för referensen beroende på de avsevärt kortare omloppstiderna vilket medförde att en större areal beskogades varje år.



Figur 14. Årliga nettointäkter för skogen i Jämtland under 100 årsperioden för referensen samt för ogallrad contorta och tall.



Figur 15. Årliga skogsvårdskostnader och nettointäkt per avverkad m³ för skogen i Jämtland under 100 årsperioden för referensen samt för ogallrad tall och contorta.

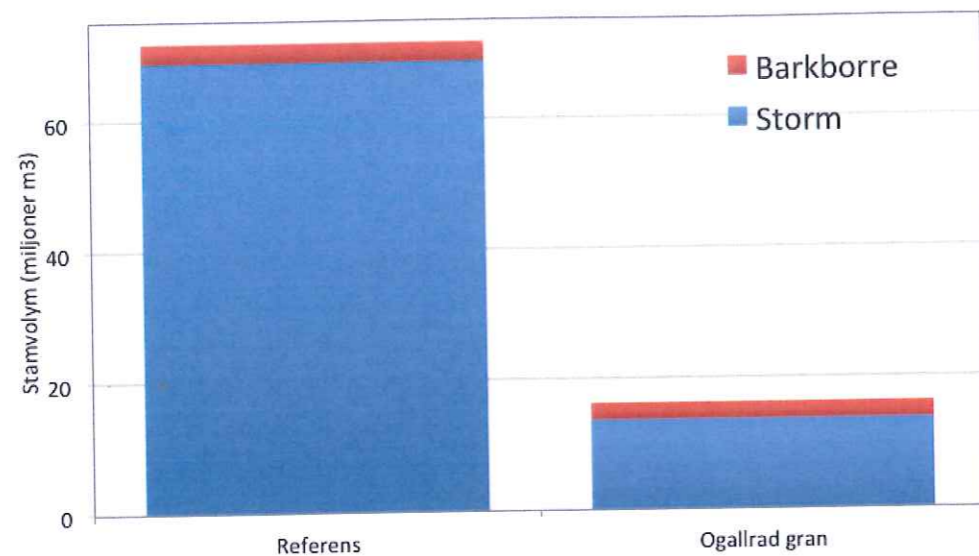
Simulerade stormskador och granbarkborreangrepp i Småland

Litteraturen visar att framförallt två faktorer påverkar risken för stormfällning, nämligen höjden på beståndet/träden och hur lång tid som förflutit sedan senaste gallring (Persson 1975). Simuleringarna visar att fördelningen över åldersklasser och därmed också höjdklasser 50 år framåt skiljer markant åt mellan referensalternativet och alternativet med gallringsfritt granskogsbruk (figur 4). I det senare fallet har de förkortade slutåldrarna resulterat i en koncentration av den stående volymen till lägre höjdklasser. Simuleringarna visade också att nästan 40% av volymen i referensen återfanns i bestånd som hade gallrats inom en 10 års period (Figur 6). I den ogallrade referensen var alla bestånd helt ogallrade eller hade inte gallrats under de föregående 50 åren. En faktor som verkade till nackdel för den ogallrade granskogen var trädslagsblandningen med en högre andel gran som anses blåsa omkull i högre utsträckning än tall och löv.

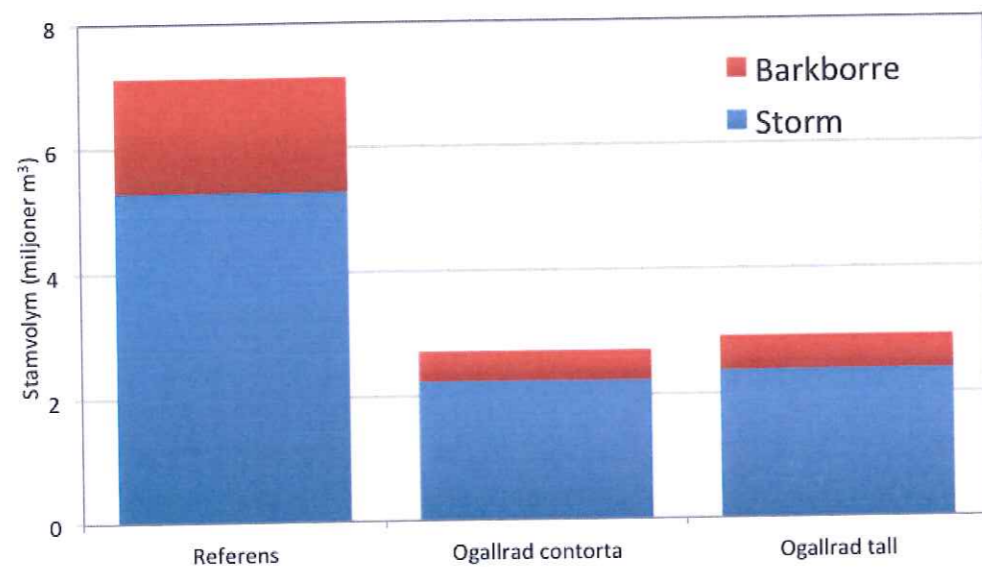
Sammantaget innebär detta att skogstillståndet i skötselprogrammet med gallringsfritt granskogsbruk efter 50 år borde vara mindre stormkänsligt än referensalternativet. Om man antar att en "Gudrun"-storm drabbar Småland efter 50 år och effekterna beräknas med hjälp av skademodulen, blir de förväntade skadorna enligt Figur 16. I referensalternativet (A1) förväntas skador på ca 60 miljoner m³sk medan motsvarande siffra för ett skötselprogram med gallringsfritt granskogsbruk (A2) blir ca 16 milj m³sk (Figur 16). Barkborreskadorna utgör en relativt liten andel av de totala skadorna i bägge alternativen men blir i absoluta tal ungefär lika stora. Orsaken till att barkborreskadorna inte skiljer sig åt mellan alternativen är att mängden yngelmaterial i form av stormfällt virke inte var en begränsande faktor för granbarkborrepopulationernas expansion i något av alternativen.

Simulerade stormskador och granbarkborreangrepp i Jämtland

Nivåerna på skador efter en storm av Gudruns styrka var mycket lägre i Jämtland än i Småland främst beroende på lägre andel granskog men också på grund av lägre andel hög skog och lägre andel nygallrad skog. Liksom för Småland var volymen stormskadat virke klart lägre för de ogallrade alternativen än för referensen (Figur 17). Virkesvolymen som dödades av granbarkborre var också högre i referensen än i de ogallrade alternativen beroende på den högre andelen gran.



Figur 16. Effekt i form av volym stormfällt virke och volym i barkborredödade träd av en storm av stormen Gudruns styrka som drabbar skogen i Småland 50 år efter simuleringsstart.



Figur 17. Effekt i form av volym stormfällt virke och volym i barkborredödade träd av en storm av stormen Gudruns styrka som drabbar skogen i Jämtland 50 år efter simuleringsstart.

Gallring eller inte gallring, det är frågan?

Redovisningen ovan har visat att det är under vissa förutsättningar är möjligt att sköta skog i Småland och Jämtland utan gallringar med en nästan bibehållen ekonomi eller som i Jämtlandsexemplet med en avsevärt bättre ekonomi. Dessutom visar simuleringen av storm och granbarkborreskador att skadenivåerna blir klart lägre för de gallringsfria alternativen vilket också naturligtvis är ekonomiskt fördelaktigt. En övergång till ett skogsbruk utan

gallringar kommer dock att innebära att en del av de fördelar som uppnås i ett gallringsskogsbruk inte längre blir tillgängliga. Exempel på sådana kan vara:

- I ett gallringsskogsbruk ökar gagnvirkesproduktionen genom att man förgriper den avgång som uppstår i en ogallrad skog på grund av naturlig avgång genom trängsel. I ett skogsbruk utan gallring måste risken för avgång genom självgallring begränsas genom korta omloppstider. En övergång till gallringsfritt skogsbruk innebär därmed att man vid förändrade omvärldsförhållanden i en okänd framtid får en mindre flexibilitet i val av omloppstiden längd.
- Vid gallring kan ett bestånds dimensions- och kvalitetsutveckling påverkas. Givet dagens förutsättningar rörande pris- och kostnadsrelationer ger dessa gallringseffekter inget tydligt utslag på värdeproduktionen vid en nuvärdeskalkyl. Detta gäller speciellt för gran där prisskillnaderna mellan virke av olika dimension och kvalitet idag är små. Om förutsättningarna i framtiden förändras i riktning mot högre priser på grövre virke av bra kvalitet, så kommer ekonomin för ett gallringsskogsbruk att påverkas i positiv riktning. I ett skogsbruk utan gallringar försvinner då möjligheten att utnyttja dessa effekter för den skog som åldersmässigt passerat den tidpunkt då gallring av biologiska skäl inte längre kan sättas in. I yngre bestånd föreligger däremot alternativet att återgå till ett gallringsskogsbruk.
- En principiell fördel med ett gallringsskogsbruk är att inkomster tas ut tidigt under omloppstiden vilket i en nuvärdeskalkyl kan ge en positiv effekt på beståndets värdeproduktion. I ett gallringsfritt skogsbruk kommer istället hela intäkten att falla ut vid omloppstiden slut. En nuvärdeskalkyl baserad på dagens priser och kostnader gynnar inte gallringsalternativet beroende på att man i gallring skördar sortiment med låga värden till höga kostnader jämfört med det gallringsfria alternativet där all skörd sker i grövre skog till lägre kostnader. Om framtida förutsättningar förändras kan emellertid gallringsskogsbrukets ekonomi stärkas. Exempel på sådana förändringar kan vara ökad efterfrågan och högre priser på klena sortiment (verkar dock idag orrealistiskt) samt tekniska innovationer som leder till metoder för skörd av klena dimensioner till lägre kostnader.
- Vid gallring kan ett bestånds trädslagsblandning påverkas genom att olämpliga trädslag gallras ut så att för ståndorten mera lämpliga trädslag gynnas i den framtida produktionen. I ett gallringsfritt skogsbruk försvinner denna möjlighet, men trädslagsblandningen kan dock fortfarande påverkas vid ungskoströjningen.
- Vid gallring kan man från beståndet avlägsna skadade (storm, insekter, svampar) och sjuka träd så att produktionsresurserna utnyttjas av de kvarvarande friska träden. I ett skogsbruk utan gallring försvinner denna möjlighet vilket inte bara kan leda till virkesförluster men också medföra ökade risker att skadegörare sprids vidare till friska träd.
- I ett gallringsskogsbruk ger ett stickvägsnät en åtkomstmöjlighet till skogen som kan utnyttjas för att hämta ut skadade träd i samband med insekts- eller svampangrepp av större omfattning. Om sådana angrepp drabbar ogallrade skogar måste man vid upparbetning hugga upp stickvägar vilket kan leda till risk för stormfällning i vägkanter, speciellt när vägar skall huggas upp i äldre ogallrade bestånd.

Klarar man försörjningen av virke till skogsindustrin med ändrad skötsel?

En av skogens funktioner är att förse skogsindustrin med virke. Försörjningssystemen är i allt högre utsträckning uppbyggda på att det skall vara ett jämnt flöde av virke från skogen till industrin också inom det enskilda året. I det långsiktiga strategiska sammanhang föreliggande studie verkar är av mera centralt intresse om förändringen av skogsskötselstrategier skulle kunna medföra ojämnheter i virkesflödet mellan år eller decennier.

Alternativet med gallringsfritt granskogsbruk (A2) innebär att man under en ur skoglig synpunkt relativt kort tidsperiod "byter ut" virket från gallringar mot ökade slutavverkningsarealer. Om man betraktar detta på en regional nivå visar beräkningarna att det är möjligt att bibehålla virkesflödet även under omställningsfasen. Analyser i den skalan förutsätter emellertid att det är fri utbytbart av arealer mellan ägare och fastigheter. Man skulle kunna tänka sig en situation där gallringsarealerna och de extra slutavverkningsarealerna ligger på olika fastigheter eller hos olika ägare och därigenom skulle det försvåra eller försena omställningen. Det som avgör om det är möjligt att genomföra omställningen inom en fastighet är naturligtvis åldersklassfördelningen eller mera precist fördelningen mellan gallringsskog och slutavverkningsbar skog.

För att illustrera frågeställningen har vi arbetat med en tänkt fastighet som består av 9 st åldersklasser (10-åriga). Arealerna i de olika åldersklasserna är lika inom grupperna "klass 1-5" och "klass 6-9" medan totalarealens fördelning mellan de två grupperna kan variera. Initialt har åldersklasserna en medelvoly m motsvarande den som enligt Skogsstatistisk Årsbok (Skogsstyrelsen 2011) finns i granskog på medelbonitet i Götaland. Voly mtillväxten per åldersklass beräknas med hjälp av den s.k. P-mallen (Fridh & Nilsson, 1980). I ett standardkötselprogram antas att två gallringar genomförs i åldersklasserna 2 och 4 där 30% av volymen tas ut och åldersklass 9 slutavverkas.

Genom att tillämpa denna skötsel på en syntetisk fastighet under fem 10-årsperioder skapas en virkesflödesprofil över tiden. I ett andra steg försöker vi åstadkomma samma virkesflöde under de fem 10-årsperioderna med ett skötselprogram utan gallring men som sänker slutåldrarna så mycket som behövs. Sambandet mellan initial åldersklassfördelning och hur mycket slutåldrarna behöver sänkas analyserades genom att genomföra beräkningarna för "fastigheter" där fördelningen av initial areal mellan de två åldersklassgrupperna varierades (Tabell 5).

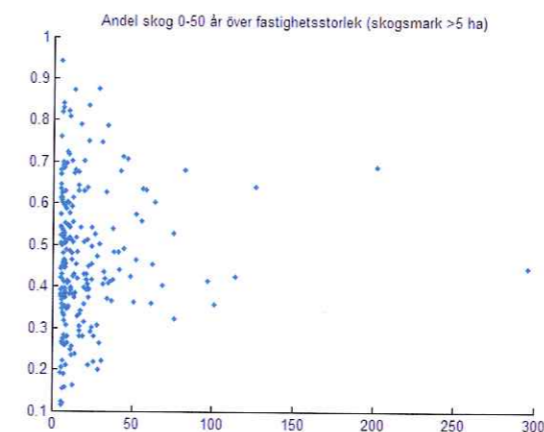
Tabell 5. Beräkning av hur många åldersklasser slutåldrar behöver sänkas för att ett "standardvirkesflöde" skall uppnås vid olika åldersklassfördelningar.

Andel areal i åldersklass 1-5	Sänkning av slutåldrar (antal åldersklasser)		
	1	2	3
0.38	-	-	OK
0.40	-	OK	OK
0.50	-	OK	OK
0.60	-	OK	OK

0.75	-	OK	OK
0.80	-	-	OK
0.90	-	-	OK

Resultaten visar att det inte i något fall gick att uppnå ett "standardvirkesflöde" genom att sänka slutåldern med en åldersklass, medan det i samtliga fall var möjligt genom att sänka med tre åldersklasser. Om arealfördelningen var ojämn, åt endera hållet, krävdes att man gick ner tre åldersklasser för att uppnå eftersträvat resultat. Vid en någorlunda jämn arealfördelning behövdes endast 2 åldersklasser utnyttjas.

På en ruta ca 11 x 11 km belägen i Kronobergs län uppskattades hur åldersklassfördelningen ser ut för enskilda ägofigurer. Tyvärr kunde vi inte av det tillgängliga materialet avgöra vilka ägofigurer som "hörde ihop" under samma ägare, så när vi i fortsättningen talar om fastigheter avser vi egentligen ägofigurer. I Figur 18 har plottats fastigheternas andel skog i åldern 0-50 år över fastigheternas storlek. Endast fastigheter med en skogsmarksareal överstigande 5 ha har tagits med.



Figur 18. Samband mellan fastighetsstorlek och andel skog <50 år för ett område i G-län.

Som förväntat uppvisar de större fastigheterna en jämnare fördelning. Det kan också konstateras att majoriteten av fastigheterna ligger inom intervallet 0.4 – 0.75 för andelen skog i åldern 0-50 år (tabell 6).

Tabell 6. Fördelning av "fastigheter" och areal över olika åldersklassfördelningar.

Andel skog 0-50 år	Andel av antal (%)	Andel av areal (%)
and < 0.4	36	18
0.4 < and < .75	58	75
0.75 < and	6	7

Det är således ca 25% av arealen inom rutan som ligger på fastigheter där man måste sänka slutåldrarna rejält för att kunna upprätthålla virkesflödet medan på 75% av arealen detta kan ske på ett mindre genomgripande sätt.

Felkällor och svagheter i analysen

Analyserna i denna rapport är i huvudsak gjorda med Heureka-systemet. Vi har kompletterat systemet med några olika moduler för att kunna hantera riskfaktorer som stormskador och barkborreangrepp. Risker för stormskador har studerats genom att skogstillståndet, som det utvecklats efter en simulering i Heureka, vid en specifik tidpunkt utvärderats ur stormskadesynpunkt genom att ett riskindex beräknats. Genom att jämföra index för samma tidpunkt i simuleringar med olika skötselstrategier har strategiernas "riskprofil" kunnat jämföras. Detta blir emellertid endast en begränsad analys eftersom man vid detta analysätt antar att inga kalamiteter inträffat före utvärderingstidpunkten. Mer tillfredställande vore att i simuleringarna faktiskt inkorporera "slumpmässiga" händelser såsom stormar. Detta kräver emellertid en annan typ av prognosystem och en annan typ av analysmetodik. Sannolikt behöver man i större utsträckning arbeta med Monte-Carlo simuleringar eller liknande för att få fram skillnader mellan olika skötselstrategier.

En närliggande fråga är hur man skall handskas med osäkerheten kring de prognosfunktioner som används. Sålunda finns det stor osäkerhet kring funktionerna för tillväxtrespons på klimatscenarierna. En osäkerhet som inte alls hanteras i nuvarande analys.

Metoder för att hantera risk och säkerhet i stora simuleringssystem är dåligt utvecklade inom den skogliga forskningen i Sverige. Då dessa "slumpmässiga" komponenter hamnar alltmer i fokus torde det vara motiverat att framtida forskning fokuserar på detta i ökad omfattning.

Vi har olika målsättningar inom skogsbruket, där skogsvårdslagen jämställer produktions- och miljömålen. Huvudfokus för denna studie har varit att försöka analysera skötsel- och trädslagsalternativ med lägre risk men bibehållen produktion, ekonomi och virkesförsörjning. Ökad tillväxt, färre gallringar och kortare omloppstider kommer sannolikt att leda till negativa effekter på biodiversitet och rekreativvärden men i brist på kunskap har dessa aspekter varit omöjliga att kvantifiera.

Risk och skadenivåer

I klimatförändringsdebatten anförs ofta att risknivån i skogsbruket sannolikt kommer att öka med ett förändrat klimat men diskussionen är ibland lite otydlig och ospecifik. Vi har angett att vi vill utvärdera de olika alternativa skogsskötselstrategierna bl.a. i en "risk-dimension" och vill här något förtydliga vad vi menar med detta.

I alla prognoser och framskrivningar finns en inbyggd osäkerhet. Våra beräkningar bygger på att skogens tillväxt utvecklas på ett visst sätt under antagna klimatförändringar. Det finns naturligtvis osäkerhet både i antaganden om den framtida klimatutvecklingen och i modellerna för att förutsäga hur den skogliga primärproduktionen påverkas av detta. Dessa osäkerheter inkluderas inte i vår "risk-dimension".

I debatten anges ofta två grupper av "risker" som skulle kunna påverkas av ett förändrat klimat, skadegörare av olika slag och stormskador (ev. med efterföljande barkborreangrepp). Om vi för ett ögonblick bortser från klövdjuren så hittar vi i gruppen "skadegörare" framförallt svampar och insekter. Dessa är emellertid av lite olika karaktär ur risksynpunkt. En svamp som *Gremmeniella* gynnas av vissa väderförhållanden under ett specifikt år och kan under dessa förhållanden ge upphov till stora angrepp. Potentialen för rotröteangrepp finns däremot alltid och det är snarare spridningshastigheten som kan påverkas av ett förändrat klimat. Då *Gremmeniella* "drivs" av väderförhållanden ett enskilt år är det rimligt att diskutera en ökad, eller minskad, risk för att dessa förhållanden uppstår i framtiden. Rotrötans spridning och utbredning i träden styrs mer av klimatets långsiktiga trend och den bör därför kanske inte betraktas som en "risk" utan snarare behandlas genom en förändrad förväntad skadenivå, som då skulle kunna hanteras på samma sätt som primärproduktionen.

Storm- och vindskadorna kanske också faller isär i dessa två delar. Vi har en "normalnivå" av vindskador där vi vanligen innefattar enstaka träd eller grupper av träd som blåser ner utspritt i landskapet. Naturligtvis är dessa skador en effekt av en kombination av starka vindar och tillstånd för träden, exempelvis rotsystem, markförhållanden, etc. I vilken utsträckning den lokala karaktären har att göra med "lokala" vindar vet vi egentligen inte. Kanske bör dessa "normala" vindskador betraktas som en komponent i det som brukar kallas naturlig avgång. Stormskadorna som uppstår när vi har mycket starka vindar med viss varaktighet och över ett relativt stort geografiskt område är av en annan karaktär. Dessa stormar uppstår inte varje år utan kommer med oregelbundna mellanrum. Det spekuleras i att frekvensen av dessa stormar kan komma att öka i ett förändrat klimat. Vilka skador som uppstår som ett resultat av en storm beror på stormens omfattning och på hur känsligt skogstillståndet är.

Det finns också en rumslig och en temporal aspekt på riskbegreppet, åtminstone när vi rör oss inom de areella näringarna. Vi tänker oss att vi har en riskfaktor som uppträder i det enskilda beståndet helt oberoende av vad som händer i andra bestånd, och att vi har en fastighet som består av ett antal bestånd. Då är sannolikheten för att det totala utfallet på fastigheten blir dåligt, lägre än för det enskilda beståndet – det jämnar ut sig över rummet. Detta leder till att en stor fastighetsägare kan uppleva en annan riskprofil än den som har ett litet antal bestånd.

I det ovanstående resonemanget utgick vi ifrån ett negativt utfall som uppstod på beståndsnivå och storleken på fastigheten diskuterades i den skalan. I en situation där vi exempelvis diskuterar stormar av Gudruns dignitet, som ju uppträdde i en regional skala, måste storleksbegreppet relateras till den skalan. Även en stor enskild fastighet i Kronbergs län var "liten" i Gudruns skala medan kanske Sveriges totala skogsmark kanske kan betraktas som "stor" i samma skala. På samma sätt som i rummet finns det en temporal utjämning. Den som

betraktar det totala utfallet över en längre tidsperiod upplever en annan riskprofil än den som har ett kortare perspektiv. Det finns således ett tydligt behov att utveckla metodiken för att hantera risker i samband med skogliga simuleringar, såväl ur rent teknisk som ur analytisk synvinkel.

Ekosystemtjänster som biodiversitet, naturvärden, rekreativsmöjligheter kan värderas annorlunda i framtiden och kan komma att påverka ekonomin i det framtida skogsbruket i Sverige. Klimatförändringar kommer även i sig att påverka betingelserna för olika arter, biotoper och ekosystem som man idag har valt att skydda. Strategier för framtida bevarande och spridningsmöjligheter bör ses över och hur ändrade skötselsystem kan påverka dessa ekosystemtjänster bör ses över.

Några slutsatser

Denna analys av olika skötselstrategier för ett framtida skogsbruk har bland annat visat att en övergång till ett gallningsfritt granskogsbruk med förkortade omloppstider är en möjlig skadeanpassad skogsskötselstrategi som kan genomföras redan idag. Strategin innebär en påtaglig sänkning av de risker för skador som är förknippade med främst storm men även för granbarkborre och rötröta. Vidare visar analysen att en övergång till skadeanpassad granskogsskötsel kan göras utan allvarliga ekonomiska konsekvenser på beståndsnivå eller på regional nivå. På längre sikt leder skötselprogrammet till viss sänkning av tillväxt och avverkning men effekterna blir av begränsad omfattning. Man kan också försörja skogsindustrin med virke trots att avverkningsvolymerna vid gallring försvinner.

En övergång till lövskogsbruk är en skötselstrategi som påtagligt sänker risken för klimatdrivna skador av storm, barkborrar och rotröta. Genom sänkt tillväxt och avverkning leder denna strategi på lång sikt till omfattande ekonomiska konsekvenser för skogsbruk på beståndsnivå liksom på regionalnivå. Om man ur skadesynpunkt vill byta ut gran mot något annat trädslag bör man av ekonomiska skäl välja tall, hybridasp eller andra exoter såsom contortatall.

Referenser

- Agestam, E. & Karlsson, C. 2009. Contortatall (*Pinus contorta*). In: Fahlvik N., Johansson U. & Nilsson U. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till utredning om Möjligheter till intensivodling av skog. SLU, Rapport, sid 1-401
- Alexandersson, H. & Vedin, H. 2002. Stormar det mera nu? SMHI. Väder och Vatten, 10:18.
- Appelberg, G. 2007. The impact of climate change on the temperature dependent swarming and development of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. Degree thesis in Environmental Science. (handledare: docent Anna Maria Jönsson, Lund University).
- Bendz-Hellgren, M. & Stenlid, J. 1997. Decreased volume growth of *Picea abies* in response to *Heterobasidium annosum* infection. Canadian Journal of Forest Research 27:1519-1524.
- Bergh, J., Blennow, K., Andersson, M., Olofsson, E., Nilsson, U., Sallnäs, O. & Karlsson, M. 2007. Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. Arbetsrapport 34. ISBN: 978-91-576-7231-5.
- Bergh, J. & Linder, S. 2010. Skogsbruket måste påbörja omställningen. In: Formas Fokuserar "Sverige i ett nytt klimat – våtvarm utmaning" ISBN 978-91-540-6040-5. Sid 185-202.
- Blennow, K. & Olofsson, E. 2004. Kan man undvika stormskador? In: K. Blennow (red.). Osäkerhet och aktiv riskhantering – aspekter på osäkerhet och risk i sydsvenskt skogsbruk. ISBN 91-576-6643-1 SUFOR www.sufor.nu. Sidorna 38–43.
- Blennow, K. & Eriksson, H. 2006. Riskhantering i skogsbruket. Skogsstyrelsen, Rapport 14 (2006). 51 sid. ISSN 1100-0295.
- Blennow, K., Andersson, M., Bergh, J., Sallnäs, O. & Olofsson, E. 2009. Potential climate change impacts on the probability of wind damage in a south Swedish forest. Climatic Change 99 (1-2): 261-278.
- Elfving, B. 1982. Hugins' s ungskogstaxering 1976-1979. SLU, Projekt Hugin, Rapport 27, 87 sid.
- Elfving, B. 2004. Grundytetillväxtfunktioner för enskilda träd, baserade på data från riksskogstaxeringens permanenta provtytor. SLU, inst för skogsskötsel. Arbetsrapporter 190.
- Nilsson, U. & Fahlvik, N. 2006. Ekonomisk analys av praktisk produktionsoptimering i granplanteringar. In: Slutrapport för Fiberskogsprogrammet (Eds. Bergh, J. & Oleskog, G.). SLU, Inst. f Sydsvensk Skogsvetenskap, Arbetsrapp. 27, 106-129.
- Fridh, M., & Nilsson, N-E. 1980. Enkla avverkningsberäkningar baserade på en generell produktionsmall. Skogsstyrelsen, stencil.
- Hansson, P., Persson, M. & Ekvall, H. 2005. An estimation of economical loss due to the *Gremmeniella abietina* outbreak in Sweden 2001 – 2003. In: Stanosz, G.R. and Stanosz, J.C. 2005. "Foliage, Shoot and Stem Diseases." Proceedings of the Meeting of Working Party 7.02.02 of the

International Union of Forestry Research Organizations, Corvallis, Oregon, USA, June 13-19 2004. p. 67-69.

IPCC, 2007. Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jönsson, A. M., Linderson, Stjernquist, I., Schlyter P. & Barring L. 2004. Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies*. *Global and Planetary Change* 44: 195-207.

Jönsson, A.M., Harding, S., Barring, L & Ravn, H. P. 2007: Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 146, 70-81.

Jönsson, A.M., Appelberg, G., Harding, S. and Barring, L. 2009: Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus* *Global Change Biology* 15:486-499.

Jönsson et al. 2011: Jönsson, A.M., Harding, S., Krokene, P., Lange, H., Lindelöw, Å., Økland, B., Ravn, H.P. and 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., Barring, L. 2011a: Future climate impact on spruce bark beetle life-cycle in relation to uncertainties in regional climate model data ensembles. *Tellus* 63A:158-173.

Jönsson, A.M., Barring, L. 2011b: Ensemble analysis of frost damage on vegetation caused by spring backlashes in a warmer Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11:401-418.

Lagergren, F., Jönsson, A.-M., Blennow, K., Smith, B.. 201X. Implementing storm damage in a dynamical vegetation model. *Ecological Modelling*. Submitted.

Lundström, A., & Söderberg, U. 1996. Outline of the Hugin system for longterm forecasts of timber yields and possible cut. Large-scale forestry scenario models: experiences and requirements. . In *EFI Proc.* 63-77., 1996

Långström, B., Lindelöw, Å., Schroeder, M., Björklund, N. & Öhrn, P. 2009. The spruce bark beetle outbreak in Sweden following the January-storms in 2005 and 2007. Proceedings of a workshop on "Insects and Fungi in Storm Areas" organised by the IUFRO WG 7.03.10 "Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe" on September 15 to 19, 2008 in Štrbské Pleso, Slovakia (in press).

Nikulin G, Kjellström E, Hansson U, Strandberg G, Ullerstig A: Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography* 2011, 63(1):41-55.

Nilsson, U. & Sallnäs, O. 2006. Val av trädslag – Hur hanterar vi risken för stormskador? *Skogforsk Redogörelse* Nr 4 : 30-36.

Nordlander, G., Örlander, G., Peterson, M. & Hellqvist C. 2007. Skogsskötselåtgärder mot snytbagge. Version 1.1. Webbhandbok, tillgänglig på www.slu.se/snytbagge.

Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A. & Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135:143–153.

Persson, P. 1972. Vind- och snöskador samband med beståndsbehandlingen – inventering av yngre gallringsförsök. Skogshögskolan, Inst. för skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 23, 205 sid.

Persson, P. 1975. Stormskador på skog – uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Skogshögskolan, Inst för skogsproduktion, Rapport och Uppsatser 36, 294 sid.

Pfister, O., Wallentin, C., Nilsson, U. & Ekö, P.M. 2007. Effects of wide spacing and thinning strategies on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) stands in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22:333-343

Rosvall, O. & Wennström, U. 2008. Förädlings effekter för simulering med Hugin i SKA 08. SkogForsk, Arbetsrapport 655, 37 sid.

Rönnerberg, J. & Vollbrecht, G. 1999. Early infection by *Heterobasidion annosum* in *Larix x eurolepis* seedlings planted on infested sites. *Eur. J. For. Path.* 29:81-86

SOU 2007:60. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. (Statens offentliga utredningar).

Samuelsson, H. & Örlander G. 2001. Skador på skog. Skogsstyrelsen Rapport 8 O (SUS 2001). ISSN 1100-0295.

Skogsstyrelsen, 1984. Gallringmallar, Södra Sverige. Gallringmallar, Norra Sverige. Skogsstyrelsen, Jönköping. Stenciler, 35 sid resp 35 sid.

Skogsstyrelsen, 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 – SKA-VB 08. Skogsstyrelsen, Rapport 25, 2008.

Skogsstyrelsen, 2011. Skogsstatistisk Årsbok 2011. Skogsstyrelsen, Jönköping, 384 sid.

Sonesson, J. (red.), Bergh, J., Björkman, C., Blennow, K., Eriksson H., Linder, S., Rosén, K., Rummukainen, M. & Stenlid, J. 2004. Climate change and forestry in Sweden – a literature review. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift*, Årg. 143, Nr 18.

Sonesson, J. 2006. Klimatet och skogen – underlag för nationell forskning. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift*, Årg. 145, Nr 9.

Sonesson, J., Bergkvist, I., Andersson, G. & Thor, M. 2007. Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket. Rapport från Skogforsk, Uppsala.

Suffling, R. 1992. Climate change and boreal forest fires in Fennoscandia and central Canada. *Catena* Suppl. 22: 111-132. ISSN 0722-0723.

Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. SLU, Avdelningen för Skogsuppskattning och Skogsindelning, Rapport 14, 251 sid.

Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J. 2005. Modeling root rot incidence in Sweden using tree, stand and site variables. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20:165-176.

Wikström, P. et al. 2011. The Heureka forestry decision support system: An overview. *International Journal of Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*

Örlander, G. & Nilsson, U. 2000. Metoder för plantering av gran i södra Sverige. *Skog och forskning* 2: 50-54.