ARBETSRAPPORT 1130–2022

Stiftens skogar och skogsbruk ur klimatperspektiv

Rolf Björheden, Mattias Berglund, Mats Berlin, Nils Fahlvik, Jörgen Hajek, Adam Klingberg, Henrik Svennerstam, Märtha Wallgren, Jan-Olov Weslien, Jonas Öhlund, Johan Sonesson

skogforsk

Innehåll

Förord **4**

Sammanfattning **5**

Kolbalansberäkning – klimateffekter av PLT:s skogsbruk 5

Skogsskötsel för ökad tillväxt och klimatnytta 6

Summary **8**

Carbon balance calculation – climate effects of the church's forestry 8

Forest management for increased growth and climate benefit 10

En kolbalans för stiftens skogar **11**

Kolförråd 11

Flöden av kol 12

Flöden av kol till och från den växande skogen 13

Flöden av kol till och från skogsmarken vid hyggesskogsbruk 13

Utsläpp av koldioxid från skogsbrukets arbetsoperationer 14

Kolbalans för PLT:s skogsbruk 15

Substitutionseffekter av PLTs virkesuttag 16

Effekt på kolflödet vid övergång till hyggesfria metoder –räkneexempel 17

Möjligheter att öka positiva klimateffekter av PLT:s skogsinnehav ..... **Fel! Bokmärket är inte definierat.**

Omloppstidens betydelse för klimatnyttan 18

Minskade utsläpp från skogsbrukets arbetsoperationer 19

Vilka beståndsprodukter ger störst klimatnytta? 21

Skötsel för ökad klimatnytta **23**

Skogsodlingsmaterial 23

Gödsling av vuxen skog på fastmark 25

Tillväxteffekter, prognosfunktioner och ekonomi 25

Ståndortsanpassning och alternativa trädslag 26

Tall eller gran 26

Björk 28

Lärk 29

Produktionsnivåer och skötsel 31

Föryngringsmetoder 31

Ökad plantöverlevnad 32

Kortare kalmarkstid 34

Plantgödsling 35

Röjning 36

Skadegörare och kalamiteter **39**
Viltskador 39
Skador i plantskog 39
Skador i ungskog 41
Kronhjortsskador 43
Klövviltsamhället 44
Insektsskador 45
Snytbagge 45
Granbarkborre 46
Svampskador 47
Rotröta 47
Törskate 48
Sammanfattning av potentialen av åtgärder för att höja tillväxten och minska skador 50
Konsekvenser av produktionshöjande åtgärder på flora och fauna 52
Plant- och frömaterial 52
Trädslag 52
Föryngringsmetod, plantöverlevnad, kortare kalmarkstid, plantgödsling 52
Röjningsstrategi 52
Gödsling av vuxen skog på fastmark 52
Ökat uttag av skogsråvara 53
Påverkan på andra ekosystemtjänster 53
Referenser **55**
Personlig kommunikation **64**

skogforsk

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Uppdragsgivaren har lämnat rapporten för extern granskning under sommaren 2022 och kommentarer/synpunkter från den granskningen har arbetats in i rapporten.
Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 25 november 2022 av Johan Sonesson, processledare. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 28 november 2022.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2022 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport redovisar ett arbete med att analysera klimatpåverkan av skogar som tillhör prästlönetillgångarna i Svenska kyrkan samt hur klimatnyttan kan öka genom produktionshöjande åtgärder. En bedömning av de tillväxthöjande åtgärdernas effekt på andra ekosystemtjänster ingår också. Arbetet initierades av Stiftens förvaltargrupp och har utförts av forskare vid Skogforsk som bidragit med kompetens inom sitt respektive område. Arbetet har utförts under löpande avstämningar med företrädare för stiften. Avslutningsvis har rapporten sakgranskats av tre anonyma forskare som utsetts av Stiftens förvaltargrupp.

Johan Sonesson, processledare

Sammanfattning

Skog utgör en betydelsefull del av Svenska kyrkans prästlönetillgångar (PLT), som även består av jordbruksmark och fondkapital. Den policy som gäller för skötseln av kyrkans skogar innebär att förvaltningen ska vara så effektiv som möjligt för att nå bästa möjliga uthålliga totalavkastning. Samtidigt ska förvaltningen vara etiskt försvarbar och i enlighet med kyrkans grundläggande värderingar. Detta innebär att god vård av värdefulla natur- och kulturmiljöer är ett högt prioriterat mål. De tretton stiften förvaltar tillsammans ca 466 000 ha skogsmark varav 402 000 ha utgörs av produktiv skogsmark.

Det senaste decenniets allt livligare debatt kring klimatförändringar kopplade till en ökande halt av växthusgasen koldioxid, CO_2, har nu medfört att även frågor kring kyrkans skogsbruk ur ett klimatperspektiv kommit att få en alltmer framskjuten plats i diskussionen om skogens nyttor.

De klimatrelaterade avsnitten i denna kunskapssammanställning syftar till att ge ett faktaunderlag för en sådan diskussion. Den baseras på de uppgifter de tretton stiften lämnat kring sitt skogsägande och sin skogliga verksamhet. För beräkningarna har även de data Skogforsk har om det svenska skogsbruket liksom uppgifter från aktuell och relevant forskning kommit till användning.

Rapporten består av två huvudsakliga delar. Den första delen redovisar kalkyler på kolbalanseffekter av skogsbruket på PLT:s skogsinnehav som det bedrivs idag, med kommentarer kring hur kolbalansen skulle kunna påverkas av förändringar av omloppstiden, genom minskningar av skogsbrukets utsläpp vid arbetsoperationer samt hur olika skogsindustriprodukter påverkar substitutionseffekter. Den andra delen är en kunskapssammanställning om skogsskötselmetoder som skulle kunna användas eller förbättras för att öka tillväxten och därmed även klimatnyttan i PLT:s skogsbruk. Dessutom bedöms den effekt de tillväxthöjande åtgärderna kan få på andra ekosystemtjänster.

Kolbalansberäkning – klimateffekter av PLT:s skogsbruk

Kolbalansen för stiftens skogar avser produktiv skogsmark, det vill säga de delar av markinnehavet där beslut rörande skogsskötsel och metodval kan påverka kolflöden och kollager. Balansen har gjorts genom beräkning av fyra huvuddelar, som påverkas av valda skogsbruksalternativ. Dessutom har, som en femte del, beräknats vilka substitutionseffekter det skördade virket får efter vidareförädling.

Baserat på kolbalansen är de allmänna råden för att maximera skogsbrukets klimatnytta:

- Säkerställ att skogsinnehavets nettotillväxt är så hög som möjligt, genom snabb och säker etablering med bästa plantmaterial, röjningar och gallringar i tid etc.
- Hellre en kort överhållning av ett bestånd än att avverka i förtid
- Ta tillvara så stor del som möjligt av de avverkade träden

Kolförrådet i den stående skogen

Kolförrådet i stående skog är i genomsnitt 55 ton C/ha[1]. Det totala kolförrådet i trädbiomassa på brukad skogsmark är 22 miljoner ton C.

Kolförrådet i form av organiskt markkol

Förrådet av markkol baseras på länsvisa genomsnitt. I snitt finns, till 1 m djup, 85 ton C/ha, vilket ger ett totalt kolförråd på 34 miljoner ton.

Fördelningen av det totala kolförrådet – ca 40 procent i biomassa och 60 procent som markkol – är väntad. Totalförrådet av kol i träd och mark motsvarar, omräknat till koldioxid, över 200 miljoner ton. Som jämförelse är Sveriges territoriella utsläpp (koldioxidekvivalenter, CO_2eq), cirka 50 miljoner ton/år.

Nettoflöden av kol till skog och skogsmark

Bruttotillväxten på stiftens skogar, 2,28 miljoner m^3sk, motsvarar ett koldioxidupptag på 3 274 000 ton CO_2. Efter avdrag för avverkning (1,63 M m^3sk) motsvarande 2 340 000 ton CO_2 och övriga avgångar (0,1 M m^3sk) motsvarande 130 000 ton CO_2 återstår en nettoeffekt av stiftens skogsbruk motsvarande ett upptag av 800 000 ton CO_2 från atmosfären varje år. Det ökade förrådet av kol i trädbiomassa motsvarar nära två procent av Sveriges totala växthusgasutsläpp, räknat som CO_2eq.

Koldioxidutsläpp från skogsbrukets arbetsoperationer

De skogsarbeten som genomförs på kyrkans skogar medför årliga utsläpp av nära 15 600 ton CO_2, främst fossil, från förbränningsmotorer. För skogsvårdsarbeten (markberedning, plantering, röjning och gödsling) är utsläppen ca 1 150 ton/år (7 procent av totala utsläpp) med plantproduktion som största enskilda post. Avverkning och terrängtransport av virke medför utsläpp av 6 150 ton CO_2/år (40 %) medan virkestransporter och väghållning orsakar utsläpp på ca 8 300 ton (53 %) per år.

Substitutionseffekter av de beståndsprodukter som levereras

En viktig klimatfördel för skogsprodukter är att de minskar behovet av fossila kolföreningar. Dessa så kallade substitutionseffekter uppstår ”nedströms” skogsbruket, då virket förädlas. För att ge en komplett bild av den inverkan stiftens skogsbruk har på klimatet har även det av stiften levererade virkets substitutionseffekter beräknats. Det virke som levereras från stiftens skogar bidrar till en minskad belastning på ca 1,6 miljoner ton fossil koldioxid/år. Från denna mängd ska utsläppen från skogsbrukets arbetsoperationer, nära 16 000 ton CO_2, dras för att erhålla nettoeffekten av det skördade virket. Effekten ökar om mer biomassa, till exempel grot för energiflis, tas ut på lämpliga marker. I dagsläget levereras endast en bråkdel av den ekologiskt tillgängliga groten.

Skogsskötsel för ökad tillväxt och klimatnytta

Skogens förmåga att binda och lagra kol är direkt proportionerlig mot tillväxten. Markens naturgivna bördighet är givetvis en grundfaktor som starkt styr detta, men aktiv skogsskötsel ger många verktyg för att påverka tillväxten och därmed skogens kolinlagring. Genom skogsskötseln kan även utfallet av olika sortiment påverkas och

[1] Detta är tio procent högre än riksgenomsnittet, sannolikt en effekt av något högre bördighet.

därmed fördelningen av de produkter som skogen i slutänden kan användas till. Detta påverkar storleken på de substitutionseffekter som skogsbruket ger upphov till.

Olika skadegörare påverkar skogen negativt. De ger upphov till mortalitet, tillväxtnedsättningar och kvalitetsförluster. En nyckel till att upprätthålla en hög skogstillväxt är därför att minimera skador.

I rapporten ges en sammanfattande bild av kunskapsläget för ett antal utvalda skötselåtgärder och hur dessa kan påverka tillväxten i skogen och därmed skogens klimatnytta. Vidare beskrivs de vanligaste och allvarligaste skadegörarna och hur man kan arbeta för att minimera dess effekter.

Generellt kan sägas att den största potentialen ligger i åtgärder som görs i föryngringsstadiet. Användning av förädlat skogsodlingsmaterial, bättre ståndortsanpassning och bättre föryngringar med högre överlevnad är tre viktiga åtgärder som var för sig är viktiga men utförda tillsammans ger de en delvis multiplikativ effekt snarare än en rent additiv. Det är också åtgärder som kan utföras på stora arealer, i princip hela den årliga föryngringsarealen. Föryngringsåtgärder tar dock lång tid innan de ger möjlighet till ökat virkesuttag. Åtgärder med kortare leveranstid av mer virke är till exempel plantering av trädslag med kortare omloppstider, till exempel björk och lärk, eller gödsling av bestånd med ca tio år kvar till slutavverkning. Dessa åtgärder kan dock inte växlas upp på stora arealer utan har begränsningar av olika slag, genom lagstiftning, certifiering, ståndort och ekonomi.

Att begränsa skador har stor potential att öka tillväxt och virkesvärde. Vi behandlar insektsskador, framför allt barkborre och snytbagge, viltskador, vindskador samt svampskador, framför allt rotröta och törskate. Rapporten beskriver skadornas betydelse och möjligheten att minska risken för skador genom olika åtgärder i skogsskötseln. Den största potentialen att vidta åtgärder, som också har utväxling på stora arealer, bedöms vara mot granbarkborre, rotröta och viltskador. Framför allt genom bättre ståndortsanpassning, viltanpassad skötsel och en väl fungerande klövviltförvaltning.

Rapporten avslutas med bedömningar av de tillväxthöjande åtgärdernas påverkan på andra ekosystemtjänster samt flora och fauna. De ekosystemtjänster som berörs är rekreation, upplevelser, vatten, jaktbart vilt, bär, svamp och renskötsel. Generellt kan sägas att åtgärder som leder till ökad överlevnad och tillväxt hos planterade granplantor, och därmed tätare och mörkare bestånd, är negativt för många andra värden, medan ökad föryngring med tall och björk som ger ljusare bestånd med potential för mer markvegetation och underväxt är positivt. Många åtgärder bedöms också vara mer eller mindre indifferenta för andra värden.

Summary

Forests form an important part of the Church of Sweden's assets (PLT), which also consist of agricultural land and fund capital. The policy that applies to the management of the church's forests means that the management must be as efficient as possible to achieve the best possible sustainable total return. At the same time, as a result, the administration should be ethically defensible and in accordance with the fundamental values of the Church. This means that good care of valuable natural and cultural environments is a high priority goal. The Swedish Church manage about 466,000 ha of forest land, of which 402,000 ha consists of productive forest land.

The increasingly lively debate about climate change linked to the rising atmospheric levels of the greenhouse gas carbon dioxide, CO_2, has entailed that the issues surrounding the church's forestry from a climate perspective have also gained an increasingly prominent place in the discussion about the benefits of forests.

The climate-related sections of this knowledge compilation aim to provide a factual basis for such a discussion. It is based on the information provided by the forest managers about the church's forest ownership and activities. For the calculations, data provided by Skogforsk as well as data from current and relevant research have also been used.

This report consists of two main parts. The first part presents calculations of carbon balance effects of forestry on the church's forest holdings as it is managed today, but also with comments on how the carbon balance could be affected by changes in the rotation period, through reductions in forestry emissions during labor operations and how different forest industry products affect substitution effects. The second part is a compilation of knowledge about forest management methods that could be used or improved to increase growth and thus the climate benefit in the church's forestry.

Carbon balance calculation – climate effects of the church's forestry

The carbon balance of the church's forests refers to productive forest land, i.e. those parts of the land holdings where decisions regarding forest management and choices of management methods may affect carbon flows and stocks. The balance has been made by calculating four main parts, which are influenced by selected management options. In addition, as a fifth part, the substitution effects of the harvested wood after further processing have been calculated.

Based on the carbon balance, the general advice for maximizing the climate benefits of forestry is to:

- Ensure that the net growth of the forest is as high as possible, through fast and safe establishment with the best plant material, performing cleaning and thinning in time, etc.
- Rather a short over-holding than premature felling of a stand.
- Use as much of the harvested trees as possible

The carbon stock in the standing forest

The carbon stock in standing forest is on average 55 tonnes C/ha. The total[2] carbon stock of tree biomass on managed forest land is 22 million tonnes of C.

Stock of organic soil carbon

The estimated stock of soil carbon is based on average levels by county. On average, to a depth of 1 m, there are 85 tons C/ha, which gives a total carbon stock of 34 million tonnes.

The distribution of the total carbon stock – about 40 percent in biomass and 60 percent as soil carbon – is expected. The total stock of carbon in trees and soil, converted to carbon dioxide, corresponds to over 200 million tonnes. As a comparison, Sweden's territorial emissions (CO_2 equivalents, CO_2eq), are about 50 million tonnes/year.

Net flows of carbon to forests and woodland

The gross growth of the ecclesiastical forests, 2.28 million cubic meters, corresponds to an annual carbon dioxide uptake of 3,274,000 tonnes of CO_2. After deduction for felling (1.63 million cubic meters) corresponding to 2,340,000 tonnes of CO_2 and other losses (0.1 million cubic meters) corresponding to 130,000 tonnes of CO_2, the remaining net effect of the managed forestscorresponds to a removal of 800,000 tonnes of CO_2 from the atmosphere each year. The increased stock of carbon in tree biomass corresponds to nearly two percent of Sweden's total greenhouse gas emissions, calculated as CO_2eq.

Carbon dioxide emissions from forestry work operations

The operative forestry related work carried out on the church's forests causes annual emissions of close to 15,600 tonnes of CO_2, mainly fossils, from internal combustion engines. For soil preparation, planting, cleaning and fertilization emissions are about 1,150 tons / year (7 percent of total emissions) with plant production as the largest single source. Felling and off-road transport of timber causes emissions of 6,150 tonnes of CO_2/year (40%), while timber transport and road maintenance cause emissions of about 8,300 tonnes (53%) per year.

Substitution effects of the produced wood products

An important climate effect of forest products is that they reduce the need for fossil carbon compounds. These so-called substitution effects occur "downstream" of forestry, when the wood is processed. To provide a complete picture of the impact of the church's forestry on the climate, also the substitution effects of the wood delivered have been calculated. The wood delivered entails a reduced load of about 1.6 million tons of fossil carbon dioxide / year. From this amount, the emissions from forestry operations, almost 16 000 tonnes of CO_2, must be deducted in order to obtain the net effect of the harvested wood. The substitution effect increases if more biomass, such as harvesting residues for energy chips, is taken out on suitable sites. Today, only marginal such volumes are harvested.

[2] This is ten percent over the national average, likely an effect of slightly higher average yield class.

Forest management for increased growth and climate benefit

The ability of forests to assimilate and store carbon is directly proportional to forest growth. The natural fertility of the soil is of course a basic factor that strongly influencing this, but active forest management provides many tools to control growth and thus the forest's carbon storage. Through forest management, the output of different assortments can also be affected and thus the distribution of the products for which the forest can ultimately be used. This affects the magnitude of the substitution effects.
Various pests adversely affect the forest. They give rise to mortality, growth reduction and quality loss. A key to maintaining a high level of forest growth is therefore to minimize damage.

The report provides a summarized picture of the state of knowledge for a number of selected management activities and how these can affect growth in the forest and thus the forest's climate effects. Furthermore, the most common and serious pests are described and possible ways to minimize their effects is presented.

In general, the greatest potential lies in actions made at the stage of regeneration. The use of genetically enhanced seed, better site adaptation and better regenerations with higher survival are three important measures that are individually important. Together, they produce a multiplicative effect rather than a purely additive. These are also measures that may be carried out on large areas, basically the entire annual regeneration area. However, measures in the regeneration phase take a long time before they provide the opportunity for increased timber extraction. Measures with a shorter delivery time of more timber are, for example, planting of tree species with shorter rotation times, such as birch and larch, or fertilization of stands with about 10 years left until final felling. However, these measures cannot be used on large areas since there are limitations of various kinds, both through legislation, certification and economy.

Limiting damage has great potential to increase growth and timber value. The report treats insect damage, especially bark beetle and pine weevil, wildlife damage, wind damage and fungal damage. We describe the significance of the damage and the possibility of reducing the risk of damage through various measures in forest management. The greatest potential is estimated to be actions against spruce bark beetle, root rot and browsing.

The report concludes with assessments of the impact of the various growth-enhancing measures on other ecosystem services as well as flora and fauna. The ecosystem services affected are recreation, water, hunting, wild berries, mushrooms, and reindeer husbandry. In general, it can be said that measures that lead to increased survival and growth of planted e.g. spruce seedlings, and thus denser and darker forest stands, are negative for many other values while increased regeneration with pine and birch that provides brighter stands with the potential for more ground vegetation and undergrowth is positive. Many measures were judged to be more or less indifferent to other values.

En kolbalans för stiftens skogar

Kolförråd

En skogs kolförråd utgörs huvudsakligen av två komponenter, dels det kol som finns bundet i trädens biomassa, dels det förråd som finns i skogsmarken. Mängden kol i träden bör då beräknas på hela biomassan, inte enbart på stamveden. För sådana beräkningar utnyttjas trädslagsvisa biomassafunktioner (där dock lövträd generellt brukar representeras av funktioner för björk). Mer noggranna beräkningar bör dessutom baseras på trädens åldersfördelning, eftersom andelen biomassa i de olika fraktionerna stam och bark, gren- och bladmassa samt stubbe-rotsystem förändras med trädstorlek. Data för sådana högupplösta analyser har inte samlats in från stiften. Eftersom kyrkans skogar är omfattande och väl spridda över landet har i stället genomsnittliga siffror från Riksskogstaxeringen utnyttjats. Det fel som härigenom kan uppstå är marginellt.

Eftersom innehållet av kol varierar mycket per volymenhet mellan träd och för olika fraktioner är det bästa att utgå från biomassan omräknat till torrvikt. Innehållet av kol per kg torrvikt är tämligen stabil oberoende av hur snabbt träden växt eller vilken del av trädet som avses. Dock bör andelen från barr- respektive lövträd i biomassan beaktas. Barrträd har nämligen en i genomsnitt ca 4 procent högre kolhalt (52 procent) än lövträd (48 procent), per kg torrvikt (Lamlom & Savidge 2003). Även här har antagits att kolhalt per torrvikt i stiftens skogar motsvarar riksgenomsnittet som är 51,2 procent.

Skogsmarkens förråd av kol har beräknats med hjälp av data från Markinventeringen (Skogsdata 2017) där förrådssiffrorna upplösts på länsnivå (Stendahl, pers. komm. 2018). Markinventeringens data avser markens kolförråd ner till 50 cm djup, men i denna sammanställning har kolförrådet ner till 100 cm djup uppskattats med stöd från Stendahl m.fl. (2010). Förrådet av kol ökar med ca 15 procent då denna större markvolym tas i beaktande.

Förrådet av kol i stiftens skogar finns till ca 39 procent bundet i växande skog. Resterande del, ca 61 procent utgörs av organiskt kol i markprofilen. Detta stämmer väl med vad som rapporteras från Markinventeringen (Skogsdata 2017). Beräknat kolförråd i stående skog och i skogsmark sammanfattas i Tabell 1. Siffror inom parentes anger genomsnitt för Sveriges skogar, som jämförelse.

Tabell 1. Kol i skog och skogsmark (100 cm), stiftsvis och för PLT totalt. Siffror inom parentes anger riksgenomsnitt.

Stift	Totalförråd, t C i stående skog	Förråd, t C/ha, i stående skog	Totalt förråd markkol, t C[1]	Förråd markkol, t C_{100}/ha[1]	Totalt förråd av kol omräknat till ton CO_2
Göteborg	1 479 470	59,8	2 485 955	100,4	14 539 891
Härnösand	3 345 148	47,3	4 733 692	66,9	29 622 414
Karlstad	2 771 900	62,3	3 336 825	77,3	22 776 801
Linköping	1 964 974	65,2	2 155 813	71,5	15 109 551
Luleå	1 538 090	41,1	2 290 578	61,2	14 038 448
Lund	561 622	59,5	707 775	111,9	5 932 596
Skara	1 547 823	60,0	2 590 469	100,4	15 173 737
Stockholm	219 752	68,0	294 721	91,2	1 886 402
Strängnäs	953 739	67,5	1 059 218	87,7	8 038 702
Uppsala	2 584 413	62,8	4 704 015	101,6	24 807 787
Visby	274 319	36,2	795 534	105,0	3 922 794
Västerås	1 904 180	42,7	3 753 739	84,2	20 745 704
Växjö	2 857 426	58,8	5 159 765	106,2	29 396 367
PLT totalt	**22 002 855**	**54,7** (50,5)	**34 068 099**	**85,0** (75,0)	**205 991 194**

[1] *Avser C_{100}, kolförråd ner till 100 cm djup, baserat på Stendahl m.fl. (2010). C_{50}, d.v.s. kolförrådet till 50 cm djup är cirka 15 % lägre.*

Sammanfattningsvis motsvarar förrådet av organiskt kol i PLT:s produktiva skogsmark och ståndskog 206 miljoner ton bunden koldioxid. Skogsmarkens förråd av kol är ca 50 procent högre än förrådet i levande skogsbiomassa. Förrådet av kol i stående skog är åtta procent högre i kyrkans skogar än vad som följer av arealen produktiv skogsmark. Detta är troligen främst en effekt av att kyrkans skogar är något bördigare än riksgenomsnittet.

Flöden av kol

De nettoflöden av kol som genereras genom skogsbrukets aktiviteter är av tre slag:

- Flöden av biogent kol genom tillväxt av trädbiomassa och bortförsel av beståndsprodukter.
- Förändrad ackumulering av markkol som en följd av skogsskötsel.
- Utsläpp av främst fossilt kol vid energiförbrukning i samband med skogsbrukets operationer.

I detta avsnitt görs ett försök att beskriva nuläge vad gäller storlek och riktning för dessa flöden i stiftens skogar. Dataunderlaget består av de uppgifter som lämnats från respektive stift, medan kalkylmodeller och vissa grunddata hämtats från vetenskaplig litteratur.

Flöden av kol till och från den växande skogen

Nedanstående beräkning utgör en skattning av den växande skogens genomsnittliga nettoflöde av kol. Kolflöden i form av tillväxt och nedbrytning/bortförsel är komplexa och variabla i både tid och rum. Vid beräkningen har kolinnehållet i avverkningsrester och stubbar, liksom i posten övriga avgångar, betraktats som omedelbara utsläpp, medan det i verkligheten tar många år innan all denna biomassa brutits ner och avgått som koldioxid. Om vi antar att avverkningsnivån är någorlunda konstant över tid kommer årlig nedbrytning och årlig tillförsel av avverkningsrester och död ved från övriga avgångar att balansera varandra. Därför kan ett års avverkningsrester bokföras som ett omedelbart utsläpp i stället för att delas upp under en längre följd av år.

Nuvarande bruttotillväxt på stiftens skogar motsvarar ett årligt koldioxidupptag på ca 3,3 miljoner ton. Efter avdrag för avverkning (motsvarande 2,4 miljoner ton koldioxid) och övriga avgångar (motsvarande 0,1 miljoner ton koldioxid) återstår en nettoeffekt av stiftens skogsbruk motsvarande ett upptag av 0,8 miljoner ton koldioxid från atmosfären varje år. Det ökade förrådet av kol i trädbiomassa motsvarar nära två procent av Sveriges totala växthusgasutsläpp, 48 miljoner årston, räknat som CO_2eq (Naturvårdsverket 2022).

Flöden av kol till och från skogsmarken vid hyggesskogsbruk

När ett hygge tagits upp så ökar mängden markkol som en följd av den stora mängden hyggesrester, stubbar och rotsystem. Men efter ytterligare några år minskar markkolet. Orsaken är att de biologiska processerna i marken, markandning och nedbrytning av organiskt material på hygget fortsätter även sedan skogen avverkats, utan att kompenseras genom det årliga förnafallet. Det tar omkring 20–30 år innan det nya beståndet nått en sådan slutenhet att dess förnaproduktion åter byggt upp förrådet av markkol till den nivå det hade före avverkning.

Att trakthyggesbruk utgör det huvudsakliga skogsbrukssättet på stiftens skogar medför därmed en viss sänkning av lagret av markkol jämfört med om ingen avverkning sker. Minskningen motsvarar, som ett genomsnitt för Sveriges produktiva skogsmark, omkring 7,5 kg per år och hektar, men variationerna är mycket stora. Eftersom stiftens skogar är något bördigare än genomsnittet för Sverige är det rimligt att räkna med att lagret av markkol sänks med ca 8 kg/ha och år under en period av 25 år, det vill säga en sänkt lagernivå av organiskt kol i den brukade skogsmarken på ca 200 kg C/omloppstid. Fördelas detta på hela omloppstiden erhålls en genomsnittligt minskad inlagringstakt för markkol på 2–3 kg C/ha och år[3] motsvarande 7–11 kg CO_2/ha och år.

Ett naturgivet flöde av kol till markkollagret på stiftens skogar motsvarar omkring 8 kg C/ha och år. För hela markinnehavet motsvarar detta ca 11 200 ton CO_2/år. Eftersom trakthyggesbruk tillämpas på huvuddelen av markinnehavet blir det verkliga flödet lägre och uppskattas motsvara ca 9 000 CO_2/år.

[3] Den minskade inlagringstakten av markkol, ca -2,5 kg C/ha, år, bör sättas i relation till den höga tillväxt som möjliggörs genom trakthyggesbruk, i genomsnitt 5,7 m^3sk/ha, år, motsvarande ett upptag av kol från atmosfären på 2 250 kg C/ha, år.

Utsläpp av koldioxid från skogsbrukets arbetsoperationer

Skogsbrukets arbetsoperationer ger upphov till emissioner av koldioxid. I detta sammanhang medräknas energiförbrukningen från växthus där plantor odlas, vid tillverkning av gödsel och från de skogsmaskiner av olika slag som utnyttjas för att utföra arbetena. Dessutom har utsläpp för virkestransporten från avlägg till industri beräknats liksom de utsläpp som kan förknippas med underhåll, uppgradering och utbyggnad av skogsbilvägnätet. Utsläppens storlek beror dels på arbetets omfattning, antal hektar som åtgärdats, volymen som avverkats och så vidare, dels på specifika förutsättningar som trädstorlek och transportavstånd. Dataunderlaget för avsnittet har hämtats från publicerade studier av skogsarbeten och transporter från Skogforsk (bl.a. Aldentun 1999, Brunberg, Granlund & Nordén 2004, Brunberg 2006, Brunberg 2010, Brunberg 2013, Berg 2014, Löfroth & Rådström 2006, Löfroth & Brunberg 2014, Brunberg m.fl. 2017, Brunberg & von Hofsten, 2018, Sonesson m.fl. 2017, Björheden m.fl. 2019), opublicerade data i Skogforsks databaser samt de uppgifter som lämnats av stiften i den enkät som skickats ut. I vissa fall, då uppgifter inte kunnat erhållas från samtliga stift, till exempel rörande genomsnittlig medelstamvolym i gallring, har i stället genomsnittliga data för relevant landsdel från Skogforsks databaser utnyttjats.

Stiftens beräknade utsläpp av koldioxid från terräng- och vidaretransport har i sin helhet nivålagts med hänsyn till regionala förutsättningar, det vill säga de förutsättningar som gäller för skogsbruket i stort i respektive region har ansetts gälla även för stiftens skogar. Det fel som kan uppstå, till exempel i det fall stiftens skogar skulle ha ett något bättre avsättningsläge än genomsnittet i respektive region, är inte av en storleksordning som påverkar de slutsatser som kan dras av denna rapport. Förbrukningen av energi för PLT:s skogsarbeten, vidaretransport och väghållning, räknat som liter diesel per uttagen kubikmeter, presenteras i Tabell 2. Den totala förbrukningen summeras till ca 4,4 l/m^{3}sk. Av denna mängd står skogsvårdsarbete för drygt 7 procent, drivningsarbete för nära 40 procent medan vidaretransport och väghållning står för 53 procent. Siffrorna ligger nära vad som konstateras i tidigare studier (Björheden 2018, 2021).

Tabell 2. Direkta utsläpp av koldioxid på grund av skogsbrukets operationer och vidaretransporter, för PLT totalt.

Arbetsoperation	Omfattning (sort anges)	Bränsle-förbrukning l diesel	Utsläpp, t CO_2 totalt	Utsläpp kg CO_2/ skördad m^3sk	Andel av utsläpp procent
Plantering, ha	3 410	273 000	721	0,4	4,6
Markberedning, ha	3 340	83 000	219	0,1	1,4
Röjning, ha	7 955	79 000	209	0,1	1,3
Gödsling, ha	55	700	2	0,0	0,0
Summa skogsvård	**-**	***436 000***	***1 151***	***0,7***	***7,4***
Avverkning, m^3sk	1 629 929	1 122 000	2 963	1,8	19,0
Terrängtransport, m^3sk	1 629 929	1 096 000	2 894	1,8	18,6
Terrängtransport grot, m^3f	34 908	40 700	107	0,1	0,7
Flisning grot, m^3f	34 908	69 800	184	0,1	1,2
Summa drivning	**-**	***2 329 000***	***6 149***	***3,8***	***39,5***
Vidaretransport, tonkm	111 969 500	2 677 000	7 068	4,3	45,3
Väghållning	-	461 000	1 218	0,7	7,8
Vägtransport, totalt	**-**	***3 138 600***	***8 286***	***5,1***	***53,2***
PLT totalt		**5 903 600**	**15 587**	**9,6**	**100,0**

Omräknat till ton koldioxid totalt och per kubikmeter virke ska PLT:s skogsbruk, då även virkestransport och väghållning medräknas, belastas med ett totalt utsläpp motsvarande nära 16 000 ton koldioxid/år (9,6 kg CO_2/m^3sk, 11,5 kg CO_2/m^3fub).

Kolbalans för PLT:s skogsbruk

I tabell 3 summeras de ovanstående beräkningarna av kolförråd och årliga nettoflöden av kol, uttryckt som ton CO_2.

Tabell 3. En sammanställning av kolförråd och årliga nettoflöden av kol för PLT totalt, uttryckt som ton CO_2.

Växande skog			**t CO_2eq**
Totalt virkesförråd, m^3sk	58 521 792	Förråd:	84 490 000
Tillväxt, m^3sk/år	+2 276 857	Upptag:	+3 290 000
Avverkning, m^3sk/år	-1 629 929	Uttag:	-2 350 000
Övriga avgångar, m^3sk/år	-190 158	Förlust:	-140 000
Netto växande skog, m^3sk/år	***+728 425***	***Nettoflöde:***	***+797 000***
Skogsmark			
Totalt förråd av markkol, t C	34 068 099	Förråd:	124 916 000
Markkolsbildning, t C/år	+34 908	Upptag:	+128 000
Netto skogsmark, t C/år	***+34 908***	***Nettoflöde:***	***+128 000***
Skogsbruk			
Skogsvård, l diesel/år	436 000	Utsläpp:	-1 150
Avverkning, l diesel/år	2 329 000	Utsläpp:	-6 150
Virkestransporter, l diesel/år	3 138 600	Utsläpp:	-8 300
PLT skogsbruk totalt, l diesel/år	***5 903 600***	***Nettoflöde:***	***-15 600***
PLT, t CO_2 i skog och skogsmark	**209 072 000**	**Netto, t CO_2/år**	+1 159 400

Substitutionseffekter av PLT:s virkesuttag

Substitutionseffekten består i att kolföreningar skördade i skogsekosystemet används i stället för kolföreningar från fossila koldepåer. Användning av trädbränslen för energiproduktion är ett enkelt exempel (och i princip kan alla produkter baserade på skogsråvara förbrännas, då de tjänat ut). Mer komplexa samband gäller för användning av trä i byggande, eller som förpackningsmaterial. Skogsprodukter gör klimatnytta på följande sätt:

- De utgör under produkternas livstid en fortsättning av det levande trädets lagring av kol i biomassa.
- De minskar aktivering av fossila koldepåer och ger därmed lägre CO_2-belastning i atmosfären.
- Om skogsbrukets uttag av biomassa är lika eller lägre än tillväxten, så medför utsläpp vid förbränning av skogsprodukter ingen höjd koldioxidhalt i atmosfären.

Substitutionseffekterna för virkesprodukter har kartlagts i flera studier. EFI (Leskinen m.fl. 2018) föreslår, baserat på en större review utifrån ett femtiotal studier, en genomsnittlig substitutionsfaktor på 1,2, det vill säga varje kg kol i uttagna skogsprodukter substituerar i genomsnitt 1,2 kilo fossilt kol. Därmed minskas de fossila utsläppen till atmosfären med 4,4 kg CO_2. Andra studier, till exempel Lundmark m.fl. 2014, föreslår en väsentligt lägre substitutionsfaktor (ca 0,6), vilket innebär att ett kg kol i skogsprodukterna minskar de fossila utsläppen med ca 2,2 kg CO_2.

Substitutionseffekterna av PLT:s virkesskörd redovisas i Tabell 4. Ett kg kol ger vid förbränning upphov till 3,67 kg koldioxid. Vi använder substitutionsfaktorn 1,2. Om vi

antar ca 420 kg torrsubstans per m^3fub rundvirke och 445 kg torrsubstans per m^3f grot, med en kolhalt i virket på lite drygt 51 % betyder det att stiftens virkeleveranser medför minskade fossila koldioxidutsläpp med 980 kg CO_2/avverkad m^3sk.

Tabell 4. Substitutionseffekter av virkesleveranser från stiftens skogar.

Ton kol i levererad rundved (timmer, massa- och bränsleved)	**Ton kol i levererad grot** (bränsleråvara)	**Substitutionseffekt, t co_2** (1,2 × mängd kol × 3,67)
355 365	8 011	1 599 000

Effekt på kolflödet vid övergång till hyggesfria metoder – räkneexempel

I avsnittet om flöden av kol till och från skogsmarken konstaterades att ackumuleringstakten av markkol minskar med 2–3 kg C/ha och år för de arealer där trakthyggesbruk tillämpas. Valet att sköta skogen genom trakthyggesbruk medför därmed, för hela markinnehavet, en totalt minskad markkolsbindning motsvarande nära 2 200 ton CO_2/år. I detta avsnitt beräknas, som jämförelse, vilken inverkan en övergång till hyggesfritt skogsbruk skulle få på markkolsbindning och kolbalans. Alternativet trakthyggesbruk utgör det nollalternativ, med vilket övriga alternativ jämförs.

För skog som sköts genom hyggesfria metoder blir tillväxten omkring 25 procent lägre (Lundqvist 2017, Hynynen m.fl. 2019) motsvarande ett upptag av 1 700 kg C/ha och år. Det är främst granmarker som är aktuella för regelrätt blädning medan alternativet för övriga områden kan vara olika former av skärmställningar. Produktionsminskningen gäller främst massavedsdimensioner men även sågtimmer. Lövandelen blir vanligen svår att upprätthålla eftersom björk och asp är pionjärträdslag som får svårt att hävda sig i blädningsskog och under täta skärmar. Tillgången på skogsbränsleråvara minskas kraftigt (Sonesson m.fl. 2017). Mängden biomassa tillgänglig för skörd sänks totalt med omkring en fjärdedel. Den sänkta tillväxten för hyggesfritt skogsbruk minskar sannolikt även inlagringstakt av markkol. Detta sker delvis av samma orsaker som för trakthyggesbruk, men det minskade förnafall som blir en följd av den lägre produktionen har sannolikt större betydelse. Detta antagande stöds av aktuell forskning: ett norskt försök som jämfört kolbalansen i trakthyggesbruk och blädning redovisar efter 81 år att trakthyggesbruk bundit motsvarande 60 ton CO_2/ha mer än det hyggesfria alternativet (Nilsen & Strand 2013). Kunskap om blädningsskogens tillväxt och dynamik som nämns ovan, bygger på förutsättningen att skogen redan är flerskiktad. Att ställa om enskiktad granskog till flerskiktad tar lång tid och medför sänkt tillväxt samt risker framför allt kopplade till vindskador och utebliven föryngring (Drössler m.fl. 2014)

Skog som lämnas för fri utveckling når, under avtagande nettoproduktion, fullslutenhet. Därefter sker ingen nettoinbindning i växtbiomassa (Kuusela 1990). På sikt utgörs då målklassens ”klimatnytta” av det markkol som fortlöpande inlagras, sett över en längre tid ca 8 kg C/ha och år.

Räkneexemplet har utförts för att illustrera effekterna av en fullt genomförd skötsel enligt alternativen trakthyggesbruk, hyggesfritt skogsbruk och fri utveckling. I själva verket innehåller skötselvalen betydligt fler alternativ och större valmöjligheter. Syftet med exemplet är att skapa en principiell förståelse för skötselvalens klimatmässiga för- och

nackdelar vad gäller kolflödena i skogsbruket. I Tabell 5 sammanfattas de beräkningar som visar effekterna av de tre olika skötselstrategierna, vad gäller nettoeffekter på kolflöden till skog och skogsmark.

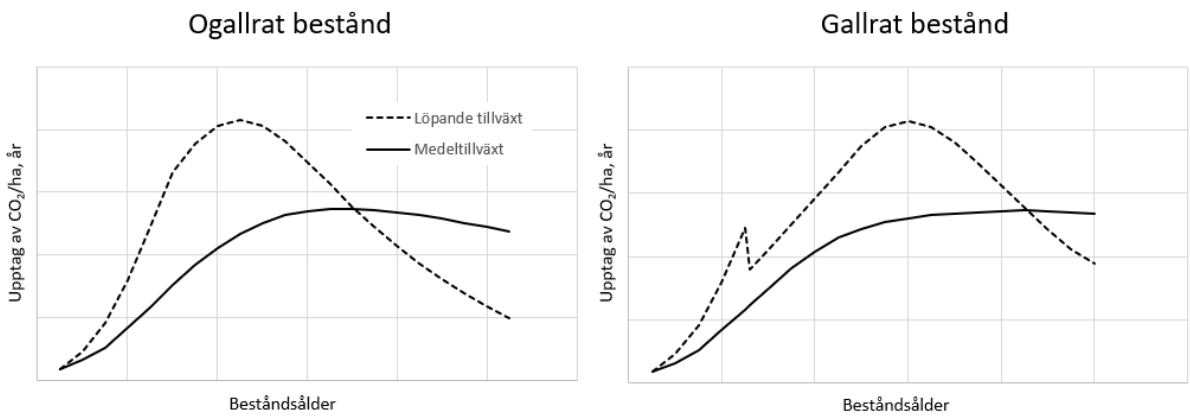
Tabell 5. Räkneexempel som visar nettoflöden av kol för PLT:s skog och skogsmark, som kg C/ha och år vid fullt genomförd skötsel enligt alternativen Trakthyggesbruk, Hyggesfritt skogsbruk respektive Fri utveckling.

Skötsel-alternativ	Nettotillväxt, kg C/ha, år	Markkolsbildning[4], kg C/ha, år	Summa flöde som ton CO_2/ha, år
Trakthyggesbruk	2 240	5,5	8,23
Hyggesfritt skogsbruk	1 680	6	6,18
Fri utveckling	0	8	0,03

Möjligheter att öka positiva klimateffekter av PLT:s skogsinnehav

Omloppstidens betydelse för klimatnyttan

Likåldriga bestånd producerar relativt lite virke under plant- och ungskogsstadiet, men tillväxten ökar då beståndet växer in i gallringsbar ålder och börjar nå full slutenhet. Genom denna dynamik uppstår ett samband mellan beståndets löpande, årliga tillväxt och dess medeltillväxt per år. Medeltillväxten kulminerar vid den tidpunkt när löpande tillväxt är lika med medeltillväxten. Tidpunkten för denna kulmination kan påverkas genom skötselåtgärder. Om ett bestånd exempelvis röjs eller gallras förskjuts kulminationspunkten till en senare tidpunkt. Figur 1 redovisar grafiskt dessa samband.



Figur 1. Figuren visar det principiella sambandet mellan löpande, årlig tillväxt och medeltillväxt för ett bestånd. Medeltillväxtens kulmination sker där de båda kurvorna skär varandra. Om ett bestånd gallras förskjuts kulminationspunkten till en senare tidpunkt, på det sätt som visas i den högra delen av figuren.

[4] Bildningen av markkol är komplex och nettoflödet är inte linjärt. De nettoflöden som används i denna kalkyl baseras på konstaterade genomsnittsnivåer.

Sambandet som illustreras i figur 1 innebär att maximal nettoinbindning av koldioxid erhålls då skogen avverkas vid den ålder där de båda kurvorna skär varandra. Om skogen sköts enligt denna princip kommer dess förmåga att motverka stigande atmosfärisk koldioxidhalt att optimeras. Detta är emellertid ett teoretiskt resonemang. I verkligheten är det svårt att exakt fastställa när denna tidpunkt infaller.

Dessutom påverkas beslutet om avverkningstidpunkt av marknads- och konjunkturförhållanden. I nedanstående uppställning listas några av de skäl som kan motivera att man avviker från den tillväxtmässigt optimala tidpunkten.

Skäl för/effekter av att avverka i förtid	**Skäl för/effekter av att överhålla beståndet**
Högt räntekrav, behov av ökad likviditet	Lågt krav på förräntning och likviditet
Låg värdetillväxt i beståndet (t.ex. på grund av skador)	God värdetillväxt i beståndet
Stor osäkerhet om framtida marknad	Stigande efterfrågan på grövre virke, t.ex. för kulturbyggnadsvård
Olämpligt trädslag	Vilja att öka förrådet av kol i stående skog
Förväntning om sjunkande virkespriser	Förväntning om stigande virkespriser
För att minska risk för skador, t.ex. storm, barkborre	För att gynna biologisk mångfald
	För att gynna rekreationsvärden, t.ex. tätortsnära

Med klimatperspektiv på frågan om avverkningstidpunkt kan det vara intressant att ta hänsyn till att kurvan för medeltillväxt är brantare före än efter kulminationspunkten. Sänkningen av medeltillväxt är alltså större om man råkar avverka något år för tidigt, jämfört med om man missar med motsvarande tid i överhållning. Om bestånden överhålls något kommer också den större mängden grovt virke att kunna användas till produkter med högre substitutionsfaktor, som är en sekundär men betydelsefull klimateffekt (jämför stycket *Vilka beståndsprodukter ger störst klimatnytta*).

Ur klimatsynpunkt är det därför snarast motiverat att i någon mån överhålla bestånden, jämfört med att avverka eller riskera att avverka i förtid. En sådan strategi bör dock alltid kombineras med analys av den ökade risken för skador, till exempel genom stormfällning, som följer av överhållning (Lundmark m.fl. 2018).

Minskade utsläpp från skogsbrukets arbetsoperationer

Skogsbrukets arbetsoperationer medför utsläpp av koldioxid från fossila bränslen. Utsläppens storlek beror i hög grad på de lokala förutsättningarna, t.ex. terrängfaktorer, snödjup, trädstorlek, men också på skogsskötselval och infrastrukturella faktorer som hur väl utbyggt vägnätet är och avstånd till virkesköpande industri. Bränsleförbrukningen för samtliga skogsarbeten från anläggning av skog och beståndsskötsel till leverans av virke till industri motsvarar i genomsnitt 4,5–4,9 l diesel per avverkad kubikmeter eller, omräknat till koldioxidutsläpp ca 12,4 kg CO_2/m^3fub.

Vidaretransporten (inklusive skötsel av skogsbilvägnätet) är den enskilda arbetsoperation som står för störst andel, omkring 50–55 procent, av utsläppen. Vid skörden av beståndsprodukter sker också utsläpp. Avverkning (20 procent) och terrängtransport av rundvirke (15 procent) orsakar tillsammans med terrängtransport och flisning av skogsbränsle (5 procent) 40 procent av utsläppen. Skogsvårdsarbeten orsakar i storleksordningen 5–10 procent av utsläppen, med plantproduktion som den enskilt största posten.

En generell strategi för att sänka utsläppen bör vara att sträva efter största möjliga effektivitet i den egna verksamheten samt att även stödja ett sådant förhållningssätt hos alla underleverantörer och kunder. Detta gäller såväl användning av bränsleeffektiv teknik som utveckling av hög effektivitet i alla operationer.

Förnybara, relativt lättintroducerade, dieselalternativ börjar nu etableras på marknaden. Vanligast är RME (RapsMetylEster) och HVO (Hydrerad Vegetabilisk Olja). De är båda fossilfria. RME framställs främst av raps och uppfyller standarden EN14214 för biodiesel. HVO tillverkas från mer krävande råvaror som rester och avfall och uppfyller standarden EN15940 för paraffinbränslen. Skogsbrukets erfarenheter är att HVO är problemfritt vid användning i arbetsmaskiner, medan RME ökar behovet av serviceåtgärder

Tallolja utvinns ur svartlut från massaindustrin. Det är en bra råvara för framställning av HVO, men tillgången är begränsad. Ungefär 14 procent av den HVO som tillverkades i Sverige 2019 baserades på tallolja. Detta ger möjligheter att minska de fossila utsläpp som genereras av skogsbrukets arbetsmaskiner. Nedan görs en bedömning och ett förslag till prioritering av dessa möjligheter. Men situationen är i högsta grad ett rörligt mål, eftersom den påverkas av skatter och regelverk i övrigt. De förslag som lämnas kan därför behöva kontrolleras. De fossila utsläppen har sänkts genom den så kallade reduktionsplikten som innebär ett krav på inblandning av icke-fossila bränslen. I Sverige var reduktionsplikten 2021 26 % för diesel och 6 % för bensin. Det är högre än de nivåer som gäller för EU. För att uppfylla den nationella reduktionsplikten måste landet importera huvuddelen (85 %) av de biobaserade tillsatsbränslena[5].

Störst möjligheter finns just nu att ersätta fossil diesel i lastbilstransporterna. En övergång till HVO eller RME skulle kraftigt (70–90 procent) minska kvarvarande fossila utsläpp. De fossilfria alternativen är för närvarande något dyrare än diesel. Detta kräver, särskilt vid övergång till RME, anpassning av motorer, och mer frekvent service. Detta gör att en bonus för åkare som tankar fossilfritt kan vara ett sätt att påskynda omställningen. Det kan också vara värdefullt att bidra till avtal som säkrar åkeriernas tillgång på fossilfritt bränsle. Tillgången på de nämnda alternativen är begränsad, särskilt vad gäller RME.

Främst på grund av skillnader i drivmedelsbeskattningen är det svårare att genomföra en övergång till fossilfria bränslen för skogsbrukets arbetsmaskiner. Tekniskt kan man lösa det, men fossil diesel gynnas av att man som entreprenör i skogsbranschen kan återkräva den energiskatt man betalt på dieselbränslet. Någon motsvarande möjlighet finns inte för de fossilfria alternativen. Konstruktionen innebär att man ”låser in” entreprenörerna i att använda fossila bränslen. Man kan dessutom anta att modifieringar av motorn och tätare service innebär en större olägenhet för skogsmaskiner än för transportfordon.

[5] Reduktionsplikten verkar för närvarande komma att sänkas till samma nivå som för EU i övrigt.

Elektrifiering av tyngre skogsmaskiner har prövats och kan lösas tekniskt. Men det bedöms inte kunna få något större genomslag annat än i speciella driftsmiljöer och främst för lättare arbeten. Den tekniska utvecklingen har just nu ganska stor fokus på energieffektivitet och eftersom den skogliga maskinparken byts relativt ofta är det rimligt att tänka sig att drivmedelsbehovet per producerad enhet kommer fortsätta att sjunka, i takt med att nya maskiner ersätter de som idag utnyttjas. För att på kortare sikt minska utsläppen från tyngre skogsarbeten torde därför det mest angelägna vara att effektivisera dessa så att de utförs med så låg bränsleåtgång som möjligt. Som uppdragsgivare kan man understödja entreprenörers deltagande i kursverksamhet kring hållbarhet, effektivitet och bränslebesparing, till exempel via maskininstruktörsnätverket RECO.

Vad gäller skogsvårdsarbetena, som står för en mycket liten andel (omkring 5–8 %) av skogsbrukets utsläpp, är det i första hand plantproduktionen som är aktuell att arbeta med. Man bör säkerställa att uppvärmning av växthus sker fossilfritt, till exempel med skogsbränsle, och medverka till investering i ny teknik om fossila bränslen fortfarande används av de plantskolor man handlar av.

Vilka beståndsprodukter ger störst klimatnytta?

Ett sätt att öka klimatnyttan av skogsbruket kan vara att bedriva en riktad skötsel, som ger produkter med så hög potentiell klimatnytta som möjligt. En studie av olika skogsbruksmetoders inverkan på kolförråd, kolflöden och möjliga substitutionseffekter (Eriksson m.fl. 2007) ser störst positiv klimatpåverkan vid tillämpning av ett mycket intensivt skogsbruk[6] (förädlade plantor, gödsling, uttag av grot och stubbar) men påpekar också att valet av produkter som framställs av skogsråvaran spelar stor roll för den totala klimatnyttan i form av kolinlagring och substitution. Men vilka beståndsprodukter ger störst klimatnytta? Det är, av flera skäl, en ganska komplicerad fråga.

Ett enkelt svar kan vara att prioritera med hjälp av substitutionsfaktorer för olika virkesprodukter. Byggnadsvirke har höga substitutionsfaktorer och bidrar till förlängd lagring av kol genom att slutprodukterna har en avsevärd livstid. Grova träd ger mer material med lämplighet att förädlas till konstruktionsvirke och som ytskikt i byggnader. Detta ger stöd för rådet att röja och gallra bestånden för att försena medeltillväxtens kulminationspunkt och dessutom överhålla bestånden något (jämför avsnittet *Omloppstidens betydelse för klimatnyttan*, ovan).

Men de gallringar som genomförs som en del av denna strategi avkastar främst klenare virke, och även vid slutavverkning kommer en stor del av virket att utgöras av virke som inte lämpar sig som sågtimmer. Mer än hälften av sågtimret går dessutom i form av restströmmar (bark, spån, stamvedsflis och torrflis) till massaindustrin och till energiproduktion. Det är alltså omöjligt att helt renodla någon särskild beståndsprodukt, eftersom en skörd av virke alltid medför en stor mängd konsekvensprodukter.

Det är svårt att veta vilken användning som på sikt ger störst substitutionseffekt. Antalet studier är stort vad gäller byggnadsvirke, papper och förpackningar men begränsat då det gäller textilier, kemikalier, plaster, drivmedel och en mängd andra produktgrupper där vi idag ser möjlighet att ersätta fossila råvaror. Vilka krav dessa framväxande industrier ställer på vedråvara är inte helt känt.

[6] Studien är intressant eftersom den renodlar målbilden till maximerad klimateffekt av lagernivåer, uttag och substitution. Skogsbrukets verkliga målbild är givetvis mera komplex.

Vid en konventionell avverkning tas huvuddelen av stammen ut i form av massaved och timmer. På avverkningstrakten lämnas småträd, toppar, grenar, bladverk och stubberotsystem. Dessa fraktioner utgör tillsammans en lika stor mängd biomassa som stamveden, och bryts efter avverkningen ner till koldioxid som återgår till atmosfären.

Om mängden efter avverkning kvarlämnad biomassa kan minskas, till exempel genom leverans av grot för energiproduktion ökas skogsbrukets positiva kolbalans mycket kraftigt. För närvarande är det främst energisektorn som efterfrågar denna typ av beståndsprodukter, men de nya biokemiska industrierna är möjliga kunder i en framtid.

Skötsel för ökad klimatnytta

Skogens förmåga att lagra kol är direkt proportionerlig mot tillväxten. Markens naturgivna bördighet är givetvis en grundfaktor som starkt styr detta, men aktiv skogsskötsel ger många verktyg för att påverka tillväxten och därmed skogens kolinlagring. Genom skogsskötseln kan även utfallet av olika sortiment påverkas och därmed fördelningen av de produkter som skogen i slutänden kan användas till. Detta påverkar storleken på de substitutionseffekter som skogsbruket ger upphov till.

Olika skadegörare påverkar skogen negativt. De ger upphov till mortalitet, tillväxtnedsättningar och kvalitetsförluster. En nyckel till att upprätthålla en hög skogstillväxt är därför att minimera skador.

I de följande avsnitten ges en sammanfattande bild av kunskapsläget för ett antal utvalda skötselåtgärder och hur dessa kan påverka tillväxten i skogen och därmed skogens klimatnytta. Vidare beskrivs de vanligaste och allvarligaste skadegörarna och hur man kan arbeta för att minimera dess effekter.

Skogsodlingsmaterial

Ett väl beprövat och effektivt sätt att öka den skogliga tillväxten är att använda förädlat skogsodlingsmaterial (Rosvall & Lundström 2011). I dagsläget har tredje omgångens fröplantager (TreO) av både tall och gran, som började anläggas vid millennieskiftet, nu börjat producera frö i de flesta delar av landet (Almqvist & Wennström, 2020). Den förväntade ökningen av arealproduktion över en omloppstid jämfört med oförädlat lokalt beståndsfrö har tidigare legat på 10–15 % men ökar nu till 20–25 % då TreO-plantor blir tillgängliga (Rosvall 2003). Men även om TreO-plantagerna nu börjar producera frö kommer det att vara en brist på de allra bästa plantorna under överskådlig framtid och även plantor från äldre plantager med lägre genetisk vinstnivå kommer att behöva användas (Almqvist & Wennström 2020). Med denna stora skillnad i tillväxtpotential är det viktigt att förutom att använda så mycket TreO-plantor som möjligt se till att dessa ger maximal utväxling av sin tillväxtpotential (Davidsson 2018). Det senare görs genom att se till att plantorna är väl anpassade till planteringstrakten och kan nyttja sin tillväxtpotential till fullo. För att välja rätt plantmaterial finns verktyg för såväl enskilda planteringstrakter (Plantval[7]) som ett större innehav (Plantval optimal[8]).

Men dessa förbättringar i tillväxt kan bara realiseras om skogsodlingsmaterialet är väl anpassat till de klimatiska förhållandena under hela dess omloppstid. När klimatet förändras påverkas grundläggande förutsättningar för plantor och träd, såsom förändrade tidpunkter för start och avslut av tillväxt, ökad angreppsrisk av insekter och svampar samt frostskador, m.m. Ett flertal internationella och inhemska studier har visat på möjligheterna att kombinera kunskap om trädartens inneboende genetiska variation och anpassningsmönster med klimatdata, för att bygga modeller som förutsäger vilka plantmaterial som kommer att fungera bäst i ett framtida klimat (Wang m.fl. 2010, Oney m.fl. 2013). Studierna visar på vikten av att vara proaktiv i urvalet av plantmaterial för att undvika missanpassning och säkerställa hög kvalitet och biomassaproduktion i våra framtida skogar. Den här typen av modeller har utvecklats för tall och gran (Berlin m.fl. 2016, Berlin m.fl. 2014) och är implementerade i programpaketet Plantval. Vid korrekt

[7] https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/foryngring/plantval/
[8] https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/pvopt/

val av förädlat plantmaterial uppnås alltså en förbättrad arealproduktion som är robust även i ett framtida klimat.

Sedan 2019 erbjuder Plantval möjligheten att använda finska tallfrökällor och i juni 2021 tydliggjorde Skogsstyrelsen[9] hur dessa frökällor kan användas enligt svensk skogsvårdslag (Skogsstyrelsen 2020). I Finland har nya 1.5g-fröplantager (detta motsvarar svenska TreO-plantager i genetisk vinstnivå) anlagts från 1990-talet och framåt men det finns regionala skillnader mellan länderna i hur långt dessa plantager har nått i sin etablerings- och produktionsfas. I vissa områden i Sverige finns det således finska plantager som ligger längre fram än svenska och vice versa. Speciellt i ett område motsvarande Karlstad, Västerås och Uppsala stift finns ett antal finska fröplantager som i dagsläget presterar avsevärt bättre än de flesta svenska och skulle därför kunna ge en betydande produktionshöjning om sådant plantmaterial fanns att tillgå. En sak som skulle kunna tala för att en import av frö från Finland är möjlig är att de finska 1.5g-tallplantagerna är generellt större än de svenska TreO-tallplantagerna, då man i Finland planerat använda en del av fröskörden för sådd. Detta torde innebära att det kan finnas en möjlighet för import av en del av dessa skördar till Sverige för att i stället nyttja till plantproduktion.

Björk, contortatall och rysk lärk är de tre andra trädslag för vilka det bedrivs aktiva förädlingsprogram. Förädlingsprogrammet för rysk lärk är nystartat och där finns ännu minimalt av förädlat plantmaterial att tillgå. För Contortatall har nu en uppsättning nya fröplantager utvalda på samma sätt som TreO-plantagerna för tall och gran börjat komma i produktion. Dessa har en förväntad förbättrad arealproduktion på 25 % jämfört med oförädlad Contorta som i sin tur har visat sig producera 33–38 % mer än oförädlad tall (Elfving & Norgren 1993). Möjligheterna att använda contortatall är dock begränsad både avseende areal och användningsområde (Skogsstyrelsen, 2020). För björk finns i dagsläget endast svenska fröplantager anpassade för södra Sverige. Tillväxtvinsterna för plantor från dessa ligger på 15–18 % vilket är något lägre än för de andra trädslagen, men i stället har betydande förbättringar i andra egenskaper som stam- och grenkvalitet uppnåtts.

För tall kommer alla förädlade plantor från fröplantager och för gran nästan alla[10]. Endast en till maximalt två miljoner granplantor per år tillverkas i dagsläget kommersiellt som sticklingar (vegetativ förökning) av Södra skogsägarna. I en fröplantageskörd kommer plantornas genetiska nivå att sjunka något på grund av inkorsning av pollen från omgivande oförädlade träd. Om man i stället utför kontrollerade korsningar mellan två föräldraträd undviker man denna reduktion av den genetiska nivån. Om de allra bästa träden korsas kan man i dagsläget uppnå genetiska vinstnivåer på 30–35 %. För gran kan sådana kontrollerade korsningar antingen sås upp för att göra moderplantor som man sedan klipper sticklingsris av eller så kan de förökas via Somatisk Embryogenes (SE). SE är en teknik som utvecklades för dryga 30 år sedan (Hakman m.fl. 1985, von Arnold & Hakman 1985) och medger en näst intill obegränsad produktion av kopior av plantor från ett frö. Som tidigare nämnts används systemet med moderplantor från vilka det klipps sticklingar av Södra skogsägarna. Dessa sticklingsplantor är avsedda för södra Sverige och

[9] https://www.skogskunskap.se/cd_20210603161325/contentassets/a0117bac201e4547a36ab7b27c6c7f6c/beslut-om-anvandning-av-finskt-plantagematerial-dnr-20-20-609.pdf
[10] http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/?rxid=03eb67a3-87d7-486d-acce-92fc8082735d

har en bedömd produktionsnivå på 35 % bättre än oförädlat beståndsfrö[11]. Dessa plantor ger en betydande produktionsökning men finns endast i begränsat antal och är starkt eftertraktade. Det finns även planer från andra bolag att starta upp sticklingsproduktion och masstillverkning av plantor baserade på SE-teknik. Men i dagsläget finns inga sådana plantor att tillgå och det är oklart när de kan vara kommersiellt tillgängliga och vad de kommer att kosta. Även om det finns flera förökningsmetoder som skulle kunna ge högre genetisk vinstnivå än fröplantager, så måste detta vägas emot de extra kostnader och produktionstekniska utmaningar som då uppstår, vilket påverkar tillgång och plantpris (Helmersson m.fl. 2021).

Gödsling av vuxen skog på fastmark

På fastmark är kväve (N) normalt det tillväxtbegränsande mineralnäringsämnet. Skogsgödsling med kväve anses vara en av de mest lönsamma skogsskötselåtgärderna och ger effekt på kort sikt. Förutom att vara en god investering lyfts skogsgödsling fram som en åtgärd som ger klimatvinster genom ökad skogstillväxt (Pettersson 2017). Gödsling utförs normalt i slutet av omloppstiden genom en eller två givor (150 kg kväve per ha och giva) med ca tio års intervall mellan givorna.

Verksamheten med skogsgödsling startade i Sverige på 1960-talet. Under 1970- och 1980-talen var gödsling en mycket viktig åtgärd i skogsbruket. Den årliga skogsgödslings-arealen låg mellan 120 000 och 200 000 hektar. På 1990-talet gick verksamheten ner och har sedan dess legat på en betydligt lägre nivå. De senaste 20 åren har den årliga gödslingsarealen varierat mellan 14 000 och 80 000 hektar och år 2020 gödslades 42 000 hektar (Skogsstyrelsen 2021a).

Tillväxteffekter, prognosfunktioner och ekonomi

Skogforsk har tagit fram mycket av den kunskap som finns om praktisk skogsgödsling i Sverige. Baserat på tillväxtresultat från ett stort material från ca 1 000 provytor fördelade på 230 lokaler togs prognosfunktioner fram för beräkning av tillväxteffekter av kvävegödsling på olika marker (Petterson 1994a, b). Det är viktigt att löpande följa upp dessa funktioner och kontrollera deras giltighet. Jacobson (2020) testade de befintliga prognosfunktionernas validitet med hjälp av data från kontrollerade gödslingsförsök (19 tall- och 3 granförsök, med god geografisk spridning) som lagts ut och utvärderats efter framtagandet av prognosfunktionerna. Den genomsnittliga tillväxteffekten i försöken stämde väl överens med det förväntade värdet enligt funktionerna och resultatet indikerar att de befintliga prognosfunktionerna genomsnittligt ger väntevärdesriktiga effekter av kvävegödsling (Jacobson 2020). Det är viktigt att vara medveten om att skattningar med dessa funktioner anger medeltal för ett större material och att det finns en variation mellan enskilda bestånd.

En skogsgödsling med 150 kg N per hektar ger en total tillväxtökning på 13–20 m^3sk/ha beroende på var i landet man befinner sig och skogens ålder och bonitet. Tall reagerar snabbare på gödsling än gran, men hos gran är tillväxteffekten mer uthållig än hos tall (Jacobson m.fl. 2005). Gödsling är en lönsam åtgärd och normalt räknar man med en förräntning på 10–20 procent på investeringen på rätt marker.

Inte all skog är värd att gödsla. I vissa typer av bestånd råder ingen brist på kväve och i andra bestånd blir effekten så liten att åtgärden inte är lönsam. I Skogforsks handledning

[11] https://www.sodra.com/sv/se/skog-medlem/aktuellt/nyheter/2020/for-alla-vo/plantprislistan-for-2021-ar-har/

(Jacobson m.fl. 2005) anges sju baskrav som ska vara uppfyllda för att ett bestånd ska vara gödslingsvärt:

- Fastmark
- Podsoljordmån
- Ståndortsindex 16–30 m
- Minst 80 % av grundytan ska vara barrträd
- Lägst förstagallringsskog
- Ingen avverkning inom tio år
- Frisk och välsluten skog

På intäktssidan räknar man dels med en effekt av den ökade virkesvolymen, dels med en dimensionseffekt som innebär att man får fler kubikmetrar med grovt timmer som ger ett högre pris, men även att avverkningskostnaderna sjunker till följd av en högre medelvolym per stam.

Kostnaden för skogsgödsling styrs framför allt av priset på gödselmedel och har varierat över tid. Skogsstyrelsen och Skogforsk publicerar årligen statistik för det storskaliga skogsbrukets kostnader och där anges att den genomsnittliga kostnaden för gödsling/kalkning var ca 2 500 kr/ha år 2020 (Skogsstyrelsen 2021b). Kostnaden var något högre för södra Sverige jämfört med norra Sverige.

En investering i gödsling måste också vägas mot konsekvensen att de gödslade bestånden blir låsta under den period som gödslingen har effekt. Den taktiska och operativa planeringen vid val av slutavverkningstrakter blir därmed mindre flexibel och möjligheter att möta förändringar i efterfrågan på olika sortiment och varierande bärighets- och vägförhållanden minskar. Att göra en relativt stor investering i ett enskilt bestånd innebär också en ekonomisk risk om beståndet skulle drabbas av stora avgångar genom till exempel storm eller annan kalamitet. För privata skogsägare är en engångsgödsling ca tio år innan slutavverkning normalt det alternativ som är ekonomiskt intressant.

Skogforsk har tagit fram ett verktyg, Gödslingskalkyl (www.skogskunskap.se), där man som skogsägare får hjälp att analysera tillväxteffekten och ekonomin av gödsling i sina egna bestånd. Verktyget baseras på de ovan beskrivna prognosfunktionerna.

Om man är intresserad av att genomföra skogsgödsling är det lämpligt att förbereda sig genom att läsa Skogforsks handledning för skogsgödsling (Jacobsson m.fl. 2005). Man ska också vara väl insatt i det regelverk som finns kring skogsgödsling i Skogsstyrelsens allmänna råd.

Ståndortsanpassning och alternativa trädslag

Tall eller gran

Tall och gran fyller olika evolutionära nischer. Granen är ett sekundärträdslag med stor skuggtålighet som gör att den kan föryngra sig och växa upp inne i bestånd och i mindre luckor där mer ljuskrävande trädslag inte klara av att komma upp. Trots detta klarar granen väl av att snabbt etablera sig och växa även på öppna ytor som ett hygge. Granen har relativt höga krav på markens bördighet för att utvecklas väl. Tallen är ett pionjärträdslag som är anpassat till föryngring på relativt öppna ytor efter naturliga störningar som brand, stormar eller större insektsangrepp. Tallen är också det trädslag av

alla inhemska som klarar bäst att växa på de allra magraste markerna som torra sandmarker såväl som näringsfattiga mossar. Samtidigt har tallen en god tillväxt även på bördigare marker där den växer bättre än de flesta andra inhemska trädslag. På de bördigaste markerna växer dock granen bättre. Dessa skillnader har skogsbruket utnyttjat för att ta vara på markernas produktionspotential. Man har planterat tall på svaga marker och gran på de bättre markerna. Var gränsen går och vilka ståndorter på mellanmarker som lämpar sig bäst för respektive trädslag är däremot inte speciellt väl utforskat. En av de självklaraste bedömningarna som en riktig ”skogsman” ska klara av är att kunna skilja ”granmark” från ”tallmark”. Denna inställning har nog bidragit till att relativt få jämförande försök med tall och gran på olika ståndorter i olika delar av landet anlagts.

Att föryngra med lämpligt trädslag för ståndorten är viktigt för att uppnå hög och värdefull virkesproduktion. Det är därför viktigt att ta till sig ny forskning om var våra två barrträd passar bäst ur produktionshänseende. Flera studier antyder att tallens produktionspotential, framför allt i norra Sverige, varit underskattad gentemot granen. I en sammanställning av 12 jämförande försök med 50–80 år gamla ytor av tall och gran i norra Sverige fann Nilsson m.fl. (2012) att granen i genomsnitt producerat endast 29 % av tallens volymproduktion. Skillnaden i ståndortsindex var i genomsnitt 4,8 m. Endast på en yta hade gran högre SI än tall. För att jämföra virkesproduktionen över en omloppstid simulerades provytornas fortsatta utveckling fram till medeltillväxtens kulmination. Vid denna tidpunkt hade tallen i genomsnitt producerat 23 % mer än granen. Samtidigt kulminerar medeltillväxten för gran mycket senare än för tall, 50–70 år senare. Detta faktum påverkar beståndsekonomin ännu mer än den lägre virkesproduktionen i sig. I Mellansverige har en nyligen publicerad studie konstaterat liknande skillnader i ett försök med tio upprepningar i södra Gästrikland (Holmström m.fl. 2018). Vid 53 års ålder har tallen producerat 126 % mer än granen. Trots att ståndortsindex för tall, T28 indikerar en relativt bördig mark har granen endast haft en höjdtillväxt som motsvarar G24. I södra Sverige pågår liknande studier som ännu inte publicerats (Nilsson, pers. komm.) men som visar samma trend som i norra Sverige. Resultaten pekar mot att tallen växer bättre på alla ståndorter upp till och med G30.

Förutom kunskap om de två trädslagens relativa produktionspotential på olika ståndorter är det även viktigt att ta hänsyn till hur ståndorten kan påverka risken för olika typer av skador. I södra Sverige har vi under de senast årens storskaliga barkborreangrepp lärt oss att gran på allt för torr mark angrips av barkborrarna. Överanvändning av gran i södra Sverige har också lett till ett minskat utbud av lämpligt foder för klövviltet, framför allt älg. Detta har lett till stora skador på de relativt små arealerna som föryngrats med tall eller där man haft målet att föryngra med lövträdslag. I norra Sverige finns indikationer på att tallbestånd på allt för bördig mark drabbats mer av törskateangrepp än tallbestånd på svagare marker.

Ytterligare en faktor att ta hänsyn till är hur klimatförändringar kan förväntas påverka tillväxt och skador hos tall och gran. Granen befinner sig på sin naturliga sydgräns i sydligaste Sverige, medan tallen finns i hela Europa ända ner till medelhavet. I Centraleuropa växer gran bara naturligt i bergstrakterna. En ny studie baserad på en stor mängd långliggande försök visar på en ökad tillväxt i svensk skog de senaste två decennierna som rimligast förklaras av ett varmare klimat (Mensah m.fl. 2021). Där finns dessutom en indikation på att tallens tillväxt ökat mer än granens i det varmare klimatet.

Björk

Detta avsnitt sammanfattar rapporten *Björkens möjligheter i ett framtida klimatanpassat brukande av skog* publicerad av Skogforsk 2021. För fördjupning och referenser kan du gå vidare till denna länk: bjorkens-mojligheter_low.pdf (skogforsk.se)

Sverige har två björkarter som skogsträd: vårtbjörk (*Betula pendula*) och glasbjörk (*Betula pubescens*). Björken (båda arterna) är det tredje vanligaste trädslaget efter tall och gran med 12,5 % av virkesförrådet i hela landet. Vårtbjörkens andel av björkarnas virkesförråd är cirka 30–50 % i södra och 10–20 % i norra Sverige. Vårtbjörk och glasbjörk kan normalt skiljas åt på utseendet, men vid behov kan en kemisk reagens på fenoler i barken användas för bestämning. Båda arterna växer bäst på friska och näringsrika lokaler. Vårtbjörken klarar sig dock bättre på torra och lite magra marker medan glasbjörken har större tolerans mot fuktiga marker. Björkarterna är pionjärer som drar nytta av sin goda fröspridning och förmåga till stubbskottsföryngring. Ungdomstillväxten är snabb. De når sin slutliga höjd, oftast drygt 25 m, före 80 års ålder.

Nästan all björk i skogslandskapet är naturligt föryngrad från frö eller stubbskott. Björken producerar stora mängder frön, men med stor variation mellan olika år. Fröet kan gro om det hamnar i en mikromiljö med jämn fuktighet och utan konkurrens från annan vegetation. Föryngringen är bättre på fuktiga än friska marker. När fröet har grott växer plantan snabbt om miljön är rätt. Den är känslig för annan vegetation, Därför är markberedning ofta nödvändigt. En rekommendation för en god björkföryngring är att markbereda på friska marker i anslutning till fröår.

Både vårt- och glasbjörk skjuter stubbskott. Glasbjörken skjuter fler stubbskott men vårtbjörkens växer snabbare. En stubbskottsföryngrad björk kan utvecklas till ett rakstammigt och kvalitetsmässigt bra träd.

På goda marker kan naturligt föryngrad vårtbjörk producera cirka 10 m^3sk per hektar och år och glasbjörk 8 m^3sk. I de produktionsstudier som publicerats är variationen stor. På jordbruksmark varierar torrviktsproduktionen mellan 0,5 och 7,5 ton torrsubstans per hektar och år. Trädslagens potentiella tillväxt kan bedömas med gemensamma höjdutvecklingskurvor för vårt- och glasbjörk.

Det är svårt att bedöma produktionspotentialen i naturligt föryngrade björkbestånd eftersom utgångsläget ofta inte är känt. Bland annat behövs mer kunskap om röjningsfasens betydelse för beståndets utveckling. Höjdutvecklingen är snabb inledningsvis, men avtar efter 15–20 års ålder.

Det finns flera studier av björkens produktion jämfört med andra trädslag, och de visar lite olika resultat. Naturligt föryngrad vårtbjörk kan producera likvärdigt med gran upp till 30 år, men granen är vinnare i längden med cirka 15 % högre tillväxt. Om björkens högre torrsubstanshalt vägs in är dock produktionen av biomassa mer likvärdig. Björkens densitet (torrsubstans per volymsenhet) är hög (480 kg/m^3) jämfört med gran (385 kg/m^3) och tall (415 kg/m^3). Variationen mellan och inom träd samt mellan ståndorter är dock stor.

Andra studier, baserade på Riksskogstaxeringen, visar att björk i genomsnitt producerar 40–60 % av granens och 60–70 % av tallens volymproduktion. De låga siffrorna gäller för hela landet och avser främst naturligt föryngrad björk jämfört med förädlad gran och tall. På jordbruksmark har björken dubbelt så hög tillväxt som gran under de första 8–9 åren. Det finns funktioner framtagna för både stamvolym och biomassavolym för björk.

Plantering av björk har liten omfattning idag, men har fördelen att det går att använda det genetiskt bästa materialet. Med ett bra genetiskt material kan planterad vårtbjörk på goda marker producera 10 m^3sk per hektar och år. Nivån är ungefär samma som för naturligt föryngrad björk men den erhålls med betydligt färre stammar. Dagens förädlingsprogram för vårtbjörk startade på 1980-talet. Det idag bästa frömaterialet (Ekebo 5) producerar ungefär 15–20 % bättre än oförädlad vårtbjörk.

För att behålla en hög tillväxt på de enskilda stammarna krävs en tillräckligt stor grönkrona. Det betyder att det är viktigt att röja i tid så att lövmassan bibehålls. Röjningsmallar som väger in stamantal och medelhöjd har tagits fram för björk.

Gallring är en viktig åtgärd för björkens dimensionsutveckling. En tumregel är att grönkronan aldrig bör understiga halva trädhöjden. En första gallring görs ofta ner till 800–1200 stammar vid en övre höjd på 10–12 meter i beståndet. Nästa gallring kan ske vid 15–17 meter, och kan följas av ytterligare gallringar. Slutbeståndet bör hålla cirka 400–500 stammar per hektar. Gallringsmallar för björk finns tillgängliga.

Björk förekommer ofta i blandning med andra trädslag. Den vanligaste blandskogsformen i Sverige är gran och björk. Blandskog med björk utgår ofta från en tvåskiktad skog där björken utgör en skärm över gran, antingen som en lågskärm som avverkas när granarna nått frostfri höjd, eller en högskärm som behålls tills den nått 10–12 meters höjd. Blandskogsbruk med björk och gran bygger på gradvis utglesning av björk, som volymsmässigt dominerar i det unga beståndet och som senare inriktas på gran.

Det har gjorts flera försök att beräkna tillväxten i blandskog med björk. Björkinblandningen leder till lägre tillväxt för granen, men i en tvåskiktad skog med björk som högskärm kan björkens produktion bidra till högre totaltillväxt. Det finns dock inget entydigt vetenskapligt stöd för att blandskog skulle leda till högre totalproduktion.

Lärk

Lärkar (*Larix* spp.) är en grupp ljuskrävande pionjärträdslag med arter över hela norra halvklotet. De använda lärkarterna i Sverige är tre: Rysk lärk (*L. sukaczewii* Dyl.), Europeisk lärk (*L. decidua* Mill.) och Hybridlärk (*L. marschlinsii* Coaz.). Rysk lärk är vanligast i norra Sverige medan hybridlärk dominerar i söder. Europeisk lärk har testats men är sparsamt använd efter 1970 på grund av sin mottaglighet för lärkkräfta. Rysk lärk betraktas som en inhemsk art och har därmed inga restriktioner i vare sig skogsvårdslagen eller certifieringssystem.

Lärken har relativt specifika ståndortskrav. De gör sig bäst på ståndorter med medelgod till god bonitet på friska marker. Sluttningar med rörligt markvatten förefaller vara optimala för lärk men även plana marker med god vattentillgång är lämpliga. Torra marker och marker med stillastående högt grundvatten bör undvikas, liksom alltför frostlänta lokaler. Sammanfattningsvis lämpar sig bättre tallmarker eller granmarker för lärk (Westin 2015). För anläggningsfasen rekommenderas plantering. Höstplantering med invintrade plantor är en robust fungerande metod men även vårplantering fungerar. Dock är lärken känslig för att starta skottskjutningen innan den hamnat i marken och kunnat tillgodogöra sig vatten (Westin 2015). Lärk utsätts i viss mån för betning i framför allt södra Sverige i små (< 2 ha) föryngringar (Larsson-Stern & Stener 2005). Fejning är ofta ett större problem än skottbetning då den oftare leder till att plantorna dör. Vinterbetning av älg är inte något stort observerat problem i norra Sverige. Slutsatsen är att inhägning av lärkplanteringar inte är motiverat annat än vid höga tätheter av vilt (Frisk 2011).

Lärk har snabb ungdomstillväxt och tidig kulmination av medeltillväxten jämfört med många andra trädslag. Det gör att den är mer skötselkrävande än andra trädslag om målet är timmerproduktion. Medeltillväxtens tidiga kulmination gör också att omloppstiderna för lärk är kortare än för exempelvis gran på samma mark. Kortare omloppstid ger högre nuvärde (Sonesson & Rosvall 2011). Vanliga omloppstider för hybridlärk i södra Sverige är cirka 40 år. För rysk lärk i norra Sverige är omloppstiderna längre, men betydligt kortare än för gran och tall.

Hybridlärk och rysk lärk är inte lika väl beforskade i Sverige som tall och gran. Hybridlärk på bördig mark i södra Sverige ger en medeltillväxt på ungefär 14,4 m^3sk/ha och år. Det är ungefär 30 % högre än för gran på samma mark (Westin 2015). Rysk lärk växer 10–25 % bättre än tall på medelgoda marker (Martinsson 1995). Ännu ej publicerade siffror från fältförsök visar på ännu större skillnader till den ryska lärkens fördel jämfört med gran och tall på de bästa lokalerna i norra Sverige efter 30 år.

Lärkvirkets egenskaper kännetecknas av hög densitet och tidig och hög kärnvedsandel jämfört med andra barrträd. En nyligen publicerad studie pekar på att kärnved av lärk har bättre motståndskraft än kärnved av tall och likvärdig motståndskraft som impregnerat virke när det gäller röta i kontakt med mark (Venäläinen 2019). Lärkvirkets användning är idag varierad. Det finaste importerade ryska lärkvirket med hög kärnvedsandel och klen kvist används för lekplatser och trall och försågas i mindre sågverk. Likvärdigt virke odlat i Sverige bör ge likvärdiga egenskaper, vara eftertraktat och betinga ett högt pris. Sämre kvalitéer av hybridlärk i södra Sverige som ändock nått timmergrovlek (~18–20 cm i topp) går ofta till pallkubb med lägre priser. Idag används de klenare dimensionerna till massaved där den, trots att den inte anses optimal, blandas med övriga barrträd i mixen (Magnusson 2020). Sammantaget präglas lärkmarknaden idag av brist på kontinuitet i virkesförsörjning vilket gör att få velat satsa på förädling av råvaran i större skala. Ett större intresse för både hybridlärk och rysk lärk har setts de senaste åren och trenden ser ut att fortsätta.

Skogforsk har etablerat ett permanent, långsiktigt förädlingsprogram för rysk lärk för att skapa populationer som täcker in hela Sverige. Under urvalsprocessen kommer det även att finnas möjlighet att bygga fröplantager direkt med det utvalda materialet. Frösituationen för både rysk lärk och hybridlärk är problematisk. I dagsläget finns det två svenska, aktiva fröplantager av rysk lärk, samt två vilande plantager. Den totala plantagearealen är liten och kan inte bära någon större produktion. I Finland finns sex aktiva plantager med rysk lärk. Det finns planer på att bygga ytterligare två små plantager i Finland och minst en i Sverige. För europeisk och japansk lärk görs förädlingen för varje trädslag separat. Historiskt har förädlingen riktats mot att skapa hybrider men i ett projekt kommer utvärdering av nya polska europeiska kloner att titta på möjligheterna att odla artren europeisk lärk. När det gäller hybridlärkfröplantager finns det i idag åtta i produktion i Sverige. Utöver dessa finns en ansenlig mängd mellaneuropeiska plantager som dock inte är testade för användning i Sverige. Sammanfattningsvis är produktionen per ytenhet låg i lärkfröplantager varför fröbristen troligen kommer fortsätta under överskådlig framtid.

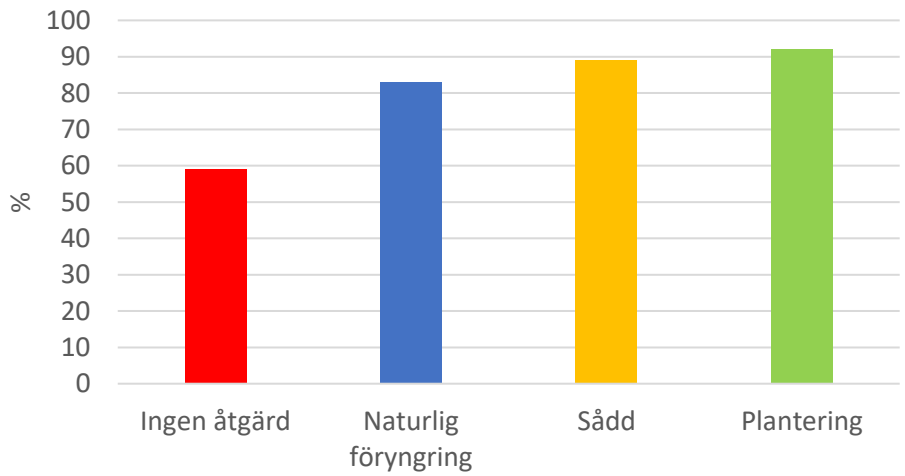
Utöver de ekonomiska, odlingstekniska och produktionsmässiga egenskaperna utgör lärk en annorlunda skog utseendemässigt som kan vara tilltalande för skogens sociala och ekologiska värden.

Produktionsnivåer och skötsel

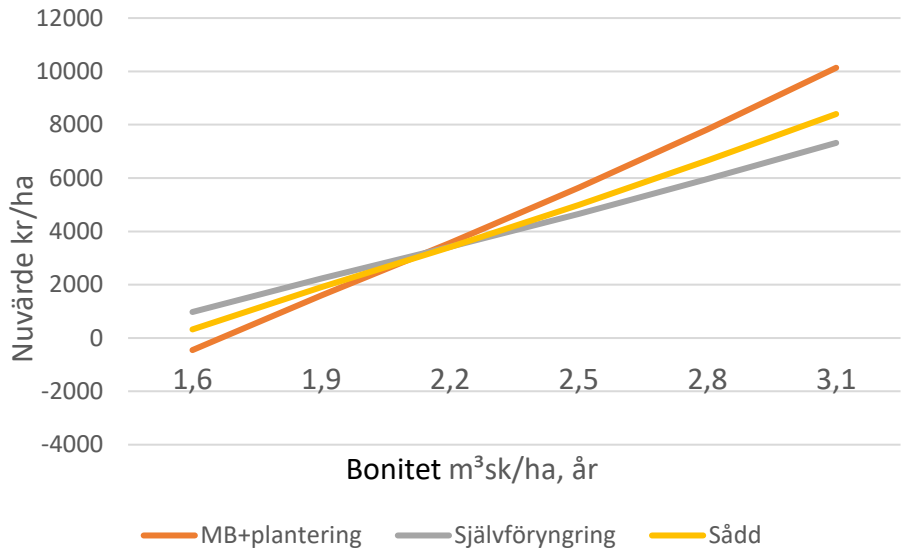
Föryngringsmetoder

Varje år avverkas och föryngras ungefär 200 000 ha skogsmark i Sverige. Drygt 85 % av arealen föryngras genom plantering och resterande areal genom naturlig föryngring, sådd eller utan aktiv åtgärd. Vilken metod som används varierar något över landet med en högre andel sådd ju längre norrut i landet man kommer. Utvecklingen i riket i stort har under senare år gått mot en allt högre andel markberedning med efterföljande plantering. I figur 3 redovisas andelen godkända föryngringar beroende på föryngringsmetod för perioden 2017–2020 enligt Skogsstyrelsens statistik. Markberedning med efterföljande plantering ger högst andel godkända föryngringar men är också den dyraste metoden och varierar beroende på vilken plantstorlek som används, var i landet man befinner sig och vilka skydd plantorna behöver förses med. Plantering ger också snabbast etablering av ett nytt bestånd och har högst potential för en hög virkesproduktion genom att man kan utnyttja högförädlat material. En förutsättning för detta är emellertid en hög plantöverlevnad i föryngringarna vilket inte alltid är fallet. Naturlig föryngring genom fröträd och sådd lämpar sig bäst på magrare marker och här krävs oftast någon form av markberedning för att få ett bra tillslag. Fördelen med sådd jämfört med fröträd är att man har möjligheten att använda förädlat frö och fördela dessa jämnt över arealen. Det tar ca 2–4 år för tall och 4–7 år för gran innan en såddförökad planta når samma storlek som den planterade plantans storlek.

De olika föryngringsmetoderna ger också olika kostnader i senare skeden av föryngringskedjan då behovet av främst hjälpplantering och röjning kan variera mycket. Vilken metod som är mest lönsam påverkas i hög grad vilken räntesats man använder i föryngringskalkylen. I figur 4 visas ett exempel på en nuvärdeskalkyl för olika föryngringsmetoder baserad på 2 % ränta där markberedning med efterföljande plantering ger högst avkastning om boniteten är högre än 2,2 m³sk/ha och år (Hajek personlig kommunikation)). Ju lägre räntesats man använder desto lönsammare blir traditionell markberedning och plantering som är dyrast initialt jämfört med de mer extensiva metoderna.



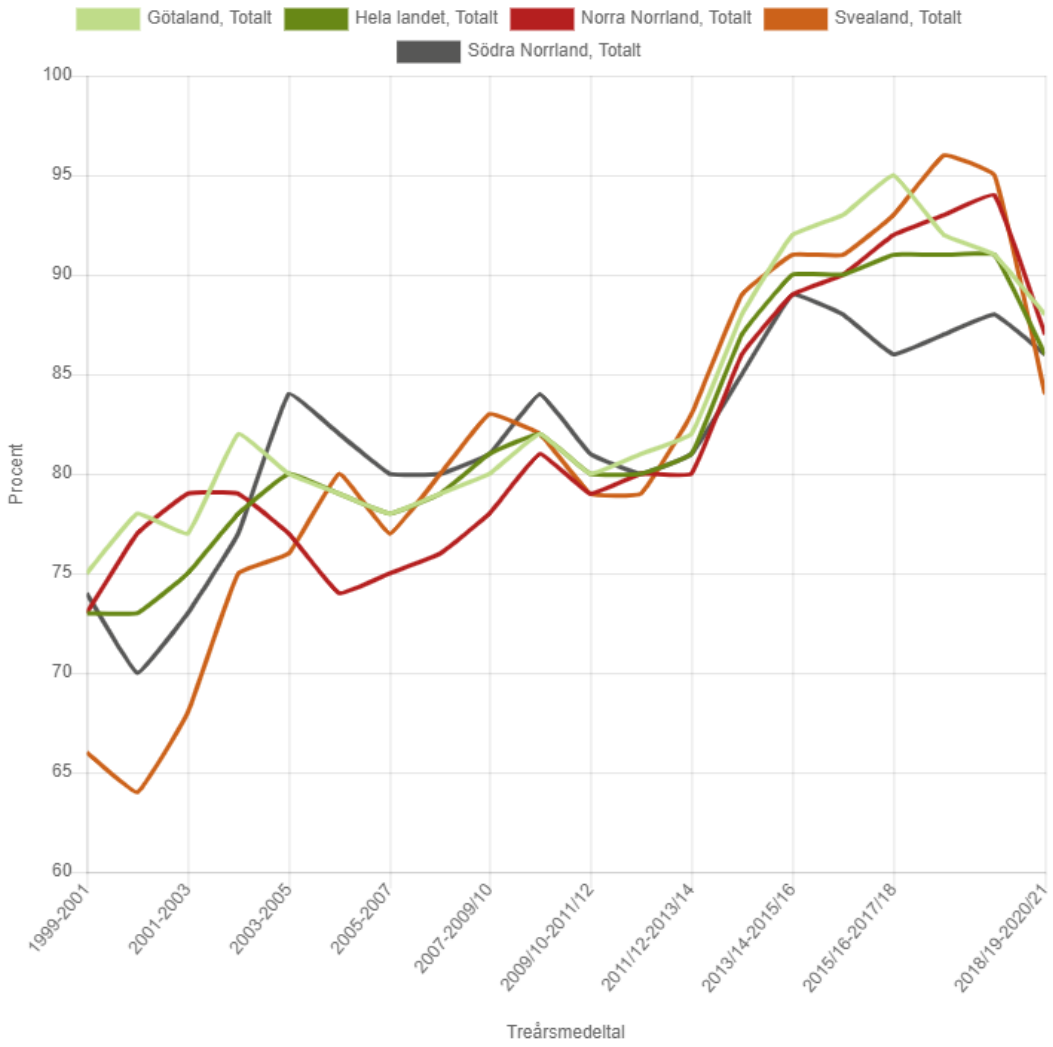
Figur 3. Andelen godkända föryngringar för perioden 2017–2020. (Källa: Skogsstyrelsen)



Figur 4. Nuvärdeskalkyl för olika föryngringsmetoder vid 2 % kalkylränta (principiellt exempel).

Ökad plantöverlevnad

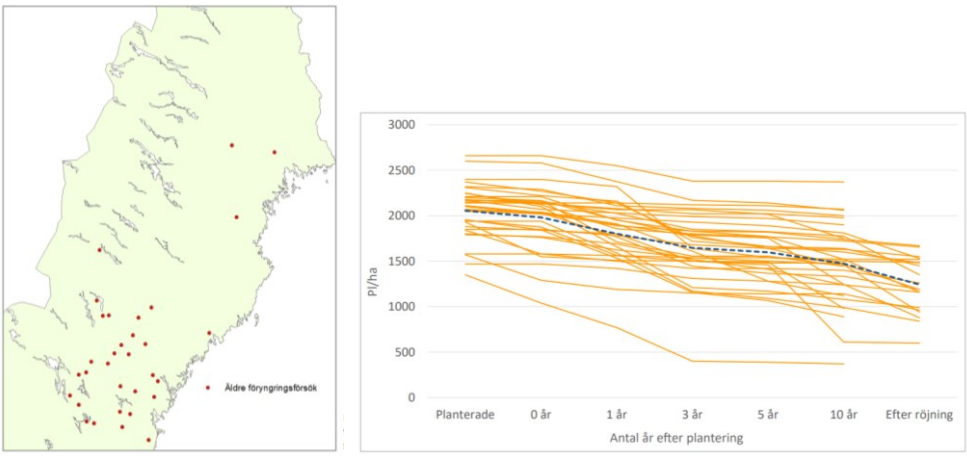
Skogsstyrelsen utför sedan 1999 årliga rikstäckande återväxttaxeringar för att kontrollera att antalet huvudstammar uppfyller skogsvårdslagens krav. Inventeringarna utförs fem år efter avverkning i södra Sverige och sju år efter avverkning i norra Sverige. Andelen godkända föryngringar har haft en positiv utveckling sedan millennieskiftet (Figur 3). Det senaste resultatet (treårsmedelvärde för 2018/19–2020/21) visar dock på en minskning av den godkända föryngringsarealen till 86 procent. Orsakerna är oklara men en möjlig anledning kan vara den torra sommaren 2018 (Skogsstyrelsen personlig kommentar). Det senaste året uppvisar föryngringsmetoderna plantering och sådd ett resultat något över den totala godkända arealen, 88 respektive 91 procent. Naturlig föryngring uppvisar fortsatt ett sämre resultat, 73 procent. Där ingen föryngringsåtgärd har vidtagits är 59 procent av föryngringsarealen godkänd. Denna areal utgör dock endast ca tre procent av föryngringsarealen.



Figur 3. Andel godkända föryngringar enligt skogsvårdslagen (Källa: Skogsstyrelsen).

Skogsstyrelsens inventeringar ger ingen information över hur många av de planterade plantorna som överlevt då även självföryngrade plantor räknas in som huvudstammar. Exempelvis svarar björk som huvudsakligen är självföryngrad för ca 14 procent av huvudplantorna under den senaste uppföljningsperioden (Skogsstyrelsen 2021c).

Nyligt utförda studier där enbart planterade plantor följs visar att en stor andel av de planterade plantorna dör redan under de första åren efter plantering. I en norrländsk studie som baserats på inventeringsdata från sammanlagt 32 trakter och 320 provytor var den genomsnittliga överlevnaden för de planterade träden 69 procent efter tio år och 61 procent efter röjning. I genomsnitt planterades 2054 plantor per hektar varav endast 1 244 plantor var kvar efter den första röjningen. (Gålnander, Berlin & Sonesson 2020) (Figur 4).



Figur 4. Positioner för de 32 föryngringsförsöken (vänster) och den procentuella överlevnaden per trakt (höger) från plantering fram till efter första röjning. Varje linje representerar medelvärdet på en trakt och den streckade linjen visar medelvärdet för alla trakter.

I en annan mer rikstäckande studie utnyttjades inventeringsdata från 32 894 ungskogsbestånd (1–4 m) från den årliga älgbetesinventeringen Äbin (Ara m.fl. 2021). I studien jämfördes valt trädslag vid föryngring med faktisk trädslagsfördelning vid inventeringen. Studien visade att endast en tredjedel av arealen som föryngrats med tall också var talldominerad vid inventeringstillfället och innehöll mer än 1 500 tallar/ha. För gran var siffrorna något bättre, där 60 % av arealen som föryngrats med gran också var grandominerade vid inventeringstillfället. En slutsats från denna studie är att man ofta inte får de barrdominerade skogar som man hade som avsikt att skapa vid föryngringen utan i stället får blandbestånd med en hög andel självföryngrade löv och barrplantor. Detta innebär att en betydande del av vinsten med förädlat plantmaterial går förlorad.

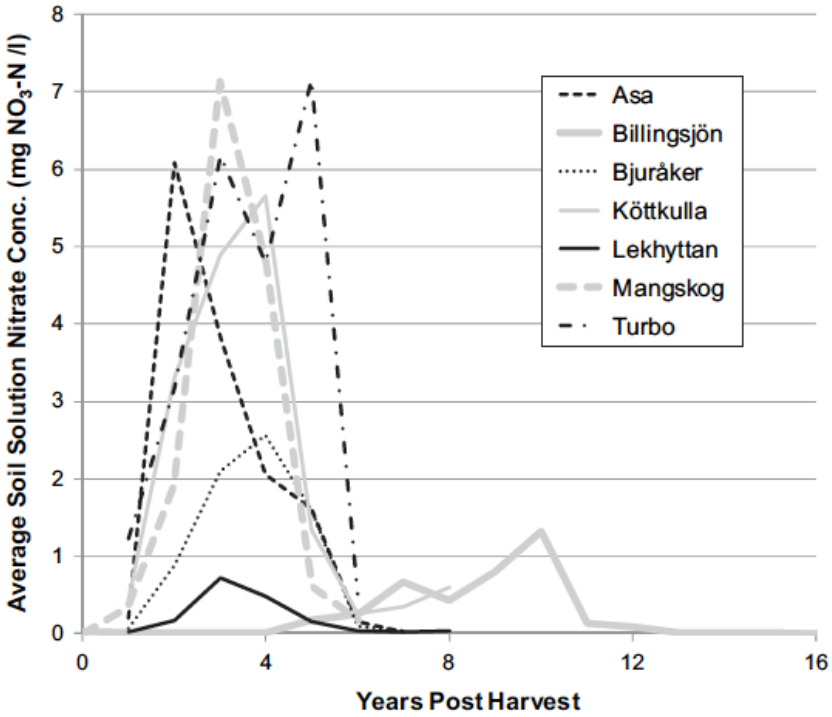
Betydelsen av en hög plantöverlevnad för framtida skogsproduktion har även belysts i MINT-utredningen (Möjligheter till Intensivodling av Skog), ett simuleringsarbete som utförts av Sveriges Lantbruksuniversitet på uppdrag av regeringen. I arbetet testades effekten av att alltid lyckas få 2 000 överlevande planterade plantor i föryngringarna. Resultatet visade att mer än hälften av den möjliga tillväxtökningen, för alla tillväxthöjande åtgärder som sammantaget undersöktes i studien, kan komma från lyckade föryngringar. Ökad överlevnad för förädlade plantor tillsammans med förkortad hyggesvila och minskad andel sådd och naturlig föryngring utgjorde de mest betydelsefulla delarna (Nilsson m.fl. 2011).

Orsakerna till de höga plantavgångarna i föryngringar är till stora delar oklara. Troligtvis samverkar flera olika faktorer. Tills vidare rekommenderas markberedning och plantering framför sådd och naturlig föryngring då det generellt sett ger bättre resultat. Vidare rekommenderas noggrannhet i samtliga led av föryngringskedjan med kvalitetskontroll av plantorna och en väl utförd markberedning och plantering.

Kortare kalmarkstid

Varje år som kalmarkstiden kan förkortas ger vinster i virkesproduktionen. Detta beror dels på tidsvinsten (kortare omloppstid), dels på minskad konkurrens från annan vegetation, som gräs och lövuppslag. Teoretiska beräkningar visar att en halverad kalmarkstid kan öka tillväxten med 2,5 till 3,5 % per omloppstid (Rosvall m.fl., 2004). Snabb etablering är avgörande för att plantorna ska kunna tillgodogöra sig den

näringspuls som uppstår efter avverkningen. Futter m.fl. (2010) studerade koncentrationen av nitratkväve i marklösningen efter avverkning (Figur 5). Tillgången på nitratkväve var hög i 5–6 år efter avverkning för att sedan sjunka snabbt. Detta mönster kan förklaras av en snabb tillväxt av främst gräs, bärris och löv som utnyttjar det frigjorda kvävet. En snabb etablering av de planterade barrplantorna är därför viktig för att plantorna ska hinna ta del av det frigjorda kvävet. När barrplantorna konkurrerar bättre, gynnas även senare led i föryngringen. Bland annat kan behovet av röjning minska (Rosvall m.fl., 2004). Generellt sett gynnar moderna föryngringsmetoder (markberedning och plantering) även skogens slutenhet och därmed även trädens potential att producera skadefritt kvalitetsvirke. Att korta kalmarkstiden innebär generellt sett inga extra kostnader och bör, där så är möjligt, tillämpas fullt ut.



/

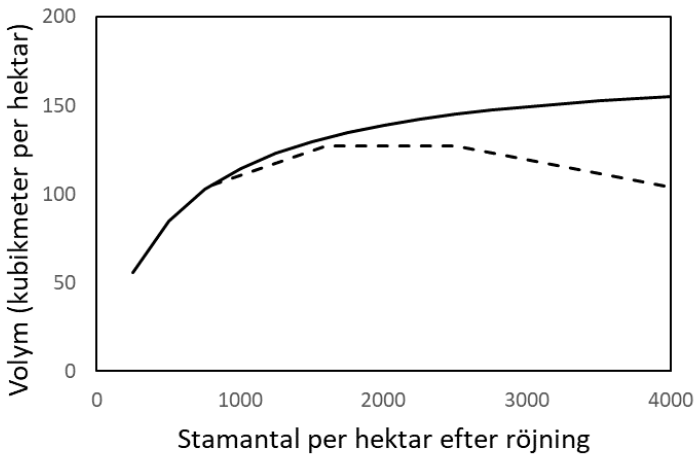
Figur 5. Medelvärden av nitratkväve i marklösningen efter avverkning i de sju olika försöksområdena. Förhöjda koncentrationer av nitratkväve varade i 5–6 år efter avverkningen för att sedan snabbt falla.

Plantgödsling

Under senare år har försök gjorts med gödsling av plantor i samband med plantering. Det finns några olika produkter som tagits fram för ändamålet. Försöken visar på positiva tillväxteffekter främst vid plantering i mineraljord och på lägre boniteter. Det är ännu för tidigt att skatta effekten av gödslingen då den är beroende av flera samverkande faktorer som bonitet, trädslag samt markberedningens och plantornas kvalitet, val av planteringspunkt, plantornas storlek, planteringstidpunkt (vår/höst) samt om plantorna belagts med snytbaggeskydd eller inte.

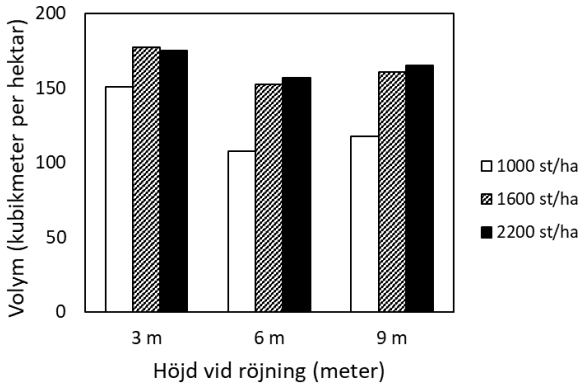
Röjning

Röjningens huvudsakliga syfte är att genom utglesning fördela markens produktionsförmåga på ett trädbestånd som bäst motsvarar målsättningen med skogsskötseln. Röjning ökar inte den totala volymproduktionen men påskyndar produktionen av gagnvirke. Studier i föryngringar med tall och gran har visat ett positivt samband mellan stamantal efter röjning och total stående volym vid förstagallring (Figur 5) (Pettersson 1993, Varmola & Salminen 2004, Pettersson 2015). Röjning till mycket glesa förband (< 1000 stammar per hektar) kan dock leda till betydande förluster i volymproduktion (Figur 5). Att lämna tätare förband än dagens rekommendationer (> 2000 stammar per hektar) leder däremot inte till någon större ökning av totalproduktionen (Figur 5). Produktionen i oröjda och mycket täta bestånd riskerar dessutom gå förlorad till följd instabilitet och utsatthet för snöbrott (Persson 1972). Jämnheten i förbandet verkar vara av mindre betydelse för produktionen i ungskogen (Ara m.fl. 2021). Att satsa på växtkraftiga och vitala träd är därför att föredra jämfört med en prioritering av klenare individer med syftet att uppnå ett jämnt förband (Ruha & Varmola 1997). Större luckor bör naturligtvis undvikas om markens produktionsförmåga ska utnyttjas till fullo. Tidpunkten för röjningsinsatsen påverkar också produktionen. Vid ett givet förband medför en tidig röjning att resurserna i ett tidigare skede styrs över på det kvarvarande beståndet jämfört med sen röjning. Tidig röjning kan på så vis ge en snabbare dimensionsutveckling än sen röjning (Figur 6) (Varmola & Salminen 2004, Huuskonen & Hynynen 2006).



Figur 6. Samband mellan stamantal efter röjning och total stående volym (heldragen linje) samt volymen för träd med en diameter över 10 cm vid en övre höjd på 12 m (streckad linje) på medelbonitet. Efter funktioner av Pettersson (1993) som bygger på röjning i trädslagsrena bestånd med gran.

Röjningen ökar inte totalproduktionen, men genom att gynna dimensionsutvecklingen fördelas volymen på grövre träd (Figur 6). Därigenom kan röjningen öka andelen gagnvirke vid en viss tidpunkt. En snabbare dimensionsutveckling kan också bidra till en kortare omloppstid (Pettersson m.fl. 2017). En annan viktig effekt av röjning är minskade avverkningskostnader. Produktiviteten hos dagens avverkningsteknik är känslig för dimensionen hos de avverkade träden (Brunberg 1997). Särskilt i tidiga gallringar kan därför eftersatta bestånd leda till höga avverkningskostnader.



Figur 7. Volym vid 14 meters övre höjd efter röjning av tall i Finland till olika förband och vid olika tidpunkt. Efter Varmola & Salminen (2004).

Genom röjning går det att påverka kvaliteten på det framtida virket. Under ungskogsfasen danas kvaliteten på den nedre, ekonomiskt mest betydelsefulla, delen av stammen. Grendiametern är en viktig faktor vid bedömning av timmerkvaliteten och är en egenskap som har studerats i samband med röjning. Genom att behålla en högre konkurrens under en längre tid kan grendiametern reduceras. Försök i tall har visat att både ett högt stamantal efter röjning och senarelagd röjning ger klenare kvist (Varmola & Salminen 2004, Fahlvik m.fl. 2005). I studien av Fahlvik m.fl. (2005) var effekten av förbandet störst vid förband till en täthet av 3000 stammar per hektar. Vid tätare förband är effekten på grendiameter liten. I försök med tall i Finland var grendiametern vid 35 års ålder cirka 3 mm grövre vid tidig (3 meter) jämfört med sen röjning (6 meter) (Varmola & Salminen 2004). I den senare studien var effekten av röjning på grendiametern inte lika uttalad för de grövsta träden. Som framgår står åtgärder som gynnar produktionen och minskar grendiametern i motsatsförhållande till varandra. Att lämna ett bestånd oröjt innebär att kvaliteten äventyras. Särskilt i tallskog riskeras att så kallade vargar, det vill säga förväxande individer, oftast av låg kvalitet, tar överhanden (Makrickiene 2017). Även oönskade trädslag kan ta över i det oröjda beståndet. Röjningen har en viktig selektiv effekt, då vitala träd av önskat trädslag och god kvalitet kan gynnas medan vargar avlägsnas.

I röjningsförsök har i huvudsak röjningens effekter i trädslagsrena bestånd med tall och gran studerats. I praktiken planteras huvudträdslaget normalt i ett förband som kan behållas fram till förstagallring. I en lyckad föryngring handlar röjning därför om att minska konkurrensen från naturligt föryngrade träd. Dagens föryngringsmetoder gynnar framför allt naturligt föryngring av björk. Granen tål konkurrensen från förväxande björk bättre än tallen men lövröjning är normalt nödvändig för att dimensionsutvecklingen hos granen inte ska hämmas. Björken kan också ge upphov till piskskador på barrträd som växer i höjd med björken krona (Frivold 1982). Röjningstidpunkten är en avvägning mellan behovet av att minska konkurrensen från björken och risken för ett förnyat röjningsbehov av björkens stubbskott om röjningen görs för tidigt. Det är möjligt att dra nytta av björkens initialt höga tillväxt. I granföryngringar kan en lågskärm av björk vara ett sätt att minska uppslaget av stubbskott (Andersson 1984). Ett alternativ med björkskärm under första delen av omloppstiden kan också ge en merproduktion jämfört med alternativ där björken röjs bort tidigt (Bergqvist 1999, Johansson 2001). Merproduktionen i skärmalternativet sker normalt till priset av en långsammare dimensionsutveckling hos granen (Johansson 2001). Förstagallringen kan också vara ett

problem eftersom behovet av gallring i björken kan uppkomma innan granen har uppnått gagnvirkesdimension. En lägre dimensionsutveckling hos granen och etableringen av ett stickvägsnät i den unga skogen kan påverka ekonomin, bland annat genom en förlängd omloppstid (Jacobson 2015). Metoden kräver god påpasslighet vilket gör den svårare att planera. Tallen har en snabbare initial tillväxt än granen men är sämre på att klara konkurrensen från förväxande björk. Dessutom tyder studier på att överskärmande björk kan öka risken för betesskador på tallen (Bergqvist m.fl. 2014).

I en finsk simulering över röjningens effekter på landskapsnivå fann författarna att sen eller utebliven röjning minskade produktionen av timmer (Haikarainen m.fl. 2021). Enligt denna studie bör bördiga marker prioriteras eftersom situationen förändras snabbast på dessa marker med en snabbt tilltagande röjningskostnad.

Skadegörare och kalamiteter

Viltskador

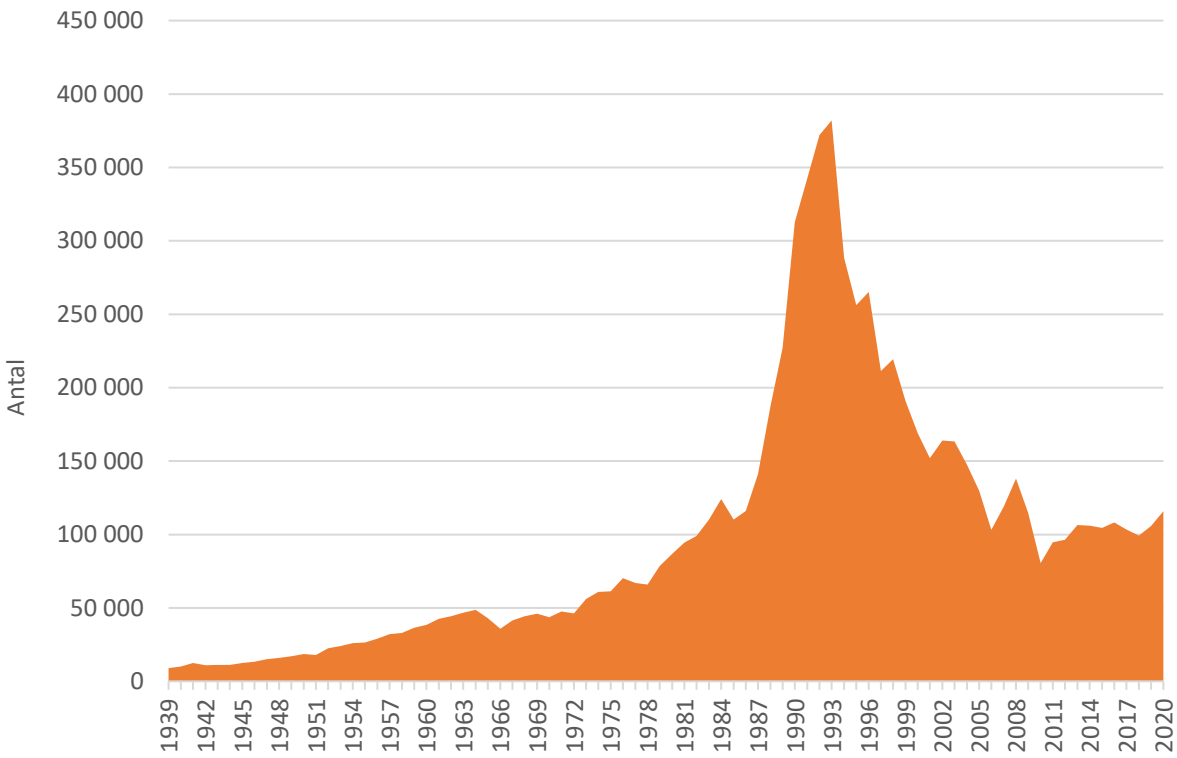
Flera av våra skogslevande viltarter kan påverka skog och jordbruksgrödor negativt. Med det menas att deras påverkan får negativa ekonomiska konsekvenser eller är ett hinder för att nå uppsatta naturvårdsmål. Bergström (2004) gjorde en sammanställning över arter och deras inverkan på olika typer av grödor. Tabellen har uppdaterats för att återspegla aktuell situation 2021 (Tabell 6).

Tabell 6. Subjektiv bedömning av med vilken omfattning olika problem kopplat till vilda växtätare och grödor uppmärksammats i Sverige. * = lite uppmärksamhet, ** = viss uppmärksamhet, *** = stor uppmärksamhet. De angivna avskjutningssiffrorna har hämtats från www.viltdata.se (Svenska Jägareförbundets Viltövervakning). Tabell modifierad från Bergström (2004).

	Ungefärlig årlig avskjutning	Skador på plantor	Skador på unga träd	Skador på vuxna träd	Skador på jordbruks-grödor	Biologisk mångfald
Älg	80 000		***		**	*
Rådjur	110 000	**				
Kronhjort	11 000		*	**	*	
Dovhjort	70 000				**	*
Vildsvin	160 000	*			***	*
Fälthare	25 000	*			*	
Skogshare	13 000	*				
Växtätarsamhället	470 000	**	**		**	**

Skador i plantskog

Plantskador har registrerats under lång tid, men problemet blev mer uppmärksammat då rådjursstammen ökade kraftigt på 1980-talet (Figur 7). Då kunde 60–70 % av plantorna vara betade redan något år efter plantering (Bergström m.fl. 2003). Sedermera har rådjurspopulationen sjunkit och så även plantskador orsakade av rådjur. Det är dock svårt att avgöra om sambandet är rätlinjigt eller kurvlinjärt. Skador av rådjur anses vara ett fenomen från Mälardalen och söderut (Bergström 2004).



Figur 8. Avskjutning av rådjur i Sveriges under perioden 1939–2020. Data har hämtats från www.viltdata.se (Svenska Jägareförbundets Viltövervakning).

Enligt Skogsstyrelsens återväxtuppföljning (före 2015 benämnt Polytax P5/7) har betesskador på tallplantor ökat sedan början på 2000-talet. Andelen toppskadade huvudplantor av tall låg på 7–8 % under mitten av 1990-talet (Strömberg m.fl. 2001), men hade ökat till 15–18 % i Svealand och Götaland, enligt ett pressmeddelande från Skogsstyrelsen (2017). Skadorna låg på 4 % respektive 8 % i norra respektive södra Norrland. En ökande rådjursstam i de södra regionerna var en trolig förklaring, enligt pressmeddelandet. I de norrländska siffrorna ingår förmodligen en del älgbete (Bergström 2004). Granplantor betas i lägre grad än tallplantor (Strömberg m.fl. 2001), men i högre grad än granar i höjden 1–4 m. Under försommaren 2021 gjordes en inventering av rådjursbete på plantor < 1 m höjd på Gotland. Resultatet visade att 12 % av tallarna och 21 % av granarna < 1 m höjd hade betesskador (Skogsstyrelsen, 2021). Gotland är starkt talldominerat medan granplantor är ett betydligt ovanligare inslag i vegetationen, något som kan bidra till att granplantorna betas i högre proportion.

Bete på unga plantor kan få allvarliga effekter. När skadorna som regel är lågt placerade, ofta i det som kommer att utgöra stubben efter en avverkning, är det framför allt effekterna på tillväxt och vitalitet som blir kännbara. En studie visade att dödligheten hos tallplantor som klipptes första året efter plantering låg på ca 50 % eller mer (Wallgren m.fl. 2014). Även höjdtillväxten blev eftersatt av bete, särskilt vid upprepade betestillfällen. Vissa strukturförändringar, som till exempel flerstammighet, kan etableras av tidigt plantbete och sedan finnas kvar hos tallen som en kvalitetsdefekt i äldre stadier (Wallgren m.fl. 2014). Effekterna på granplantor är däremot mindre än man tidigare befarat, enligt Bergström m.fl. (2003). Dödligheten ökar något, men flerstammighet uteblir. Tre vintrars bete reducerar planthöjden med ungefär ett års tillväxt. Tall drabbas hårdare av plantbete än gran, och försvagas med större effekt på tillväxt än hos gran. Tall

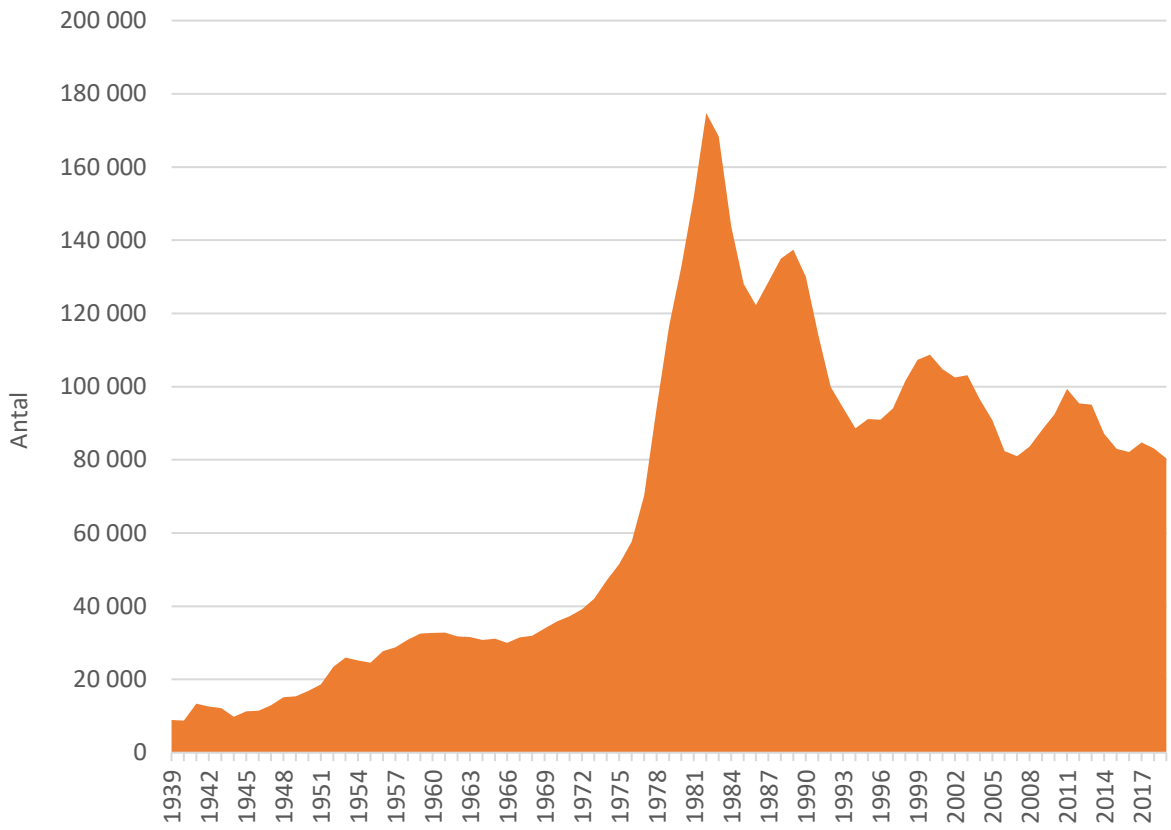
är också mer känslig för konkurrens från omgivande vegetation. Skador på lövplantor är mindre studerade, men kan generellt bedömas ligga på samma nivå som för tall. Kullberg och Bergström (2001) visade att 20–80 % av försöksplantor av olika arter betades någon gång under en vinter.

Rovdjurens predation och väderförhållanden är begränsande faktorer för rådjurspopulationen. Även jakt och fodertillgång påverkar. För att reducera skador kan skogsägaren välja trädslag och planttyp. Gran är säkrare än tall och barrotsplantor säkrare än täckrot. Behandling med repellenter minskar skaderisken, men är dyrt. Stängsel är effektivt, men kostsamt. Elstängsel är mindre effektiva än nätstängsel. Utfodring kan minska skadorna på plantor i närheten, men också locka till sig mer vilt eller ombalansera näringsintaget, varför totaleffekten är högst osäker.

Ekonomiska konsekvenser av viltskador på plantor har inte bedömts i någon större omfattning.

Skador i ungskog

Älgen är en stor skadegörare i ungskog, framför allt på tall. Älgstammens storlek var som störst under 1980-talet och har därefter minskats genom jakt (Figur 8). Skadorna från älgbete uppkommer i stor utsträckning på vintern, men även sommarbete kan ge betydande skador (Bergström m.fl. 2008). Älgen åsamkar det svenska skogsbruket kostsamma kvalitets- och tillväxtförluster (Nilsson m.fl. 2016) samtidigt som den genom jakt och kopplade aktiviteter genererar stora värden (Mattsson m.fl. 2014). Nyare sammanställningar av älgjaktens värde saknas, men utifrån en enkätstudie från 2005/06 angavs ett bruttojaktvärde på 1,4 miljarder kr per år, där rekreationsvärdet utgjorde mer än hälften (Mattsson m.fl. 2008). Förutom älg kan kronhjort också orsaka skador i ungskog, men i mycket liten omfattning ur ett nationellt perspektiv.



Figur 9. Avskjutning av älg i Sverige under perioden 1939–2019. Data har hämtats från www.viltdata.se (Svenska Jägareförbundets Viltövervakning).

Det mesta betet från älg sker när tallarna är 0,5–4 m. Det är såväl sidoskott som toppskott och bark som betas. Gemensamt för de skador som uppkommer är att de inte växer bort med tiden. Det finns ett samband mellan älgpopulationens storlek och storleken på skador, men det är inte linjärt (Bergström, 2004; Bergqvist m.fl. 2014). En avgörande faktor är hur mycket hyggen och ungskog det finns per älg. Detta förhållande förblir konstant (Lavsund 2003) trots att älgstammen minskar, om ungskogsarealen reduceras i motsvarande grad. Den nuvarande trenden är att mängden foderproducerande ungskog minskar i Norra Norrland och Götaland, medan den är konstant i Svealand och ökande i Södra Norrland (Skogsstyrelsen 2021). Utöver förhållandet mellan älgar och foder finns också en stor årsvariation i skadebilden. Sådan variation kan bero på till exempel snöförhållanden.

I en tidigare studie av Bergström m.fl. (2005) konstaterades att älgar i genomsnitt utnyttjade 7 % av tallarna i ungskog, det vill säga ungefär var trettonde. Aktuella Äbin-data anger övergripande skadenivåer på över 10 % av tallarna för samtliga regioner, dock med variation på älgförvaltningsområdesnivå (Skogsstyrelsen 2021). Björk betas i samma utsträckning som tall medan mer attraktiva arter som rönn och asp betas hårdare (Bergström m.fl. 2005).

Älgskadorna orsakar såväl kvalitets- som tillväxtförluster. Enligt en rapport från Skogsstyrelsen (2019) ligger kostnaderna för betesskador på omkring 1,15 miljarder kr per år för skogsägarna. Utöver detta tillkommer kostnader om ca 100 miljoner kr per år för motåtgärder för att minska risken för betesskador. Nuvarande skadenivåer beräknas

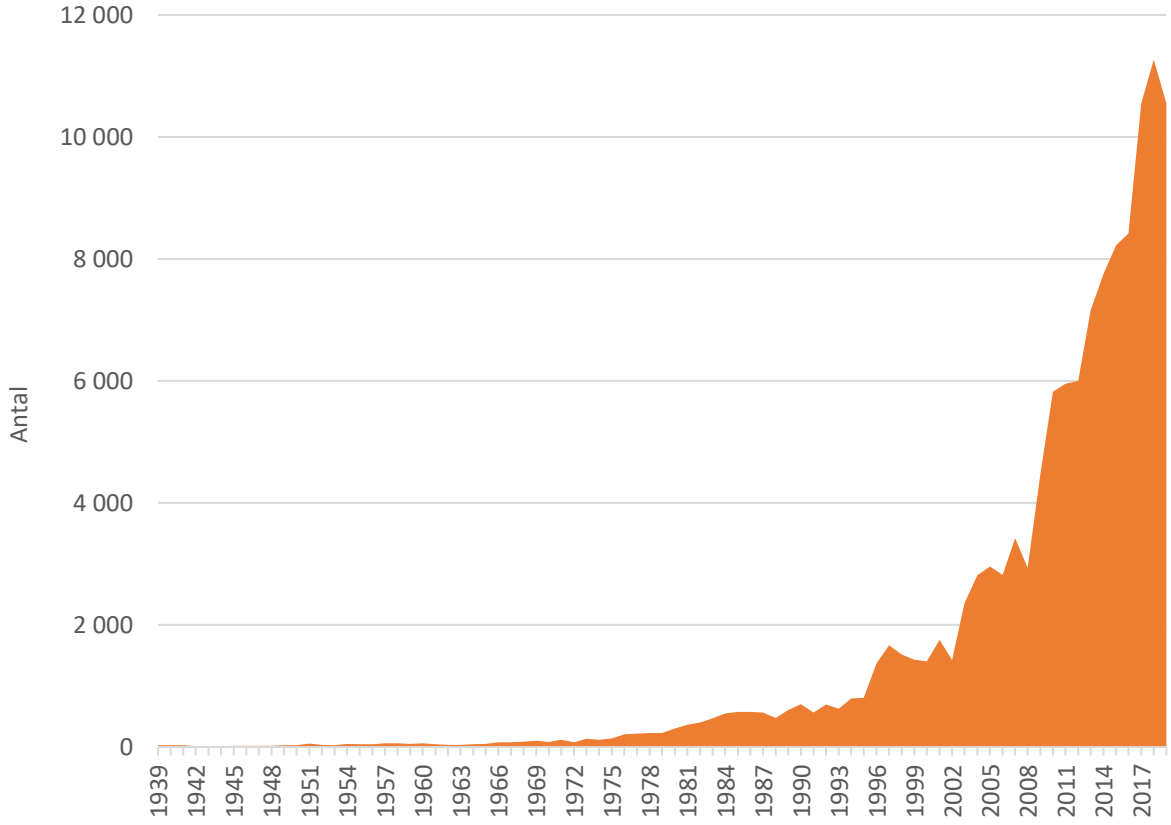
minska tallskogens tillväxt med 6,4 miljoner m^3sk/år, vilket innebär en sammantagen samhällsekonomisk kostnad på totalt 7,2 miljarder kr per år och då inkluderas förädlingsvärdet (Skogsstyrelsen, 2019). I en simuleringsstudie undersökte Nilsson m.fl. (2016) effekterna av olika nivåer av betesskador på tallproduktionen. Vid en skadenivå på 10–15 % av stammarna i ungskog fanns en produktionsförlust som var skönjbar även i ett långt perspektiv. Det var i första hand ökad mortalitet och försämrad höjdtillväxt som bidrog till den nedsatta produktionen och effekterna var störst på de lägsta boniteterna. Ekonomiska förluster var dock betydande redan vid en skadenivå på 2 % av tallstammarna.

Hur kan skadorna minska? Jakt som håller nere älgstammen är det kraftigaste verktyg vi har. Stora rovdjur har ökat i Sverige sedan älgstammens toppår i början på 1980-talet, men predationen har sannolikt en ganska liten effekt på antalet älgar, särskilt i ljuset av att jägarna kan anpassa avskjutningen efter förekomst av till exempel vargrevir (Gicquel m.fl. 2020). Det krävs 20–40 ha för att föda en älg med såväl tall- som energiskog (Bergström & Glöde, 2004). Genom viltanpassad skogsskötsel med till exempel satsning på höga planttätheter av tall, senarelagd röjning av ungskog och gynnande av foder i äldre skog kan de slutliga skadenivåerna i tallskog minskas. Så kallade foderskapande åtgärder som tillgängliggörande av slutavverkningsavfall och kvävegödsling på lämpliga ställen (t.ex. kraftledningsgator) kan också bidra till att öka fodertillgången och därmed minska den skada som drabbar de värdefulla framtidsstammarna. Generellt tenderar foderskapande åtgärder att vara kopplade till små arealer eller punktinsatser, medan viltanpassad skogsskötsel kan tillämpas mer storskaligt inom ramen för det vanliga skogsbruket. Dock innebär viltanpassad skogsskötsel ofta en sänkning av skogens produktion genom ökad konkurrens i ungskog eller lägre volymer i äldre skog, medan foderskapande åtgärder kan utföras med ringa påverkan på produktionsskogen. Oavsett strategi (d.v.s. ökad jakt, viltanpassad skogsskötsel eller foderproducerande åtgärder) är viktigt att älgpopulation och fodertillgång ligger på rätt nivåer i förhållande till varandra för att minimera skador på skog och negativa effekter på älgen vad gäller vikt, reproduktion och dödlighet (Bergström m.fl. 2005). Viltskyddsmedel skulle möjligen kunna användas, men blir förmodligen dyrbart och effekten är osäker. Stängsling fungerar, men är dyrt och riskerar att bara flytta problemet (Bergström, 2004).

Kronhjortsskador

Kronhjort ökar i antal och utbredning i Sverige och med dem en relativt ny problematik: barkgnag på gran. Även om fenomenet har varit känt sedan länge (t.ex. Sjöström, 1961) har uppmärksamheten som tillägnats kronhjortens barkgnag ökat markant bara de senaste tio åren, sannolikt som en effekt av att populationen också ökat snabbt (Figur 9). Det är inte fastställt varför kronhjort, som biologiskt sett är en så kallad blandätare (d.v.s. anpassad för en diet av både kvistfoder och fältskikt; Spitzer 2019) gnager bark på gran. En studie visade att de totala skadenivåerna var betydligt högre i Skåne (80–90 %) jämfört med Södermanland-Östergötland (2–46 %), trots att populationstätheterna av kronhjort inte var högre i Skåne (Jarnemo & Månsson 2011). I stället visade studien att risken för omfattande barkgnag på gran ökade med ökande andel jordbruksmark och minskande tillgång på alternativ föda i skogen. De granbestånd som skadats svårt var ofta små och täta skogspartier insprängda i jordbrukslandskapet, vilka är typiska habitat som kronhjorten söker skydd i, men som innehåller lite fältskikt. Barkgnag som blottar veden hos gran innebär missfärgning och andra kvalitetsförsämringar av stammen, samt ökar risken för angrepp av skadesvampar eller att stammen försvagas och lättare bryts av vind.

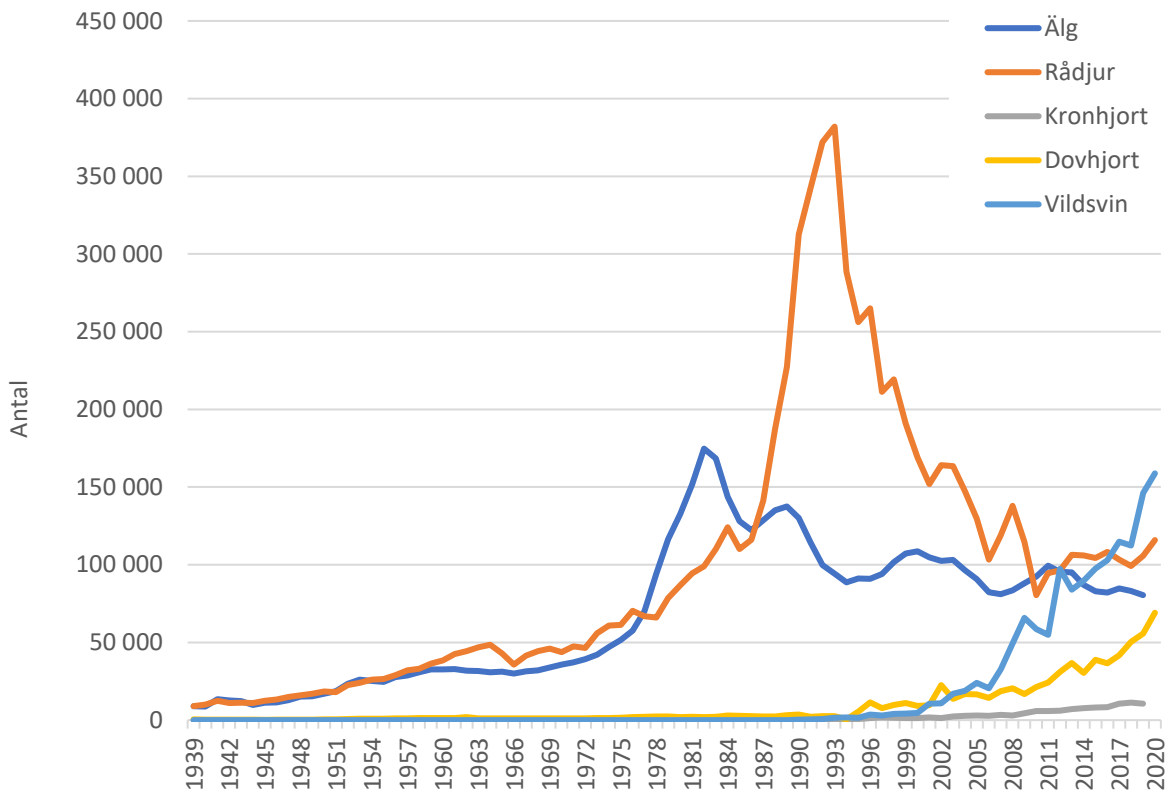
Beräkningar gjorda av Skogsstyrelsen anger en halvering av intäkterna från ett granbestånd med 75 % skadade stammar där slutavverkningen har tidigarelagts med 20 år (Peil 2013). I nuläget finns ingen samordnad inventering som skattar barkgnag på gran nationellt.



Figur 10. Avskjutning av kronhjort i Sveriges under perioden 1939–2019. Data har hämtats från www.viltdata.se (Svenska Jägareförbundets Viltövervakning).

Klövviltsamhället

Utöver de klövviltsarter som nämnts i sammanhangen ovan har Sverige ytterligare två arter i betydande numerär: dovhjort och vildsvin. Avskjutningen av vildsvin har med råge passerat den för älg och rådjur (Figur 10), vilket innebär att vildsvin numera är vårt vanligaste klövvilt. Avskjutningen av dovhjort är också kraftigt stigande. De här två arterna är inte några utpräglade kvistätare, även om dovhjort betar på såväl barr- och lövplantor som unga lövträd. Dovhjort väljer i stället en större andel gräs och örter av olika slag i sin diet jämfört med övriga klövvilt (Spitzer 2019). Vildsvin betar i liten utsträckning direkt på trädplantor, men deras bökande har visat sig kunna minska både föryngring och överlevnad hos lövplantor av olika arter med potentiellt negativa effekter för biologisk mångfald (Bong m.fl. 2017).



Figur 11. Avskjutning av fem klövviltsarter i Sveriges under perioden 1939–2020 (2019 för älg och kronhjort). Data har hämtats från www.viltdata.se (Svenska Jägareförbundets Viltövervakning).

Förutom den direkta effekten som dovhjort och vildsvin kan ha på skogsplantor kan de också genom sina höga numerärer ha en betydande indirekt effekt på skogsekosystemet och förutsättningarna för skogsproduktionen. De kan påverka marken, vegetationen och även de andra klövviltsarterna. Bärris är en viktig födokälla som dovhjort delar med älg, rådjur och kronhjort och vid hög konkurrens om födan tvingas djuren ändra sina födoval. Det spekuleras kring, men är inte fastställt, om höga tätheter av dovhjort kan förskjuta födovalet hos älg från att äta bärris och olika örter under sommaren till att i stället sommarbeta tall som det råder betydligt mindre konkurrens om. På liknande sätt kan det tänkas att höga tätheter av vildsvin påverkar skogens fältskikt negativt, med möjliga kaskadeffekter för dieten hos andra klövvilt. Av den anledningen är det viktigt att inte bara fokusera på klövviltet som gör direkt skada på skogen, utan också att bedöma det totala betestrycket och tätheten hos hela klövviltsamhället.

Insektsskador

Snytbagge

Skador av snytbagge (*Hylobius abietis*) är den enskilt största avgångsorsaken bland planterade barrträdsplantor i södra och mellersta Sverige. Hyggesvila, det vill säga att vänta med plantering tills den nya generationen av snytbaggar har kläckts och lämnat hygget, har traditionellt varit ett sätt att minska på snytbaggetrycket innan plantering. I södra Sverige bör man vänta minst två, helst tre, hela vegetationsperioder innan plantering. Detta medför ofta stora problem med konkurrerande vegetation, ökad risk för

frostskador och förlorad tillväxt (Bergqvist m.f. 1998, se också avsnittet ”Kortare kalmarkstid” ovan). Att plantera utan hyggesvila och samtidigt förhindra stora avgångar av snytbagge bland de förädlade plantorna är en utmaning och en nyckel till lyckade föryngringar, växtliga bestånd och förbättrad kolbalans. Plantorna måste då skyddas. Tills ganska nyligen skyddades plantorna främst med insekticider. Numera är detta inte tillåtet för miljöcertifierade företag eller organisationer. I stället används någon form av mekaniskt skydd. Men även med skyddade plantor blir avgångarna ofta alltför stora, eftersom man får räkna med 2–3 säsonger med högt snytbaggetryck. Därför är det viktigt att andra skogsvårdsåtgärder håller hög kvalitet. Att göra en bra markberedning, använda vitala plantor och välja en bra planteringspunkt är alla viktiga åtgärder för att begränsa snybaggeskadorna. Plantering utan hyggesvila ställer extra krav på markberedningen, som bör utföras så nära tidpunkten för plantering som möjligt för att få många bra planteringspunkter att välja bland. Markberedning som medför att plantorna kan sättas i ren mineraljord (utan humuspartiklar, nedfallna löv eller vegetation) är en bra förutsättning för att hålla nere plantavgång orsakad av snytbagge (Peterson m.fl. 2005). Friska plantor med snabb diametertillväxt är positivt eftersom grova plantor tål mer gnag av snytbagge än klena (Thorsén m.fl. 2001). En extra näringsladdning kan öka toleransen (Wallertz & Petersson 2011). Gran, tall och lärk är alla begärliga trädslag för snytbaggen.

Granbarkborre

Granbarkborren (*Ips typographus*) är ett hot mot hög och uthållig tillväxt i granbestånd. I likhet med nästan alla träddödande barkborrearter, har granbarkborren ett aggregationsferomon (Bakke 1976) som utsöndras då barkborren äter sig in genom barken och som möjliggör hög inborrningsfrekvens under kort tid, vilket utmattar trädets försvar. Granbarkborrarna för också med sig sporer/mycel av blånadsvampar varav några arter kan döda granar (Krokene 2015). Granens försvar mot granbarkborre är kolbaserat. En stor grönkrona i förhållande till diametern (eller snarare barkytan) är viktigt för att granen ska kunna bygga upp de kolreserver som behövs för att försvara sig mot granbarkborren och dess träddödande blånadssvampar. Kolreserverna används dels för att producera giftiga kådämnen, dels för att kunna transportera dessa kådämnen till punkterna för angrepp, vilket är en mycket energikrävande process.

Överåriga bestånd löper störst risk att drabbas, men under utbrott drabbas även växtliga bestånd som blir luckiga eller måste avverkas i förtid med förlorad tillväxt som följd. Nästan alla större utbrott sedan 1960-talet i Sverige har föregåtts av omfattande stormfällning där man inte hunnit ta hand om de stormfällda träden i tid. Därmed har granbarkborrarna kunnat föröka sig och bli så många att de kan döda även växtliga granar. Nuvarande utbrott, som är det ojämförligt största någonsin i Sverige, är ett undantag. Orsaken var inte en stormfällning utan den torra och varma sommaren 2018 som gjorde att granarna blev torkstressade, att granbarkborrarna kunde flyga hela sommaren och att det samma år kläcktes en extra generation granbarkborrar, vilket inte har varit vanligt historiskt sett. I ett varmare klimat kommer kanske sådana förlopp att bli vanligare än förr och för att möta detta behövs ett långsiktigt tänkande vid anläggning och skötsel av skogen. Ståndortsanpassning är mycket viktigt. Gran på tallmark ökar risken för granbarkborreskador. Skogsskötsel som ger stormfasta och vitala bestånd är viktigt. Tidig och tillräckligt hård röjning och kort omloppstid är därför bra, medan sena gallringar som medför små grönkronor och stormkänsliga träd är dåligt. Gödsling verkar inte ha någon påvisbar positiv effekt på trädens motståndskraft mot de olika blånadssvampar som granbarkborren har med sig (Kytö m.fl. 1996, Viri m.fl. 2001a).

Några studier indikerar att motståndskraften mot barkborreburen blånadsvamp kan minska vid kvävegödsling (Viri m.fl. 2001b, Goodsman m.fl. 2010). Naturvårds-huggningar i äldre granskog är riskabelt med tanke på angrepp av granbarkborre.

Svampskador

Rotröta

Rotröta är ett samlingsnamn för skador orsakade av vednedbrytande svampar. Den vanligaste svampen är rottickan (*Heterobasidion* spp.) som står för ca 75 % av alla rötangrepp på gran (Stenlid & Wästerlund 1986). Rottickan anses vara en av de enskilt mest betydelsefulla skadegörarna för svenskt skogsbruk och orsakar ekonomiska förluster i miljardklassen varje år. Det finns två arter av rotticka, den så kallade S-formen (*H. parviporum* Niemelä & Korhonen) och P-formen (*H. annosum* s.s (Fr.) Bref.). S-formen angriper nästan uteslutande gran och finns i hela Sverige. P-formen, som finns i den södra halvan av landet, är mer generell i sitt värdval och kan angripa många olika trädslag, till exempel gran, tall, lärk och björk.

Rottickan sprider sig effektivt med luftburna sporer som produceras i fruktkroppar som växer på rötterna på angripna träd. Sporerna sprids under den varma halvan av året vid plusgrader. De landar och gror på färsk, blottad ved, framför allt ytorna på nygjorda stubbar. Därifrån växer svampens mycel ner i stubbens rotsystem och sprids till intillstående träd via rotkontakter under marken. Svampen växer därefter upp i trädets stam där den orsakar invändig röta. I värsta fall dör trädet som ett resultat av angreppet. Förutom de direkta förlusterna i virkesvärde till följd av röta medför angrepp också en ökad risk för stormfällning.

Thor m.fl. (2004) undersökte frekvensen av rotröta hos gran i Sverige med hjälp av data från Riksskogstaxeringen. Man kom fram till att ungefär 15 % av alla grövre granar i Sverige har röta. Frekvensen är något högre i de södra delarna av Sverige jämfört med de norra. Studien gjordes med data som samlades in mellan 1983 och 2001 och man fann också att rötfrekvensen hade ökat från den första halvan av perioden (1983–1992) till den andra (1993–2001).

Även tall drabbas

Rotröta har historiskt framför allt ansetts som ett problem på gran. Men även tall drabbas. Hos tallen orsakar inte rottickan röta på samma sätt som hos gran, utan den angriper innerbarken och påverkar på så sätt trädens näringstransport och vid långt gående angrepp dör träden. I drabbade tallbestånd uppstår ofta så kallade rötbrunnar med grupper av döda träd. I vissa områden i södra Sverige, där rottickans P-form finns, är rotröta på tall sedan länge ett känt problem. Angreppen är ofta förknippade med vissa typer av marker. Dessa så kallade ”högriskmarker” karaktäriseras av att vara sandiga och väldränerade med lågt innehåll av organiskt material (Rennerfelt 1952). Tall som har planterats på tidigare jordbruksmark drabbas ofta.

På senare år har undersökningar även gjorts på förekomsten av rotticka i tall på ”vanlig” skogsmark i södra Sverige. I en studie av Youssef (opublicerade resultat) undersöktes totalt 135 tallar, fördelade på nio olika bestånd i Götaland. Tallarna var till synes friska, utan symptom på rötangrepp. På sex av lokalerna hittade man angrepp av rotticka i rotsystemen hos mellan två och fem av de 15 träden/lokal (Youssef, pers. komm.).

Bekämpning

Den aktiva bekämpningen mot rotröta i praktiskt skogsbruk sker framför allt förebyggande genom att behandla stubbar efter gallring och slutavverkning med ett biologiskt bekämpningspreparat, Rotstop S (Berglund m.fl. 2005). Syftet med behandlingen är att förhindra nya sporinfektioner av rotticka vid avverkningsåtgärder. Rotstop S innehåller sporer av pergamentsvamp, som är en naturligt förekommande konkurrent till rottickan på färsk ved. Den positiva behandlingseffekten av pergamentsvampsbehandling har verifierats i många forskningsstudier, för gran (Berglund mfl. 2005, Oliva mfl. 2010), tall (Rishbeth 1963) och lärk (Wang mfl. 2012). I praktisk behandling är det dock avgörande att man håller en hög kvalitet i behandlingsarbetet. En mycket viktig faktor är täckningsgraden av stubbehandlingspreparatet på stubbytorna. Berglund & Rönnberg (2004) jämförde behandlingseffekten av pergamentsvamp vid olika täckningsgrader (0, 50, 75 och 100 % täckning) och de fann att 100 % täckningsgrad på stubbytorna gav det signifikant bästa resultatet.

Påverkan på tillväxt

Att tillväxten hos träd påverkas negativt av angrepp av rotticka har visats i flera studier i olika delar av världen. Orsakerna till tillväxtförluster kan vara flera. Till exempel kan trädens förmåga att transportera vatten och näringsämnen hämmas. En annan förklaring är att träden vid rötangrepp allokerar mer resurser till sitt försvar mot svampangreppet och mindre till vedtillväxt.

I Sverige studerade Bendz-Hellgren & Stenlid (1997) tillväxtförluster hos granar som blivit angripna av rotticka. De jämförde tillväxten hos trädpar med friska och angripna granar. Över en 20-årsperiod efter det att beståndet gallrades för första gången såg man att angripna träd hade tappat 10 % av volymtillväxten jämfört med friska träd. Under de sista fem åren av samma period var volymtillväxten hos angripna träd 23 % lägre än för friska träd. Tillväxtförlusterna ökar alltså med tiden efter det att smittan introduceras i ett skogsbestånd.

Även för tall har tillväxtförluster till följd av rottickeangrepp påvisats i en svensk studie (Wang m.fl. 2012). Forskarna lyckades koppla tillväxtförluster hos träden till andelen av rotsystemen som var angripna av rotticka. Det visade sig att ett träd med 10 % av rotsystemet smittat av rotticka förlorade 12,6 % av sin tillväxt under en femårsperiod jämfört med ett friskt träd. Motsvarande tillväxtförlust för ett träd med 32 % av rotsystemet angripet var 22,6 %. Alla dessa träd var till synes friska och utan yttre tecken på infektion.

Törskate

Törskate (*Cronartium pini*) tillhör gruppen rostsvampar och är ett samlingsnamn för två olika former av svampen som har olika livscykler. Den ena formen (*Cronartium flaccidum*) har en livscykel där den värdväxlar mellan tall och kovall och den andra (*Peridermium pini*) sprids från tall till tall. Törskate angriper i Sverige enbart tall (*Pinus sylvestris*). Törskatesvampen förekommer i hela landet och har historiskt förknippats med så kallade tjärgaddar/torrtoppar i äldre skog. Törskate anses idag utgöra ett problem för skogsbruket i norra Sverige och norra Finland. I Sverige är det framför allt Norrbotten som har de allvarligaste problemen. I dagsläget är det törskateangrepp i de yngre tallskogarna som är det största orosmolnet för skogsbruket eftersom tidiga angrepp har potential att orsaka större skada och avgångar fram till slutavverkning.

Figur 12. Från vänster: 1. Törskateangrepp på planta tre år efter plantering. 2. Sporulerande stam- och grenangrepp på ca 15 år gammal tall, en troligtvis dödande skada. 3. Stamsår orsakat av törskate (foton Skogforsk/Henrik Svennerstam/Torgny Persson).

Angrepp av de två olika törskateformerna går inte att skilja på visuellt utan kräver DNA-analys. Infektionsförloppet startar med att tallen infekteras via årsbarrens klyvöppningar. När svampen tagit sig in växer den till i minst 2–3 år innan den tränger igenom barken och släpper sina sporer. På trädnivå spänner skadebilden från obetydliga grenskador, till stamskador som dödar trädet.

Utbredning och riskfaktorer för törskate

En ungskogsinventering utförd av Skogforsk 2021 (ej ännu publicerad) pekar på en nord-sydlig gradient med avseende på törskateangreppens omfattning. I Jämtland och Västernorrland återfanns törskate i 35 % av bestånden och motsvarande siffra för Västerbotten och Norrbotten var 68 % respektive 88 %. Även andelen tallar angripna av törskate följde ett liknande mönster. I Jämtland och Västernorrland var angreppsfrekvensen i drabbade bestånd i medeltal under 2 % och i Västerbotten och Norrbotten ökade frekvensen till 3,5 % respektive 9 %. Angreppsfrekvensen i enskilda bestånd, framför allt i Norrbotten kan vara betydligt högre (upp till 55 %). Det förekommer dock områden med allvarliga problem även i Jämtland och Västerbotten. Det är också viktigt att påpeka att inventeringsresultatet är en ögonblicksbild av i medeltal ca 20 år gammal ungskog. Med tiden kommer angreppsfrekvenserna och skadeomfattningen sannolikt öka. Skogforsks inventering har identifierat ett antal riskfaktorer som förefaller påverka risken för och omfattningen av törskateangrepp. 1) Kovallförekomst och frekvens; förekomst och ökande frekvens av kovall ökar risken och omfattningen av törskateangrepp. 2) Rika vegetationstyper (bättre än blåbärsristyp) medför högre risk för törskate. 3) Friska och fuktiga marker med rörligt markvatten under kortare eller längre perioder löper större risk för törskateangrepp. 4) Finkorniga jordar; inventeringen pekar på en gradvis ökande risk för törskate i gradienten från grövre textur mot finare. Sammantaget framträder en bild av att rikare ståndorter löper större risk för allvarliga angrepp, ståndorter som dessutom kan vara mer lämpade för gran eller blandskog. Samtidigt är det väldigt viktigt att påpeka att frånvaron av en eller flera av dessa faktorer inte är någon garanti för att törskate inte kan förekomma eller uppstå.

Produktion i drabbade bestånd och skötsel

På beståndsnivå är det kombinationen av skador på individuella träd, antal angripna träd och beståndets ålder och sammansättning med avseende på stamantal och trädslag som avgör skadeomfattning och produktionsnedsättning. Utfallet kan till exempel bli helt olika i ett talldominerat bestånd med stor andel drabbade tallar jämfört med ett blandbestånd med få drabbade tallar. I det senare fallet med blandbestånd kan även skötselalternativen vara fler, genom att premiera andra trädslag vid röjning och gallring. Sedan kan skadefrekvensen i ett bestånd öka med tiden och därmed även skadebilden och produktionsförlusterna. På grund av begränsat forskningsunderlag syftar skötselråden för anläggningen av bestånd i riskgeografier och skötseln av redan drabbade bestånd idag främst till olika former av riskhantering: 1) Ståndortsanpassning; undvik föryngring med tall i riskgeografier där andra trädslag fungerar. 2) Trädslagsblandningar; i riskgeografier, premiera trädslagsblandningar vid etableringen av nya bestånd och andra trädslag än tall vid röjning och gallring. 3) Fler stammar: med fler stammar efter föryngring, efter röjning eller gallring så finns en buffert som kan kompensera för framtida avgångar och produktionsförluster. 4) Sanering; röj och gallra bort törskatedrabbade individer. Åtgärden kan minska risken för fortsatt spridning, men det finns ingen garanti (mer forskning behövs). 5) Då rikare ståndorter löper större risk för angrepp bör gödsling tillämpas med viss försiktighet i riskgeografier, men framför allt behövs mer studier för att bekräfta ett eventuellt samband.

Sammanfattning av potentialen av åtgärder för att höja tillväxten och minska skador

I tabell 7 och 8 nedan sammanfattas bedömningar av potentialen av olika åtgärder för att öka tillväxt och minska skador. Om man samtidigt lyckas med de tre åtgärderna ståndortsanpassning, bättre föryngringar och ökad förädlingsgrad i skogsodlings-materialet har de tillsammans den allra största potentialen att långsiktigt öka virkesproduktionen i skogarna.

Tabell 7. Bedömning av potential för ökad tillväxt och tillgänglig areal för de åtgärder som beskrivs i rapporten. Både potential och tillgänglig areal bedöms på en skala där 0 motsvarar ingen potential och +++ motsvarar mycket stor potential/mycket stor tillgänglig areal. I sista kolumnen redovisas en bedömning av hur långt efter en åtgärd man kan tillgodogöra sig den ökade tillväxten genom ökat uttag av virke.

	Potential på beståndsnivå	**Tillgänglig areal**	**När i tid**
Åtgärd			
Ökad förädlingsgrad i skogsodlingsmaterial	++	+++	50–100
Mer gödsling	++	+	10–20
Bättre Ståndortsanpassning	++	+++	50–100
Mer björk	0	+	30–60
Mer rysk lärk	+	+	50–80
Mer hybridlärk	+	+	40–60
Bättre föryngringar	+++	+++	50–100
Kortare kalmarkstid	+	++	50–100
Plantgödsling	+	+++	50–100
Bättre röjningar	+	++	40–90

Tabell 8. Bedömning av negativ påverkan på virkesproduktion av olika skador, påverkad areal och potentialen med ytterligare åtgärder för att motverka skador. Både negativ påverkan och tillgänglig areal bedöms på en skala där - motsvarar liten påverkan/areal och +++ motsvarar mycket stor potential/mycket stor tillgänglig areal. I sista kolumnen redovisas en bedömning av hur långt efter en åtgärd man kan tillgodogöra sig den ökade tillväxten genom ökat uttag av virke.

Skador	**Påverkan på produktion idag på beståndsnivå**	**Påverkad areal**	**Potential med ytterligare åtgärder**	**När i tid**
Vilt	--	+++	++	40–100
Snytbagge	--	+++	+	50–100
Granbarkborre	-	++	++	30–100
Rotröta	--	+++	+	20–100
Törskate	--	+	+	50–100
Vind	-	+++	+	10–70

Konsekvenser av produktionshöjande åtgärder på flora och fauna

Plant- och frömaterial

Bättre plant- och frömaterial är i sig inget som påverkar flora och fauna jämfört med det material som används idag. Men det kan få effekt genom att det leder till tätare föryngringar, kortare omloppstider och därmed ändrade livförutsättningar för växter och djur. Förändringar i markvegetation och fågelpopulationer beror sannolikt delvis på sådana förändringar i skogen (Hedwall & Brunet 2016, Jonsson m. f. 2021, Lindbladh m.fl. 2017).

Trädslag

Trädslaget har mycket stor betydelse för vilken flora och fauna som finns i beståndet. Även om floran och faunan varierar för olika trädslag kan man generellt inte hävda att något inhemskt trädslag är bättre än något annat. Alla behövs för att associerade arter ska fortleva. Blandbestånd av löv och barrträd framhålls ofta som bättre än monokulturer därför att fler arter kan leva i sådana bestånd. Detta är dock ett förenklat resonemang. Felton m.fl. (2021) visar att fågeldiversiteten var högre i rena björkbestånd än i blandskog av gran och björk. Liknande mönster kan eventuellt hittas för andra arter och trädslagsblandningar, men vi känner inte till några sådana studier. Exotiska trädslag har normalt färre arter ur vår inhemska flora och fauna knutna till sig. Hur allvarlig odling av främmande trädslag är beror på omfattningen i landskapet och vilka marker som tas i anspråk. Om användning av främmande trädslag ska ske i stor omfattning krävs en mycket större analys av miljökonsekvenser. En sådan är gjord för contortatall (Andersson m.fl. 1999).

Föryngringsmetod, plantöverlevnad, kortare kalmarkstid, plantgödsling

Bättre föryngringseffektivitet leder till täta skogar och de konsekvenser som beskrivs ovan. Gläntor blir en bristvara. Markberedningens största negativa effekt är att liggande död ved körs sönder (Hautela m.fl. 2004), och ju kortare omloppstider desto allvarligare blir följderna av detta (Weslien m.fl. 2009).

Röjningsstrategi

Röjning ökar artrikedomen av växter (Widenfalk & Weslien, 2009). Baserat på markinventeringen på fasta ytor visades att röjda bestånd hade fler arter per ytenhet än oröjda. Detta gällde också ganska långt efter röjning, i gallringsskogen. Gallring hade dock inte samma effekt. En tidig röjning bör ha övervägande positiva effekter på markvegetationens artrikedom och utbredning jämfört med sen röjning.

Gödsling av vuxen skog på fastmark

Enligt tidigare gjorda konsekvensanalyser (Nohrstedt & Westling, 1995, Högbom & Jacobson 2002) utgör 1–2 gödslingar av vuxen barrskog inget starkt hot mot rödlistade arter. Gödsling leder dock till vegetationsförändringar, särskilt i bottenskiktvegetationen. Varaktigheten av dessa förändringar är oklar. Strengbom och Nordin (2008) rapporterar om vegetationsförändringar i påföljande skogsgeneration. Gödsling påverkar också artsammansättning av mykorrhizasvampar, åtminstone kortsiktigt (Taylor m.fl. 2005).

Ökat uttag av skogsråvara

Uttag i skyddad skog kan ge mer virke. Det finns skogsbestånd som behöver skötas för att behålla naturvärdena. Exempel på sådana är igenväxande kulturmarker. Här finns bara positiva effekter av virkesskörd – men det är troligen kostsamt att sköta i längden. Bränning är en annan mycket effektiv åtgärd som sker för sällan. Ett uttag innan bränning är oftast nödvändigt för att marken ska torka ut så att elden kan sprida sig. Naturvårdshuggningar enligt den modell som Rosvall och Normark (2006) föreslår kan förbättra habitatkvaliteten för en del arter i boreal skog (Versluijs m.fl. 2019 a,b, Hägglund m.fl. 2017). Uttag på icke skogsmark skulle kunna ha negativa effekter i till exempel jordbrukslandskapet där stora naturvärden är kopplade till åkerholmar, alléer och bryn (Jordbruksverket 2005).

Påverkan på andra ekosystemtjänster

Preferensstudier visar att människor uppskattar variation och skogar med stort ljusinsläpp. Blandskogar och bestånd med tall eller lövträd föredras före täta granbestånd (Gundersen & Frivold 2008, Eriksson m.fl. 2012). Samtidigt gynnas bärris, framför allt blåbär av öppna ljusa skogar och blåbärsris är framför allt associerat med tallskog (Miina m.fl. 2010). Blåbär och blåbärsris är dessutom nyckelresurser för många däggdjur och fåglar, bland annat viktiga jaktbara arter som älg, rådjur, björn, skogshare, tjäder, orre och järpe (Cederlund m.fl. 1980, Summers m.fl. 2008). Vattenkvalitet, biologisk mångfald och därtill kopplade fiskpopulationer gynnas av kantzoner med löv och underväxt (Burrows m.fl. 2015).

Det är uppenbart att ett flertal viktiga ekosystemtjänster gynnas av blandbestånd och trädslag med stort ljusinsläpp. Om en förbättrad ståndortsanpassning och hänsyn till biologisk mångfald leder till ökad andel tall och lövträd i landskapet kommer det att gynna en rad ekosystemtjänster som upplevelser, rekreation, vilt, bär och vattenkvalitet. En ökad andel gran och mer slutna skogar genom ändrade röjnings- och gallringsregimer kan däremot ha en motsatt effekt med försämring.

I tabell 9 sammanfattas bedömningar av åtgärder som beskrivs i rapporten och deras påverkan på andra ekosystemtjänster och biologisk mångfald. Bedömningarna är i de flesta fall mer eller mindre grova förenklingar av komplexa samband och sammanfattningar av olika konsekvenser som drar åt olika håll. Det vetenskapliga underlaget för bedömningarna kan också variera starkt mellan de olika åtgärderna och ekosystemtjänsterna.

Tabell 9. Bedömning av tillväxthöjande och skadebegränsande åtgärder på ekosystemtjänster och biologisk mångfald. Skalan går från - (negativ påverkan) över 0 till + (positiv påverkan).

	Flora och fauna	**Vatten**	**Rekreation, upplevelser**	**Jaktbart vilt**	**Bär och svamp**	**Renskötsel**
Åtgärd						
Ökad förädlingsgrad i skogsodlingsmaterial	-	-	0	0	-0	-
Mer gödsling	-	-	0	0+	-0	-
Bättre ståndortsanpassning	+	0	+	+	+	+
Mer björk	+	+	+	+	+	0+
Mer lärk	0+	0	+	0+	0	0
Bättre föryngringar	-	-	-	0	-0	-
Kortare kalmarkstid	- 0	0	0	-	0	0
Plantgödsling	0	0	0	0+	0	0
Bättre röjningar	0	0	+	-0	0	0+
Skademinskning vilt	+	0	-0	-0	0	0
Snytbagge	-	-	-	0	-0	-
Granbarkborre	-	0	+	-0	0	0
Rotröta	0	0	0	0	0	0
Törskate	-	0	0	0	0	0
Vind	-	-	+	-0	0	0

Referenser

Aldentun, Y., 1999. Livscykelinventering av fyra plantskolor. Skogforsk, Resultat 9–1999.

Almqvist, C. & Wennström, U., 2020. Förädlat skogsodlingsmaterial 2020–2064. Tillgång och behov av förädlat frö samt utvecklingen av den genetiska vinsten över tiden. Skogforsk Arbetsrapport 1066–2020, 51.

Andersson, B, Engelmark, O., Rosvall, O. & Sjöberg, K., 1999. Environmental impact assessment (EIA) concerning lodgepole-pine forestry in Sweden. Report 3/1999, Skogforsk.

Andersson, S.-O., 1984. Om lövröjning i plant- och ungskogar. Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift 3–4.

Anon., 2017. SKOGSDATA 2017, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2017.

Anon., 2018. SKOGSDATA 2018, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2018.

Anon., 2019. SKOGSDATA 2019, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2019.

Anon., 2020. SKOGSDATA 2020, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2020.Anon., 2021. SKOGSDATA 2021, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2021.

Ara, M., Barbeito, I., Elfving, B., Johansson, U., Nilsson, U., 2021. Varying rectangular spacing yields no difference in forest growth and external wood quality in coniferous forest plantations. Forest Ecology and Management 489.

von Arnold, S. & Hakman, I., 1985. Plantlet regeneration through somatic embryogenesis in *Picea abies* (Norway spruce). Journal of Plant Physiology, 121, 145–158.

Bendz-Hellgren, M., Stenlid, J., 1997. Decreased volume growth of *Picea abies* in response to *Heterobasidion annosum* infection. Can. J. Forest Res 27 (10): 1519–1524.

Berg, S., 2014. Skogsbrukets energiförbrukning och miljöpåverkan, i Thor, M. & Thorsen, Å. (Red.), Effektivt skogsbruk – ett långsiktigt miljöarbete, Skogforsk.

Berglund, M. & Rönnberg, J., 2004. Effectiveness of treatment of Norway spruce stumps with *Phlebiopsis gigantea* at different rates of coverage for the control of *Heterobasidion*. Forest Pathology, 34: 233-243. https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2004.00363.x

Berglund, M., Rönnberg, J., Holmer, L. & Stenlid, J., 2005. Comparison of five strains of *Phlebiopsisgigantea* and two *Trichoderma* formulations for treatment against natural *Heterobasidion* spore infections on Norway spruce stumps, Scandinavian Journal of Forest Research, 20:1, 12-17, DOI: 10.1080/02827580510008202

Bergqvist, G., 1999. Wood volume yield and stand structure in Norway spruce understory depending on birch shelterwood density. Forest Ecology and Management 122: 221–229.

Bergqvist, G., Bergström, R. & Wallgren, M., 2014. Recent browsing damage by moose on Scots pine, birch and aspen in young commercial forests – effects of forage availability, moose population density and site productivity. Silva Fennica 48:1.

Bergström, R. 2004. Viltskador. Skogforsk, Arbetsrapport nr 574, Uppsala, s. 45–55.

Bergström, R., Bergquist, J. & Bergqvist, G., 2003. Rådjursbete på barrplantor – mönster och effekter. Skogforsk, Resultat nr 19, Uppsala, 4 s.

Bergström, R. & Glöde, D., 2004. Viltbete – smakar det så kostar det. Skogforsk, Redogörelse nr 1, Uppsala, s. 53–58.

Bergström, R., Danell, K., Edenius, L. & Persson, I.-L., 2005. Älgens vinterfoder – tillgång och utnyttjande. Skogforsk, Resultat nr 3, Uppsala, 6 s.

Berlin, M., Ericson, T. & Andersson Gull, B., 2014. Plantval - manual med implementeringsteknisk bakgrund. Arbetsrapport nr 851–2014. Skogforsk, 58 p.

Berlin, M., Persson, T., Jansson, G., Haapanen, M., Ruotsalainen, S., Bärring, L. & Andersson Gull, B., 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. Silva Fennica, 50.

Björheden, R., Lundström, H., Rossander, M. & Brunberg, T., 2019. Arbetsmiljö, prestation och bränsleförbrukning för fem stora skördare. Skogforsk Arbetsrapport 1010/2019.

Bongi, P., Tomaselli, M., Petraglia, A., Tintori, D. & Carbognani, M. 2017. Wild boar impact on forest regeneration in the northern Apennines (Italy). Forest Ecology and Management 391:230–238.

Brunberg, T., 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Redogörelse 8, Skogforsk, Uppsala.

Brunberg, T., 2006. Bränsleförbrukning hos skördare och skotare vecka 13, 2006. Skogforsk, Arbetsrapport 623/2006.

Brunberg, T., 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. Skogforsk, Arbetsrapport 721/2010.

Brunberg, T., 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Skogforsk, Arbetsrapport 789/2013.

Brunberg, T., (manus). Bränsleförbrukning och förslag till minskning. Skogforsk, opublicerad utredning.

Brunberg, T., Granlund, P. & Nordén, B., 2004. Bränslemätningar på skotare och skördare. Skogforsk, Arbetsrapport 585/2004.

Brunberg, T. & von Hofsten, H., 2018. Dieselförbrukning för skogslastbilar med bruttovikt på 74 och 90 ton. Skogforsk, Arbetsrapport 978/2018.

Brunberg, T., Johansson, F. & Löfroth, C., 2017. Dieselförbrukningen hos virkesfordon under 2016. Skogforsk, Arbetsrapport 941/2017.

Davidson, A., Berlin, M. & Jönsson, P., 2018. PlantvalOptimal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. Skogforsk Arbetsrapport 996-2018, 32.

Drössler, L., Nilsson, U., & Lundqvist, L. (2014). Simulated transformation of even-aged Norway spruce stands to multi-layered forests: an experiment to explore the potential of tree size differentiation. *Forestry*, *87*(2), 239-248.

Elfving, B. & Norgren, O., 1993. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Inst. för genetik och växtfysiologi. Report 11, 69-80.

Eriksson, E., Gillespie, A. R., Gustavsson, L., Langvall, O., Olsson, M., Sathre, R. & Stendahl, J., 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution Can. J. For. Res. 37: 671–681 doi:10.1139/X06-257.

Fahlvik, N., Ekö, P.-M., Pettersson, N., 2005. Influence of precommercial thinning grade on branch diameter and crown ratio in *Pinus sylvestris* in southern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 20: 243-251.

Felton, A, Hedwall, PO, Trubins, R, Lagerstedt, J, Felton, A & Lindbladh, M., 2021. Bird assemblage responses along a production forest conifer-broadleaf gradient. Forest Ecology and management 494: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119299

Frisk A., 2011. Betesskador på lärkplantor (Grazing damages on larch seedlings). Skogsmästarskolan, Box 43, 739 21 Skinnskatteberg. (12). http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-317

Frivold, L.H., 1982. Stand structure and yield of mixed stands of birch (*Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in South East Norway. Meldinger fra Norges Lantbrukshøgskole 61(18), 108 p. In Norwegian with English summary.

Futter, M. N., Ring, E., Högbom, L., Entenmann, s., Bishop, K., 2010. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale. Environmental Pollution 158(12): 3552-9.

Gardiner, B., Schuck, A. R. T., Schelhaas, M. J., Orazio, C., Blennow, K., & Nicoll, B. (Eds.)., (2013. Living with storm damage to forests (Vol. 3, pp. 129-p). Joensuu: European Forest Institute.

Gicquel, M., Sand, H., Månsson, J., Wallgren, M. & Wikenros, C. 2020. Does recolonization of wolves affect moose browsing damage on young Scots pine? Forest Ecology and Management 473.

Goodsman, DW, Lieffers, VJ, Landhäusser, SM & Erbilgin, N, 2010. Fertilization of lodgepole pine trees increased diameter growth but reduced root carbohydrate concentrations. Forest Ecology and Management 260 (2010) 1914–1920.

Gålnander, H., Berlin, M. & Sonesson, 2020. Framtidens skogar – består de av planterade plantor eller naturligt föryngrade träd? Skogforsk, Arbetsrapport 1052-2020.

Haikarainen, S., Huuskonen, S., Ahtikoski, A., Lehtonen, M., Salminen, H., Siipilehto, J., Korhonen, K.T., Hynynen, J., Routa, J., 2021. Does juvenile stand management matter? Regional scenarios of the long-term effects on wood production. Forests 12(84).

Hakman, I., Fowke, L. C., von Arnold, S. & Eriksson, T., 1985. The development of somatic embryos in tissue cultures initiated from immature embryos of *Picea abies* (Norway spruce). Plant Science, 38, 53–59.

Hautala, H., Jalonen, J., Laaka-Lindberg, S. & Vanha-Majamaa, I., 2004. Impacts of retention felling on coarse woody debris (CWD) in mature boreal spruce forests in Finland. Biodiversity and Conservation 13, 1541–1554.

Hedwall, P.-O., & Brunet, J., 2016. Trait variations of ground flora species disentangle the effects of global change and altered land-use in Swedish forests during 20 years. Global Change Biology 22, 4038-4047.

Hedwall, P.-O., E. Holmstrom, M. Lindbladh, & Felton, A., 2019. Concealed by darkness: How stand density can override the biodiversity benefits of mixed forests. Ecosphere 10(8):e02835. 10.1002/ecs2.2835.

Helmersson, A., Fahlvik, N., Hayatgheibi, H., Högberg, K. A. & Berlin, M., 2021. Ekonomiskt värde på högförädlade plantor vid olika förökningsmetoder. Skogforsk Arbetsrapport 1097–2021, 17.

Holmström, E., Goude, M., Nilsson, O., Nordin, A., Lundmark, T., & Nilsson, U., 2018. Productivity of Scots pine and Norway spruce in central Sweden and competitive release in mixtures of the two species. Forest Ecology and Management, 429, 287-293.

Hägglund R. Hekkala A-M, Hjältén J. m.fl., 2015. Positives effects of ecological restoration on rare and threatened flat bugs (*Heteroptera: Aradidae*). Journal of Insect Conservation 19:1089–1099, https://doi.org/10.1007/s10841-015-9824-z

Högbom, L., & Jacobson, S., 2002. Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige. Skogforsk, Redogörelse nr 6, Uppsala. 42 s.

Huuskonen, S., Hynynen, J., 2006. Timing and intensity of precommercial thinning and their effects on the first commercial thinning in Scots pine stands. Silva Fennica 40(4): 645–662.

Hynynen, J., Eerikäinen, K., Mäkinen, H. & Valkonen, S., 2019. Growth response to cuttings in Norway spruce stands under even-aged and uneven-aged management. Forest Ecology and Management 437: 314–323. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.032Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U., 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. 55 s.

Jacobson, S., 2015. Lågskärm av björk på granmark – modellering av beståndsutveckling och ekonomisk analys. Arbetsrapport 876–2015, Skogforsk, Uppsala.

Jacobson, S., 2020. Tillväxteffekter efter skogsgödsling med kväve – validering av befintligt prognosinstrument. Arbetsrapport 1040–2020, Skogforsk. 16 s.

Jacobson, S., Högbom, L. & Ring, E. (2020) Long-term responses of key understory plants in boreal Scots pine stands after nitrogen fertilization. Scandinavian Journal of Forest Research, in Press. https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1761996

Jonsson B.G., Dahlgren J., Ekström M., Esseen P-A., Grafström A., Ståhl G. & Westerlund, B., 2021. Rapid changes in ground vegetation of mature Boreal forests—An analysis of Swedish National Forest Inventory Data. Forests 2021, 12, 475. https://doi.org/10.3390/f12040475

Jordbruksverket, 2005. Indikatorsysytem för småbiotoper – metodutveckling för nationell övervakning av biologisk mångfald. Rapport 2005/7, 61s.

Jordbruksverket, 2020. Viltskador i lantbruks-grödor 2020. https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-07-06-viltskador-i-lantbruksgrodor-2020

Kaitera, J., 2002. Short-term Effect of Thinning on *Pinus sylvestris* Damage and Sporulation Caused by *Cronartium flaccidum*. Scandinavian Journal of Forest Research. 17. 158-165. 10.1080/02827580275362680 9.

Karlman L. 2010. Genetic variation in frost tolerance, juvenile growth and timber production in Russian larches (*Larix* Mill.) - Implications for use in Sweden [Doctoral

thesis]. SLU, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2010:30. Umeå. https://pub.epsilon.slu.se/2264/1/Acta_Thesis_0319.pdf.

Kempe, G., Fridman, J., & Valinger, E., 2014. Stormen Gudruns inverkan på skogens tillstånd och skötsel. Fakta Skog nr. 15.

Kim, M.-S., Hantula, J., Kaitera, J., Zambino, P., Woodward, S., Richardson, B., Stewart, J., Spaine, P., Shaw, D., Takeuchi, Y. & Klopfenstein, N., 2021. Recovery Plan for Scots Pine Blister Rust Caused by *Cronartium pini*. Plant Health Progress. 10.1094/PHP-06-21-0099-RP.

Kuusela, K., 1990. The Dynamics of Boreal Coniferous Forests. SiTRA, 1990. ISBN 10: 9515632749 / ISBN 13: 9789515632746.

Kytö, M, Niemelä, P & Annila, E., 1996. Vitality and bark beetle resistance of fertilized Norway spruce. Forest Ecology and Management 84 (1996) 149- 157

Lamlom, S.H. & Savidge, R. A., 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass and Bioenergy 25 (2003) 381 – 388.

Larsson-Stern M., Stener L.G., 2005. Hybridlärk – ett bra komplement till gran i södra Sverige. Skogforsk.

Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885.

Lavsund, S., 2003. Skogsskötsel och älgskador i tallungskog. Skogforsk, Resultat nr 6, Uppsala, 4 s.

Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern T. & Verkerk, P. J., 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute.

Lindbladh M, Lindström Å, Hedwall, PO & Felton, A., 2017. Avian diversity in Norway spruce production forests – How variation in structure and composition reveals pathways for improving habitat quality Forest Ecology and Management 397: 48–56.

Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B. C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F., 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. Forests 2014, 5, 557-578; doi:10.3390/f5040557.

Lundmark, T., Poudel, B. C., Stål, G., Nordin, A., & Sonesson, J. Canadian Journal of Forest Research, 48(6): 672–678. June 2018.

Lundqvist, L., 2017. Tamm Review: Selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. Forest Ecology and Management 391:362-375. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.011

Löfroth, C. & Rådström, L., 2006. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Skogforsk, Arbetsrapport 820/2014.

Löfroth, C. & Brunberg, T., 2014. Bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport. Skogforsk, Arbetsrapport 624/2006.

Magnusson K., 2020. Riskanalys av hybridlärk *(Larix* X *marschlinsii*) - möjligheter och problem [Examensarbete]. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-15407.

Makrickienė, E., Drössler, L. and Brazaitis, G., 2016. Development and Traits of Wolf Trees in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.): A Literature Review. Baltic Forestry 22(1): 181-188.

Marupakula, S., Mahmood, S., Clemmensen, K.E., Jacobson, S., Högbom, L. & Finlay, R.D. (2020) Root associated fungi respond more strongly than rhizosphere soil fungi to N fertilization in a boreal forest. Science of the Total Environment, 766:142597. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142597

Martinsson O., 1995. Yield of *Larix sukaczewii* Dyl. in Northern sweden. Studia Forestalia Suecica; 196(20).

Mattson, L., Boman, M. & Ericsson, G., 2008. Jakten i Sverige – Ekonomiska värden och attityder jaktåret 2005/06. Adaptiv förvaltning av Vilt och Fisk, Rapport nr 1 SLU, Umeå, 22 s.

Mattsson, L., Boman, M. & Ezebilo, E. E., 2014. More or less moose: how is the hunting value affected? Scandinavian Journal of Forest Research 29(2): 170-173.

Mensah, A. A., Holmström, E., Petersson, H., Nyström, K., Mason, E. G., & Nilsson, U., 2021. The millennium shift: Investigating the relationship between environment and growth trends of Norway spruce and Scots pine in northern Europe. Forest Ecology and Management, 481, 118727.

Naturvårdsverket, 2022. Sveriges utsläpp av växthusgaser. https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/ 2022-11-16.

Nilsen P., Strand L. T., 2013. Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands. Silva Fennica vol. 47 no. 4 article id 1024. 15 p. https://doi.org/10.14214/sf.1024

Nilsson, U., Berglund, M., Bergquist, J., Holmström, H. & Wallgren, M., 2016. Simulated effects of browsing on the production and economic values of Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands. Scandinavian Journal of Forest Research 31: 279-285.

Nilsson, U., Fahlvik, N., Johansson, U., Lundström, A., Rosvall, O., 2011. Simulation of the Effect of Intensive Forest Management on Forest Production in Sweden. Forests 2011, 2, 373-393.

Nilsson, U., Elfving, B., & Karlsson, K., 2012. Productivity of Norway spruce compared to Scots pine in the interior of northern Sweden. Silva Fennica, 46(2), 197-209.

Nohrstedt, H.-Ö. & Westling, O., 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGs gödslingsprogram, Del 1 faktaunderlag. IVL Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Aneboda, 90s.

Nya resultat möjliggör fröplantager för rysk lärk. Uppsala: Skogforsk]. Available from https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2017/nya-resultat-mojliggor-froplantager-for-rysk-lark/

Oliva, J., Thor, M. & Stenlid, J., 2010. Long-term effects of mechanized stump treatment against *Heterobasidion* annsoum root rot in Picea abies. Canadian Journal of Forest Research, 40, 1020-1033. DOI: 10.1139/X10-051.

Oney, B., Reineking, B., O'Neill, G. & Kreyling, J., 2013. Intraspecific variation buffers projected climate change impacts on *Pinus contorta*. Ecol Evol, 3, 437–49.

Peltola, H., Kellomäki, S., & Väisänen, H., 1999. Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. Climatic change, 41(1), 17-36.

Pettersson, F., 1994a. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No. 4. Uppsala. Pettersson, F., 1994b. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. The Forestry Research Institute of Sweden. Report No. 3, Uppsala. 56 pp.

Pettersson, F., 2015. Stamtäthet, gödsling, virkesproduktion och ekonomi - Resultat från tre röjnings- och ett gallringsförbandsförsök med tall. Arbetsrapport 845–2014, Skogforsk, Uppsala.

Pettersson, F., 2017. Skogsgödsling ger klimatvinst och ökad lönsamhet. Kunskapsartikel från Skogforsk, www.skogforsk.se.

Pettersson, F., Jacobson, S. & Sikström S., 2009. Skogsgödsling i Sverige – Kunskapsuppbyggnad, tillväxteffekter och praktisk tillämpning. Bilaga 1 I: Fahlvik, N., Johansson, U., Nilsson, U., 2009. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen, SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8.

Pettersson, F., Jacobsson, S, Nyström, K., 2017. Ekonomisk utvärdering av olika röjnings- och gallringsprogram. Arbetsrapport 948-2017, Skogforsk, Uppsala.

Petersson, M, Örlander, G & Nordlander, G., 2005. Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hylobius abietis* Forestry, 78: 83-92.

Pettersson, N., 1993. The effect of density after precommercial thinning on volume and structure in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 528–539.

Prop. 2020/21:180. Regeringens proposition 2020/21:180 Reduktionsplikt för bensin och diesel.

Rennerfelt, E., 1952. Om angrepp av rotröta på tall, Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut, Band 41, Nr 9.

Riksskogstaxeringen, 2021. Andel produktiv skogsmark. Femårsmedelvärde 2016–2020. Officiell statistisk, Riksskogstaxeringen, SLU.

Rishbeth, J., 1963. Stump protection against *Fomes annosus*. III. Inoculation with *Peniophora gigantea*. Annals of applied Biology 52, 63-77.

Rosvall, O., 2003. Zon- och ägarvisa plantagearealer för tredje omgången fröplantager i Sverige. Skogforsk, Arbetsrapport Nr 549, 42 pp.

Rosvall, O., Bergström, R., Jacobson, S., Pettersson, F., Rosén, K., Thor, M. & Weslien, J.-O., 2004. Ökad produktion i familjeskogsbruket – analys av tillväxthöjande och skadeförebyggande åtgärder. Skogforsk, Arbetsrapport nr 574, Uppsala, 94 s.

Rosvall, O. & Lundstöm, A., 2011. Förädlingseffekter i Sveriges skogar - Kompletterande scenarier till SKA-VB 08. Redogörelse nr. 1, 2011, Skogforsk., 32.s.

Rosvall, O. & Normark, E., 2006. Ökad tillväxt och virkesproduktion i Holmens skogar. Den fullständiga utredningen. Holmen Skog, Domsjö, 156 s.

Ruha, T., Varmola, M., 1997. Precommercial thinning in naturally regenerated *Pinus sylvestris* stands in Northern Finland. Silva Fennica 31(4).

Samils, B., Kaitera, J., Persson, T., Stenlid, J. & Barklund, P., 2021. Relationship and genetic structure among autoecious and heteroecious populations of *Cronartium pini* in northern Fennoscandia. Fungal Ecology. 50. 101032. 10.1016/j.funeco.2020.101032.

SCB, 2020. Formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark. 2020 MI 41 2020A02.

Skogsstyrelsen, 2017. Skador av rådjur ökar kraftigt i skogen. https://via.tt.se/pressmeddelande/skador-av-radjur-okar-kraftigt-i-skogen?publisherId=415163&releaseId=1876797

Skogsstyrelsen, 2019. Skogsbrukets kostnader för viltskador. Återrapportering till regeringen. Rapport 2019/16.

Skogsstyrelsen, 2020. Skogsvårdslagstiftningen, gällande regler 1 april 2020, www.skogsstyrelsen.se.

Skogsstyrelsen, 2021. Skoglig betesinventering. https://skobi.skogsstyrelsen.se

Skogsstyrelsen, 2021a. Åtgärder i skogsbruket 2020. Tillgänglig: https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/statistiska-meddelanden/jo16-statistiska-meddelanden-atgarder-i-skogsbruket-2020-uppdaterad20211006.pdf.

Skogsstyrelsen, 2021b. Kostnader i det storskaliga skogsbruket 2020. Tillgänglig: https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/statistiska-meddelanden/jo0307-statistiska-meddelanden-kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket-2020.pdf.

Skogsstyrelsen, 2021c. Återväxternas kvalitet 2018/1019–2020/2021 https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/publiceringskalender/atervaxternas-kvalitet-20182019-20202021/

Sonesson, J. och Rosvall, O., 2011. Lönsamma åtgärder för ökad tillväxt på Sveaskogs marker. Rapport, Skogforsk.

Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Wilhelmsson, L., 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. Skogforsk, Arbetsrapport 926–2017. https://www.skogforsk.se/cd_20190114162744/contentassets/dc19ef62a29c4473be31f77f32da347c/hyggesfritt-skogsbruk-pa-landskapsniva-arbetsrapport-926-2017.pdf

Spitzer, R. 2019. Trophic resource use and partitioning in multispecies ungulate communities. Ph.D. thesis, Sveriges lantbruksuniversitet. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae: 2019:73.

Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å. & Langvall, O., 2010. Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests – differences in stock levels and regional patterns. Silva Fennica 44(1): 5–2.

Strengbom, J. & Nordin, A., 2008. Gödsling orsakar långvariga förändringar av skogsmarksvegetationen. Fakta Skog 7, 2008. SLU.

Stenlid, J. & Wästerlund, I., 1986. Estimating the frequency of stem rot in *Picea abies* using an increment borer, Scandinavian Journal of Forest Research, 1:1-4, 303-308. DOI: 10.1080/02827588609382421.

Strömberg, C., Claesson, S., Thuresson, T. & Örlander, G., 2001. Föryngring av skog – metoder, åtgärder och resultat. Skogsstyrelsen, Rapport 8D, Jönköping, 42 s.

Svenska Jägareförbundets Viltövervakning., 2021. Avskjutningsstatisk. Opublicerade data. www.viltdata.se

Taylor, A, Malmberg, A., Finlay, R., Högbom, L., 2005. Gödsling påverkar mykorrhizasamhället – men effekten verkar vara övergående. Skogforsk, Resultat nr 1, Uppsala, 4 s.

Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J., 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables, Scandinavian Journal of Forest Research, 20:2, 165–176, DOI: 10.1080/02827580510008347.

Thorsén, Å., Mattsson, S. & Weslien, J., 2001. Influence of stem diameter on the survival and growth of containerized Norway spruce seedlings attacked by pine weevils (*Hylobius abietis*). Scandinavian Journal of Forest Research 16: 54–66.

Valinger, E., & Fridman, J., 1997. Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. Forest Ecology and Management, 97(3), 215–222.

Varmola, M. & Salminen, H., 2004. Timing and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. Scandinavian Journal of Forest Research 19(2): 142–151.

Versluijs, M., Roberge, J-M., Eggers, S., Boer, J. & Hjältén, J., 2019a. Ecological restoration for biodiversity conservation improves habitat quality for an insectivorous passerine in boreal forests. Biological Conservation, 237: 90–96. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.025

Versluijs M, Hjältén J & Roberge J-M., 2019b. The effect of forest restoration on biodiversity indicators in boreal forests. Ecological Indicators 98:104–111. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.020

Wallertz, K & Petersson, M., 2011. Pine weevil damage to Norway spruce seedlings: Effects of nutrient-loading, soil inversion and physical protection during seedling establishment. Agricultural and Forest Entomology 13(4): 413–421.

Wallgren, M., Bergquist, J., Bergström, R. & Eriksson, S., 2014. Effects of timing, duration, and intensity of simulated browsing on Scots pine growth and stem quality. Scandinavian Journal of Forest Research 29(8): 734–746.

Wang, L., Pålsson, H., Ek, E. & Rönnberg, J., 2012. The effect of *Phlebiopsis gigantea* and urea stump treatment against spore infection of Heterobasidion spp. on hybrid larch (Larix × eurolepis) in southern Sweden. For. Path., 42: 420–428. https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2012.00777.x

Wang, L., Zhang, J., Drobyshev, I., Cleary, M. & Rönnberg, J., 2014. Incidence and impact of root infection by Heterobasidion spp., and the justification for preventative silvicultural measures on Scots pine trees: A case study in southern Sweden. Forest Ecology and Management 315: 153–159. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.023.

Wang, T., O'Neill, G. A. & Aitken, S. N., 2010. Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate. Ecological Applications, 20, 153–163.

Weslien, J., Finér, L., Jónsson, J.A., Koivusalo, H., Laurén, A., Ranius, T. & Sigurdsson, B.D., 2009. Effects of increased forest productivity and warmer climates on carbon sequestration, runoff water quality and accumulation of dead wood in a Boreal landscape: a modelling study. Scand J. For. Res. 24: 333–347.

Westin J., Helmersson A. & Stener L.G. 2015. Förädling av lärk i Sverige – kunskapsläge och material (manuskript).

Widenfalk, O. & Weslien, J., 2009. Plant species richness in managed boreal forests—Effects of stand succession and thinning. For. Ecol. Manage. 257:1386–1394.

Viri, H., Niemelä, P., Kitunen, V. & Annila, A., 2001a. Soluble carbohydrates, radial growth and vigour of fertilized Norway spruce after inoculation with blue-stain fungus, *Ceratocystis polonica*. Trees 15:327–334.

Viri, H., Annila, E., Kitunen, V. & Niemelä, P., 2001b. Induced responses in stilbenes and terpenes in fertilized Norway spruce after inoculation with blue-stain fungus, *Ceratocystis polonica*. Trees 15:112–122.

Personlig kommunikation:

Lars Högbom, Skogforsk

Johan Sonesson, Skogforsk

Johan Stendahl, SLU

Jörgen Hajek, Skogforsk

Khaled Youssef, SLU