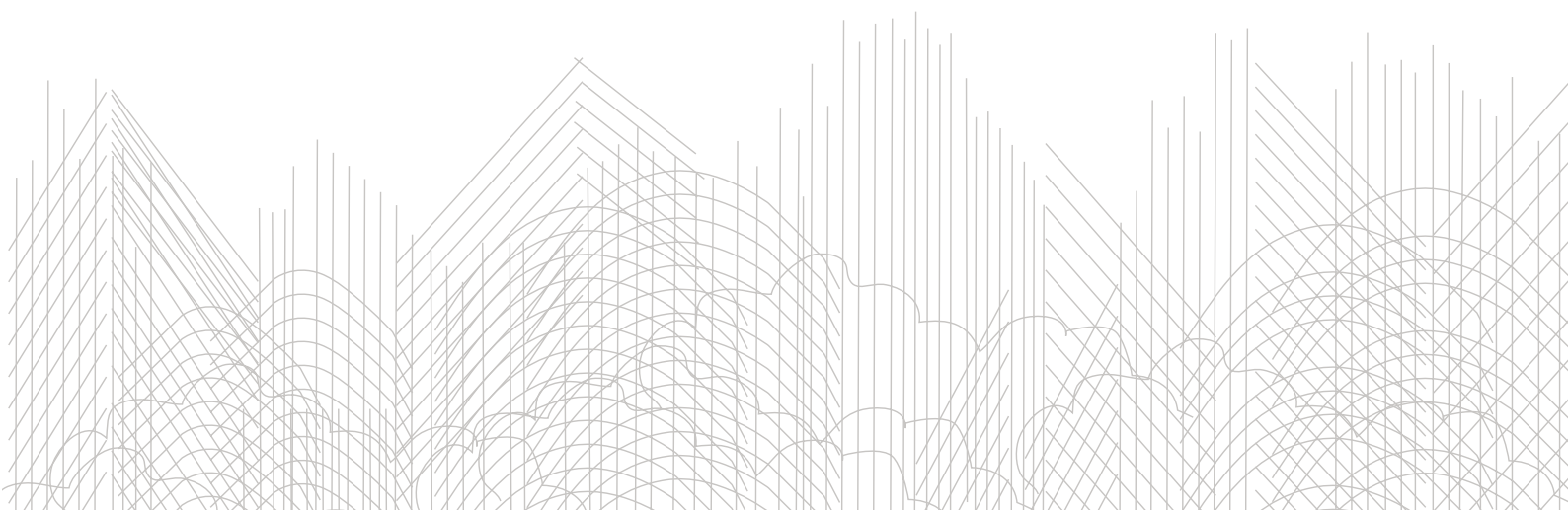


SKOGSSKÖTSELNS GRUNDER OCH SAMBAND



Skogsskötselserien är en sammanställning för publicering via Internet av kunskap om skogsskötsel utan ställningstaganden eller värderingar.

Texterna har skrivits av forskare och har bearbetats redaktionellt både sakligt och språkligt. De är upphovsrättsligt skyddade och får inte användas för kommersiellt bruk utan medgivande.

I Skötselserien ingår:

1. *Skogsskötselns grunder och samband*
2. Produktion av frö och plantor
3. Plantering av barrträd
4. Naturlig föryngring av tall och gran
5. Sådd
6. Röjning
7. Gallring
8. Stamkvistning
9. Skötsel av björk, al och asp
10. Skötsel av ädellövskog
11. Blådningsbruk
12. Skador på skog
13. Skogsbruk – mark och vatten
14. Naturhänsyn
15. Skogsskötsel för rekreation och friluftsliv
16. Produktionshöjande åtgärder
17. Skogsbränsle
18. Skogsskötselns ekonomi
19. Skogsträdsförädling
20. Slutavverkning

Skogsskötselserien har tagits fram med finansiering av Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, Sveriges lantbruksuniversitet och LRF Skogsägarna. Bidrag har även lämnats av Energimyndigheten för behandling av frågor som rör skogsbränsle och av Stiftelsen Skogssällskapet.

Omarbetningar (revisioner) för att ta fram andraupplagor har till stor del även bekostats av Erik Johan Ljungbergs Utbildningsfond och Stiftelsen Skogssällskapet.

Skogsskötselserien – Skogsskötselns grunder och samband

Första upplagan, juni 2008

Andra omarbetade upplagan, december 2012

Författare:

Arne Albrektson, SkogDr, professor emeritus i skogsproduktion (första upplagan)

Björn Elfving, SkogDr, professor emeritus i skogsproduktion (första upplagan)

Lars Lundqvist, SkogDr, docent i skogsskötsel (upplaga 1 och 2)

Erik Valinger, SkogDr, professor i skogsskötsel (upplaga 1 och 2)

© Arne Albrektson, Björn Elfving, Lars Lundqvist, Erik Valinger och Skogsstyrelsen

Redaktör: Clas Fries

Typografisk formgivning: Michael Ernst, Textassistans AB

Grafisk profil: Louise Elm, Skogsstyrelsen

Diagrambearbetning, layout och sättning: Bo Persson, Skogsstyrelsen

Foto omslag: Erik Valinger

Utgivning: Skogsstyrelsens förlag, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien

Innehåll

Innehåll	3
Skogsskötselns grunder och samband.....	6
Principer för skogsskötsel	7
Skogsskötsel.....	7
Skogshushållning	8
Nyttigheter	8
Värdering och kalkyler	8
Inventering	9
Skogsskötselns systematik	10
Skogsskötselns delar.....	10
Skogsskötselåtgärder och beståndets tillstånd	10
Skogsskötelsystem – skogsbrukssätt	14
Skogsskötselmetoder.....	15
Skogsbruksfilosofier.....	15
Trakthyggesbruk	17
Föryngringsfasen.....	17
Ungskogsfasen	23
Gallringsfasen	24
Slutavverkningsfasen	26
Blådningsbruk	28
Blådningsbrukets historia.....	29
Blådningsformer	29
Jämförelse trakthyggesbruk – blådningsbruk	31
Mätning av träd och bestånd	32
Träd	32
Diameter och grundyta.....	32
Barktjocklek.....	33
Höjd och krongränshöjd.....	33
Ålder och radietillväxt	33
Volym och form	33
Biomassa	34
Bestånd.....	34
Grundyta	34
Höjd.....	34
Volym.....	35
Bonitet.....	36
Produktionsfaktorer.....	36
Indikatorer.....	36
Ståndortsindex (SI)	37
Skogshögskolans boniteringssystem, H_{100} -bonitering	38
Bonitetsvisande trädslag	39
Samband mellan ståndortsindex och bonitet.....	39
Fel i ståndortsindex och bonitet	40
Bonitering med höjdtvecklingskurvor	40
Bonitering med interceptmetoden.....	42
Bonitering med ståndortsegenskaper	43
Torvmarksbonitering.....	45

Skillnader mellan trädslag.....	45
Bonitetsförändringar	45
Boniteringssystemet revideras	46
Trädslagens utveckling på samma mark	46
Trädet	48
Trädets uppbyggnad och tillväxt	48
Vätsketransport	48
Ledningsbanornas tillväxt.....	49
Kronans tillväxt.....	50
Rötternas tillväxt.....	52
Vedens celler	52
Växtfysiologi.....	53
Tillväxtens fördelning	54
Blad och barr.....	55
Krona och stam	56
Produktivitet.....	57
Trädens höjd och höjdtillväxt	58
Höjdtillväxt i enskiktade bestånd.....	58
Höjdtillväxt i fullskiktade bestånd.....	59
Skillnader mellan trädslag.....	60
Trädens stamform och volym	60
Årsringar	60
Stamform.....	61
Grundyta	62
Volym.....	62
Konkurrens.....	63
Former av konkurrens	63
Konkurrensen om kväve	64
Samverkan och symbios	64
Naturlig avgång.....	64
Uttryck för konkurrens.....	65
Stamantal och förband	65
Relativt förband	65
Grundyta	66
Reinekes täthetsindex (SDI)	66
Självgallringslagen.....	66
Konkurrensuttryck i produktionsmodeller.....	67
Slutenhet	67
Konkurrens, träd och bestånd	68
Konkurrensen designar trädet	68
Konkurrens i trakthygges- och blädningsskog.....	69
Konkurrensförhållanden mellan träd	69
Konkurrensens roll i skogsskötseln	71
Trädklass och tillväxt.....	71
Blandskogseffekt.....	73
Skogsbeståndet.....	74
Höjdtutveckling.....	74
Volymtillväxt.....	74
Volymtillväxt i trakthyggesbestånd.....	74

Volymtillväxt i blädningsskog	76
Skötselåtgärdernas inverkan på tillväxten	77
Röjning.....	77
Gallring	77
Blädning.....	77
Beståndets biomassa och biomassatillväxt	78
Finrötter och blad.....	78
Stamved.....	78
Skogsodlingsmaterial.....	79
Härkomst.....	79
Härkomstval	80
Förädling och genetisk variation.....	80
Förädlad skogsodlingsmaterial från fröplantager	80
Kloning	81
Genetisk variation	81
Prognoshjälpmedel.....	82
Produktionsöversikter	82
Produktionstabeller	82
Produktionsmodeller	82
Beståndsmodeller.....	83
Trädmodeller	83
Trädlistmodeller	83
Produktionsmodellens delar.....	83
Produktionsmodellernas tillämplighet	83
Prognoshjälpmedel för olika trädslag	84
Planeringsmodeller	85
Litteratur	86

SKOGSSKÖTSELNS GRUNDER OCH SAMBAND

Allmänt. Skogsskötsel innefattar alla skogliga åtgärder som utförs i ett skogsbestånd. Skogshushållning innebär att man planerar utnyttjandet av skogens alla prissatta och icke prissatta nyttigheter. Inventering och beskrivningar av skogen är nödvändiga underlag.

Systematik. Skogsskötsel kan ske som högskogsskötsel, lågskogsskötsel eller medelskogsskötsel – och med olika åtgärder, metoder och system. Skötseln har antingen form av kalhyggesbruk eller blädningsbruk. Olika skogsbruksfilosofier utgör varianter.

Mätning av träd och bestånd. Grunden för att utföra åtgärder i skogen på önskat sätt är korrekt insamlade data i fält från mätning av träd och bestånd.

Bonitet. Boniteten är ett mått på växtplatsens (ståndortens) bördighet. Den uppskattas med hjälp av ståndortsindex under förutsättning att bestånden går att bonitera med befintliga metoder. I vuxna bestånd utnyttjas de grövsta trädens höjd och ålder, i ungskogar interceptet, den sammanlagda längden av fem årsskott ovanför 2,5 m höjd, och i övriga fall markförhållanden och markvegetation som indikatorer på ståndortens produktionsförmåga.

Trädet. Trädets uppbyggnad och utveckling och hur det påverkas av olika åtgärder följer relativt lagbundna mönster med förändringar av höjd, diameter, stamvolym, biomassa, etc.

Konkurrens. Konkurrensen om tillgängligt kväve är helt avgörande i svenska skogar. Konkurrensen bidrar till självgallring och annan naturlig avgång i ett bestånd. Den avgör också trädens form och utveckling. Skogsskötsel avser leda till att konkurrensen påverkas så att skogens utveckling inriktas mot givna mål.

Beståndet. Ett bestånd är ett skogsområde med någorlunda enhetlig ståndort, trädslagsblandning, höjdsiktning, slutenhet, utvecklingsfas, osv. Bestånd som sköts med trakthyggesbruk beskrivs normalt av ålder, stamantal, grundyta, trädslagsblandning, tillväxt och stående volym. I blädningsbruk används inte åldern för att beskriva beståndet.

Skogsodlingsmaterial. Härkomst hos frö och plantor har stor betydelse för hur de sedan utvecklas i skogen. Kontrollerad odling av frön och plantor förbättrar förutsättningarna för lyckade och produktiva föröngningar. Genetisk förädling kan öka produktionspotentialen ytterligare.

Prognoshjälpmedel. Planering av skogsskötseln grundas vanligen på datorberäknade produktionsmodeller. De ger prognoser över tillväxt, avgång, inväxning, volymproduktion, höjdutveckling, med mera.

Principer för skogsskötsel

Inom skogsskötseln ryms alla de skogliga åtgärder som utförs i ett skogsbestånd. Den präglas av det skogsbrukssätt som används och de förnygringsmetoder som hör samman med dem så att växtplatsens produktionsförmåga kan utnyttjas på ett ändamålsenligt sätt, dvs uthålligt och med hänsyn till naturmiljö-, kulturmiljö- och övriga intressen. Inom skogsskötseln är skogshushållning ett centralt begrepp som innefattar att brukandet av skogen planeras med alla dess prissatta och icke prissatta nyttigheter. För att kunna göra det måste all framtida avkastning och alla framtida investeringar och kostnader kunna värderas i både enskilda bestånd och på fastigheten som helhet. Ett nödvändigt underlag för planeringen är inventering och beskrivning av skogen.

Skogens skötsel är till stora delar en ekonomisk hantering och skogsskötselns ekonomi berörs noggrant i ett eget kapitel¹. Trots det är det lämpligt att även här i detta sammanhang, när *skogsskötselns grunder och samband* beskrivs, kort redovisa vad som kan påverka beslut om skogens skötsel.

Skogsskötsel

Skogsskötsel består av uppdragning, vård och förnyelse av skogsbestånd så att växtplatsens produktionsförmåga uthålligt kan utnyttjas på ett ändamålsenligt sätt, vilket förutom virkesproduktion innebär att hänsyn också ska tas till naturmiljö-, kulturmiljö- och övriga intressen. I dag definierar skogsvårdslagen (1 §)² skogsskötselns allmänna inriktning på följande sätt: ”Skogen är en nationell tillgång och en förnybar resurs som ska skötas så att den uthålligt ger en god avkastning samtidigt som den biologiska mångfalden behålls. Vid skötseln ska hänsyn tas även till andra allmänna intressen.”

I skogsskötseln ingår alla skogliga åtgärder som utförs i ett bestånd på skogsmarken, exempelvis röjning, avverkning, förnygring genom plantering, sådd eller naturlig förnygring³, skogsdikning⁴, skogsgödsling⁵ och stamkvistning⁶. Enligt skogsvårdslagen (1 §) ska miljömålet jämföras med produktionsmålet. Det innebär att man vid skogsskötseln ska ta hänsyn till natur- och kulturmiljö, rekreation, med mera. I detta ligger också att försöka främja den biologiska mångfalden genom att till exempel aktivt behålla viss lövinblandning i barrskogen, att spara lämpliga boträd för hålbbyggande fåglar och större rovfåglar liksom döda träd och vindfällen.

¹ Se *Skogsskötselserien* nr 18, Skogsskötselns ekonomi. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

² Anon. 2012. *Skogsvårdslagen. Handbok*. Skogsstyrelsen. Alternativt: *Skogsvårdslag*. SFS 1979:429. Omtryck 1993:553. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen).

³ Se *Skogsskötselserien* del 4, Naturlig förnygring av tall och gran. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁴ Se *Skogsskötselserien* del 13, Skogsbruk – mark och vatten, och del 16, Produktionshöjande åtgärder. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien

⁵ Se *Skogsskötselserien* del 16, Produktionshöjande åtgärder. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁶ Se *Skogsskötselserien* del 8, Stamkvistning. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Skogshushållning

Skogshushållning innebär att man planerar utnyttjandet av skogen som resurs inom ett visst område i enlighet med uppsatta ramar och mål. ”Man” kan vara skogens ägare, samhället eller någon annan person eller grupp av personer som har intressen i skogen. Skogshushållningens ramar utgörs av skogens tillstånd, markens bördighet, olika lagar, certifieringskriterier, ägarens egna restriktioner osv.

Nyttigheter

Skogshushållning omfattar skogsresursens alla ingående delar: virkesavkastning, skogens sociala värden, vilt, bär, svamp, med mera. Dessa olika nyttigheter brukar delas in i:

- *prissatta nyttigheter*, t ex sågtimmer och massaved
- *icke prissatta nyttigheter*, t ex rekreation eller ägarens glädje över att äga vackra träd.

För att skogens skötsel ska kunna styras utifrån strikt ekonomiska principer och för att kunna beräkna dess avkastning, måste emellertid alla nyttigheter prissättas, eller behandlas som restriktioner.

Ett exempel: I goda tider kan en skogsägare, utan att ha räknat på det, värdesätta en dunge vackra tallar intill bostaden så högt att avverkning är otänkbar. Här är ”ej avverkning” en restriktion i fastighetens hushållning. Men om det uppstår ekonomiska trångmål – kanske en stor skatteskuld som äventyrar fastighetsinnehavet – kanske värdet av tallarna realiserar. Då avslöjas att tallarnas estetiska värde gick att värdera i pengar.

Exemplet visar också att tallarnas värde kan variera i olika situationer för en och samma person, och självklart då också för olika personer.

Enligt samma principer kan en helt ointresserad och passiv skogsägar ”passivitet” värderas till den virkesavkastning som inte utnyttjas. Frågan som då besvaras är ”Vad kostar passiviteten”?

I den fortsatta framställningen beaktar vi för enkelhetens skull enbart skogens virkesproduktion.

Värdering och kalkyler

För att kunna planera skogsskötseln på lång sikt måste all framtida avkastning och alla framtida investeringar och kostnader kunna värderas och placeras i tiden. För att göra det används sedan långt tillbaka Faustmanns formel⁷, som enkelt uttryckt är en beräkning av nuvärdet av skogsmark och därpå växande bestånd utifrån ett definierat skogsskötselprogram och en bestämd ränta. *Räntan* är alltså central inom skogsskötsel och skogshushållning. Beräkningsperioderna kan omfatta allt från något enstaka decennium (gödsling) till ”evigheten” (skötselprogram). Ju längre tidsperiod som kalkylerna spänner över desto osäkrare blir kalkylerna, eftersom så mycket kan komma att förändras under den tiden. Kalkylerna kan också göras på olika nivåer – från trädnivå till fastighetsnivå eller företagsnivå.

⁷ Petrini, S. 1953. *Elements of forest economics*. Oliver & Boyd, Edinburgh. (Se även *Skogsskötselserien* 18, Skogsskötselns ekonomi.)

Trädnivå. I princip kan en skogsägare optimera sitt skogsbruk, eller avkastningen av skötselåtgärder i ett bestånd, genom att utgå från i princip obegränsat små enheter av skogen. Det enskilda trädet är då i praktiken den minsta enheten.

Ett litet klenat träd har ofta en hög förräntning (hög relativ värdetillväxt), medan ett stort och värdefullt träd ofta har en låg förräntning. Ett skogsbruk där träd med låg förräntning avverkas leder därför oftast till att endast klena träd lämnas, vilket i sin tur leder till att virkesförrådet och därmed virkesproduktionen blir låg. Samhället har därför infört restriktioner genom att lagstifta om vad och hur man får avverka. Ett skogsbruk som försöker optimera för varje enskilt träd medför dessutom väsentligt högre kostnader för planering och inventering.

Beståndsnivå. I skogsskötseln görs kalkylerna ofta på beståndsnivå, exempelvis för att jämföra två skogsskötselprogram ekonomiskt. På så sätt kan ägaren besluta sig för en skogsskötsel som är optimal.

Dagens modeller för planering och värdering av skogsskötseln förutsätter att bestånden är så stora att såväl deras framtida utveckling som kostnaderna för de åtgärder som utförs i stort sett är oberoende av hur man sköter intilliggande bestånd. Oftast väljs därför beståndsstorlekar som omfattar minst något hektar.

Den ekonomiskt optimala beståndsstorleken påverkas av bland annat trädens värde, variation i ståndortsförhållanden, markens bördighet, förväntad intäkt och transportavstånd. Dessutom inverkar ägarens målsättning och fastighetens storlek.

Fastighetsnivå. Varje bestånds skötsel och avkastning behöver sättas in i ett sammanhang – man säger att man gör en skogsbruksplan på fastighetsnivå. Om ägaren behöver avverka för att få ut pengar, avverkas i första hand det bestånd som maximerar fastighetens nuvärde. Det betyder att beståndet med den lägsta förräntningen avverkas först. Behöver skogsägaren sedan mer pengar, väljs beståndet med den näst lägsta förräntningen osv. I den totala kalkylen ingår då också självklart gallringar. Det kan ge fastigheten ett högre nuvärde att ta intäkterna genom en gallring i stället för en slutavverkning.

Att välja rätt bestånd för avverkning på en större fastighet är en komplicerad matematisk process som bäst genomförs genom beräkningar med hjälp av dator. Flera sådana planeringsprogram finns att köpa.

Inventering

Oavsett hur man sköter skogen, är det viktigt att skogsägaren gör en noggrann inventering och beskrivning av sin skog för att kunna bedöma och värdera den. Beskrivningen ska innehålla bland annat:

- aktuellt virkesförråd
- ålder på skogen
- bonitet⁸
- hur mycket virke som kan tas ut vid avverkningar
- förslag på åtgärder och restriktioner för enskilda bestånd⁹.

Beskrivningen används därefter som underlag för i stort sett alla åtgärder under de närmaste åren.

⁸ Se s 36.

⁹ Se Skogsbeståndet, s 76.

Skogsskötselns systematik

Skogsskötsel kan ske enligt tre olika huvudprinciper: högskogsskötsel, lågskogsskötsel och medelskogsskötsel – och på tre nivåer: åtgärd, metod och system. Skötseln kan ske antingen i form av trakthyggesbruk eller av blädningsbruk. Olika skogsbruksfilosofier kan också vara vägledande.

Skogsskötsel för ett uthålligt brukande av skogen kan systematiseras och definieras på många olika sätt. Det finns därför inte bara en enda generell princip för terminologin inom skötselområdet, utan varje författare väljer normalt sitt eget system baserat på sina egna syften. Det finns dock vissa gemensamma huvuddrag, och det som presenteras här är ett försök att sammanfatta några av de vanligaste principerna. Vi har kompletterat dessa med vår uppfattning där det finns luckor.

Tre olika huvudprinciper kan urskiljas:

- *Högskogsskötsel* innebär att träden får växa ut till full höjd innan de avverkas. Denna skötsel dominerar helt i svenskt skogsbruk.
- *Lågskogsskötsel* innebär att träden avverkas när de nått avsedd storlek, kanske bara efter några få år. Lågskogsskötsel bedrivs ofta som skottskogsskötsel, dvs skogen föryngras vegetativt genom stubb- eller rotskott efter avverkning.¹⁰ I Sverige är energiskogsodling och julgransodling exempel på lågskogsskötsel i större skala.
- *Medelskogsskötsel* är samtidig hög- och lågskogsskötsel och innebär att man låter några få träd växa ut till full storlek innan de avverkas, medan resten av beståndet föryngras flera gånger genom stubbskott under tiden. I fortsättningen behandlas bara högskogsskötsel.

Skogsskötselns delar

Skogsskötselåtgärder måste kunna definieras enkelt, entydigt, objektivet, mätbart och oberoende av person. Det betyder bland annat att man bara bör utgå från vad som kan observeras i skogen, utan att ta hänsyn till vad någon tänkt, exempelvis syftet med åtgärden. Begreppen bör inte heller vara alltför vida, så att det inom en och samma benämning ryms olika åtgärder.

Skogsskötsel kan indelas i flera olika nivåer. Den lägsta nivån är de enskilda *skogsskötselåtgärderna* och den högsta nivån är *skogsskötselsystemen*, dvs det som även kallas skogsbrukssätt. Mellan dessa nivåer finns *skogsskötselmetoderna*.

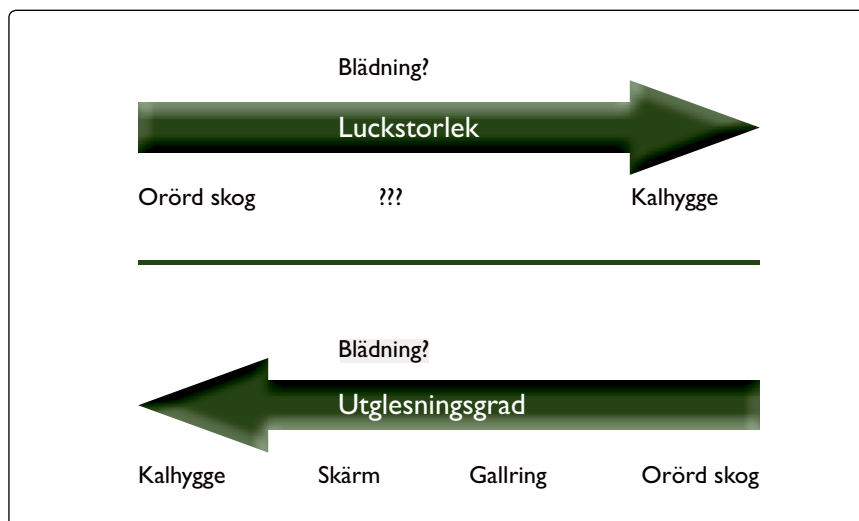
Vid sidan av denna indelning finns dessutom det vi valt att kalla *skogsbruksfilosofier*.

Skogsskötselåtgärder och beståndets tillstånd

Exempel på åtgärder är olika föryngringsåtgärder såsom markberedning, och plantering, och avverkningar såsom gallring och röjning. Historiskt är det egentligen bara avverkningarna som skapat någon större oreda i debatten därför att det inte gått att enas om vilka principer som ska användas för att klassificera dem.

¹⁰ Rydberg, D. 2000. Initial sprouting, growth and mortality of European aspen and birch after selective coppicing in central Sweden. *For. Ecol. Manage.* 130, s 27–35.

Avverkningar. Den första indelningsgrunden som användes var hur avverkningen utfördes. Det fanns då två olika dimensioner för klassificering av avverkningar: *luckstorlek* och *utglesningsgrad* (figur S1). Luckstorleken beskriver hur stora luckor som avverkningen skapat i beståndet, och utglesningsgraden hur stor andel av träden som avverkats i beståndet och hur många som står kvar.



Figur S1 Klassificering av avverkningar utifrån dimensionerna luckstorlek och utglesningsgrad fungerar bra samtidigt endast för ytterligheterna kalhuggning och orörd skog men skapar problem då man ska beskriva gallring, blädning och ställande av skärmar. Klassificeringen blir istället tydlig om man beskriver hur det kvarvarande beståndet ser ut.

Tyvärr är gradienterna "luckstorlek" och "utglesningsgrad" inte direkt jämförbara med varandra. Det går inte att klassificera en avverkning enligt båda gradienterna samtidigt, bortsett från kalhuggning och orörd skog som hamnar i ändpunkterna på båda axlarna.

Det här skapade tidigt problem i diskussionen om kalhuggning, blädning och gallring. Kalhuggning och blädning ansågs skilja sig genom luckstorleken: "kalhuggning = stor lucka", "blädning = liten lucka". Kalhuggning och gallring ansågs skilja sig genom utglesningsgraden. Hur skulle då gallring och blädning kunna skiljas åt?

För att kunna skilja mellan röjning och gallring, gallring och skärmföryngring, och framförallt mellan gallring och blädning blev man tvungen att komplettera med information om skogens utvecklingsstadium. Svårigheten var att det ofta var omöjligt att i fält avgöra vilken av gradienterna som skulle användas. Dessutom blandades åtgärder och system ofta ihop.

Lösningen ligger i att titta på vad som finns kvar istället för att titta på hur avverkningen utförts, vad som tagits bort. En kalhuggning känns ju igen på att det är ett kalhygge efteråt, inte på exakt hur många träd som avverkats. Detsamma gäller när vi ställer en skärm eller lämnar fröträd. Vi känner igen åtgärden på hur det ser ut efteråt. Det blir då inte en gradient på själva uttagen, utan på det *kvarvarande beståndets täthet*. Men för att kunna beskriva hur skogen ser ut, behövs – förutom uppgift om beståndets täthet – även information om beståndets formen.

Bestandsform. Med *bestandsform* avses skogens höjdsiktning. Det finns naturligtvis ett oändligt antal teoretiskt möjliga höjdsiktningar, men i samband med skogsskötsel brukar man normalt bara urskilja tre huvudtyper och en samlingsform:

- *enskiktat bestånd* – alla träd är ungefär lika höga och det finns ett tydligt krontak
- *tvåskiktat bestånd* – två från varandra tydligt avgränsade höjdsikt, ett överbestånd och ett underbestånd, med var sitt krontak (vanligen är dessa bestånd en övergångsfas i trakthyggesbruket)
- *fullskiktat bestånd* – träd av alla eller nästan alla höjder blandade med varandra, ett tydligt krontak saknas, det finns fler små träd än stora
- *flerskiktat bestånd* – ett samlingsnamn för bestånd som varken är en-, två- eller fullskiktade.

I svenskt skogsbruk brukar det vara underförstått att skogen är enskiktad. Därför anges sällan bestandsformen.

Slutenhet. För enskiktade och tvåskiktade bestånd kan bestandsformen vanligen urskiljas tydligt, även om slutenheten är ganska låg. I fullskiktade bestånd krävs högre beståndstäthet, eftersom det måste finnas så många träd att det verkligen kan finnas ”träd av alla höjder” – i skogsvårdslagen 10 §¹¹ anges att volymsslutenheten¹² då skall vara minst 0,5¹³.

Om skogsskötselåtgärder definieras enligt ovan, blir blädning och gallring delvis samma sak, dvs en utglesning av skogen. Men skogen har olika bestandsform efter avverkningen: om skogen efter avverkningen är enskiktad, så var det en gallring; om den är fullskiktad så var det en blädning.

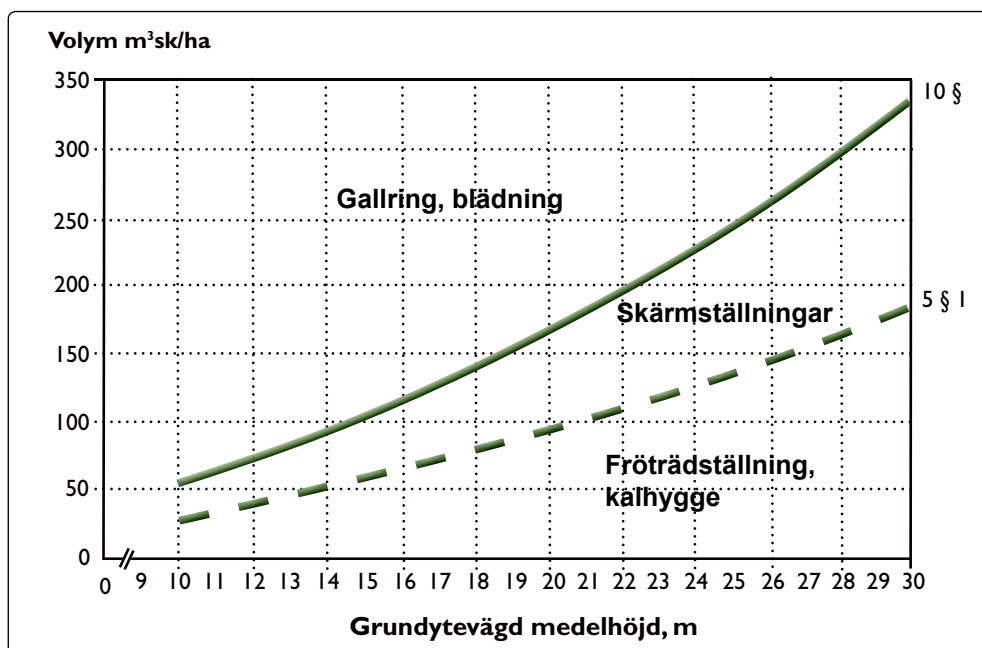
Skillnaden mellan skärmställningar (föryngringsavverkning) och gallring blir däremot, precis som i skogsvårdslagen, en fråga om det kvarvarande beståndets täthet.

Hittills har det inte funnits någon tydlig, mätbar gräns mellan vad som är skärmställning respektive fröträdsställning. I stället har syftet fått avgöra namnet. Om huvudsyftet varit att beså marken med frön, har man sagt fröträd; om syftet varit att skydda föryngringen mot exempelvis frost, har man kallat det skärmställning. En definition som utgår från syftet blir direkt olämplig eftersom den kan göra att två identiska bestånd kan få olika benämning och att två bestånd med helt olika utseende kan få samma benämning. Ett alternativ vore att använda gränsen för föryngringsplikt i skogsvårdslagen 5 §. Det skulle innebära att vi fick mätbara gränser mellan gallringsskog, skärmställningar, fröträdsställningar och kalmark som direkt går att koppla till täthetsgränserna i skogsvårdslagen 10 § och 5 § (figur S2).

¹¹ Anon. 2012. *Skogsvårdslagen. Handbok*. Skogsstyrelsen. Alternativt: *Skogsvårdslag*. SFS 1979:429. Omtryck 1993:553. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen).

¹² Se även Massaslutenhet s 67.

¹³ Beståndet ska ha en volym som är minst hälften av vad det skulle haft om det hade utvecklats med sin teoretiskt maximala produktionsförmåga.



Figur S2 Virkesförrådsdiagrammet i bilagan till skogsvårdslagen. Gallring och blädning skall hamna i området ovanför den heldragna 10 § - linjen, skärmställningar mellan de båda linjerna och fröträdställningar under den streckade linjen (5 § 1). Om inte åtgärder för att anlägga ny skog utförts råder föryngringsplikt under denna linje.¹⁴

Föryngring. Begreppet föryngring är tvetydigt eftersom det beskriver både de åtgärder som utförs och den plantskog som uppkommer. Skärmföryngring avser exempelvis ibland själva metoden för utglesning och avveckling av den gamla skogen till en täthet som understiger 10 § - linjen i skogsvårdslagen, och i andra sammanhang de plantor som etablerat sig i beståndet sedan ”skärmen” ställts.

Tvetydigheten har man ibland försökt att lösa genom att införa begreppet *skogsförnyelse* när man pratat om åtgärden, men ordet har aldrig fått något större gensvar i skogskretsar. De flesta säger fortfarande föryngring, och avser då omväxlande åtgärden och plantorna.

Åtgärderna oberoende av varandra. Beståndets utveckling, förändringar i virkespriser och kostnader, teknisk utveckling, etc gör att det egentligen är en ny beslutssituation inför varje skötselåtgärd. Därför blir skogsskötselåtgärderna oftast oberoende av varandra – en åtgärd vid en given tidpunkt medför inte att en viss annan åtgärd måste utföras vid en senare tidpunkt. Framtida valmöjligheter kan dock begränsas av vad som gjorts tidigare – hur en föryngring kan göras efter en slutavverkning påverkas av hur avverkningen utfördes.

¹⁴ Anon. 2012. *Skogsvårdslagen. Handbok*. Skogsstyrelsen. Alternativt: *Skogsvårdslag*. SFS 1979:429. Omtryck 1993:553. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen).

Skogsskötelsystem – skogsbrukssätt

Ett av skälen till att det alltid varit svårt att definiera olika skogsskötelsystem är att de egentligen inte finns annat än i våra tankar. Enligt skogsordlistan är ett skogsskötelsystem/skogsbrukssätt ett ”system enligt vilket skogsbestånd vårdas, skördas och ersätts med ny skog”¹⁵.

Skogsskötelsystemen fyller ändå en funktion genom att de hjälper oss att dels begränsa antalet tänkbara åtgärder vid olika tidpunkter och dels att komma ihåg det långsiktiga målet med åtgärderna. Skötelsystemen är tanke-modeller som ska hjälpa oss att strukturera skogsskötseln.

Indelningsgrunder. Redan för 100 år sedan hade man klart för sig att det finns två diametralt motsatta skogsskötelsystem: trakthyggesbruk och bläd-ningsbruk. Däremot kunde man inte enas om enligt vilka kriterier de skulle särskiljas.

Första indelningsgrunden var, precis som för enskilda åtgärder, *hur avverkningen utfördes*, dvs systemen antogs skilja sig åt genom det sätt på vilket skogen avverkades. Som tidigare nämnts finns det då två olika dimen-sioner, dvs luckstorlek och utglesningsgrad (se figur S1).

Eftersom normen i Sverige var kalhuggning använde man gradienten luck-storlek: ”stora luckor = kalhuggning”, dvs trakthyggesbruk; ”små luckor = blädning”.

Ganska snart insåg man att det inte räckte. Det gick ju att slutavverka ge-nom utglesning av skärm. Detta ledde till att gradienterna blev desamma som för avverkningsåtgärder, dvs både luckstorlek och utglesningsgrad, vilket skapade problem eftersom det var hela system man skulle klassificera och inte enskilda åtgärder. Hur skulle ett system klassificeras där avverkningen ibland skedde enligt utglesningskriteriet (gallring) och ibland med bestånds-stora luckor (kalhyggen)? Man tvingades ställa upp hjälpkriterier av typen ”huvudskördens utseende”, ”avverkning av mogna träd”, osv. Men inte ens då fungerade det problemfritt.

Man övergick till att utgå från *föryngringssättet*, dvs hur man avverkade för att få upp ny föryngring och under vilka förhållanden föryngringen växte upp. Föryngringsavverkningarna klassades utifrån hur stor yta som skulle föryngras (dvs luckstorleksgradienten), alternativt utifrån hur beståndet grad-vis glesades ut (dvs utglesningsgradienten).

Problemet var att det fortfarande var svårt att skilja blädning från gallring. Hur skulle man veta om en gallring egentligen var inriktad på att få upp ny föryngring och alltså borde kallas blädning, och hur skulle skärm skiljas från blädning? Med det här synsättet var man dessutom tvungen att förutsätta att föryngringen var något som aktivt styrdes med avverkningen, vilket inte all-tid är fallet.

¹⁵ Anon. 1994. *TNC 96 Skogsordlista*. Tekniska nomenklaturcentralen & Sveriges Skogsvårdsförbund.

Det återstående alternativet är att göra som på andra håll i världen, dvs att indela skogsskötelsystemen efter den *beståndsform* (höjdsiktning) de upprätthåller. Skillnaden mellan trakthyggesbruk och blädningsbruk blir då entydig:

- *Trakthyggesbruk* är ett skogsskötelsystem som upprätthåller enskiktad skog. Systemet bygger på att en ny, jämnhög trädgeneration etableras inom en kort tidsperiod. Under uppväxten sköts skogen med röjning och gallring, bl a med målet att ha ett bestånd med jämnstora träd, för att till slut avverkas, varpå hela processen upprepas. I samband med generationsväxlingen kan skogen tillfälligt vara tvåskiktad om föryngringen sker under fröträd eller skärm.
- *Blädningsbruk* är ett skogsskötelsystem för den fullskiktade skogen. Där sköts skogen med återkommande blädningar, dvs gallringen utförs så att skogen förblir fullskiktad. Uttaget i gallringarna inriktas främst mot de grövre träden, och återväxten förutsätts ske på naturlig väg utan aktiva åtgärder.

Skogsskötselmetoder

Med *skogsskötselmetoder* avses ett antal skötselåtgärder som kombineras på ett bestämt sätt under en kort tidsrymd. Två typiska exempel är föryngring under fröträd respektive under högskärm, vilka kan innefatta åtgärderna utglesning med förberedande huggning, markberedning och avverkning av fröträd eller skärmträd.¹⁶

Skogsskötselmetoderna är tankemodeller för att komma ihåg hur man tänkt sig att skogen skall skötas de närmaste åren.

Skogsbruksfilosofier

Utöver de tre nivåerna *system*, *metoder* och *åtgärder* har det från tid till annan florerat vad som enklast skulle kunna sammanfattas under begreppet ”skogsbruksfilosofier”, dvs någon form av grundläggande moraliska eller filosofiska riktlinjer för hur skogsbruk bör bedrivas. Exempel på sådana filosofier är *New Forestry*¹⁷, *Pro Silva*¹⁸, *Naturkultur*¹⁹ och *Continuous Cover Forestry*²⁰. Det av Skogsstyrelsen myntade begreppet *hyggesfritt skogsbruk* samt *kontinuitetsskogsbruk*²¹ kan också räknas hit.

Naturkultur. Den grundläggande filosofin bakom begreppet Naturkultur är att det i äldre skog ofta finns undertryckta träd med potentiellt hög framtida kvalitet som skulle kunna tas tillvara om skogen höggallras istället för att

¹⁶ Se *Skogsskötselserien* del 4, Naturlig föryngring av tall och gran. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁷ Franklin, J.F. 1989. The ”new forestry”. *Journal of Soil and Water Conservation* 44(6), s 549.

¹⁸ www.prosilvaeurope.org

¹⁹ Hagner, M. 2005. *Naturkultur*. Mats Hagners Bokförlag.

²⁰ Pommerening, A. & Murphy, S.T. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77, s 27–44.

²¹ Cedergren, J. 2008. Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsen. *Meddelande* 1-2008.

slutavverkas. På så sätt skulle både förräntningen och nuvärdet öka i skogen. Det enskilda trädet utgör behandlingsenhet, inte beståndet.

Före varje avverkning ska markägaren göra ekonomiska nuvärdeberäkningar på enskilda träd inom grupper av några få träd, och detta skall göras för alla träd i skogen. Trädvalet vid avverkningen ska på så sätt styras av ekonomisk optimering träd för träd och inte, som i konventionellt skogsbruk, för beståndet. Det förutsätter dock att man kan förutsäga hur alla enskilda träd i skogen kommer att växa i framtiden. Prognosmodeller för sådana beräkningar finns inte, eftersom de enskilda trädens utveckling är så variabel att prognossäkerheten blir låg. Praktiska erfarenheter av metoden visar att tillämpningen av metoden ofta leder till kraftigt utglesade bestånd med låg tillväxt.

Continuous Cover Forestry. Grundfilosofin bygger här på att det i naturskogen, som är opåverkad av skogsbruk, aldrig förekommer kalmark, utan skogsmarken är ”kontinuerligt täckt med skog” i någon form. Begreppet är idag accepterat i stora delar av Europa som vägledande princip för hur skogsbruk bör bedrivas. Däremot är man inte alltid överens om hur det ska tolkas (figur S3).

Pro Silva är en variant på samma tema, där tanken är att skogsbruket ska bedrivas så att det liknar naturskogens utveckling. Målet är att utan upptagning av kalhyggen upprätthålla markens produktivitet, ge ett uthålligt skydd för mark och klimat, att producera virke och andra nyttigheter samt möjliggöra rekreation.



Figur S3 Exempel på Continuous Cover Forestry i Wales med dominerande bestånd bestående av Douglasgran. Foto Erik Valinger.

Kalhyggesfritt skogsbruk. I Sverige har nyligen begreppen *kontinuitets-skogsbruk* och *kalhyggesfritt skogsbruk*²² (ofta används kortformen *hyggesfritt*) börjat användas som samlingsbegrepp för flera olika skötselåtgärder, -metoder och -system. Gemensamt för dem är att man aldrig lämnar marken kal. Problemet är att begreppen inkluderar både det mesta av trakthyggesbrukets åtgärder och metoder, exempelvis gallring och föryngring under skärm, och hela skogsskötselsystemet blädningsbruk. Vi får alltså en gränsdragning som skiljer ut åtgärden slutavverkning genom kalhuggning i den ena gruppen och alla andra skogsskötselåtgärder, skogsskötselmetoder och skogsskötselsystem i den andra. Olika intressegrupper tolkar dessutom begreppen på olika sätt. Några anser att endast åtgärder som bevarar full- eller flerskiktad skog ska räknas hit, dvs i princip enbart blädningsbruk.

Trakthyggesbruk

Skogsskötselsystemet för *enskiktad* skog heter *trakthyggesbruk*.

Beståndsformen avser skog där ett höjdsikt klart kan identifieras.

Trakthyggesbruk har varit helt dominerande i Sverige sedan 1950-talet, och därför har det betraktats som det normala systemet som alla andra system jämförs med. Det har dessutom fördelen av att vara lätt att förstå och att reglera, eftersom det följer en odlingsföljd som människor känner igen från jordbruket och trädgården: skötseln startar med sådd/plantering, varefter den uppväxande grödan vårdas fram till skörden när ”säsongen” är slut och skörden är mogen.

Det som gör skogsbruket lite speciellt är att säsongen inte är ett eller några få år, utan på våra breddgrader flera decennier. Trakthyggesbrukets faser är:

- föryngringsfasen
- ungskogsfasen
- gallringsfasen
- slutavverkningsfasen.

Speciellt slutavverknings- och föryngringsfasen glider ofta ihop genom att slutavverkningen inleder föryngringsfasen. När slutavverkningen dras ut över tiden, till exempel vid ställande av timmerställning eller vid föryngring under fröträd, kommer de två faserna att överlappa varandra. Ibland används beteckningen kalhyggesfas för den del av föryngringsfasen som åtgår från slutavverkning tills ett slutet plantbestånd etablerats. Rönjning och gallring kan ibland också utföras med hänsyn till framtida föryngringsfas.

Föryngringsfasen

Med föryngring avses etableringen av ett nytt skogsbestånd som ersätter beståndet som avverkats. Detta kan göras på många olika sätt. En skiljelinje går mellan naturlig föryngring och artificiell föryngring, som innebär att skogsskötaren sår frön, planterar plantor eller sätter sticklingar. Vid naturlig

²² Se *Skogsskötselserien* del 11, Blädningsbruk. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien, och Cedergren, J. 2008. Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsen. Meddelande 1-2008.

föryngring kan antingen det naturliga fröfallet i den gamla skogen utnyttjas eller det från fröträd och/eller hyggeskanter. Undantagsvis kan också rot- och stubbskott utnyttjas. Vid artificiell föryngring kommer det nya beståndet ofta att bestå av både odlade och naturligt föryngrade plantor.

Plantering.²³ Idag är plantering det dominerande föryngringssättet i Sverige. För perioden 2005-2009 utgjorde planterad plantskog 62 % av alla föryngringar.²⁴ Plantorna är oftast så kallade rotade plantor (täckrotsplantor), dvs plantan levereras med sin rot i en ”jordklump” som oftast består av torv. Tidigare dominerade barrotsplantor, vars rotsystem ligger fria. På grund av de större påfrestningarna av hyggesvegetation och snytbaggeskador i södra Sverige används där emellertid ofta stora barrotsplantor eftersom de klarar sig bättre än vanliga täckrotsplantor, och stora barrotsplantor är billigare att driva upp än täckrotsplantor av motsvarande storlek.

Sådd.²⁵ Sedan mitten av 1950-talet förekommer sådd i mycket begränsad skala. Under senare år har utvecklingen av maskinell sådd gjort att intresset för sådd har ökat. Sådens andel av den föryngrade arealen uppgår i dagsläget till ca 2,5 %.²⁶

Naturlig föryngring.²⁷ Naturlig föryngring sker i huvudsak på två sätt:

- *med hjälp av beståndsföryngring*, dvs plantor som redan finns i beståndet
- *med hjälp av fröträd eller hyggeskant*, vars fröfall ger upphov till den nya plantskogen.

Naturligtvis kan de båda teknikerna kombineras. I båda fallen lämnas normalt en del av det gamla beståndet för att skydda föryngringen. När det gäller lövträd kan exempelvis björk, asp och al även föryngras med rot- eller stubbskott.

Naturlig föryngring med hjälp av fröträd är den vanligaste metoden, vilken främst utnyttjas i tallskog. Under senaste decenniet har andelen naturlig föryngring minskat. Enligt Riksskogstaxeringen var andelen naturlig föryngring ungefär 37 % av den föryngrade plantskogen under perioden 2005-2009.²⁸ Skogsstyrelsens stickprovsinventering av föryngringar visar att andelen sjunkit ytterligare och att omkring 22 % av plantskogen omkring åren 2007-2009 var naturligt föryngrad.²⁹

²³ Se *Skogsskötselserien* del 3, Plantering av barrträd. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

²⁴ Anon. 2010. *Skogsdata 2010 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.

²⁵ Se *Skogsskötselserien* del 5, Sådd. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

²⁶ Bergqvist J., Eriksson, A. & Fries, C. 2011. Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999-2009. Skogsstyrelsen. *Rapport 1-2011*.

²⁷ Se *Skogsskötselserien* del 4, Naturlig föryngring av tall och gran. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

²⁸ Anon. 2010. *Skogsdata 2010 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.

²⁹ Bergqvist J., Eriksson, A. & Fries, C. 2011. Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999-2009. Skogsstyrelsen. *Rapport 1-2011*.

Även vid plantering och sådd var nästan varannan huvudplanta i föryngringarna naturligt föryngrad, antingen barr- eller lövplanta vid senaste återväxttaxeringen som utförts av Skogsstyrelsen.³⁰ I granskog kombineras oftast beståndsföryngring med ny föryngring (plantering eller självsådd) och plant-skogen får gradvis etablera sig och utvecklas under en högskärm.³¹

Olika trädslag har olika strategier för sin överlevnad och spridning.³²

- Arter med *vindtransporterade frön* (till exempel asp, sälg, al, björk, tall och gran) ger ofta naturlig föryngring om en markberedning blottat stora delar av mineraljorden, även om trädslaget inte är närvarande på själva växtplatsen i samband med markbehandlingen.
- Arter som *beståndsföryngras* (till exempel ädelgran, ek, bok, gran och tall) och som gynnas i samband med utglesning av beståndet, kan utnyttjas vid skärmföryngring.
- Arter som föryngras med *stubb- och rotskott* (till exempel björk, asp, lönn och ek) kan utnyttjas under föryngringen genom att de får bilda lågskärm.

Markbehandling.³³ Oavsett om det nya beståndet ska anläggas genom plantering, sådd eller naturlig föryngring, så är den första åtgärden oftast markberedning. Mineraljorden blottläggs då på en större eller mindre del av föryngringsytan, alternativt skapas ”högar” eller ”rabatter” som är mineraljord lagd över humus.

Syftet är att öka överlevnaden hos plantorna, höja tillväxten samt att vid naturlig föryngring öka antalet fröplantor. Detta uppnås genom flera samverkande faktorer:

- *Konkurrensen minskar* från markvegetationen under de första åren genom att markvegetationen intill plantorna avlägsnas.
- *Dödligheten minskar* bland plantorna genom att det blir färre snytbaggengrepp eftersom snytbaggar helst undviker öppna mineraljordsytor.
- *Marktemperaturen ökar*.
- *Frostrisken minskar* tack vare mer värmeutstrålning nattetid.
- *Näringsutbudet ökar* om jorden vänds i markfläcken så att humus och markvegetation hamnar under mineraljorden – komposteringen av det organiska materialet ger då gradvis ett näringstillskott till den lilla plantan.
- *Gronings- och etableringsförhållandena blir mer optimala* för frön.

³⁰ Bergqvist J., Eriksson, A. & Fries, C. 2011. Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999-2009. Skogsstyrelsen. Rapport 1-2011.

³¹ Se Slutavverkning, s 26.

³² Oliver, C. & Larson, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. New York.

³³ Se *Skogsskötselserien* del 4, Plantering av barrträd. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotsel-serien.

Markberedning *underlättar planteringsarbetet* genom att plantörerna får lättare att orientera sig på hygget och att finna lämpliga planteringspunkter. Detta minskar samtidigt kostnaderna.

För några decennier sedan gjordes markberedningen manuellt med hacka eller spade. Nu görs nästan all markberedning maskinellt. Det finns tre huvudtyper:

- *fläckmarkberedning* – humus och markvegetation fläks undan så att mineraljorden friläggs fläckvis
- *harvning* – markvegetation och humus rivs undan i långa strängar
- *högläggning* – det översta marklagret vänds uppochner och läggs ovanpå marken bredvid så att det bildas en mineraljordshög ovanpå ett lager av humus och markvegetation.

Harvning är idag den dominerande markberedningsmetoden. Harvningen åstadkommer olika mikromiljöer längs hela harvspåret som utnyttjas på olika sätt, beroende på bland annat markfuktigheten.

På senare år har högläggning ökat i omfattning.

Andra alternativa markbehandlingsmetoder som idag förekommer i liten skala är *bränning* och *kemisk markbehandling*.³⁴

Vid val av markbehandlingsmetod bör strävan vara att säkerställa föryngningen med så stor skonsamhet som möjligt.

Ståndortsanpassning. Sedan 1980-talet har begreppet ståndortsanpassning³⁵ alltmer genomsyrat skogsbruket och utvecklingen går mot allt bättre anpassning av föryngringsåtgärderna till förhållandena på ståndorten³⁶.

Ståndortsanpassad skogsodling innebär att föryngringsmetoden väljs efter den plats där träden kommer att växa så att plantorna erbjuds bästa möjliga förhållanden för sin etablering och utveckling samtidigt som den uthålliga produktionsförmågan inte äventyras.

Anpassningen av föryngringsåtgärderna bygger på en noggrann beskrivning och analys av den aktuella ståndortens förutsättningar. Fem huvudpunkter bör beaktas:³⁷

1. *ståndortens klimat* – makroklimat och mikroklimat
2. *markens egenskaper* – jordart, hydrologi och näringsutbud
3. *ståndortshistorik* – effekter av tidigare åtgärder och tillstånd
4. *biotiska förhållanden* – konkurrens och risk för skador
5. *beståndets egenskaper* – trädslag och kvalitetsegenskaper.

³⁴ Se *Skogsskötselserien* del 3, Plantering av barrträd, del 4, Naturlig föryngring av tall och gran och del 5, Sådd. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

³⁵ Ståndortsanpassning inom skogsbruket innebär att grundläggande kunskaper och erfarenheter inom ekologi, skogsmeteorologi, hydrologi och markvetenskap tillämpas för att välja de mest lämpliga metoderna på platsen i fråga. Se även *Skogsskötselserien* del 13 Skogsbruk - mark och vatten, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien, samt Bäcké, J., Larsson, M., Lundmark, J.-E., & Örländer, G. 1986. Ståndortsanpassad markberedning: teoretisk analys av några markberedningsprinciper. Skogsarbeten. Redogörelse nr 3.

³⁶ Med ståndort avses trädens växtplats.

³⁷ Lundmark, J.-E. 1988. *Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk del 2 – tillämpning*. Skogsstyrelsen, Jönköping.

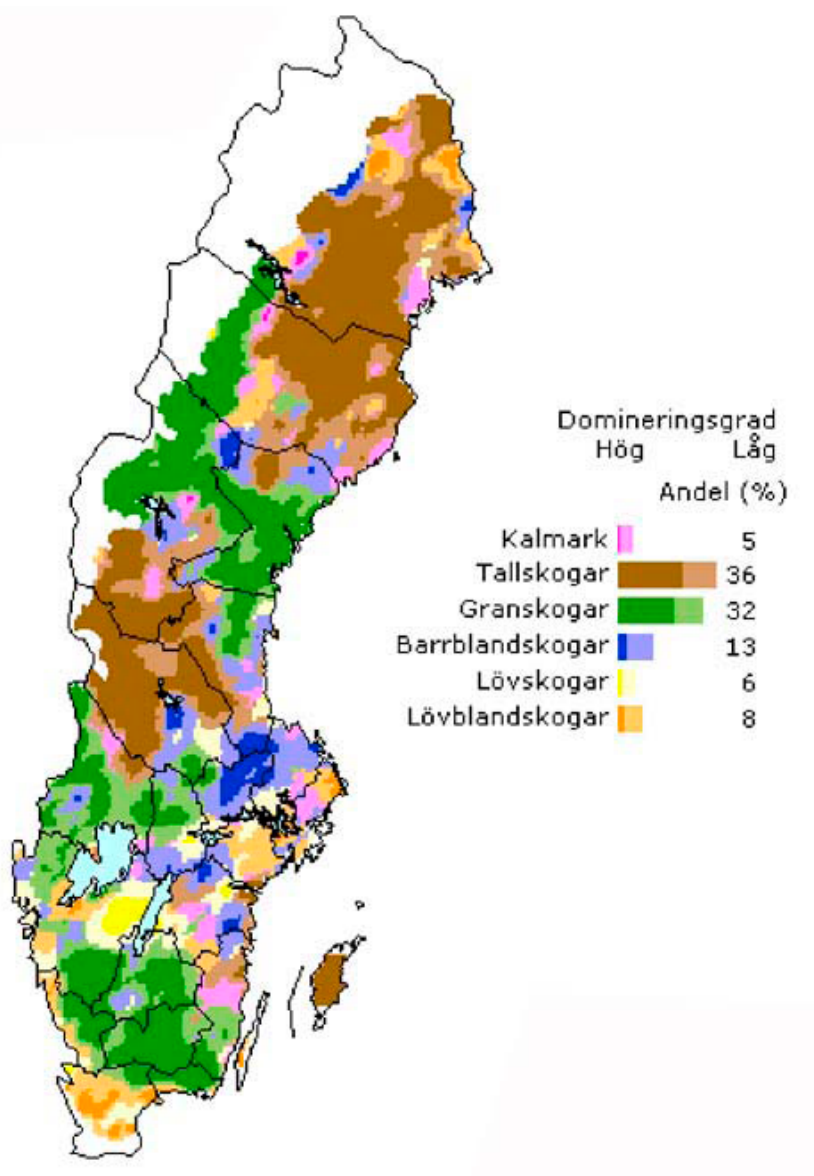
De fem bedömningsfaktorerna används för att i fält kunna förklara och bedöma vad som är avgörande för valet av föryngringsmetod, samt för att kunna utforma lämpligt skogsskötselprogram utifrån målet med brukandet av skogen. Föryngringsarbetet måste utgå ifrån de förutsättningar som råder innan det gamla beståndet avvecklas, eftersom avverkningen påverkar faktorer och processer både ovan och under markytan.

Utöver detta måste skötselinslagets lokala inverkan på natur- och kulturmiljö samt på rekreations- och andra värden – på både kort och lång sikt – tas i beaktande för att minska risken för negativa konsekvenser. Detta kan ibland medföra att den mest lämpliga metoden ur ren skogsodlingssynpunkt måste väljas bort.

I dagens skogsbruk används fortfarande ofta schablonartade metoder där samma markbehandlingsmetod och samma plantsort används över stora områden, även om ståndortsförhållandena varierar. En orsak till detta kan vara att företaget/markägaren endast har tillgång till en viss utrustning som inte medger valfri markbehandlingsmetod.

Trädslagsval. Valet av trädslag bör i första hand styras av *trädslagets* och *markens egenskaper* i kombination med *klimatet*, dvs de krav olika trädslag har på sin växtplats och hur de samspelar med växtplatsens egenskaper. Därefter kan trädslagsvalet anpassas till målsättningarna med skogsskötseln på fastigheten.

Till hjälp vid trädslagsvalet bör omgivande bestånd och trädslagets naturliga utbredning utnyttjas för att konstatera möjliga alternativ (figur S4).



Figur S4 Dominerande trädskiktclass i olika delar av Sverige.³⁸

Tall är ekonomiskt mest konkurrenskraftig på torr och förhållandevis näringsfattig mark. Torr mark, grov marktextur, tämligen grunt jorddjup, tunt mårager och marker som uppvisar sämre markvegetationstyp, samt låg vattenhållande förmåga indikerar att marken är lämplig för tall. Även växtplatser som tidigare påverkats av brand, dvs marker med reducerat organiskt material, är lämpliga för tall.

Gran växer bäst på bördiga marker och kan, till skillnad från tallen, bilda nya så kallade adventivrötter i det översta marklagret. Den kan därmed växa bra även på marker med kalla och syrefattiga jordar, varför granen är ett naturligt val på finjordsrika och fuktiga marker. Detta leder samtidigt till att granen kan vara vindkänslig på sådana marker, eftersom den där utvecklar ett yttligt rotsystem.

³⁸ Från www-markinfo.slu.se/sve/veg/trslag.html. Ståndortskarteringen 83–87.

Vårtbjörk trivs bäst på bördiga skogsmarker och kan med fördel planteras på de flesta marktyper, bland annat på marker med rötförekomst. Enda marktyper som bör undvikas är mycket torra respektive mycket blöta marker. Vårtbjörken självföryngras lätt och är ett mycket frosthärdigt pionjärträdsdrag som klarar sig väl mot både vår- och höstfroster, varför den kan användas som frostskydd för sekundärträdsdrag som till exempel gran.

Glasbjörk är något känsligare än vårtbjörk vid val av ståndort. Den växer bra på fuktigare till våta marker, men i övrigt är den likvärdig med vårtbjörken i sina krav på växtplatsen.

Ek är ett trädsdrag som kan växa på de flesta marktyper. Marken får dock inte vara sämre än god granmark, och den trivs inte på djup torvmark. På grund mark och torr sand kan den bli lågvuxen, krokig och grenig. Eken växer naturligt endast i södra Sverige eftersom den är frostkänslig under både vår och höst. Eken är mycket stormhärdig.

Bok trivs bäst i kuperad terräng med hög nederbörd i södra Sverige. Den räknas till sekundärträdsdragen och är mycket frostkänslig under våren och något mindre frostkänslig under hösten. Liksom eken räknas den till de mycket stormhärdriga trädsdragen.

Asp växer bra på bördiga, finjordsrika, väl dränerade marker. Aspen är mycket utsatt för bete av älg, hjort och rådjur.

Blandskog. De flesta av våra vanligaste trädsdrag växer bra på all vanlig skogsmark. Det är därför möjligt att skapa skogar som innehåller flera trädsdrag, blandskogar, på huvuddelen av den svenska skogsmarken. Vilka trädsdrag man väljer att blanda varierar med läge i landet och exakt hur marken ser ut. På något torrare marker blir det ofta blandskogar med tall, björk och asp, medan det på fuktigare marker gärna blir gran, björk och al. Blandskogar kan ge skötselproblem om träd med olika tillväxtrytm ingår.

Ungskogsfasen

Ungskogsfasen omfattar tiden från det att plantorna når över brösthöjd (1,3 m) till dess att de passerar omkring 7 meters medelhöjd.

Röjning.³⁹ Den helt dominerande åtgärden under ungskogsfasen är röjning. Röjning förekommer även under föryngringsfasen, dvs innan träden når 1,3 m, och kallas då plantröjning. Röjning definieras som ”beståndsvårdande utglesning av skog utan tillvaratagande av virke”⁴⁰. I sena eller eftersatta röjningar förekommer det emellertid att man tar tillvara röjningsvirke för bland annat energiändamål. Åtgärden kallas ibland ”röjningsgallring”, ”biogallring” eller ”skogsbränslegallring”.

Syftet med röjningen är främst att reglera trädsdragssammansättningen, att koncentrera tillväxten till färre träd och att förebygga naturlig avgång⁴¹.

³⁹ Se *Skogsskötselserien* del 6, Röjning. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁴⁰ www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogsencyklopedin/

⁴¹ Se *Naturlig avgång*, s 64.

Gagnvirkesproduktionen – produktionen av virke som senare tas tillvara och vidareförädlas – höjs vanligen av röjning.

Röjning kan utföras på flera olika sätt och med olika inriktning. När det gäller inriktningen handlar det normalt om att antingen röja bort konkurrerande lövträd eller att sänka stamantalet bland barrträden. Mellan dessa ytterligheter finns ett stort antal olika specialvarianter, såsom punktröjning kring huvudstammar, enkelställning i såddfläckar, osv.

Nästan all röjning utförs numera som mekanisk röjning, oftast motormannuellt med röjmotorsåg. Under perioden 1950–1970 var kemisk lövröjning vanlig. Ungskogar med stort lövinslag besprutades då med kemiska medel som dödade lövträden, men inte barrträden.

Gallringsfasen

Gallring⁴² definieras som ”beståndsvårdande utglesning av skog med tillvaratagande av virke”⁴³.

Syftet med gallring är, liksom med röjning, att koncentrera tillväxten till färre träd, att förebygga självgallring⁴⁴ och att därigenom skapa ett slutavverkningsbestånd med högt virkesvärde samtidigt som man får en intäkt från åtgärden.

All gallring sänker i princip den totala virkesproduktionen i beståndet, alltså inklusive det virke som faller vid naturlig avgång. Gagnvirkesproduktionen höjs däremot normalt sett av gallring.

Gallring utförs vanligen som selektiv gallring, dvs skogsskötaren väljer subjektivt ut de träd som ska gynnas av gallringen utifrån trädens utseende (storlek, skador, kvalité, med mera) och rumsliga fördelning. Målet är att skapa ett bestånd där träden är någorlunda jämnt fördelade över arealen och utan luckor, samt att huvuddelen av träden har potential att kunna utvecklas till högvärdiga slutavverkningssträd. Motsatsen till selektiv gallring är schematisk gallring där uttaget sker i rader eller korridorer, i stort sett utan hänsyn till individval.

Gallringar är i dagens skogsbruk oftast helmekaniserade, med maskinlag bestående av gallringsskördare och skotare.

Gallringsform. Begreppet gallringsform beskriver om de utgallrade träden tillhör de större eller mindre träden i beståndet:

- *höggallring* innebär att de utgallrade träden är större än de som står kvar
- *låggallring* innebär att de utgallrade träden är mindre än de som står kvar
- *likformig gallring* eller *krongallring* innebär att träd ur alla storleksklasser gallras ut.

⁴² Se *Skogsskötselserien* del 7, Gallring. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁴³ Anon. 1994. *TNC 96 Skogsordlista*. Tekniska nomenklaturcentralen & Sveriges Skogsvårdsförbund.

⁴⁴ Självgallring är avgång av träd genom trängselverkan.

Gallringskvot. Gallringsformen beskrivs objektivt med *gallringskvoten*. Den kan beskrivas som

- kvoten mellan medelvolymin av de utgallrade träden dividerad med medelvolymin av träden i beståndet innan avverkning.⁴⁵
- kvoten mellan medeldiametern av uttagna träd dividerad med medeldiametern på de kvarstående träden.⁴⁶ Detta är den vanligaste definitionen av gallringskvot.
- kvoten mellan medeldiametern av de utgallrade träden dividerad med medeldiametern i beståndet innan gallring.⁴⁷

Vid höggallring är gallringskvoten hög (> 1), vid låggallring är den låg (< 1).⁴⁸ Gallringsformen kan även anges som uttagets andel (%) av grundytan dividerad med uttagets andel (%) av stamantalet.

Gallringsstyrka. Gallringsstyrkan kan anges på flera sätt. De vanligaste är

- procent av volymen
- procent av grundytan
- procent av stamantalet.

Det vanligaste sättet att bestämma gallringsstyrkan är att ange den i procent av volymen före avverkningen. Håller beståndet volymen 250 m³sk före gallringen och man tar ut 75 m³sk blir gallringsstyrkan

$$75/250 \times 100 \% = 30 \%$$

Det blir emellertid allt vanligare att man anger gallringsstyrkan i procent av grundytan, eftersom den är lätt att uppskatta med hjälp av ett relaskop⁴⁹. Om man vid uppskattningen räknar fem utgallrade träd och 20 ogallrade, betyder det att man gallrat ut en grundyta på 5 m² och har 20 m² kvarstående. Gallringsstyrkan på grundytan blir då

$$5/(20 + 5) \times 100 \% = 20 \%$$

Gallringsprocenterna i volym och grundyta är oftast ungefär lika. Eventuella skillnader beror av skillnader i höjd och form mellan gallrade och ogallrade träd inom samma diameterklass.

Gallringsprocenten på stamantalet säger mindre, eftersom man måste veta om de klenaste eller grövsta stammarna gallrats för att kunna bedöma gallringens styrka.

⁴⁵ Savill, P.S. & Evans, J. 1986. *Plantation silviculture in temperate regions*. Clarendon Press, Oxford.

⁴⁶ Eriksson, H. 1990. Hur har det gått med höggallringen? *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 2, s 43–57.

⁴⁷ Joergensen, C.H.R. 1957. Thinning experiments – examples and discussion on technique and leading principles together with an index of thinning experiments in British Columbia. B.C. Forest Service, dept. of Land and Forests. *Technical Publication* T 45, s 24.

⁴⁸ Lageson, H. 1996. Thinning from below or above? Implications on operational efficiency and residual stand. SLU. *Avhandling*.

⁴⁹ Relaskopet är ett instrument för grundytebestämning. Vid en relaskopfaktor på 1 siktar man genom en spalt på 1 cm som skall vara 50 cm från ögat. Man syftar från en viss punkt mot omgivande träd i brösthöjd och under vridning ett varv räknas de träd vars diameter överstiger en viss vinkel, dvs spaltens bredd, varvid grundytan erhålls.

Vanliga gallringsstyrkor i dagens skogsbruk ligger mellan 20 och 40 %. Gallrar man svagare betyder det att gallringen blir onödigt dyr och gallrar man hårdare kan uttagets styrka leda till att beståndet blir känsligt för till exempel vindskador, samtidigt som tillväxten sjunker drastiskt om gallringen utförs mycket hårt.

Slutavverkningsfasen

Slutavverkning innebär skörd och avveckling av den gamla skogen och är den naturliga slutfasen på trakthyggesbrukets cykliska förlopp.⁵⁰ Efter slutavverkningen följer en ny förnygringsfas och trakthyggesbrukets faser upprepas.

Slutavverkning är den skogsskötselåtgärd som det finns störst variationsmöjligheter kring, både i tid och i rum, men är också den åtgärd som skapat mest debatt⁵¹.

Slutavverkning brukar delas in i huvudgrupperna

- kalhuggning (figur S5)
- skärmställning
- etappvis (uppdelad) slutavverkning.

Eftersom flera varianter är utdragna över tiden, sammanfaller slutavverkningen ofta tidsmässigt med förnygringsfasen. Därför kallas slutavverkningsmetoderna ofta även förnygringsmetoder, och i skogsvårdslagen används begreppet ”förnygringsavverkning”.



Figur S5 Mekaniserad slutavverkning med hjälp av skördare.
Foto Erik Valinger.

⁵⁰ Se *Skogsskötselserien* del 20, Slutavverkning. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

⁵¹ Anon. 1974. *Kalhyggen*. Ds Jo 1974:2. Jordbruksdepartementet.

Kalhuggning – med och utan fröträd. Kalhuggning innebär att man avverkar samtliga träd i beståndet vid ett och samma tillfälle. Kalhuggning kombineras ofta med att mindre träd och plantor röjs bort antingen före (*förrensning, underväxtröjning*) eller efter avverkningen (*hyggesrensning*). Den följs normalt av markberedning och därefter av plantering.

Om man vill föryngra genom naturlig föryngring måste man i allmänhet lämna kvar fröträd. Åtgärden kallas ändå kalhuggning om slutenheten i beståndet efter avverkningen är så låg att beståndet klassificeras som kal mark. Gränsen för detta går vid slutenhet 0,3 och finns definierat i 5 § i skogsvårdslagen (se figur S2).

Kalhuggning är sedan 1950-talet det helt dominerande sättet att slutavverka i svenska skogar.

Skärmställning. Slutavverkning där man ställer en skärm innebär i princip att man gallrar den slutavverkningsmogna skogen, men man gallrar så hårt att beståndet efter avverkningen inte längre uppfyller skogsvårdslagens krav på slutenhet i 10 §, dock inte så mycket att det blir kalmark.

Skärmar har flera syften, bland annat att:

- beså marken med frön
- skydda befintlig föryngring (mot frost och mot ett alltför kraftigt uppslag av markvegetation)
- minska försumpningen
- ge en värdefull timmerproduktion hos skärmträden.

Skärmen glesas normalt ut en eller två gånger innan den avvecklas helt.

Ettappvis slutavverkning. Metoden innebär att det gamla beståndet avvecklas en liten bit i taget. I äldre svensk litteratur talas det framförallt om två former:

- *Luckhuggning* innebär att det slutavverkningsmogna beståndet avverkas i etapper under 15–40 år. Vid första avverkningen öppnas ett antal runda eller ovala luckor i beståndet. I takt med att föryngring infinner sig i luckorna utvidgas dessa tills hela det gamla beståndet avverkats.
- *Kanthuggning* innebär att långsträckta, 5–30 m breda och parallella bälten avverkas igenom beståndet. Dessa breddas sedan åt ena eller båda hållen, tills hela beståndet avverkats. Jämfört med luckhuggning ger kanthuggning en mer strikt form och placering av ”luckorna”, vilket gör att man får bättre kontroll över föryngringsprocessen.

Varken luck- eller kanthuggning har egentligen förekommit i svenskt skogsbruk sedan 1940-talet mer än i försöks- eller demonstrationssyfte.

Hänsyn i trakthyggesbruket. Till skogsskötseln inom trakthyggesbruket hör även alla de hänsyn som enligt skogsvårdslagen skall tas till natur- och kulturmiljö, rekreation, med mera. Miljömålet ska jämsställas med produktionsmålet. Därigenom ska den biologiska mångfalden främjas genom att bland annat lövinblandning i barrskogen behålls, att man sparar lämpliga boträd för hålbbyggande fåglar och större rovfåglar. En viss mängd döda träd

och vindfällerna ska också sparas. Utöver hänsyn i samband med avverkning ska vissa områden helt undantas från skogsbruk, såsom exempelvis kärr och örtrika områden längs drag och bäckar, skogliga impediment, små kulturpåverkade områden och platser med fornlämningar. Långsiktig uthållighet i skogsbruket förutsätter ett helt, fungerande ekosystem, varför de båda uppställda, likvärdiga målen i skogsvårdslagen inte står i motsatsförhållande till varandra. Kortsiktigt kan dock konflikter uppstå i skogsskötseln.

Blädningsbruk⁵²

Skogsskötselsystemet för *fullskiktad* skog heter *blädningsbruk*. Med fullskiktad skog avses en skog som har träd i alla storleksklasser (figur S6), från små plantor till stora träd, i alla delar av skogen, och det finns alltid fler små än stora träd.



Figur S6 Blädningsbestånd i Jämtland. Foto Erik Valinger.

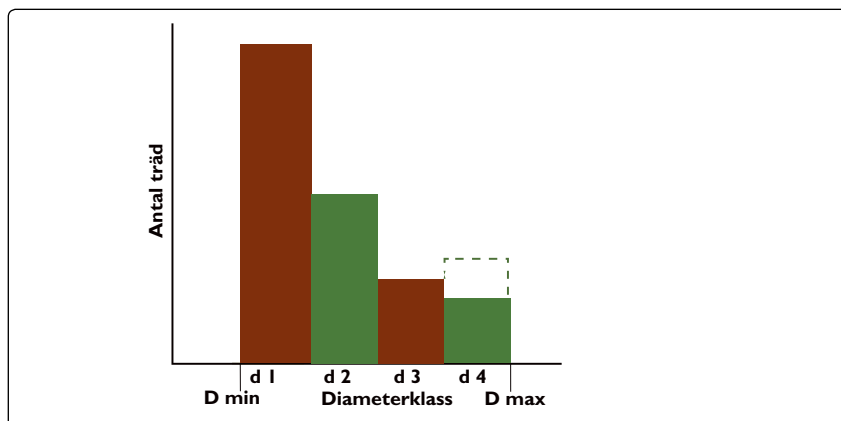
Mer strikt formulerat är en skog fullskiktad om volymsslutenheten (så som den definieras i skogsvårdslagen 10 §) är minst 0,5 (se även figur S2) och om diameterfördelningen dessutom uppfyller följande krav (figur S7):

- grövsta trädet ($D_{\max}$) är minst 25 cm
- det finns flest träd i den klenaste klassen (d1)
- det finns näst flest träd i nästa klass (d2)
- det finns träd i båda de två återstående diameterklasserna (d3 och d4).

Den fullskiktade skogen har ungefär samma utseende hela tiden. Det går alltså inte att urskilja olika utvecklingsfaser. Därför finns bara en typ av åtgärd inom blädningsbruket för tillvaratagande av virke, nämligen *blädning*. Blädning är en avverkning där beståndet även *efter* ingreppet är fullskiktat. En fullskiktad skog som sköts med återkommande blädningar sköts alltså med *blädningsbruk*. Rent

⁵² Se *Skogsskötselserien* del 11, Blädningsbruk. www.skogsstyrelsen.se/skogssskotselserien.

definitionsmissigt är blädning och blädningsbruk inte begränsade till vissa trädslag eller marktyper, men i praktiken är det bara skuggtåliga trädslag som kan skapa och upprätthålla fullskiktad skog. I Sverige är blädning därför i första hand aktuell i granskog.



Figur S7 Diameterfördelningen i ett fullskiktat bestånd. Med $D_{\min}$ avses den nedre gränsen för hur klenta träd man mäter in, och med $D_{\max}$ det grövsta trädet.

Blädningsbrukets historia

Blädningsbruket enligt beskriven definition har bara existerat i drygt 100 år och är alltså ett relativt nytt skogsbrukssätt. Även om det har anor från det medeltida Frankrike, så utvecklades den moderna formen först i slutet av 1800-talet nere på kontinenten som ett alternativ till monokulturer och likformiga skogar. Förebilden var de ”plockhuggningar” som bedrevs av bönder i Jura-provinsen i östra Frankrike.

Blädningsformer

Trots att det finns många olika förslag på blädningsformer i äldre litteratur, är i realiteten bara en form av blädning definierad sedan tidigare, nämligen stamvis blädning. Under de senaste åren har en blädningsform som kallas volymblädning lanserats.⁵³

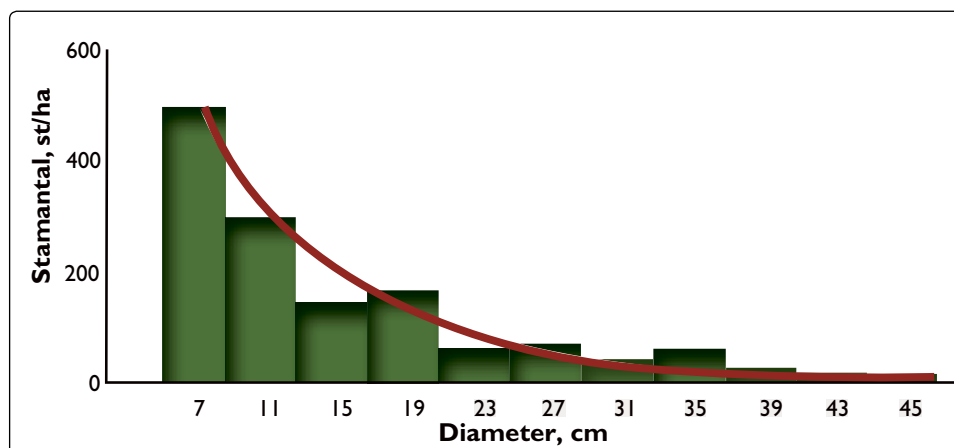
Stamvis blädning är den ursprungliga formen av blädning, utvecklad i slutet av 1800-talet i Tyskland och Schweiz. Namnet är missvisande såtillvida att all blädning är stamvis, precis som gallring, och inte grupp- eller beståndvis som en slutavverkning. ”J-kurve-blädning” vore ett namn som tydligare beskriver metoden, eftersom en av de grundprinciper som tidigt lades fast var att skötseln kontinuerligt skulle upprätthålla en diameterfördelning som grafiskt har formen av ett liggande ”J” (figur S8).

Volymblädning. I volymblädning ligger fokus på beståndets volym (virkesförråd) före och efter blädning. De strikta kraven på diameterfördelningen som finns vid stamvis blädning släpps och man nöjer sig med att beståndet förblir fullskiktat (se ovan, figur S7).

Fördelen är att det blir enklare ur praktisk synpunkt än med stamvis bläd-

⁵³ Lundqvist, L. 2005. Blädningsbruk. SLU, inst. för skogsskötsel. *Rapporter* 61.

ning. Nackdelen är att man får sämre kontroll över inväxningen av nya träd i beståndet. Genom att koncentrera avverkningen till de allra grövsta träden och undvika att avverka klenare träd, avverkas få träd per ha. Därmed sjunker också kraven på inväxning eftersom färre träd ska ersättas.



Figur S8 "J-kurvan" beskriver diameterfördelningen i ett typiskt blädningsbestånd skött med stamvis blädning.

Fjällskogshuggning. Under lågkonjunkturen i slutet av 1960-talet införde dåvarande skogsvårdschefen vid SCA, Stig Hagner, en extensiv avverkningsform för bolagets fjällnära områden. Metoden fick namnet fjällskogshuggning.⁵⁴ Vid ingreppen avverkades i första hand de högre och grövre träden. Det kvarvarande beståndet bestod i huvudsak av plantor och träd klenare än 15–16 cm i brösthöjd och den kvarvarande volymen understeg normalt 50 m³sk/ha. Syftet var att tillgodogöra sig så mycket som möjligt av virket, utan att behöva utföra aktiva förnygringsåtgärder i områden med dålig lönsamhet (bland annat på grund av långa transportavstånd), och utan att riskera att trädgränsen⁵⁵ skulle förskjutas nedåt.

Metoden anammades senare av dåvarande Skogsvårdsstyrelsen i Jämtland men kallades då *fjällskogsblädning*. I ordförklaringarna till 1979 års skogsvårdsplan beskrivs metoden som "slutavverkning – med kvarlämnande av plantunderväxt och ett glest bestånd av växtliga träd". Fjällskogshuggning är alltså egentligen inte en form av blädning utan en form av förnygring under skärm.

De få uppföljningar som gjorts visar att tillväxten i de fjällskogshuggna bestånden är mycket låg⁵⁶ och att inväxningen inte gynnats av de kraftiga avverkningarna⁵⁷.

Hänsyn i blädningsbruket. Den hänsyn som ska lämnas vid blädningsbruk är densamma som inom ramen för trakthyggesbruket. Blädningsbruk har dock den fördelen att marken hela tiden är bevuxen med träd i olika åldrar

⁵⁴ Lundqvist, L. 1984. Blädning och etappvis slutavverkning. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6/84.

⁵⁵ Här: Den maximala höjdnivån i fjällområdet för trädens utbredning.

⁵⁶ Lundqvist, L. 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in northern Sweden. *For. Ecol. Manage.* 65, s 115–122.

⁵⁷ Lundqvist, L. 2004. Stand development in uneven-aged sub-alpine *Picea abies* stands after partial harvest estimated from repeated surveys. *Forestry* 77, s 119–129.

och fauna och flora kan därför utveckla stor kontinuitet. En nackdel är att det är mycket svårt att öka lövinblandningen i den fullskiktade skogen. På våra breddgrader utvecklas ofta den blädade skogen mot ren granskog.

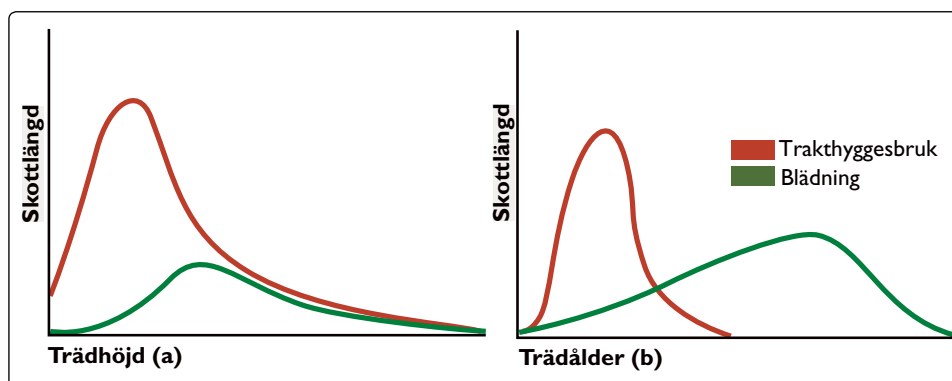
Jämförelse trakthyggesbruk – blädningsbruk

I *trakthyggesbruk* försöker skogsskötaren att få alla träden att befinna sig i samma utvecklingsstadium. Det är viktigt att de är lika stora eftersom konkurrensen annars gör att träden, trots samma ålder, utvecklar olika hushållsålder⁵⁸ och man får produktionsförluster.

Blädningsbruket bygger på att man riktar avverkningen mot de större träden och föryngringen antas växa in i beståndet underifrån.

En evig fråga som kanske aldrig får sitt slutliga svar är vilket skötselsystem som producerar bäst. Att frågan fortsätter att skapa diskussion beror på att skogsskötsel är en praktisk hantering i en verklig skog och då kommer skogens tillväxt att bero på många olika faktorer såsom skogens aktuella tillstånd, möjlighet att byta trädslag och att använda genetiskt förädlad material, föryngringsförhållanden, huggningsingreppens storlek och inriktning, skador, samt ekonomiska krav nu och i framtiden. Byte av trädslag och användning av genetiskt förädlad material är i praktiken inte möjligt vid blädningsbruk i Sverige.

De mogna träden uppnår ungefär samma maximala sluthöjd i blädningsbruket som i trakthyggesbruket. Den löpande höjdtillväxten hos de små och mindre träden är däremot helt olika i de båda skogsskötselsystemen (figur S9). Men ju högre träden blir i blädningsbruket, desto mer lika blir konkurrensförhållandena och den löpande höjdtillväxten för träden i de båda systemen.



Figur S9 Schematisk beskrivning av årlig toppskottstillväxt hos träd i trakthygges- (röd kurva) respektive blädningsbruket (grön kurva) i relation till a) trädhöjd och b) trädålder. I figurerna antas träden nå samma höjd på 70 år i trakthyggesbruket som på 200 år i blädningsbruket.

En summering av empiriska försök och teoretiska beräkningar pekar mot att produktionen av stamved under optimala produktionsförhållanden blir 10-20 % lägre vid blädningsbruk.⁵⁹

⁵⁸ Hushållsåldern anger den ålder trädets storlek indikerar, jämfört med träd som vuxit upp utan överskuggning. Begreppet används för att beskriva ett trädets utvecklingspotential, oavsett dess ålder.

⁵⁹ Se Skogsskötselserien del 11, Blädningsbruk. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Mätning av träd och bestånd

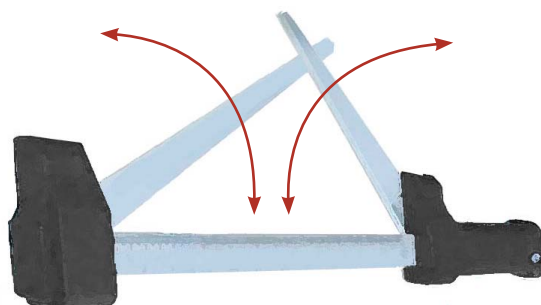
För att kunna planera, utföra och utvärdera åtgärder i skogen på ett önskat sätt behövs mätningar i fält av både träd och bestånd.⁶⁰ De variabler som ska mätas bör helst vara enkla att mäta. Om de inte kan mätas enkelt utnyttjas ofta statistiska samband (regressionsanalys) som baseras på enkla mätningar.

Träd

Egenskaperna av intresse att mäta för enskilda träd kan röra både virkesproduktion och ekologiska aspekter. I första fallet prioriteras till exempel uppmätning av trädets volym, årliga tillväxt eller värde, i det senare andra egenskaper som exempelvis röt förekomst, kronutglesning eller förekomst av skador.

Diameter och grundyta

Diametern på träd (mm eller cm) används för att kunna skatta trädets grundyta, volym och biomassa. Diametern mäts vinkelrätt mot trädets längdriktning med hjälp av en klave, vilken i princip är ett stort skjutmått med två skänklar (figur S10) eller diametermåttband/talmeter. En vanlig storlek på klavar är 50 cm mellan skänklarna.



Figur S10. Exempel på en klave med infällbara skänklar för mätning av diameter på liggande och stående träd.

Klaven är nödvändig vid skogsuppskattning, eftersom brösthöjdsdiametern⁶¹ är nödvändig för att kunna bestämma volymen på ett träd. Idag används vanligtvis klavar som består av en traditionell klave kopplad till en dator som sitter i instrumentet, en så kallad dataklave. Datorn kan lagra långa mätserier, göra statistiska beräkningar samt utgöra slumpgenerator vid till exempel val av provträd som ska kompletteras med ytterligare mätningar.

Dagens dataklavar är även försedda med knappsatser så att också andra variabler än diameter direkt kan läggas in, vilket underlättar den fortsatta bearbetningen av de data som insamlas. Vidare finns koppling till GPS-positionering av uppmätta träd i datorklaven som medger att de uppmätta träden kan läggas in i ett GIS.

Riktigt grova träd kan även mätas med ett vanligt måttband, varvid diametern är lika med trädets omkrets dividerat med pi (π).

⁶⁰ Wilhelmsson, E. & Nyström, K. 2010. Introduktion till mätning av träd och bestånd. *Kompedium*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.

⁶¹ Brösthöjdsdiametern mäts i Sverige vid höjden 1,3 m.

För att bestämma ett trädets grundyta, dvs ytan på stammens tvärsnitt i brösthöjd (uttrycks i cm² eller dm²), mäts trädets diameter. Grundytan bestäms utifrån diametern med $\pi * d^2/4$.

Barktjocklek

Om trädet ska utnyttjas som bioenergi kan mängden bark vara av intresse. I de fall mäs dubbel barktjocklek med en barkmätare, varvid inte bara trädets diameter på bark utan även diametern under bark kan beräknas. Diametern under bark ingår i volymfunktioner för att beräkna volymen stamved.

Höjd och krongränshöjd

Träds höjd (uttrycks i dm eller m) används bland annat för att skatta volym, biomassa eller ståndortsindex. Den mäts med hjälp av olika så kallade höjdmätare (hypsometer) där höjden bestäms utifrån beräkning med hjälp av vinkeln mellan markytan (trädets rot) och den höjd som avses, oftast toppen.

Höjden till den levande kronan, krongränsen⁶², mäts ibland för att få information om trädets stamform och därigenom kan trädets volym skattas med högre precision. Höjdmätarna kan vara antingen analoga eller digitala. För att de ska ange rätt höjd behöver avståndet till de träd som ska mätas var bestämt. Det kan göras med måttband eller med optiska- eller radarsignaler.

Ålder och radietillväxt

Uppgift om trädets ålder är av intresse till exempel vid bestämning av tillväxten, vilken är starkt korrelerad till åldern. Av praktiska, mättekniska skäl, används ofta trädets brösthöjdsålder. För åldersbestämningen används en så kallad tillväxtborr. Med hjälp av denna tas ett borrhål in till trädets märke varefter antalet årsringar kan räknas.

Ibland kan även trädets momentana tillväxt vara av intresse och då mäts också stamvedens diametertillväxt (1/10 mm). Då mäts vanligtvis fem årsringar från trädets ena sida, dvs radietillväxten under de senaste fem åren.

Volym och form

Ofta syftar mätning till att skatta trädets volym, vilken är ett viktigt mått vid planeringen av skogsskötselåtgärderna. Volymen anges ofta i skogskubikmeter (m³sk), vilket betyder att volymangivelsen avser stammens volym ovan för stubbskären⁶³ inklusive bark och trädets topp. Då volymen inte är så lätt att mäta används volymfunktioner som utnyttjar någon eller några av de mer enkelt mätta variablerna som till exempel brösthöjddiametern, höjden, krongränshöjd och barktjocklek.

Träds form kan förenklat ses som en kon och då kan volymen (v) för ett enskilt träd även beräknas enligt

$$v = h * \pi * r^2 * f$$

där h är konens höjd, r är konens radie vid basen och f är basformtalet. Basformtalet för medelålders och äldre träd brukar vara 0,4–0,5.

⁶² Krongränsen definieras ofta som grönkrongränsen, dvs avståndet från marken till den nedresta levande kvisten.

⁶³ Stubben antas ha höjden 1 % av trädets höjd.

Biomassa

För att beskriva trädets biomassa, vilken fördelar sig på trädets alla fraktioner såsom stamved, bark, levande och döda grenar, barr, stubbe och rötter, används speciellt framtagna biomassafunktioner.⁶⁴

Bestånd

Eftersom det sällan är endast de enskilda träden som behandlas inom skogsskötseln utan bestånd⁶⁵ så syftar oftast mätningarna till att beskriva dessa.

Grundyta

Grundytan i ett bestånd kan bestämmas genom klavning av samtliga träd på en viss bestämd yta eller med hjälp av ett så kallat relaskop. Relaskop finns i flera olika utföranden, till exempel kedjerelaskop, prismarelskop, kikarrelaskop och spegelrelaskop.

Ett kedjerelaskop, vilket är den vanligaste formen, består av en bricka eller ett handtag med en spalt på ca 1 cm. Till spalten är kopplat en kedja på ca 50 cm. Förhållandet mellan spaltbredden och kedjans längd ska alltid vara 1:50 (faktor 1). När grundytan per hektar ska uppskattas hålls kedjan mot ögat och sträcks varefter samtliga träd räknas som från en punkt uppfyller minst hela spaltbredden. Det antal träd som inräknats ger då ytans grundyta uttryckt i kvadratmeter per hektar.

Då beståndet är mycket stamtätt kan relaskop med andra faktorer krävas, varvid antalet inräknade träd multipliceras med den använda faktorn, ofta två eller fyra. För att få en tillräcklig statistisk säkerhet av skattningen för ett bestånd krävs, beroende på hur beståndet ser ut, mellan tre och sex provytor per hektar.

Höjd

Beståndshöjder som kan uppskattas i fält är *medelhöjd* eller *övre höjd*. *Medelhöjden* avser den genomsnittliga trädhöjden i ett skogsbestånd. Den kan anges som aritmetisk medelhöjd, grundytevägd medelhöjd eller grundytemedelstammens höjd. Användandet av den grundytevägda medelhöjden ger de grövre träden ett större utslag i mätningen än vad den aritmetiska medelhöjden ger. Den *övre höjden* är den aritmetiska medelhöjden för de 100 grövsta träden per hektar i ett skogsbestånd. I praktisk tillämpning, främst vid bonitering, nöjer man sig dock med att mäta höjden på de två grövsta träden inom en cirkelyta med 10 m radie.

⁶⁴ Marklund, L.-G. 1987. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, inst. för skogstaxering. *Rapport 45*.

⁶⁵ Ett bestånd definieras i Skogencyklopedien som ”en urskiljbar samling träd eller skogsplanter som växer inom en viss areal och som har viss likhet i artsammansättning, ålder, diameter, höjdutveckling med mera.” Bestånd kan även avse en population av andra växter än träd. Se: www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogencyklopedin/.

Volym

Vid vissa uppskattningar av träd eller bestånd behövs uppgift om volymen. Den uppskattas vanligen med hjälp av en matematisk funktion⁶⁶ eller med en volymtabell. Beståndets volym (v) kan också bestämmas med hjälp av formeln

$$v = g * (f * h)$$

där g är *grundytan* och $(f * h)$ är den *grundytvägda formhöjden*⁶⁷. För dessa beräkningar behöver således *grundytan* och antingen *medelhöjd* eller *övre höjd* mätas. Beståndsvolymen uttrycks vanligen i skogskubikmeter per hektar (m^3sk/ha)⁶⁸. Bland volymtabellerna som kan utnyttjas för volymskattning finns Jonsons tabeller med ingång via slutenhet och medelhöjd, virkesförordstabeller med ingång via grundyta och övre höjd, och diagram för ungskog med ingång via grundyta eller stamantal/ha och medelhöjd. En annan metod är att kubera en stämplingslängd. Medelvolumen hos träden i en diameterklass multipliceras då med antalet träd i klassen varefter trädvolymerna i varje klass summeras.⁶⁹

Olika volymer. Vid uppskattning av volymer används ett flertal olika mått inom skogliga sammanhang, bland annat följande:

- m^3sk - *skogskubikmeter*. Hela stammens volym ovan stubbskär inklusive topp och bark
- m^3f - *kubikmeter fast mått*. Verklig volym virke på (fpb) eller under bark (fub). Kan även anges som antingen mittmått (mi), topp-rotmått (tr), varvid diametern uppmäts på mitten av stocken eller 10 cm in från både topp- och rotände, eller toppmått (to), där diametern uppmäts 10 cm in från toppände.
- m^3t - *kubikmeter travat mått*. Volymen i en virkestrave, travens längd, bredd och höjd, inklusive luft
- m^3s - *kubikmeter stjälpt mått*. Yttre volymen av flis, sågspån, bark, inklusive luft i behållare eller stack.

⁶⁶ Till exempel: Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. Tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag. SLU, avd. för skogsuppskattning och skogsindelning, *Rapport 14*.

⁶⁷ Se s 62.

⁶⁸ Uttrycket m^3sk betyder skogskubikmeter. Måttenheten innefattar trädens hela stamvolym ovanför normal stubbhöjd (1 % av trädets höjd), vilket innebär att såväl topp som bark räknas med. Grenar, stubbe och rötter ingår inte.

⁶⁹ Se: www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogsencyklopedin/.

Bonitet

Boniteten är ett mått på växtplatsens (ståndortens) bördighet. Den uppskattas normalt med hjälp av ståndortsindex under förutsättning att bestånden går att bonitera med befintliga metoder. I vuxna bestånd utnyttjas de grövsta trädens höjd och ålder, i ungskogar interceptet, och i övriga fall markförhållanden och markvegetationen som indikatorer på ståndortens produktionsförmåga.

I skogliga sammanhang används boniteten för att beskriva växtplatsens potential att producera stamvolym, och uttrycks som trädens genomsnittliga volymproduktion per ha och år ($\text{m}^3\text{sk/ha, år}$)⁷⁰ under en omloppstid med optimala tillväxtbetingelser.

Skilda trädslag kan ge olika produktion på samma mark. Därför bör det anges efter vilket trädslag boniteten bedömts. I princip skall det vara det trädslag som ger den högsta virkesproduktionen på växtplatsen i fråga.

Produktionsfaktorer

En mängd faktorer påverkar växtplatsens produktionsförmåga, bland annat:

- *beståndets slutenhet* som påverkar konkurrensen om näring och vatten samtidigt som ljustillgången förändras
- *topografien*, t ex markens lutning och avstånd till sluttningar, som inverkar på vattnets förekomst och rörelse i marken
- *mineraljordens textur*, dvs om mineraljorden består av sediment eller morän samt om den är grov- eller finkornig, som inverkar på vattnets förekomst och rörelse i marken
- *mineraljordens benägenhet till vittring* som inverkar på näringsämnenas tillgänglighet
- *temperaturklimatet* i både makro- och mikroskalan som till exempel påverkar val av markbehandlingsmetod, val av trädslag och föryngringsmetod
- *beståndshistoriken* såsom tidigare brukande och förekomst av skador som bland annat inverkar på markens näringsutbud och val av trädslag.

Indikatorer

Höjdtillväxt. I enskiktade bestånd har de dominerande träden en relativt lagbunden höjdtillväxt som inte påverkas nämnvärt av vare sig beståndstätheten eller eventuella gallringar. Tiden som krävs för att nå en viss höjd beror i huvudsak på ståndorten och trädslaget. Höjden hos de dominerande träden i beståndet är därför en bättre mätare på växtplatsens bördighet än exempelvis diameter eller stamvolym, och kan användas för att kvantifiera ståndortens tillväxtpotential.⁷¹

⁷⁰ Se fotnot 68.

⁷¹ Oliver, C. & Larson, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. New York.

Markens växter. Ståndortens bonitet avspeglas också i sammansättningen av örter, gräs, ris, mossor och lavar på marken (fält- och bottenskikt), som beror på markens näringsutbud, fuktighet, ljustillgång, temperaturförhållanden och andra produktionsfaktorer. Genom att studera artsammansättningen och växtligheten på marken kan man få en indikation på ståndortens förmåga att producera virke.

För att ange boniteten på olika ståndorter behövs någon form av hjälpmedel som baserar sig på olika observationer på ståndorten. Fram till 1970-talet användes Jonssons boniteringsschema för bonitering på fastmark ”med ingång efter beståndets utrönta ålder och medelhöjd”⁷². Boniteten angavs i klasserna I–VIII. Metoden var dock känslig för hur bestånden skötts tidigare och återspeglade mer det stående beståndets produktion än markens produktionsförmåga. Därför infördes under 1970-talet ett nytt system för bonitering på fastmark med så kallat ståndortsindex.⁷³ Systemet utvecklades vid Skogshögskolan, sedan 1978 ingående i SLU. Detta ansågs säkrare utifrån de gallringsmetoder som skogsbruket använde (vanligen låggallring), och dagens svenska skogsbruk använder överlag detta system.

Ståndortsindex (SI)

Ståndortsindex är en numerisk rankning av växtplatsens produktionspotential och ger en indirekt uppskattning av boniteten.

Eftersom trädens maximala höjd ökar med boniteten, är trädens höjduitveckling ofta en bra mätare av boniteten. Ståndortsindex definieras som övre höjd vid en given referensålder. För tall och gran används i Sverige referensåldern 100 år. Ståndortsindex förutsätter därför att de dominerande trädens höjduitveckling inte störs.⁷⁴ Höggallring, som sänker beståndets övre höjd genom uttag av de dominerande träden, är således en åtgärd som gör det svårt att beskriva ståndortsindex på ett rättvisande sätt.

Förändringarna av miljön och beståndsstrukturen medför dock att Skogshögskolans boniteringssystem inte längre beskriver de förhållanden som råder på markerna på ett alldeles säkert sätt. De kriterier som måste vara uppfyllda för att systemet ska kunna användas med högsta precision är sällan uppfyllda idag. Bestånd som har påverkats av till exempel höggallring, dikning eller gödsling ger ingen rättvisande bild av ståndortens produktionsförmåga.

Boniteringssystem finns framtagna för tall, gran, vårtbjörk, contortatall, bok och ek. Då principen att bonitera är densamma för dessa trädslag har vi valt att i den fortsatta framställningen koncentrera oss på tall och gran.

Under mitten av 1980-talet utvecklades också ett boniteringssystem för torvmark.⁷⁵

⁷² Anon. 1962. *Praktisk skogshandbok*, 7:e upplagan, s 86. Norrlands skogsvårdsförbund.

⁷³ Häggglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.

⁷⁴ Häggglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.

⁷⁵ Hånell, B. 2008. *Handledning i bonitering. Del 4, Torvmark. Praktiska anvisningar*. Skogsstyrelsen.

Skogshögskolans boniteringssystem, H_{100} -bonitering

Skogshögskolans boniteringssystem översätter ståndortsindex (SI) till bonitet ($\text{m}^3\text{sk/ha, år}$) och är en sammanfattande benämning för alla de hjälpmedel som behövs för att bedöma boniteten. Dessa hjälpmedel är:

- en instruktion för provyteutläggning
- regler för vilken metod som skall användas för att bestämma ståndortsindex på olika växtplatser
- diagram och tabeller för bestämning av ståndortsindex via
 - övre höjd och ålder
 - intercept
 - ståndortsegenskaper.

Metoden för skattningen av ett ståndortsindex anges med en förkortning (tabell S1):

- *SIH* betyder att skattningen bör baseras på mätningar i befintligt bestånd (övre höjd och ålder eller intercept)
- *SIS* betyder att skattningen bör baseras på ståndortsegenskaper.

Tabell S1 Principskiss för vilket system för skattning av ståndortsindex med Skogshögskolans boniteringssystem som ska användas under olika förutsättningar.⁷⁶

Bestånd	Metod
Medelålders och äldre skog i gott skick	SIH – höjdutvecklingskurvor
Yngre skog i gott skick	SIH – interceptmetoden
Kalmark, vissa blandskogar samt skog i mindre gott skick	SIS – ståndortsegenskaper

Bonitering med hjälp av höjdutvecklingskurvor eller interceptmetoden ger hög noggrannhet om följande 10 villkor är uppfyllda:

1. Beståndet skall bestå av bonitetsvisande trädslag.
2. Minst 50 % av grundytan skall utgöras av huvudträdslaget för att använda höjdutvecklingskurvor och 75 % för interceptmetoden.
3. Beståndet skall vara likåldrigt⁷⁷.
4. Beståndet får inte vara höggallrat.
5. Beståndet får inte ligga utanför höjdutvecklingskurvornas tillämpningsområde.
6. Beståndet får inte ha gödslats eller dikats.

⁷⁶Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.

⁷⁷Med likåldrig menas att ”maximalt 20 % av volymen får finnas utanför ett ålderintervall på 20 år” (enligt ovanstående referens).

7. Beståndets ungdomsutveckling får inte ha hämmats, till exempel genom alltför stor täthet.
8. De träd som uttagits för bestämning av övre höjd får inte vara skadade.
9. Övrehöjdsträden måste ha fler än 30 årsringar i brösthöjd och höjden måste vara över 8 m för bonitering med höjduitvecklingskurvor.
10. I yngre bestånd skall det lösa jordlagret vara djupare än 70 cm för bonitering med interceptmetoden.

Om dessa kriterier inte uppfylls på en provyta ger metoderna (SIH) systematiska fel, varför SI då i stället bör skattas med hjälp av ståndortsegenskaper (SIS).

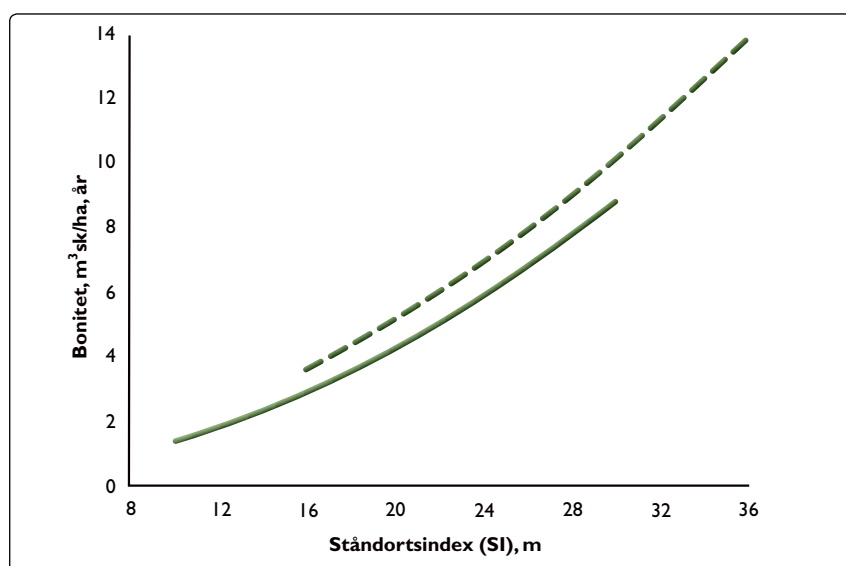
Boniteringssystemet innehåller även diagram för byte av bonitetsvisande trädslag, samband mellan ståndortsindex och bonitet samt metoder för att skatta medelfel i ståndortsindex och bonitet.

Bonitetsvisande trädslag

Ett idealt bestånd definieras utifrån det trädslag som ger högst bonitet på den aktuella växtplatsen, det så kallade bonitetsvisande trädslaget. För inhemska trädslag förutsätts alltid lokal härkomst, medan utländska trädslag kräver att härkomsten anges. I Riksskogstaxeringen hänförs all skogsmark till antingen tall eller gran som bonitetsvisande trädslag.

Samband mellan ståndortsindex och bonitet

Boniteten angiven i $\text{m}^3\text{sk/ha}$ och år är ett bättre uttryck för växtplatsens bördighet än ståndortsindex. Sambandet mellan dessa är dock boniteringssystemets mest osäkra del. Det baseras på tillväxtberäkningar och varierar med trädslag och ståndortsförhållanden (figur S11).



Figur S11 Samband mellan ståndortsindex och bonitet för tall på bättre tallmarker (heldraget) och för gran i Sydsverige (streckat).⁷⁸

⁷⁸ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

Fel i ståndortsindex och bonitet

Det kan bli två slags fel i uppskattningarna: systematiska och tillfälliga.

- *Systematiska fel* är allvarliga och måste undvikas. Det är viktigt att provytorna läggs ut och mäts objektivt, åldersräkning bara sker med hjälp av borrhärdar som träffat mörken och att rätt boniteringsmetod används.
- *Tillfälliga fel* i ståndortsindex och bonitet kan skattas med hjälp av de formler som finns i definitioner och anvisningar.⁷⁹

Bonitering med höjduitvecklingskurvor

Vid H_{100} -bonitering utgår man från att de högsta trädens höjd vid en viss ålder är det säkraste sättet att uttrycka boniteten.⁸⁰

Inne i ett bestånd är det betydligt lättare att finna de grövsta stammarna än de högsta. Eftersom *de grövsta träden* i allmänhet tillhör de högsta, utgår man ifrån att boniteten lika gärna kan uttryckas med hjälp av dessa.

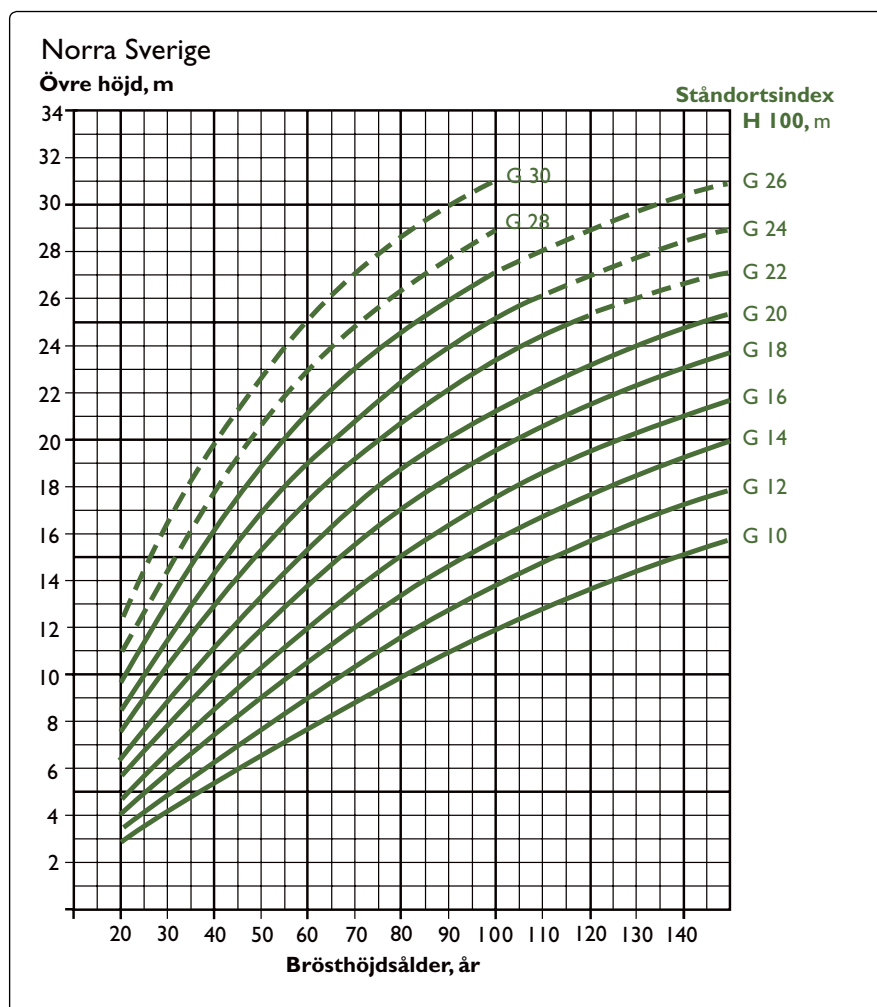
För att utnyttja diagram och tabeller för bonitering används åldern i brösthöjd⁸¹. (För bok och ek använder man dock totalåldern.) Den uppskattas genom att man med en tillväxtborr tar ut en borrhärd från mantelytan och in till trädets mörk i brösthöjd, varefter åldern kan räknas utifrån årsringarna i borrhärden.

Höjduitvecklingskurvor är ett hjälpmedel för att bonitera i mer eller mindre vuxen skog. De har tagits fram med hjälp av fällda provträd i etablerad skog, och ger högst precision i medelålders och äldre skog. Kurvorna beskriver hur den övre höjden hos bestånd utvecklas med åldern vid olika ståndortsindex (figur S12).

⁷⁹ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.

⁸⁰ Se även "Trädens höjd och höjdtillväxt" i kapitlet Trädet, s 48.

⁸¹ Brösthöjd = 1,3 m över marken.



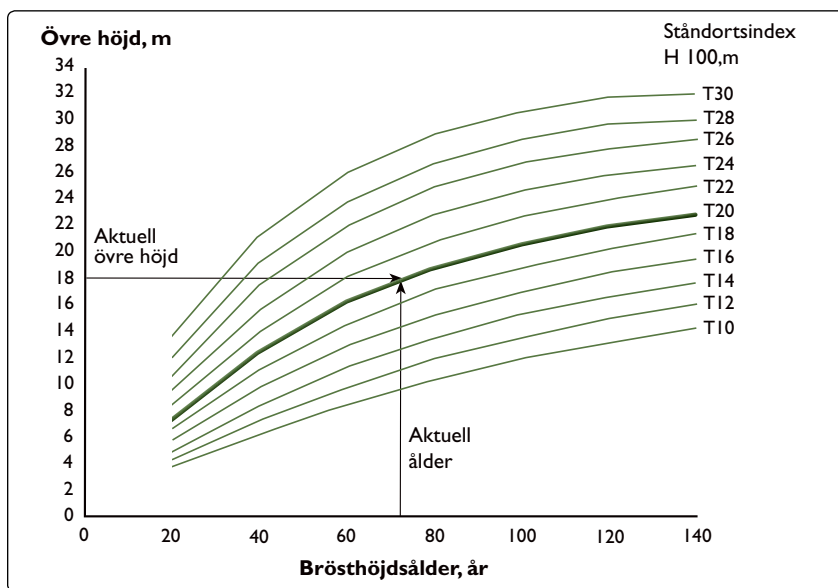
Figur S12 Höjdotvecklingskurvor för gran i norra Sverige.⁸²

Ståndortsindexet anges som en medelhöjd vid 100 års ålder för de 100 grävsta träden per ha. Om de grävsta trädens höjd vid 100 års ålder är 20 m, bedöms boniteten utifrån ståndortsindex $H_{100} = 20$.

Bonitering i praktiken. Höjden hos de två grävsta träden på en provyta med 10 m radie (314 m²) mäts varefter deras medelhöjd räknas ut. Dessutom räknas antalet årsringar i brösthöjd hos dessa träd och deras medelålder beräknas. Hur många provytor som krävs för att få en god uppfattning om boniteten i ett bestånd beror på bonitetsvariationen, vilken boniteringsmetod som används och vilket högsta medelfel som accepteras.

De beräknade medelvärdena på brösthöjdsålder och övre höjd leder till en av höjdotvecklingskurvorna (figur S13) som i sin tur visar aktuellt ståndortsindex, i exemplet nedan T20, med vars hjälp boniteten sedan kan skattas till ca 4,2 m³sk/ha och år (se figur S11 för SIH T20).

⁸² Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

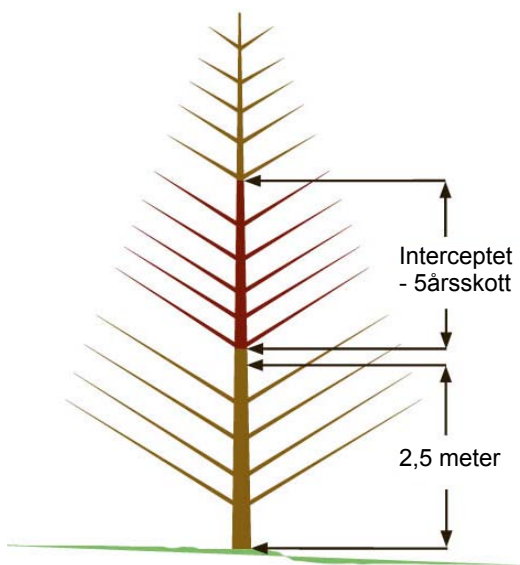


Figur S13 Principskiss över bonitering av tall med hjälp av höjduitvecklingskurvor (SIH).

Bonitering med interceptmetoden

Interceptmetoden ger den högsta noggrannheten i ungskog av tall och gran, men den ger kraftig överskattning av ståndortsindex på grunda jordar (jordlagret tunnare än 70 cm).

Interceptet mäts på två övrehöjdsträd på ett antal provytor (3–20 st per bestånd beroende på bonitetsvariation och accepterat medelfel) och är den sammanlagda längden av de fem årsskott som följer ovanför 2,5 m höjd (figur S14). Det intercept som används vid skattningen av ståndortsindex är medelvärdet från de båda övrehöjdsträden.



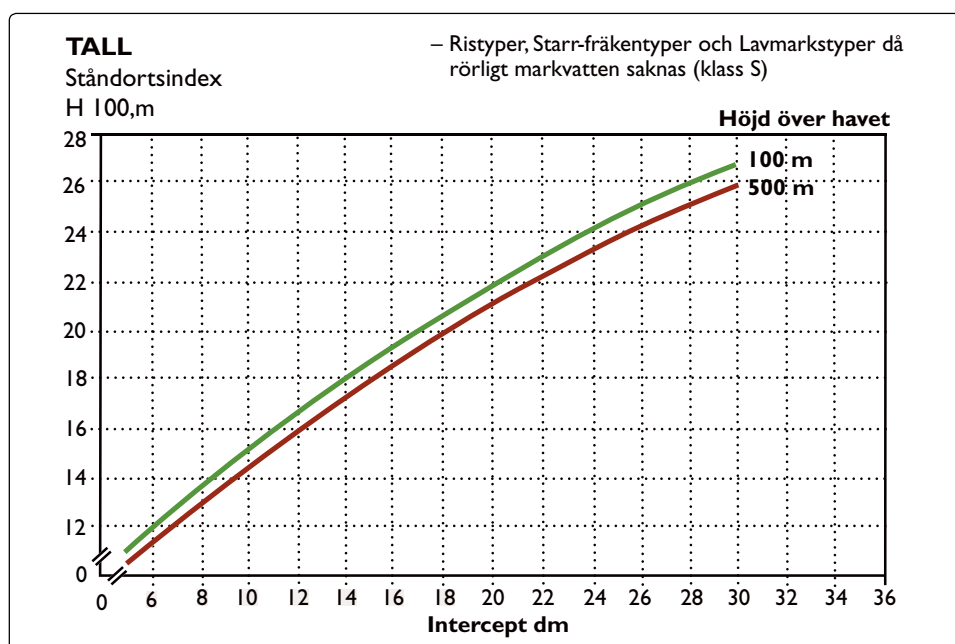
Figur S14 Interceptets läge på stammen.⁸³

⁸³ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

Förutom interceptet behöver man också känna till vissa ståndortsegenskaper för den aktuella växtplatsen såsom

- breddgrad (endast för gran)
- höjd över havet
- markvegetationstyp
- förekomst av rörligt markvatten.

Med dessa ingångsvärden kan ståndortsindex (figur S15) och därefter boniteten bestämmas med hjälp av särskilda diagram (figur S11).



Figur S15 Exempel på diagram för bestämning av ståndortsindex med interceptmetoden.⁸⁴

Bonitering med ståndortsegenskaper

Ståndortsindex kan också skattas genom att studera växtplatsens temperaturklimat, vattnet i marken och utbudet av växtnäring (se exempel i tabell S2).

Till systemet hör en utförlig beskrivning för hur temperaturklimat, vattnet i marken och utbudet av växtnäring på provytor med radien 10 m skall klassas.⁸⁵ Det ståndortsindex som sedan erhålls översätts till bonitet med hjälp av diagram och tabeller (se figur S11).

Om det är problem att klassa markvegetationstypen kan skogsmarksfloran med bilder på typer för de olika markvegetationstyperna som ingår i boniteringsmaterialet utnyttjas.⁸⁶

⁸⁴ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

⁸⁵ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

⁸⁶ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2010. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 3 Markvegetationstyper-Skogsmarksfloran*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

Skattning av boniteten med hjälp av ståndortsfaktorer kan ge felaktigt resultat genom att olika avverkningsintensitet kan leda till förändrad markvegetation.

Tabell S2 Bonitering med ståndortsegenskaper. Framtagning av basvärde som i ett nästa steg ska justeras med växtplatsens temperaturklimat. Tall på frisk mark – ristyper.⁸⁷ Rörligt markvatten, klass: S=saknas, K=under kortare perioder, L=under längre perioder. Texturklass: FM=finjordrik morän, SM=sandig-moig morän, SA=sandig morän, GR=grusig morän.

Bonitering med ståndortsegenskaper		Tall Fastmark: Frisk mark - Ristyper						
Basvärdestabell		H100, m						
Rörligt markvatten	Markvegetationstyp	Mäktigt jorddjup				Tämligen grunt jorddjup		
		Texturklass						
		FM	SM	SA	GR	SM	SA	GR
Klass S, K	Blåbärstyp	24	23	23	21	21	20	19
	Lingontyp	23	23	22	20	20	19	18
	Kräkbär-Ljungtyp	21	20	20	18	18	17	16
	Fattigristyp	19	19	18	17	17	16	15
Klass L	Blåbärstyp	25	25	24	22	22	21	20
	Lingontyp	25	24	23	22	21	20	19
	Kräkbär-Ljungtyp	22	21	20	19	19	18	17
	Fattigristyp	20	20	19	18	18	17	16
Extremt kyliga klimatlägen	Blåbärstyp, Lingontyp	Sänk värdena ovan med 5%						
	Kräkbär-Ljungtyp, Fattigristyp	Sänk värdena ovan med 10%						

Historik. Bonitering med hjälp av ståndortsegenskaper i Sverige har sitt ursprung i det nordsvenska skogstypsschemat som utvecklades av Tore Arnborg 1943.⁸⁸ Läran om skogstyperna kommer från Finland, där skogsbiologen Kaarlo Cajander utförde det grundläggande arbetet inom skogstypsforskningen i början av 1900-talet.

Skogstypsschemat utvecklades vidare under 1970-talet av Björn Hägglund och Jan-Erik Lundmark innan Skogshögskolans nuvarande boniteringssystem med hjälp av ståndortsegenskaper presenterades 1977.⁸⁹ Ståndortsindex för respektive skogstyp finns framtaget för tall, gran och björk (se exemplet för tall i tabell S2).⁹⁰ Utvecklingen var möjlig genom utnyttjande av regressionsanalys⁹¹ som kunde utföras med hjälp av datorer. Något sådant hade inte varit möjligt tidigare. I arbetet utnyttjades Riksskogstaxeringens data för de ingående variablerna.

⁸⁷ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

⁸⁸ Arnborg, T. 1943. Granberget. En växtbiologisk undersökning av ett sydlappländskt gran-skogsområde med särskild hänsyn till skogstyper och föryngring, *Doktorsavhandlingar*. Uppsala universitet, inst. för växtekologi.

⁸⁹ Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.

⁹⁰ Frisk, J. 1998. Basal area before thinning and relation of site index to site properties for birch-dominated stands in Sweden. SLU, inst för skogsskötsel. *Examensarbete i ämnet skogsskötsel* 1998-8.

⁹¹ Regressionsanalys är en statistisk metod för att analysera sambandet mellan olika variabler.

Torvmarksbonitering

Med hjälp av ståndortsfaktorer kan inte bara fastmark, utan också tall, gran och löv på torvmark boniteras.⁹² Systemet för torvmarksbonitering bygger, liksom det med ståndortsegenskaper, på en klassificering av torvmarken med hjälp av typer i fältskiktet. Torvmarkens klimatläge måste också klassas, vilket görs med hjälp av figurer över Sverige som beskriver höjd över havet och breddgrad. När fältskikt och klimatläge fastställts kan boniteten ($\text{m}^3\text{sk/ha}$, år) på torvmark efter dikning bestämmas med hjälp av en tabell i den praktiska anvisningen.

Skillnader mellan trädslag

Granen ger högre produktion än tallen på näringsrika och måttligt fuktiga marker, medan tallen producerar mer än granen på mindre näringsrika och torrare marker.

Bonitetsskattningar utifrån Skogshögskolans H_{100} -index finns utvecklade för tall, gran, ek och bok. Det är också möjligt att bonitera vårtbjörk och contortatall, men då dessa trädslag har en snabb ungdomsutveckling och ”mognar” tidigare, görs boniteringen efter den höjd de 100 grävsta träden per ha (de två grävsta på provytan) uppnår vid 50 års ålder (H_{50}).

Vill man undersöka produktionsskillnaderna mellan olika trädslag på samma mark – till exempel för att avgöra vilket trädslag som skall väljas – går det att få viss hjälp av framtagna nomogram för byte av bonitetsvisande trädslag och översättning av ståndortsindex till bonitet i handledningen till bonitering.⁹³

Bonitetsförändringar

Växtplatsens naturgivna bonitet är inte en naturgiven produktionsgräns, utan kan förändras. Det är främst tre komponenter som förändrar (höjer eller sänker) boniteten:

- vissa skogsskötselåtgärder
- förändringar i klimat och miljö
- trakthyggsbruket.

Skogsskötselåtgärder såsom dikning, markberedning, gödsling och föryngring med förädlat skogsodlingsmaterial kan höja den naturgivna produktionsförmågan. Bränning och försumpning kan sänka densamma.

Klimatförändringar eller andra förändringar i miljön, till exempel ökat kvävenedfall och ökad koldioxidhalt i luften, kan påverka boniteten.

Trakthyggsbruket, som introducerades i mitten av 1900-talet, har bidragit till snabbare dimensions- och höjdtveckling, vilken påskyndats med plant-

⁹² Hånell, B. 2008. *Handledning i bonitering. Del 4, Torvmark. Praktiska anvisningar*. Skogsstyrelsen.

⁹³ Häggglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

ering, röjning och gallring. Föryngringsavverkningarna inriktades från början också främst på starkt utglesade så kallade restskogar. Skillnaderna mot tidigare skötselssystem, där nya träd växte upp i skuggan av de gamla, har således medfört att övrehöjdsträdens indikatorvärde successivt förändrats. Träden i trakthyggesbruket växer helt enkelt fortare än de träd som utnyttjats vid utvecklingen av Skogshögskolans boniteringssystem.

Det är konstaterat att det idag finns en tydlig tendens till en ökad bruttotillväxt i Europa och Sverige.⁹⁴ Mycket pekar på att ökningen främst beror på förbättrad skogsskötsel.

Boniteringssystemet revideras

Skogshögskolans boniteringssystem utvecklades på grundval av då tillgängliga data – för tall och gran främst från naturbestånd, för björk från vårt-björksbestånd inom ett begränsat område (Svealand och södra Norrland) och för contortatall från ett fåtal provytor i relativt unga bestånd. Efterhand har bättre underlag och bearbetningsmetoder blivit tillgängliga och under senare år har nya höjdtvecklingskurvor tagits fram,^{95,96,97,98,99} liksom jämförande analyser av våra vanligaste trädslag på samma växtplats.¹⁰⁰ Dessa har ännu inte nått ut i skogsbruket för praktisk användning.

Trädslagens utveckling på samma mark

I figuren S16 jämförs övre höjdens utveckling för sju av de trädslag vi har möjlighet att bonitera idag på ”samma mark”, dvs där alla trädslagen hypotetiskt skulle kunna växa (på bra mark i Jönköpingstrakten). Figuren bygger i hög grad på osäkra bedömningar, men ger ändå en indikation på hur trädslagen utvecklas under jämförbara förhållanden. Kurvorna för ek och bok är de som ingår i boniteringshandboken.¹⁰¹

Vi kan konstatera att höjdtillväxten för lövträden björk, al, asp och ek, vilka kan sägas vara primärträdslag, startar snabbast och att gran och bok (sekundärträdslag) har den mest uthålliga höjdtillväxten.¹⁰² Tallens höjdtillväxt avklingar något snabbare än granens. Formen på contortatallens höjdtvecklingsförlopp sammanfaller med tallens, varför tallkurvorna även är tillämpbara för contortatall.

⁹⁴ Elfving, B. & Tegnhammar, L. 1995. Varför ökar tillväxten?. SLU. *Fakta Skog* nr 18.

⁹⁵ Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 98, s 125–124.

⁹⁶ Elfving, B. 2003. Övre höjdens utveckling i granplanteringar. SLU, inst. för skogsskötsel. *Arbetsrapporter* 185, s 1–8.

⁹⁷ Eriksson, H., Johansson, U. & Kiviste, A. 1997. A site-index model for pure and mixed stands of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 12, s 149–156.

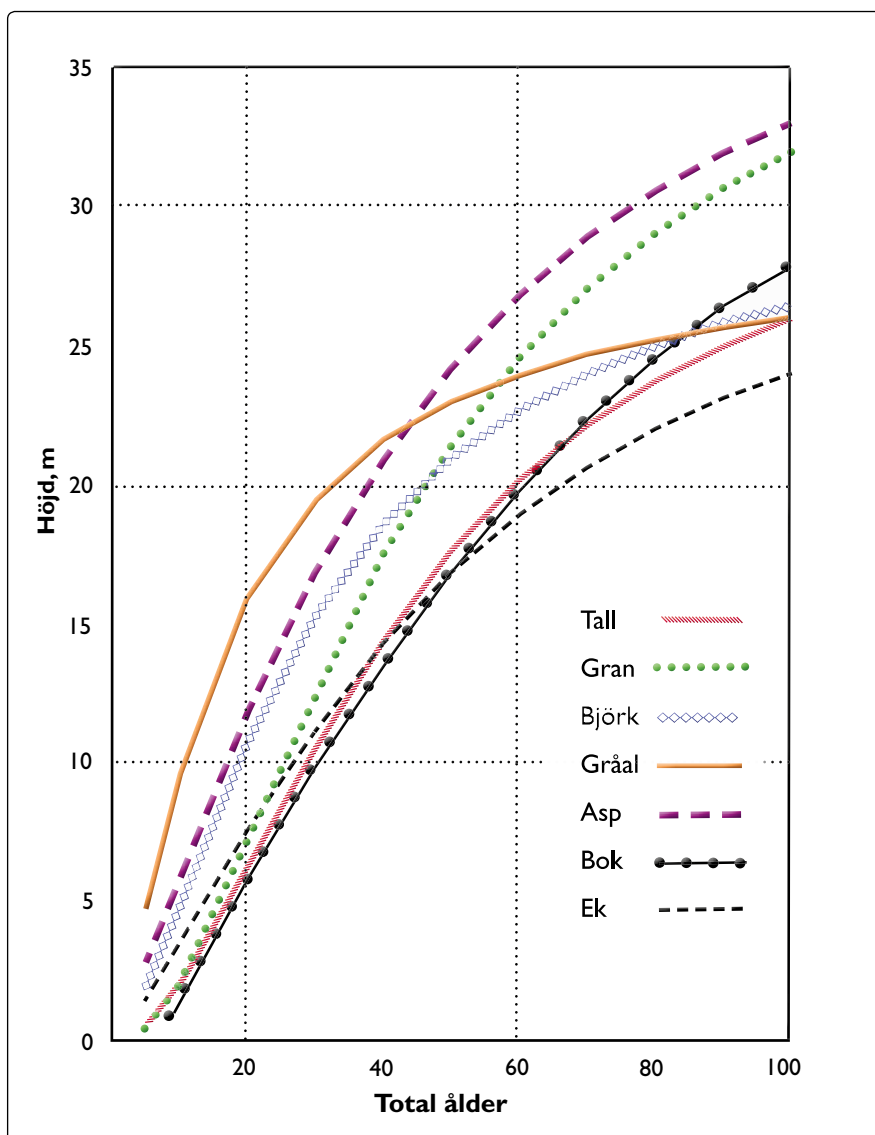
⁹⁸ Johansson, T. 1999. Site index curves for common alder and grey alder growing on different types of forest soil in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 14, s 441–453.

⁹⁹ Johansson, T. 1999. Site index curves for European aspen growing on forest land of different soils in Sweden. *Silva Fennica* 30(4), s 437–458.

¹⁰⁰ Bergquist, J., Ekö, P.M., Elfving, B., Johansson, U. & Thuresson, T. 2005. Jämförelse av produktionspotential mellan tall, gran och björk på samma ståndort. Skogsstyrelsen. *Rapport* 19.

¹⁰¹ Häggglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller.* 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.

¹⁰² Se även ”Trädens höjd och höjdtillväxt” i kapitlet Trädet, s 48.



Figur S16 Övre höjdens utveckling för olika trädslag på samma mark.

Trädet

Den kanske viktigaste delen inom skogsskötseln är kunskapen om hur träd och skogsbestånd utvecklas, och hur denna utveckling påverkas av olika åtgärder.

Både enskilda träd och hela skogsbestånd utvecklas på ett relativt lagbundet sätt med förändringar i olika dimensioner – antal, höjd, diameter, stamvolym, biomassa, diameterfördelning osv. Kunskapen om denna lagbundenhet och hur förändringarna påverkas av olika ingrepp gör det möjligt att med olika skogsskötselåtgärder styra trädets och beståndets utveckling i önskad riktning.

Trädets uppbyggnad och tillväxt ¹⁰³

Ett träd är sammansatt av olika delar med olika funktioner:

- *Barren/bladen*¹⁰⁴ tar upp solljuset och koldioxiden.
- *Finrötterna* ¹⁰⁵ tar upp vatten och näringsämnen.
- *Grövre rötter, stammar och grenar* transporterar socker, vatten och mineralnäring – de är trädets blodomlopp.
De har också en stödjande funktion – de är trädets skelett.
De ger barren/bladen och finrötterna bästa möjliga position i konkurrensen med grannarna.
- *Reproducerande organ* (blommor och frön) gör det möjligt för träd att fortplanta sig.

Läran om växternas organ och deras funktion och utveckling kallas *organografi*. Inom organografin skiljer man på *morfologi*, läran om växternas yttre byggnad och organsystemens uppkomst och variation, samt *anatomi* (även *histologi*), läran om växternas byggnad, särskilt inre byggnad. *Cytologi* (även *celllära*) är vetenskapen om cellen och dess byggnad. Läran om växternas inre livsföreteelser kallas *växtfysiologi*.

Vätsketransport

Träden tillhör *fröväxterna* (*fanerogamerna*) som sorterar under *kärlväxterna*.¹⁰⁶ Dessa växter utmärks av ett väl utbyggt kärlsystem för vätske- och näringstransporter inom växten. Grunden i kärlväxternas morfologi är rot och skott.

Vatten och växtnäring tas i huvudsak upp genom finrötternas rothår och transporteras i ledningssystemets (rötterna, stammen och grenarna) ved (*xylemet*) i de yttre delarna (*splintveden*) upp till bladen (eller barren).

Splintvedens ledningseffektivitet ökar ut mot de yttre årsringarna och

¹⁰³ För djupare studier inom detta ämnesområde, se Fries, N. 1973. *Biologi 3, Fysiologisk botanik*. Almqvist och Wiksell, Stockholm.

¹⁰⁴ Den botaniska termen ”blad” innefattar även barr.

¹⁰⁵ Vanligen brukar de rötter som är tunnare än 2 mm definieras som finrötter.

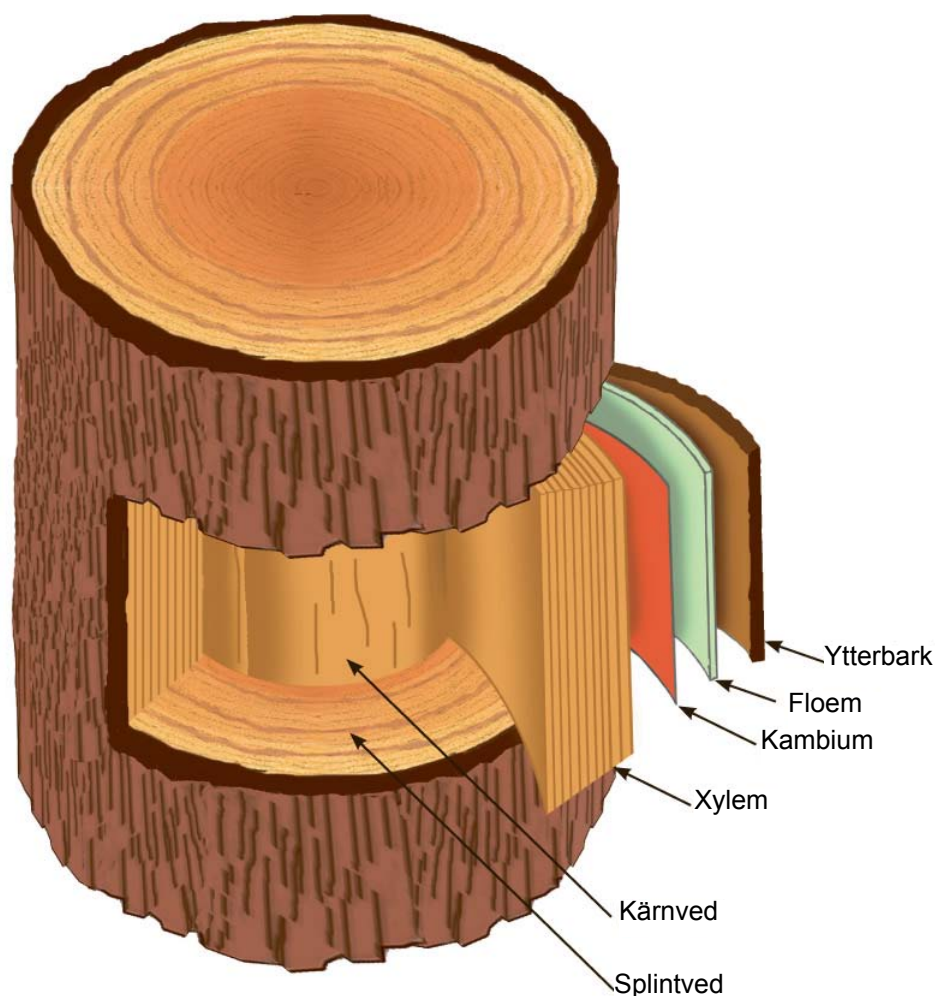
¹⁰⁶ Kärlväxter är ett botaniskt begrepp för växter som utmärks av anpassning till landliv genom välutvecklade transportsystem för vatten i stammar och blad via särskilda kärl, kärlsträngar eller silrör. De delas in i två grupper, fröväxter (*fanerogamer*) och kärlkryptogamer, som är sporväxter (*kryptogamer*) som har kärlsystem för vatteninhämtning, såsom ormbunksväxter.

minskar in mot *kärnveden*. Kärnveden har tidigare varit splintved men har enbart kvar stödjande och bärande egenskaper och består av döda celler. Även i splintveden är den absoluta majoriteten av cellerna döda, men veden har kvar ledningsförmågan (figur S17.)

Ledningssystemets yttre del (*floemet*) ligger omedelbart innanför den yttre barken. I floemet sker transport från bladen av socker till rötterna (och alla vävnader) för energi till livsprocesserna (*andning*), eller till tillfällig lagring i dessa delar.

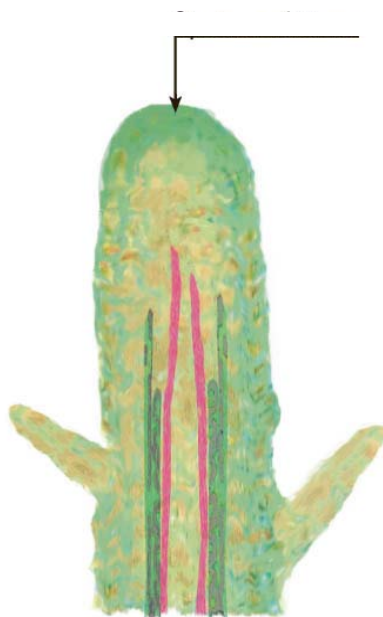
Ledningsbanornas tillväxt

Mellan xylemet och floemet ligger ett tunt cellager (*kambium*), som är en tillväxtzon (*meristem*) där ledningssystemet förnyas genom att floemceller avdelas utåt och xylemceller inåt (figur S17). På så sätt ersätts floem- och xylemceller som tappat sin ledande funktion samtidigt som trädet blir tjockare och behåller sin styrka allt eftersom det växer sig högre.



Figur S17 När trädet växer avdelas från kambiet floemceller utåt och xylemceller inåt stammens mitt. Illustration Bo Persson.

I topparna av skotten sker längdtillväxten i *spetsmeristem*. Med hjälp av dessa bildas vegetativa¹⁰⁷ knoppar som innehåller nästan färdigbildade anlag till det nya skottet med stam och blad. Under lämpliga betingelser, vanligen då våren kommer med värme, skjuter knoppen genom *sträckningstillväxt* och skotten får sin slutliga storlek (figur S18). Vid sträckningstillväxten sker även viss nybildning av celler. För vissa träd (exempelvis tall) sker enbart sträckningstillväxt, medan andra träd (såsom *salix*) har både sträckningstillväxt i knoppen och en ytterligare längdtillväxt genom att spetsmeristemet direkt reagerar med *delningstillväxt* på lämpliga tillväxtförhållanden. Avstannad längdtillväxt och invintring med ny knoppbildning initieras främst av förkortad nattlängd, men påverkas även av andra förhållanden såsom temperatur och torka.



Figur S18 Skottens längdtillväxt sker i spetsmeristemet i toppen av skottet. Illustration Bo Persson.

Under vissa omständigheter (väder, näringsförhållanden, dålig genetisk anpassning till klimatet) kan knoppar som gått in i ett vilostadium, åter spricka ut och sträcka sig under samma sommar. Detta kallas *prolepsis* och sker ofta hos blomställningar och sidoskott hos flera arter. Hos individer med dålig klimatanpassning kan detta bli ett problem på grund av frostskaferisk.

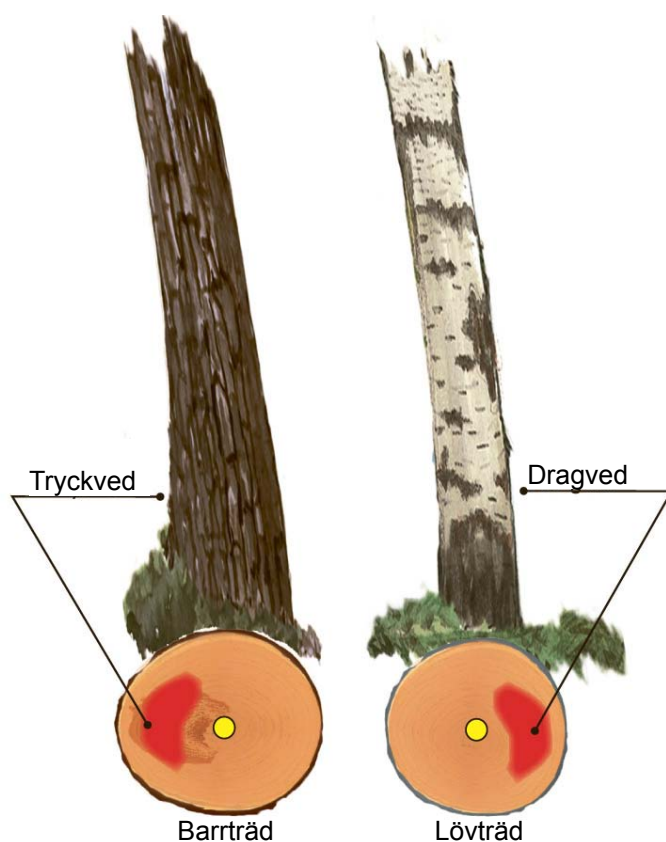
Kronans tillväxt

De flesta träd har en stark *apikal dominans* och *geotropisk styrning* av kronans höjd- och breddtillväxt med hjälp av hormoner.

Geotropisk tillväxt innebär att (topp)skottet strävar att växa i 90 grader mot jordytan. Denna egenskap gör bland annat att böjda träd rätar upp tillväxten.

¹⁰⁷ Vegetativ betyder att växten förökar sig med någon annan växtedel än med fröet. Knoppar som endast kan utveckla stam- och bladorgan, kallas vegetativa knoppar, bladknoppar. Om knopparna utvecklar blommor, benämner man dem *floral knoppar*.

Vid sådana tillfällen bildas *reaktionsved*, som är en hårdare stödjande *tryckved* (även benämnd *tjurved*) på böjens insida hos barrträd och *dragved* på böjens utsida hos lövträd (figur S19).



Figur S19 Reaktionsved hos gran och tall benämns tryckved eller tjurved och är mörkare än trädets ved i övrigt. Reaktionsveden hos lövträd kallas dragved och är inte mörkfärgad som hos barrträden. Illustration Bo Persson.

Apikal dominans betyder att tillväxten i resten av kronan underordnas och styrs från toppskottet. Tallar och granar har stark apikal dominans och växer på höjden med en rak stam och spetsig krona med tydligt centrerat toppskott. Bok är ett exempel på träd med svag apikal dominans och bokar måste växa i täta bestånd med sidoträngsel för att få en genomgående huvudstam och inte utvecklas till en krokig och flerstammig ”buske”. Här skapar skogsskötaren med hjälp av trädens strävan att växa mot ljuset, *fototropism*, den genomgående stammens kvalitet.

Sovande (vilande) knoppar är knoppplanlag i stammar och grenar, som av någon anledning inte utvecklades när skottets andra knoppar sköt, men som har fortlevt. Dessa kan vakna som reaktion på störningar som riskerar trädens överlevnad – såsom torka, mekanisk skada eller plötslig friställning – och bilda nya grenar.

Av sådana störningar kan också *adventivknoppar* nybildas från meristem i stam, grenar eller rot.

Ofta ställer dessa knoppar till med bekymmer för skogsskötaren genom att göra virket kvistigare eller genom att ge rot- och stubbuppslag från avverkade lövträd vid barrskogsföryngring.

Rötternas tillväxt

Rötterna har både en stödjande och en näringsupptagande funktion. Medan skottens tillväxt främst sker under sommaren, tillväxer rötterna främst under hösten om det inte sammanfaller med skotttillväxten. Rotförgreningar sker inte från knoppar utan genom delning i rotspetsarna, eller genom att det helt enkelt växer ut sidorötter från en huvudrot.

Vissa trädslag (till exempel *salix*-arterna) har också förmåga att lätt bilda *adventivrötter* från stambasen eller från grenar med jordkontakt. Adventivrotbildning initieras också av att rötter skadas.

Rotspetsar och yngre rötter utbildar *rothår*, med vilka det huvudsakliga upptaget av vatten och näring sker.

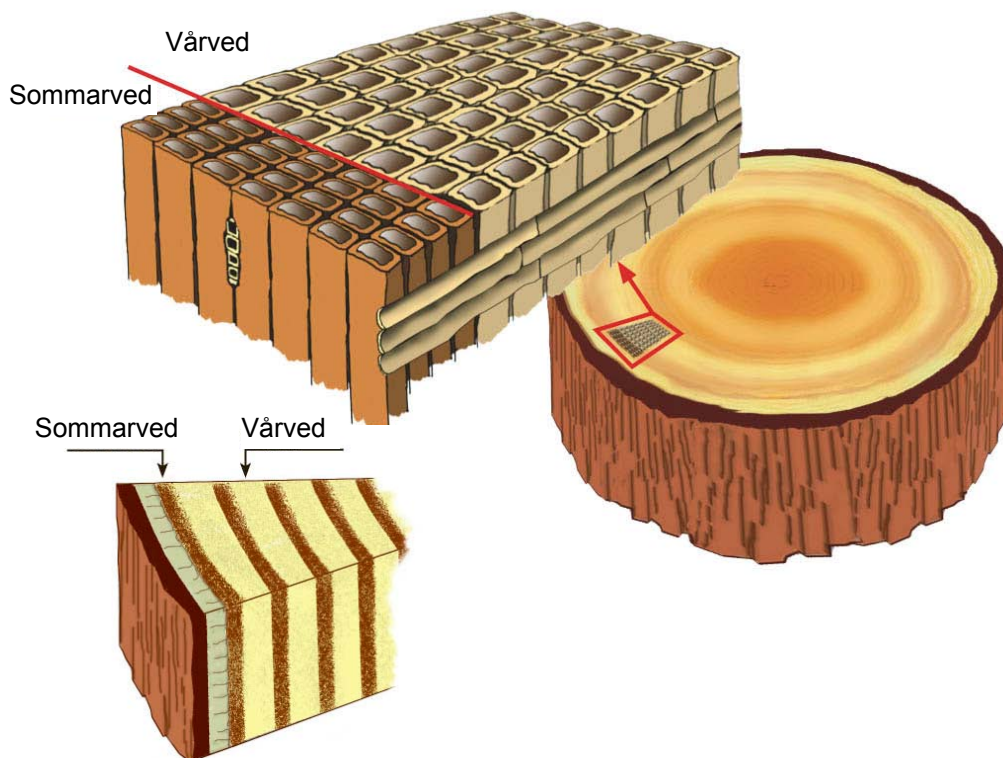
Rothårens upptagande funktion ersätts ofta, eller kompletteras, av *mykorrhiza* (*svamprot*) där svampar hjälper trädet att ta upp vatten och näring i utbyte mot kolhydrater.

Några trädslag har egenskapen att leva i symbios med *rotbakterier* som binder luftens kväve åt träden (till exempel alar).

För rottillväxt och överlevnad krävs *syre*. Rötter dör om syret i marken förbrukas genom översvämning.

Vedens celler

Xylemet byggs upp med årsringar av *vårved* (lätt ved med porösa celler med stort hålrum) och *sommarved* (tung ved med kompakta celler) (figur S 20).



Figur S20 Hos barrträd framträder tydliga årsringar som består av ett ljusare lager celler som bildar vårved och ett mörkare lager celler som bildar sommarved. Vårveden är mer porös än sommarveden. Illustration Bo Persson.

Hos barrträden domineras veden av *trakeidceller* som har både stödjande och vattenledande funktion. När barrträden växer fort blir veden lättare därför att det framför allt är vårvedsandelen med porösa trakeider som ökar.

Lövträdens ved domineras av stödjande *fibrer* och av mycket porösa specialiserade vattenledande *kärlceller* samt trakeider liknande dem i barrträden. Lövverkets densitet ökar eller påverkas i liten grad av snabb tillväxt, eftersom det är den kompaktare sommarvedsandelen som ökar. Hos vissa lövträdslag – såsom alm, ask och ek – ligger kärnen koncentrerade till vårveden och bildar ett band i årsringen. Dessa trädslag kallas *bandporiga* till skillnad från de *ströporiga* – bland annat asp, björk och bok.

Förutom splint- och kärnved beskrivs de 10–20 innersta årsringarna som *ungdomsved* (*juvenilved*) – en ved med för virkesutnyttjande mindre fördelaktiga cellegenskaper: Ungdomsved har låg hållfasthet och ger ojämna spänningar i virket.

Växtfysiologi

Fotosyntes och andning. Luften innehåller nästan 0,04 viktsprocent koldioxid. Med solljuset som energikälla omvandlas i bladen koldioxid och vatten till kolhydrater – *fotosyntesen*. Samtidigt bildas också syre.

Kolhydraterna är trädets byggstenar och bränsle. De byggs in i trädet när det växer och används för att upprätthålla dess livsprocesser, dvs de förbrukas vid *andningen* varvid träden ger ifrån sig koldioxid och förbrukar luftens syre.

Trädens energieffektivitet beräknad som fastläggning av biomassa innebär sammantaget att våra skogar kan tillgodogöra sig ca en procent av den årligt tillförda ljusenergin.

Mineralnäring och kväve. Mineralnäringen tillförs trädet, framför allt med hjälp av den vattenström som drivs av avdunstningen (*transpirationen*) genom bladen.

Transporten av näringsämnen i marken mot roten sker passivt genom *massflödet*¹⁰⁸, men transport sker också genom *diffusion* från högre koncentration av ett näringsämne i markvätskan mot en lägre koncentration nära roten. Denna lägre koncentration är en följd av rotens aktiva upptag av just detta ämne. Mineralnäringen består av mineraler lösta i vattnet samt kväve i form av nitratkväve, ammoniumkväve och vissa aminosyror. Näringen tas upp i roten både passivt genom vattenströmmen och aktivt (en process som delvis kräver energi).

Trädets rötter bidrar också aktivt till att frigöra näring, genom att de producerar syror som bidrar till vittringen, samt genom att upptaget påverkar jonbalansen i marken. Mineralnäring rör sig mot områden i marken som har lägre halter av mineralnäring. Urvalet och upptaget av näringsämnena sker med hjälp av elektrokemiska processer där ämnesspecifika ”jonkanaler” tar ”sitt” näringsämne, bland annat med hjälp av specifika ”jonbärare”. Bakterier och svampar påverkar också trädets tillgång på näring, exempelvis genom att bryta ned organiskt material eller genom att påverka pH-värdet. Med hjälp av mykorrhiza ökas rötternas näringsupptagande yta.

¹⁰⁸ Massflöde är vätske- eller gastransport som drivs av en tryckskillnad. Vid massflöde transporteras hela mediet, inklusive lösta substanser.

Växter reagerar med låg tillväxt vid låg kvävetillgång. Kvävebrist kan därför snarast ses som en mänsklig önskan om hög tillväxt än ett sjukdomstillstånd hos växten. Däremot kan brist på andra ämnen ge abnorm tillväxt och bristsjukdomar. Balansen mellan kväve och andra ämnen är därför viktig (tabell S3).

Tabell S3. Önskade undre gränsvärden för mineralnäringshalter i granbarr (torrvikt):

N	P	K	Ca	Mg	Mn	S	Fe	Zn	B	Cu
100	10	35	2,5	4	0,05	5	0,2	0,05	0,05	0,02

Värdena är i relation (%) till kvävehalten. I ”normal” svensk skog kan barrrens kvävehalt antas ligga i intervallet 0,8–1,5 %, vilket här motsvarar det relativa talet 100. Högre värden kan förekomma, men sammanhänger då oftast med närhet till jordbruksmark, skog på före detta jordbruksmark eller genomförd gödsling.¹⁰⁹

I Sverige begränsas skogens tillväxt på fastmark främst av tillgången på växttillgängligt kväve. Bladmängden (klorofyllmängden) är en funktion av kväveutbudet och den totala biomassatillväxten en funktion av bladmängden (bladytan). Totalmängden kväve på typisk svensk skogsmark är 2–5 ton per ha, men det mesta är hårt bundet och inte tillgängligt för växterna. En svensk normalskog som årligen växer med 5 m³sk per ha, motsvarande en total bruttobiomassaproduktion på ca 10 ton per ha (torrvikt), tar årligen upp ca 20 kg kväve för tillväxt.

Tillväxtens fördelning

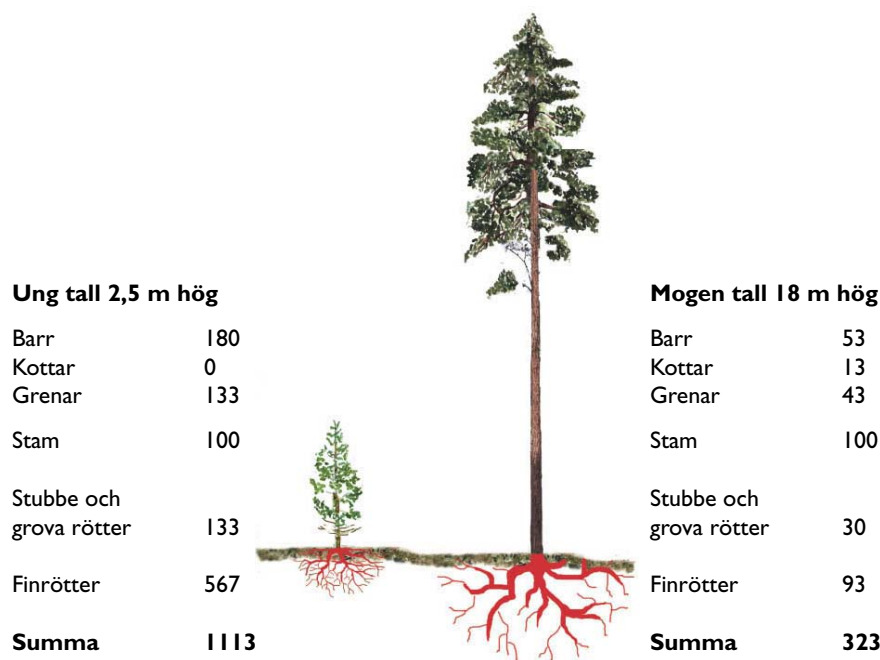
Fördelningen av den möjliga tillväxten följer lagbundna mönster. Trädets tillväxt sker inte samtidigt i alla delar utan tillväxten fördelas till olika delar under hela tillväxtsåsongen (*fenologi*¹¹⁰). För tall och gran ser fenologin ut på följande sätt:

- Rottillväxt april-maj
- Skott- och barrsträckning maj-juni
- Diametertillväxt maj- aug
- Blomning, knoppanlag, knopp-utveckling juni-juli
- Rottillväxt aug-sept

Således prioriteras till en början, både för enskilt år och i trädens ungdom, tillväxten i trädet av de delar som tar upp näring, vatten och ljus, dvs finrötterna och bladen (figur S21). De fortsätter sin expansion tills de möter konkurrens från andra träd. De kan då inte få ytterligare tillskott av ljus, vatten och näring, om inte träd intill förlorar delar av sitt upptag.

¹⁰⁹ Bergh, J & Linder, S: Produktionspotentialen på intensivodlade marker. I Bergh, J. (redaktör): Fiberskog. SLU, inst. för produktionsekologi. Rapport 6, s 20–32.

¹¹⁰ Se www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogsencyklopedin/



Figur S21 Tillväxtens relativa fördelning (%) hos en ung och en gammal tall. Här är alla delar relaterade till stammens biomassatillväxt (inklusive bark) för att visa hur mycket av biomassatillväxten som vanligen skördas.¹¹¹ Illustration Bo Persson.

Blad och barr

Under svenska förhållanden styrs bladmassans expansion vanligen helt av tillgången på växttillgängligt kväve. Riklig tillgång på växttillgängligt kväve, exempelvis innan beståndet slutit sig eller efter gödsling, gör att bladens (barrens) kvävehalt blir hög. Bladmassan fungerar då även som kväveförråd.

Den höga kvävehalten stimulerar knoppbildningen så att trädet bildar fler grenar med fler och längre skott och större blad (barr). Tillväxten i hela trädet blir proportionell mot den totala bladmassan som fångar solljuset. Tillväxtökningen när bladmassan ökar en enhet sjunker vanligen med ökande bladmassa eftersom det då uppkommer självbeskuggning. Även andra tillväxtfaktorer kan bli begränsande, såsom vattentillgången. När kvävehalten i bladen sjunker, minskar åter gren-, skott- och bladproduktionen.

Bladens livslängd är olika för lövträd och barrträd, samt mellan olika arter av barrträd:

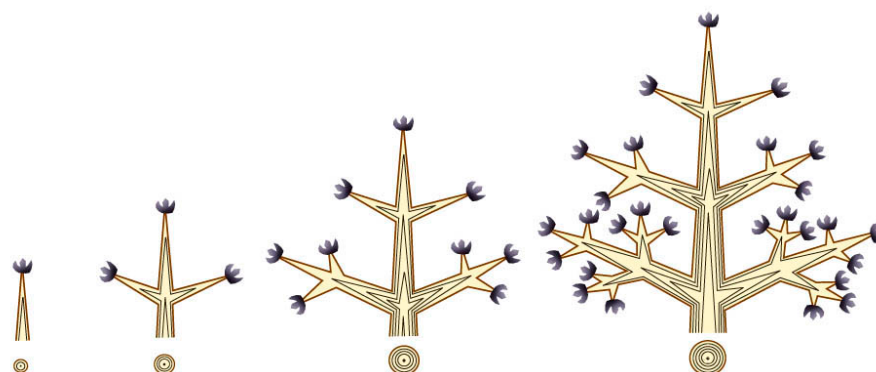
- *Lövträd och lärk* – bladen lever en vegetationsperiod.
- *Tall* – i södra Sverige blir barren 2–3 år gamla, i norra Sverige blir de 4–6 år gamla eller ännu äldre.
- *Gran* – i södra Sverige blir barren 7–9 år gamla, i norra Sverige blir de 12–15 år.

¹¹¹ Efter Albrektson, A. 1980. Tallens biomassa. Storlek – utveckling – uppskattningsmetoder. SLU, inst. för skogsskötsel. Avhandling. *Rapporter* 2.

Detta innebär att barrträden i norr kan bygga upp en större barrmassa än de i söder om kväveutbudet där vore lika stort. De kan därför producera bra, trots ett kallare klimat.

Krona och stam

Unga träd ökar sin bredd och yta genom att bladmassan ökar exponentiellt med tiden så länge krontillväxten sker utan konkurrens med andra träd i beståndet (figur S22).



Figur S22 Principbild över tallens skotttillväxt åren 1–4.¹¹²
Illustration Bo Persson.

När konkurrensen ökar från andra träd, begränsas tillväxten av kronan och därmed bladmassan.

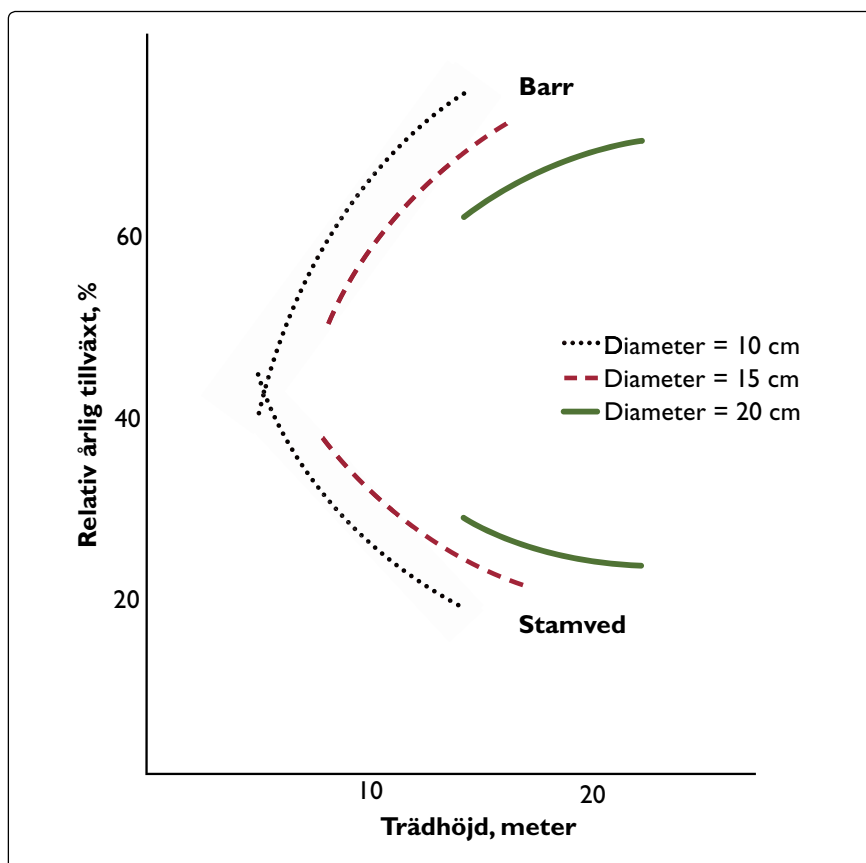
När trädet blir större tas alltmer av tillväxtfaktorerna i anspråk för trädets överlevnad och till produktion av blommor och frön för dess fortplantning. Trädets bladmassa ökar då långsammare eller stagnerar.

I det åldrande trädet minskar den årliga bladmassatillväxten, vilket ytterligare sänker årsringsbredden och även gör att grundytetillväxten minskar.

Tillväxtens fördelning i trädets olika delar har samband med trädets höjd och stammens diameter (figur S23). När trädet blir högre och grövre behöver det ersätta och öka mängden ledningsbanor respektive stödjande vävnad. Tillväxten av dessa delar blir allt viktigare och mer energikrävande ju större trädet blir. Dessutom ökar trädets respirationsförluster – det kostar allt mer för trädet att överleva.

Stammens diameter fortsätter hela tiden att växa till, om än långsammare ju äldre trädet blir – årsringsbredden avtar. Grundytetillväxten kan ändå vara konstant eller till och med att öka, eftersom grundytan växer med kvadraten på radien.

¹¹² Söderström, V. 1978. *Ekonomisk skogsproduktion*. LTs förlag. Stockholm.



Figur S23 Fördelning av tallars årliga produktion (%) på barrmassa respektive stamved som funktion av trädhöjd och trädiameter.¹¹³

Produktivitet

Den ökande produktionen av stödjande vävnad innebär att bladmassans produktivitet (produktion av biomassa i relation till bladmassans storlek) kan öka, eftersom produktion av biomassa med hög näringshalt, såsom blad och finrötter, minskar samtidigt som produktion av biomassa med låg näringshalt ökar.

När träden blir äldre minskar tillväxt och produktivitet genom att de börjar producera reproducerande organ (blommor och frön) i stället för bladbildande knoppar. Det är en process som kräver mycket näring och medför att produktionen av assimilerande blad och bladbildande knoppar blir mindre, vilket leder till att bladmassan i trädet minskar.

¹¹³ Albrektson, A. & Valinger, E. 1985. Relations between tree height and diameter, productivity and allocation of growth in a Scots pine sample tree material. I: *Crop physiology of Forest Trees. Proceeding of an international conference*, s 95–105. Department of Plant Breeding, University of Helsinki.

Trädens höjd och höjdtillväxt

Våra skogsträd växer på höjden genom att årligen skjuta ett nytt toppskott. Längden på toppskottet varierar med:

- anlagen och de genetiska förutsättningarna
- vädret både under tillväxtåret och året eller åren före tillväxtåret
- boniteten
- trädhöjden
- trädets dominans i beståndet
- skötselåtgärder.

Årets höjdtillväxt är starkt förutbestämd i knoppanlaget hos vissa trädslag – såsom tall och gran – och sker helt som sträckningstillväxt av anlagen i knopparna. Andra trädslag – de flesta lövträd – har årlig höjdtillväxt både genom sträckningstillväxt av anlagen i knopparna och genom aktiv celledelning i toppen under tillväxtperioden. Dessa träd kan således anpassa den löpande höjdtillväxten efter vädret under tillväxtsåsongen och tillväxtsåsongens längd.

Höjdtillväxten kan även påverkas av vissa skötselåtgärder, exempelvis markbehandling, gallring och gödsling, samt av skogsförädlingsarbetet som ger träd med genetiska förutsättningar för längre toppskott.

Höjdtillväxten blir summan av toppskottens längder. Det är dock viktigt att veta att i naturen har träd nästan alltid, av olika orsaker, förlorat något eller några toppskott innan de blir slutavverkningsmogna. Därför är antalet grenvarv inte alltid lika med trädets ålder och stämmer sällan med antalet årsringar.

Ytterligare ett förhållande som kan påverka höjdtillväxten är att markens produktivitet sjunker i det åldrande beståndet, därför att den tillgängliga näringen minskar när växttillgänglig näring binds i vegetation och mark. På så sätt minskar utbudet av växttillgänglig näring ända tills beståndet avverkas eller kollapsar. Då ökar nedbrytningen och därmed även näringstillgången igen.

Höjdtillväxt i enskiktade bestånd

I likåldriga, enskiktade bestånd får träden en regelbunden dynamik i toppskottens årliga utveckling, dvs höjdens löpande tillväxt.

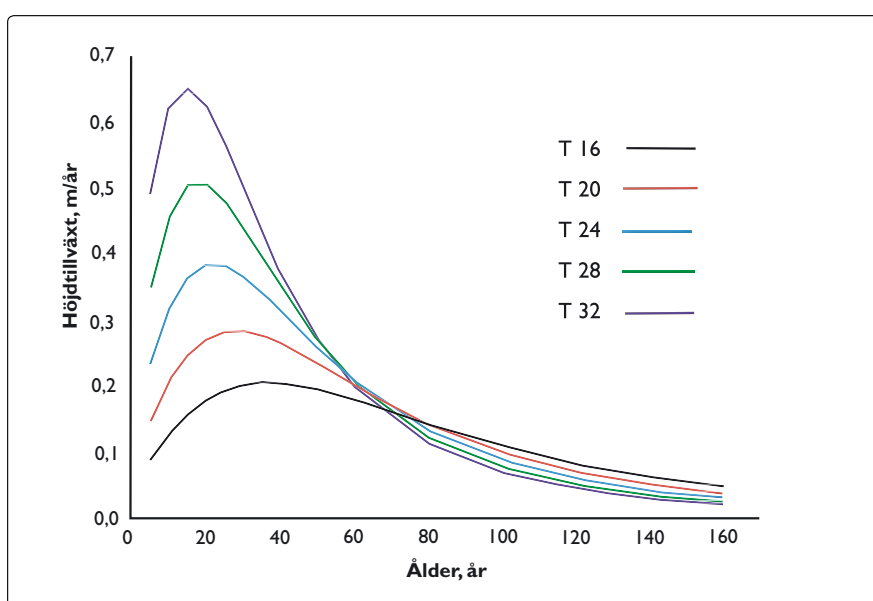
Hos plantor är toppskotten relativt korta men ökar sedan exponentiellt. Den löpande höjdtillväxtens positiva utveckling i unga år beror bland annat på att trädet försöker stärka sin konkurrenskraft gentemot omgivningen genom att växa sig högre än omgivande växter och bygga upp sin assimilerande biomassa. Trädet blir allt vitalare och kan successivt investera i en allt större toppknopp, med följande sträckning till allt längre skott.

Höjdtillväxten kulminerar därefter redan i unga år. Den löpande höjdtillväxten kulminerar tidigare och på en högre nivå hos träd som växer på höga boniteter än hos träd på låga boniteter. På höga boniteter kan däremot gamla träd ha en lägre löpande höjdtillväxt än gamla träd på sämre boniteter. Det kan synas märkligt att träd på sämre boniteter har längre toppskott vid sam-

ma ålder än träd på bra boniteter, men pga den snabbare höjdtillväxten hos träd på bra boniteter närmar sig dessa mycket tidigare sin maximala höjd för ståndorten ifråga.

Hos de mycket gamla träden avtar höjdtillväxten långsamt för att till slut i stort sett avstanna helt. Den negativa toppskottsutvecklingen efter kulminationen brukar förklaras med ökande motstånd mot vattentransporter i stammen när trädet blir högre, samt med ökande kostnader för att överleva. Ju större trädet blir, desto mer energi måste läggas på detta och då blir det mindre energi över till höjdtillväxt, samtidigt som ökande transportavstånd försvårar transporter av vatten och näring inom trädet.

Denna toppskottsutveckling ger löpande höjdtillväxt (figur S24) och dessa regelbundna kurvor använder vi när vi skattar ståndortsindex med hjälp av höjdtillväxtskurvor.¹¹⁴



Figur S24 Höjdtillväxtens förlopp över tiden i tallbestånd på olika bonitet. Svart = T16, röd = T20, blå = T24, grön = T28, violett = T32.¹¹⁵

Höjdtillväxt i fullskiktade bestånd

I fullskiktade bestånd varierar höjdtillväxten mycket mer än i enskiktade bestånd, både över tiden för enskilda träd och mellan träd av ungefär samma storlek. Detta beror på att de enskilda trädens konkurrenssituation varierar mycket mer än i enskiktade bestånd. Så småningom når dock träden i fullskiktade bestånd samma maximala höjd som träden i enskiktade bestånd.¹¹⁶

¹¹⁴ Se Bonitering med höjdtillväxtskurvor, s 40.

¹¹⁵ Efter Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 98, s 125–124.

¹¹⁶ Indermühle, M.P. 1978. Struktur-, Alters-, und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beiheft zu den *Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins* No. 60.

Skillnader mellan trädslag

Pionjärträdslag (primärträdslag) och sekundärträdslag uppvisar olika höjdtillväxtstrategier.

Pionjärträdslagen. Den vedertagna uppfattningen är att pionjärträdslagen (till exempel tall, lärk, björk, al och asp) växer snabbt till en början och att höjdtillväxten kulminerar vid unga år. Detta är deras strategi för att etablera sig efter någon störning som till exempel storm eller brand.¹¹⁷

Sekundärträdslagen. Sekundärträdslagen (till exempel gran och bok) har som strategi att vara skuggtåliga och långsamt sega sig upp underifrån bland andra större träd.

Sekundärträdslagens långsamma ungdomstillväxt är emellertid en strategi för tillväxt i skugga, vilket inte är den bästa tillväxtförutsättningen ens för dem. Idag planteras gran direkt på kala hyggen och får en optimal tillväxtstart genom anpassad markbehandling och vitala rotade plantor. Granen skjuter då fart direkt och höjdtutvecklingen kommer att likna primärträdslagens.

Skogsskötarens utmaning är att snabbt få plantor att växa fort oavsett trädslag. Kanske bör vi därför vara försiktiga med att i trakthyggesbruket alltför hårddraget indela trädslagen i primärträdslag och sekundärträdslag och med att tilldela dem sådana egenskaper.

Trädens stamform och volym

Stammens volym är en funktion av trädets höjd, diameter och stamform och kan beräknas med olika volymfunktioner eller volymtabeller.¹¹⁸

För det ekonomiska skogsbruket är den ideala stamformen en cylinder, eftersom det då skulle bli minst spill när timret sågas upp. I verkligheten har stammar alltid en större eller mindre avsmalning mot toppen samt en viss ansvällning i den nedre delen.

Årsringar

Vanligen bildar svenska trädslag en tydlig *årsring* i veden varje år. Den första årsringen (den närmast mörken) på en viss höjd bildades i trädets toppskott då trädet nådde den aktuella höjden. För varje år bildas sedan en ny årsring utanför denna och med varje ny årsring ökar trädets diameter.

En årsring kan spåras ända nerifrån de grövre rötterna upp genom stammen och ut till årsskotten på grenarna, alltså de årsskott som bildats samtidigt som årsringen. Årsringarna består av vårved och sommarved,¹¹⁹ vilka brukar ha olika färg, täthet och struktur.

Hos träd som är mycket starkt undertryckta bildas vissa år ingen urskiljbar årsring alls, ibland bildas årsringen bara på delar av mantelytan¹²⁰.

¹¹⁷ Se vidare figur S16.

¹¹⁸ Brandel, G. 1990. *Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk*. SLU, inst. för skogsproduktion. Avhandling. *Rapporter* 26.

¹¹⁹ Se figur S20.

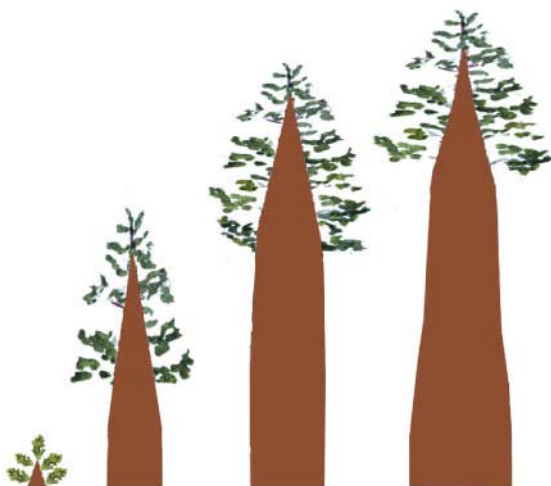
¹²⁰ Mantelytan är stammens eller stockens yta på eller under barken.

Falsa årsringar. Ibland, speciellt vid stark sommartorka, kan det bildas en ”falsk” årsring, inne i vårveden. Cellbildningen styrs vanligen av daglängd och temperatur, men olika typer av klimatisk stress, exempelvis torka, kan påverka trädet att övergå från att producera vårved (stora tunnväggiga celler) till att producera sommarved (små tjockväggiga celler med högre lignininnehåll). Om sedan vädret samma sommar åter blir fördelaktigt för tillväxt, så återgår trädet till att producera vårved och så småningom åter sommarved vid normal tidpunkt. På så sätt bildas det en falsk årsring, det bildas två årsringar samma år.

Stamform

En ny årsring är bredast i toppen och den minskar i bredd nedåt i kronan och under kronan avtar årsringsbredden ju längre ned mot stambasen vi kommer. Årsringsbredden är alltså som störst någonstans i toppen av kronan.

Det sammanlagda antalet årsringar blir fler ju längre ner mot stambasen vi kommer, varför ett träd alltid är tjockare nertill än upptill. Men det förhållandet att årsringarna är bredare i stammens övre del gör att trädet inte blir koniskt, utan får en torpedliknande form – stammen blir nästan cylindrisk under kronan (figur S25).



Figur S25 Stamform hos tallar av olika ålder i trakthyggesbruk.¹²¹
Illustration Bo Persson.

Stamformen har inget tydligt samband med boniteten och är bara delvis beroende av genetiska faktorer. Det är istället beståndsmiljön där trädet växer som är helt avgörande för trädets form:

- Fristående träd, eller dominanta träd med djup krona får en stor avsmalning och ”dålig” stamform – de blir mer koniska.
- Tätt växande och undertryckta träd får en liten avsmalning – de får en lång, nästan cylindrisk nedre del av stammen.
- Stora stamantal per hektar ger alltså bättre stamform.

Gallring innebär en friställning av de kvarvarande träden som ger en ökad mekanisk belastning i nedre delen av stammarna från bland annat vind. Som en reaktion på detta ökar träden sin stabilitet genom att utveckla bredare års-

¹²¹ Söderström, V. 1978. *Ekonomisk skogsproduktion*. LTs förlag, Stockholm.

ringar vid stambasen, vilket medför en försämrad, mer konisk stamform.¹²²

I fullskiktad skog växer de enskilda träden med allt mindre konkurrens efter ungdomsfasen. Kvistrensningen avstannar därför tidigt och trädens kronor blir långa hos de avverkningsmogna träden. Stamformen blir därmed mer konisk än vid trakthyggesbruk.

Brösthöjdsformtal. Det är vanligt att stamformen anges med brösthöjdsformtalet, dvs verklig stamvolym i relation till en cylinder med samma längd som trädet och med samma diameter som trädet i brösthöjd. Höga brösthöjdsformtal indikerar vanligen en god, cylinderliknande stamform. För korta och koniska träd kan brösthöjdsformtalet bli mycket högt, till och med högre än 1, pga att sådana träd har en ansenlig del av sin volym under brösthöjdsnivå och den jämförda cylindervolymen blir därigenom mindre än stamvolymen. Korta träd med dålig stamform och långa träd med god stamform får alltså höga stamformtal. I en traditionellt gallrad skog sjunker brösthöjdsformtalet med tilltagande ålder.

Formhöjd. Med formhöjd avses vanligen höjden av den cylinder som har samma diameter som trädet har i brösthöjd, och som har samma volym som trädet. Formhöjden kan också uttryckas som produkten av trädets höjd och dess brösthöjdsformtal. Måttet är praktiskt att använda bland annat när man konstruerar tillväxtmodeller.¹²³

Grundyta

Stammens horisontella genomskärningsyta kallas trädets *grundyta* (g). Grundytan anges antingen under bark (ub), dvs exklusive barken, eller på bark (pb), dvs inklusive barken, och tillväxten följaktligen som tillväxt på bark eller under bark. Om inget annat sägs, avses alltid grundytan i brösthöjd på bark.

Årsringsbredden och diametertillväxten är endimensionell (ett längdmått), medan grundytetillväxten är tvådimensionell (ett ytmått), alltså en produkt av årsringsbredd och trädets omkrets. Detta betyder att grundytetillväxten ökar med trädets diameter vid konstant årsringsbredd.

Liksom den löpande höjdtillväxten, kulminerar årsringsbredden och grundytetillväxten snabbare och med högre värde ju bättre boniteten är.

Volym

Eftersom det enskilda trädets höjd- och diametertillväxt kulminerar relativt tidigt i likåldriga, enskiktade bestånd, skulle man kunna tro att volymproduktionen också kulminerar tidigt. Men stamvolymen är tredimensionell (ett volymmått) och volymtillväxten hos det enskilda trädet är inte bara en funktion av höjdtillväxt och diametertillväxt, utan också av hela trädhöjden och stamformsförändringen.

Storleken på stamvolymens årliga tillväxt hos det enskilda trädet är komplicerad att beräkna och beskriva, men kulminationen sker betydligt senare än för dimensionerna höjd och diameter.

¹²² Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallars utveckling. SLU, inst. för skogsskötsel. *Avhandling*.

¹²³ Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. Tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag. SLU, avd. för skogsuppskattning och skogsindelning, *Rapport* 14.

Konkurrens

Konkurrensen om tillgängligt kväve är helt avgörande i svenska skogar. Konkurrensen bidrar till självgallring och naturlig avgång i ett bestånd. Den avgör också trädens form och utveckling. Med skogsskötseln påverkar man konkurrensen och inriktar skogens utveckling mot givna mål.

Begreppet *konkurrens* är från början hämtat från ekonomisk teori och förutsätter att det finns ett utbud och en efterfrågan på en ändlig resurs. Det vanligaste är då att utbudet är större än efterfrågan och att det uppstår konkurrens mellan säljarna. Konkurrensen kan då till slut göra att några säljare slås ut.

Inom botaniken förutsätts att det finns begränsad tillgång på tillväxtresurser och att det därför uppstår konkurrens mellan ”köparna”, dvs växterna. Konkurrensen leder då initialt till att tillväxten begränsas och slutligen till att en del individer dör.

Former av konkurrens

Konkurrens mellan växter kan delas in på några olika sätt. En vanlig uppdelning är mellan direkt och indirekt konkurrens:

- *Direkt konkurrens* innebär att en växt suger åt sig tillväxtresurser (vatten och näring) som därmed går förlorade för växterna intill.
- *Indirekt konkurrens* innebär att en växt på något vis hindrar en annan växts upptag av tillväxtresurser som växten själv inte tar upp. Två typiska exempel på indirekt konkurrens är *beskuggning* och *allellopati*. Det senare innebär att växter med kemiska ämnen hindrar eller försvårar för andra växter att ta upp näring eller att föröka sig. *Vegetativ förökning* kan också vara ett sätt att konkurrera indirekt. Växter som kan föröka sig med rotskott och därmed bilda klon-populationer kan på det viset snabbt ockupera mark och utestänga andra individer eller arter från samma område.

Ett annat sätt att dela in konkurrens är att skilja på ensidig och tvåsidig konkurrens:

- *Ensidig konkurrens* innebär att den är riktad åt ett håll, som när en större växt beskuggar en mindre växt. Den mindre växten kan ju inte samtidigt beskugga den större.
- *Tvåsidig konkurrens* är på motsvarande sätt när båda växterna ”stjäl” exempelvis kväve från varandra, genom att båda tar upp kväve som den andre därför inte kan ta upp.

Förenklat kan man säga att det handlar om det som lekmannamässigt i alla tider har kallats för rot- och ljuskonkurrens, där rotkonkurrensen är direkt och tvåsidig, medan ljuskonkurrensen är indirekt och ensidig.

Konkurrensen om kväve

I boreal¹²⁴ skog är det oftast det växttillgängliga kvävet som är mest begränsande för trädens tillväxt.¹²⁵ Därför är den direkta, tvåsidiga, konkurrensen om kväve den helt avgörande konkurrenstypen i våra skogar.

Det är viktigt att ange just *växttillgängligt* kväve som bristfaktorn, eftersom den totala mängden kväve i mark och luft är mycket stor. Men det mesta kvävet är bundet i former som växterna inte kan tillgodogöra sig. Nästan alla skogars tillväxt ökar om växttillgängligt kväve tillförs.

I de nordliga skogarna finns ett starkt samband mellan tillgången på växttillgängligt kväve och värme. Ju varmare marken är, desto större andel av markens totala kväveförråd omsätts årligen och blir tillgängligt för växterna. Det betyder att om klimatet blir varmare, så ökar inte tillväxten bara för det, utan också för att kvävetillgången ökar. Detta kan vi i Sverige förvänta oss som en, faktiskt positiv, följd av växthuseffekten.

Först vid mycket god tillgång på kväve begränsas tillväxten i någon större utsträckning även av andra tillväxtfaktorer. Låg tillväxt på grund av brist på andra näringsämnen är mycket ovanlig.

Samverkan och symbios

Inom växtvärlden finns även motsatsen till konkurrens, dvs samverkan eller symbios. Exempel på detta är samspelet mellan träden och mykorrhizasvamparna i marken och kvävefixering¹²⁶ hos vissa arter – till exempel ärtväxter, al och pors – som gör att kvävetillgången i marken ökar även för andra arter.

Naturlig avgång

Alla träd i ett bestånd överlever inte tills de är fullstora. I alla former av skogar kommer det att dö träd då och då, både stora och små. Detta kallas naturlig avgång, till skillnad från de träd som avgår genom avverkning. Den naturliga avgången sker genom *självgallring* eller genom *episodisk avgång*.

Självgallring innebär att träd dör av konkurrens. När konkurrensen om tillväxtresurserna ökar i ett bestånd kommer vissa träd att hamna på efterkälken. De får då allt svårare att hävda sig i konkurrensen och får tillgång till allt mindre av tillväxtresurserna. Detta leder in trädet i en ond cirkel som det inte kan bryta sig ur av egen kraft. En allt större andel av trädets fotosyntes kommer att gå åt till att hålla trädet vid liv och tillväxten avtar därför ytterligare, vilket gör att trädet blir ännu mer efter och får ännu mindre över till tillväxt. Till slut hamnar trädet i en situation där dess fotosyntes inte ens räcker till för att hålla det vid liv och trädet dör, det självgallras.

Eftersom självgallringen är ett resultat av konkurrens i beståndet kallas den ibland för ”täthetsberoende avgång”.

¹²⁴ Med boreal menas det kalltempererade området på norra halvklotet.

¹²⁵ Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological studies* 81. Springer-Verlag.

¹²⁶ Kvävefixering innebär att luftens kväve omvandlas till bland annat ammoniak och kväveoxider, som i jonform är tillgängliga för växterna.

Episodisk avgång innebär att träd dör genom någon form av yttre påverkan. Den episodiska avgången i ett bestånd kan orsakas av många olika faktorer – vind, snö, brand, djur, skadeinsekter, skadesvampar. Medan vind, snö och brand kan döda trädet direkt, är det relativt ovanligt att betande djur, insekter och svampar direkt dödar trädet, även om det förekommer.

Angrepp av djur, insekter och svamp försämrar trädets vitalitet. Trädet får svårare att hävda sig i konkurrensen om tillväxtresurserna, vilket i sin tur sänker vitaliteten ytterligare, osv. Eftersom de flesta skadeinsekter och svampar i första hand angriper träd med nedsatt vitalitet, går det oftast inte att i fält avgöra om ett enskilt träd dödades av självgallring eller av insekter eller svamp.

Uttryck för konkurrens

Konkurrens uttrycks på flera olika sätt i skogliga sammanhang beroende på vad syftet är. Gemensamt är att uttrycken beskriver beståndets täthet. Några exempel, i ökande komplexitetsgrad från enkla till komplicerade är:

- stamantal och relativt förband
- grundyta
- Reinekes täthetsindex, SDI (stand density index)
- självgallringslagen
- relativt förband (spacing index)
- konkurrensuttryck i produktionsmodeller
- slutenhet.

Stamantal och förband

Antal stammar/plantor/träd per hektar är ett centralt begrepp, framförallt i yngre bestånd, i samband med föryngring och röjning. Om träden står i kvadratmönster kan stamantalet enkelt räknas om till förband¹²⁷, dvs det genomsnittliga avståndet till de närmast omgivande träden genom formeln

$$\text{förbandet} = \sqrt{\frac{10\,000}{\text{stamantalet per ha}}}$$

I normalskogen är dock inte stamantalet så enkelt och entydigt att bestämma. Ofta finns en massa underväxt som egentligen inte har så mycket med trängseln mellan huvudstammarna att göra. Det krävs en dimensionsgräns för att stamantalet ska bli ett meningsfullt mått. För lite äldre skog anges ofta stamantalet med antal träd som är grövre än 5 cm diameter i brösthöjd.

Relativt förband

Med relativa förbandet avses kvoten mellan förbandet och övre höjden. I detta uttryck används höjden i stället för medelvolymen som mått på bestånd-

¹²⁷ Här beskrivs kvadratförband. Undantagsvis förekommer också rektangelförband och triangelförband.

dets täthet och uttrycket är lika giltigt för odlingstätheten i plantskolan som för beståndstätheten i den slutavverkningsmogna skogen. Värdet på uttrycket ligger normalt i intervallet 0,1–0,2 för bestånd som närmar sig självgallring.

Grundyta

Konkurrensen i ett bestånd bestäms också av trädens storlek. Om man vill ha ett täthetsmått som kopplar till konkurrensnivån i beståndet, så måste både trädens antal och storlek (till exempel bladbiomassa) beaktas. Bladbiomassan beror i stor utsträckning på näringsutbudet och det finns ett starkt samband mellan trädets grundyta och bladbiomassa inom ett bestånd. Beståndets samlade grundyta i relation till beståndets höjd och ålder ger därför ett bättre mått på konkurrensnivån i beståndet än stamantalet. Grundytan är dessutom lätt att mäta med relaskop.

I svenska gallringsmallar har grundytans utveckling i relation till höjden och åldern valts för att beskriva och ligga till grund för att reglera beståndstätheten.

Reinekes täthetsindex (SDI)

Trädets bladbiomassa är ännu bättre korrelerad med splintvedytan¹²⁸ än med den totala grundytan. Diametern upphöjd till 2 är proportionell mot grundytan och diametern upphöjd till 1,6 proportionell mot splintvedytan.

Reinekes täthetsindex definieras som $Nd_g^{1,6}$, där N står för stamantalet per ha och d_g för grundytemedelstammens diameter^{129,130}. Vartefter träden blir grövre, börjar beståndet så småningom självgallras. Det gör att stamantalet reduceras samtidigt som medeldiametern ökar, vilket tillsammans gör att indexvärdet förblir konstant.

Uttrycket SDI har använts i många sammanhang för att konstruera gallringsmallar och produktionsmodeller.¹³¹

Självgallringslagen

Självgallringslagen har stora likheter med Reinekes täthetsindex, men använder medelvolymen per träd istället för medeldiametern, dvs logaritmen för medelvolymen antas vara linjär mot logaritmen för stamantalet. Självgallringslagen kallas ”the -3/2 power law of self-thinning”, därför att lutningskoefficienten för linjen är ungefär -1,5.

En fördel med detta uttryck jämfört med SDI är att det även fungerar i plantbestånd.

¹²⁸ Splintved är, enkelt uttryckt, den levande veden mellan kärnveden (död ved i stammens radiella mittdel) och barken (se även figur S20). Splintvedytan är ytan med splintved i tvärsnittet.

¹²⁹ Den diameter som svarar mot medelgrundytan per träd (D_g) i beståndet, dvs grundytan/stamantalet.

¹³⁰ Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46(7), s 627–638.

¹³¹ Assman, E. 1970. *The principals of forest yield study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands*. Pergamon Press Ltd, Oxford.

Konkurrensuttryck i produktionsmodeller

I produktionsmodeller¹³² finns alltid någon variabel som beskriver konkurrensen i beståndet, antingen i genomsnitt för träden i beståndet eller individuellt för varje träd, beroende på hur modellen är utformad. Konkurrensuttrycken som redovisats ovan har alla gemensamt att de beskriver den genomsnittliga konkurrensen i beståndet.

I takt med att produktionsmodellerna alltmer börjat prognostisera enskilda träds tillväxt, har man försökt utveckla nya konkurrensuttryck, som mer i detalj ska beskriva de enskilda trädens situation. Uttrycken tar ofta hänsyn till storleksskillnader mellan närstående träd, och i de mer sofistikerade versionerna inkluderas även avstånd och riktning till närstående träd. En mängd olika uttryck har testats, men inget har framstått som tydligt effektivare än andra.

Slutenhet

Slutenhet anger beståndets täthet i förhållande till någon tänkt ideal eller maximal täthet. I svenskt skogsbruk används begreppen massa-, areal- och kronslutenhet. Andra mått på slutenheten är krontäckningsgraden och blad-
yteindex.

- *Massaslutenhet* enligt Tor Jonsson¹³³ är aktuell volym i relation till volymen i fullsluten skog med samma medelhöjd, och anges normalt i tiondelar. Värdet kan överstiga 1,0 och beståndet betraktas då som överslutet. Om slutenheten däremot understiger 0,3 betraktas beståndet som kalmark.
- *Arealslutenhet* avser befintligt plantantal i förhållande till önskvärt. Det önskvärda plantantalet beror normalt på boniteten och trädslaget. Arealslutenhet används mest i plant- och ungskog.
 - *Nollyteprocenten* är ett omvänt mått på arealslutenhet och anger andelen provytor som saknar en godtagbar huvudplanta.
- *Kronslutenheten* anger krontakets relativa slutenhet. Den kan definieras på några olika sätt, till exempel:
 - *andel synlig himmel* som mäts i så kallade fisheyebilder. Fisheyebilderna tas vertikalt från markplanet med extrema vidvinkelobjektiv och kan sedan analyseras på dator med bildbehandlingsprogram.
 - *uppmätt ljusinsläpp* som mäts normalt i marknivån, antingen som fotosyntetiskt aktivt ljus eller som totalstrålning.
 - *bladyteindex* (se nedan).

¹³² Prognosinstrument för att skatta framtida utveckling och produktion. Se även Produktionsmodeller, s 82.

¹³³ Jonsson, T. 1914. Om bonitering på skogsmark. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* nr 5, s 369–392.

- *Krontäckningsgraden* anger andelen mark som ligger under trädkronornas vertikalkonstruktion. Den kan mätas objektivt med ett så kallade kronprojektionsrör.
- *Bladyteindex* (leaf area index, LAI) anger summan av barrns eller bladens projicerade yta i relation till markytan. Fullslutna tall- och lövträdsbestånd kan nå LAI-värden kring 6, medan granbestånd kan nå det dubbla.

Konkurrens, träd och bestånd

Konkurrensen designar trädet

När trädets storlek ökar, ökar också trädets ”kostnad” för att överleva (respiration, nya ledningsbanor, ny stödjävävnad, etc). Detta medför att beståndets mindre och svagare träd kommer att få både ökade kostnader för att överleva och en allt sämre konkurrensförmåga, vilket påverkar tillväxten i trädets olika delar. Tillväxten minskar och fördelas om.

Undertryckta träd. Mindre träd som kommit efter blir långa och smala med klena och korta grenar, de får karaktären av ”undertryckta träd”. Om inte konkurrensförhållandena rubbas till fördel för dem, exempelvis genom ett gallringsingrepp, kommer de sannolikt att självgallras eftersom fotosyntesen inte kommer att räcka till för att upprätthålla de livsnödvändiga processerna.¹³⁴

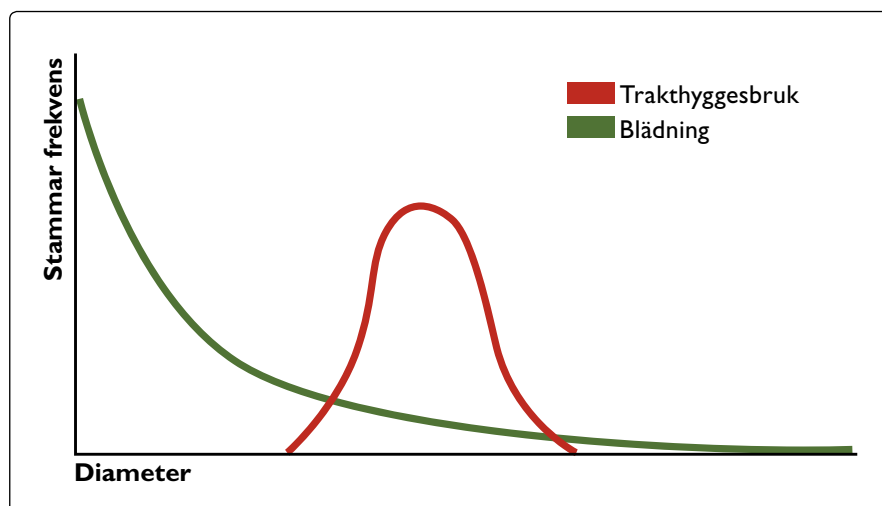
Träd som växer som underväxt eller underbestånd kan stå nästan stilla i höjdtillväxt och överleva med mycket liten tillväxt under lång tid för att sedan skjuta fart om konkurrensförhållandena förändras. Dessa träd har hela sitt liv levt under de stora träden och deras struktur är anpassad till detta. De har en balans mellan sin assimilation¹³⁵ och sina kostnader för att fortleva.

Undertryckta granar får ofta en kort och bred krona med mycket barrmassa i förhållande till en klen och kort stam, medan tallarna vanligen får få och mycket korta grenar med barrmassan koncentrerad till toppen. De skuggade träden utbildar också fotosynteseffektiva skuggblad som är tunna och innehåller höga halter av klorofyll.

Härskande träd. De stora (härskande) träden utvecklas nästan som friväxande träd. De får breda kronor med tjocka grenar och stammarna blir tjocka i förhållande till höjden. I likaledrig, välkött skog är diameterfördelningen oftast nära normal (symmetrisk kring medeltalet). Lämnas en enskiktad skog för fri utveckling, leder konkurrensen till att diameterfördelningen blir mer lik den i blädningsskogen, dvs med allt färre träd i de grova dimensionerna och allt fler träd i de klena. De lite större drar ifrån de övriga som får en allt långsammare utveckling (figur S26).

¹³⁴ Assman, E. 1970. *The principals of forest yield study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands*. Pergamon Press Ltd, Oxford.

¹³⁵ Assimilation betyder att växten tar upp näringsämnen och omvandlar dem till vävnad.



Figur S26 Konkurrensen och skogsskötseln skapar diameterfördelningarna i den mogna blädningss- respektive trakthyggeskogen. Figuren är schematisk.

Konkurrens i trakthygges- och blädningsskog

I *trakthyggeskogen* har alla plantor och ungträd etablerats med tämligen likartade förhållanden, utan direkt konkurrens från varandra. När träden blir större och breder ut sig, uppstår och tilltar konkurrensen. Träd som då är något mindre än sina grannar kan bli undertryckta och får svårt att konkurrera om tillväxtfaktorer. Samtidigt har de kvar stora kostnader för att överleva. Deras storlek och struktur blir alltmer i obalans med assimilationen, och till slut kan det leda till att de självgallras.

I *blädningsskogen* finns det träd i alla konkurrensstadier samtidigt, alltifrån de högsta träden med helt dominerande position, till plantorna som har karaktären av underväxt. Alla träden har växt in i sin position underifrån och har därför en bättre balans mellan assimilation och kostnader för sin överlevnad.

Det finns inget starkt samband mellan trädålder och möjlighet att nå en för ståndorten potentiellt maximal trädhöjd. Träd som på grund av konkurrens är mycket mindre än sina grannar kan växa sig stora, bara konkurrensförhållandena rubbas till deras fördel. Att ett träd är mindre än sina grannar beror vanligtvis på tillfälligheter och endast i undantagsfall på skillnader i genetik.

Därför talas om trädens *hushållsålder* för att beskriva trädens utvecklingspotential, oavsett deras ålder. Hushållsåldern anger den ålder trädets storlek indikerar, jämfört med träd som vuxit upp utan överskuggning.

Om inte träden dör, så kommer alla träden av samma trädslag och på samma ståndort, oavsett trädklassstillståndet vid ett givet tillfälle, att uppnå ungefär samma sluthöjd, fast efter olika lång tid.

Konkurrensförhållanden mellan träd

Förståelsen av hur konkurrens sker mellan träd i bestånd är grundläggande för skogsskötsel i både teori och praktik. Höjduitvecklingskurvorna i boniteringssystemet H_{100}^{136} visar de dominanta trädens utveckling i trakthyggesbruket.

¹³⁶ Se Bonitering med höjduitvecklingskurvor, s 40.

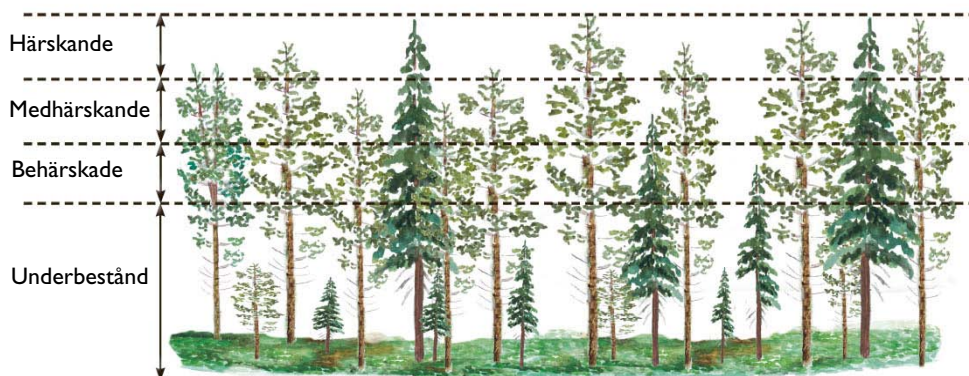
Trädklasser. Träden kan klassificeras utifrån sina konkurrenspositioner i beståndet i olika konkurrensklasser, så kallade ”trädklasser”, ofta kallade ”sociala klasser” (figur S27). Träden indelas då i klasser efter sina höjdpositioner i beståndet och efter kronornas utseende. Trädklass är alltså sammansatt av ett objektivt mått, trädets relativa höjd i beståndet, och en subjektiv bedömning av trädkronans storlek och utseende.

Trädklassen ger den erfarna skogsskötaren en bild av trädets utvecklingspotential och används vid praktisk skogsskötsel för beskrivning av träd och karaktären av olika ingrepp (t ex ”höggallring” och ”likformig gallring”).

Vanligt använda trädklassbegrepp är:

- *härskande träd* – de största träden med stora kronor
- *medhärskande träd* – normalträdet
- *behärskade träd* – träd kortare än medelträden och med mindre kronor
- *undertryckta träd* – kortare, smala träd med starkt konkurrenspåverkade kronor
- *underväxt* eller *underbestånd* – ett eget bestånd under ett annat, tydligt skilt från det övre i trädstorlek.

Överståndare är inte en trädklass i denna bemärkelse, utan ett namn på enstaka träd som är kvarlämnade vid avvecklingen av föregående bestånd.



Figur S27 Olika trädklasser enligt Schotte.¹³⁷ Figuren är något modifierad för att stämma med dagens praktiska skogsskötelspråkbruk. Undertryckta träd finns i det som i figuren benämns underbestånd.

Eftersom klassbegreppet inte bara är knutet till trädets höjdposition i beståndet, utan även till kronans utseende, ändras inte trädklassen direkt som en följd av en gallring. En utgallring av de högsta träden medför inte omedelbart att de kvarvarande träden byter trädklass ”ett steg uppåt”. Klassbyte sker först när träden har anpassat sitt utseende till ett nytt klasskrav.

¹³⁷ Schotte, G. 1912. Om gallringsförsök. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt*, häfte 9, s 211–269.

Konkurrensens roll i skogsskötseln

De flesta åtgärderna inom skogsskötseln handlar ytterst om att påverka konkurrenssituationen för enskilda träd eller plantor, att gynna vissa individer och ge dessa bättre tillväxtförhållanden.

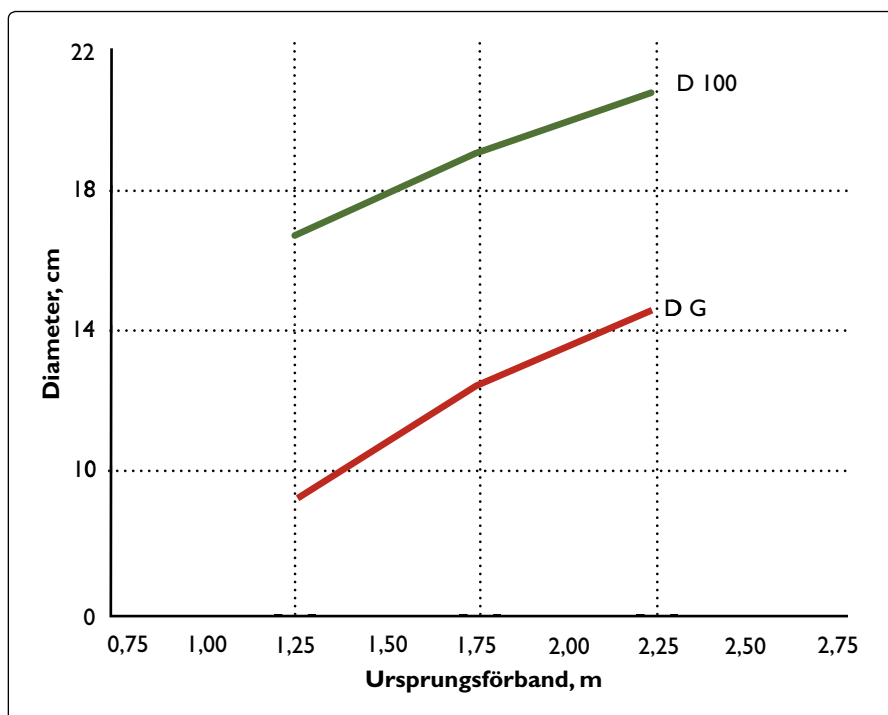
- *Markberedning* ska gynna trädplantor, speciellt kulturplantor, i förhållande till övrig markvegetation.
- *Lövröjning* ska gynna barrplantor i förhållande till lövträd.
- *Ungskogsröjning* ska gynna framtida huvudstammar i förhållande till övriga träd.
- *Gallring* präglas av ett tydligt konkurrenstänkande genom att presumtiva slutavverkningsträd ska gynnas. Därefter identifieras konkurrerande och indifferent (icke konkurrerande) bistammar som antingen gallras bort eller tillåts stå kvar som utfyllnads- eller ersättningsträd.

Det hela kompliceras dock av att det primärt är kronan och roten som är de assimilerande och konkurrerande delarna av trädet och av att vi inte ser rötterna utan bara ovanjordsdelen. Dessutom är det av tradition stammarna vi mäter och beskriver, eftersom det primärt är stammarna som tas tillvara vid avverkning. Det betyder att vi bara indirekt beskriver konkurrensen när vi beskriver beståndets sammansättning och utseende med uttryck som grundyta och stamantal.

En annan komplikation är att skogsmarken inte är homogen och att trädens rötter oftast överlappar varandra. Därför är det oftast omöjligt att avgöra hur mycket av tillväxtsituationen för ett enskilt träd som styrs av markförhållanden just där det står och hur mycket trädet påverkas av förhållandena längre bort eller av omgivande träd. För skogsskötaren är det därmed svårt att i detalj styra konkurrenssituationen för enskilda träd. Vid exempelvis gallring är det viktigare att ta hänsyn till den totala konkurrens- och tillväxtsituationen på beståndsnivå, uttryckt som grundyta och stamantal per ha, än exakt vilka träd som gallras ut.

Trädklass och tillväxt

I trakthyggesbruket har det enskilda trädets årsringsbredd och grundytetillväxt samband med trädklassen. Ju sämre konkurrensstatus ett träd har, desto snabbare och på allt lägre nivå kulminerar dess årsrings- och grundytetillväxt. Det träd som kommit efter i utvecklingen reagerar alltså snabbare negativt på konkurrensen. Detta innebär samtidigt att de dominanta trädens storleksutveckling (D 100, figur S28) är mindre beroende av stamtätheten i beståndet än de mindre trädens (D G, figur S28).



Figur S28 Förbandets inverkan på trädens medeldiameter hos de 100 grövsta träden (D 100) respektive hela beståndets medeldiameter (D G). Figuren presenterar resultat från granförsöksytor vid 14 m övre höjd.¹³⁸

Tillväxtsituationen kan emellertid förändras genom gallringsingrepp som minskar konkurrensen mellan kvarvarande träd i det produktionsslutna beståndet. Som en omedelbar reaktion på gallringsuttaget sjunker beståndets tillväxt därför att bladmassan reducerats, trots att de kvarvarande trädens tillväxt stiger genom att de övertar de frigjorda tillväxtresurserna. Vid normalt gallringsuttag produktionssluter sig beståndet igen mycket snabbt – det tar bara några år. Detta beror på att fotosyntesen i den kvarvarande bladmassan blir effektivare genom att överta tillväxtfaktorerna, samt på att de strukturer som skall fånga tillväxtfaktorerna över och under mark (barr och blad respektive rötter) redan är etablerade och enbart behöver förtätas eller expandera måttligt.

Beståndets totala tillväxt kan undantagsvis bli högre efter ett gallringsingrepp, eftersom mineraliseringen i marken kan stimuleras av gallringen. Detta beror på att näringsrikt biologiskt material lämnas kvar för att brytas ner efter gallringen, samt på att förutsättningarna för nedbrytningen (markvärme och markfuktighet) blir förmånligare.

Gödning med kväve är också ett sätt att öka tillväxten på stora delar av svensk fastmark. Kvävet tas upp av träden som ökar bladmassan under ett antal år med tillväxthöjning som följd.¹³⁹

¹³⁸ Efter Eriksson, H. 1991. *Skogsproduktionslära*. SLU, inst. för skogsproduktion. Kompendium till grundkursen i skogsskötsel.

¹³⁹ Se *Skogsskötselserien* del 16, Produktionshöjande åtgärder. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

Blandskogseffekt

En ofta debatterad fråga är om blandskogar växer bättre än trädslagsrena skogar, så kallade *monokulturer*. Man talar om en *blandskogseffekt*. Det finns flera hypoteser till varför blandskogar teoretiskt skulle kunna ge högre volymproduktion:

- De olika trädslagen kan tänkas utnyttja olika nischer på ståndorten. Så är troligen fallet om beståndet består av en mosaik av olika ståndorter, till exempel både torra och fuktiga partier. Då skulle exempelvis glasbjörk kunna utnyttja sin bättre produktionsförmåga på blöta marker och vårtbjörk kunna utnyttja de torrare.
- Primärträdslagens snabba produktionsstart och sekundärträdslagens mer uthålliga tillväxt skulle kunna utnyttjas i kombination. Det skulle gå om man etablerar ett blandbestånd av björk och gran, skördar björken tidigt och låter underifrån kommande gran ta över. Denna trädslagsblandning kan också utnyttjas för att på ett effektivt sätt utnyttja björkens tålighet mot frost. Den får bilda en frostsärm i det mest känsliga skedet för den ömtåligare granen.
- En ”äkt” blandskogseffekt uppstår då olika trädslag stimulerar varandras tillväxt. Marginella sådana effekter har redovisats för blandningar på mellanboniteter av tall och gran¹⁴⁰ respektive för tall och vårtbjörk¹⁴¹.

En orsak till att det är svårt att få ut hög produktion i blandskogar kan vara att de är svåra att sköta, speciellt om de består av både sekundär- och primärträdslag¹⁴². I vanliga fall uppnår man högst produktion om bara det för ståndorten mest produktiva trädslaget utnyttjas.¹⁴³

¹⁴⁰ Jonsson, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 50(8), s 1–143.

¹⁴¹ Mielikäinen, K. 1981. Blandskogens produktion i östra Finland. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6/79:6, s 3–9.

¹⁴² Se s 60.

¹⁴³ Agestam, E. & Ekö, P. M. 1985. Prognoshjälpmedel för tillväxt och produktion. SLU. *Skogsfakta Konferens* nr 7, s 98–104.

Skogsbeståndet

Ett bestånd är ett skogsområde med någorlunda enhetlig ståndort, trädslagsblandning, höjdsiktning, slutenhet, utvecklingsfas, osv. I princip finns inga gränser för hur stort eller litet ett bestånd kan vara. I praktiken ligger begränsningarna i att ett bestånd skall kunna skötas som en egen enhet, oberoende av andra bestånd.

Bestånd som sköts med trakthyggesbruk beskrivs oftast med ålder, stamantal, grundyta, trädslagsblandning, tillväxt och stående volym.

I blädningsbruk används inte åldern för att beskriva beståndet.

Höjdtutveckling

Höjdtutvecklingen för de dominerande träden i ett enskiktat bestånd är nästan oberoende av stamantalet per ha – inom vissa gränser.

Mycket glesa bestånd har en något sämre höjdtutveckling än bestånd med normal täthet, och når sin maximala höjd på en lägre nivå. Detta beror inte på att träd i tätare bestånd dras eller tvingas mot ljuset (*fototropism*), utan på att glest växande träd växer mycket på bredden. Därigenom minskar den apikala dominansen¹⁴⁴ och höjdtillväxten blir något mindre.

Det finns också tecken på att mycket täta, jämnhöga bestånd kan få en hämmad höjdtillväxt.¹⁴⁵ Förklaringen till den sämre höjdtutvecklingen är i detta fall att beståndet inte skiktar sig, konkurrensen blir tvåsidig¹⁴⁶, inga träd får mer näring än andra och självgallringen¹⁴⁷ uteblir.

Volymtillväxt

Volymtillväxt i trakthyggesbestånd

För enskiktade bestånd i trakthyggesbruket ökar den löpande, årliga tillväxten mycket snabbt i början (figur S29). Det beror på att bladmassan under denna tid ökar upp till den nivå som ståndortens tillväxtfaktorer medger, samtidigt som träden börjar fördela en allt större del av produktionen från krona och rötter över till stammarna.

Ju tätare förband och ju bättre bonitet, desto tidigare och på desto högre nivå kulminerar den löpande tillväxten¹⁴⁸. Kulminationen kan ske på en nivå som ligger långt över ståndortens genomsnittliga produktionsförmåga (bonitet), bland annat därför att marken fortfarande ger ett stort näringsutbud som följd av den föregående kalhyggesperioden. Efter kulminationen sjunker den årliga, löpande tillväxten gradvis, och när den sjunkit till samma nivå som medeltillväxten¹⁴⁹, kulminerar medeltillväxten.

Om man önskar maximal volymproduktion, så skall skogen skördas vid denna tidpunkt. Om målet med brukandet av beståndet i stället är att uppnå maximal intäkt så är det troligt att skörden ska ske vid någon annan tidpunkt.

¹⁴⁴ Se s 51.

¹⁴⁵ Oliver, C. & Larson, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. New York.

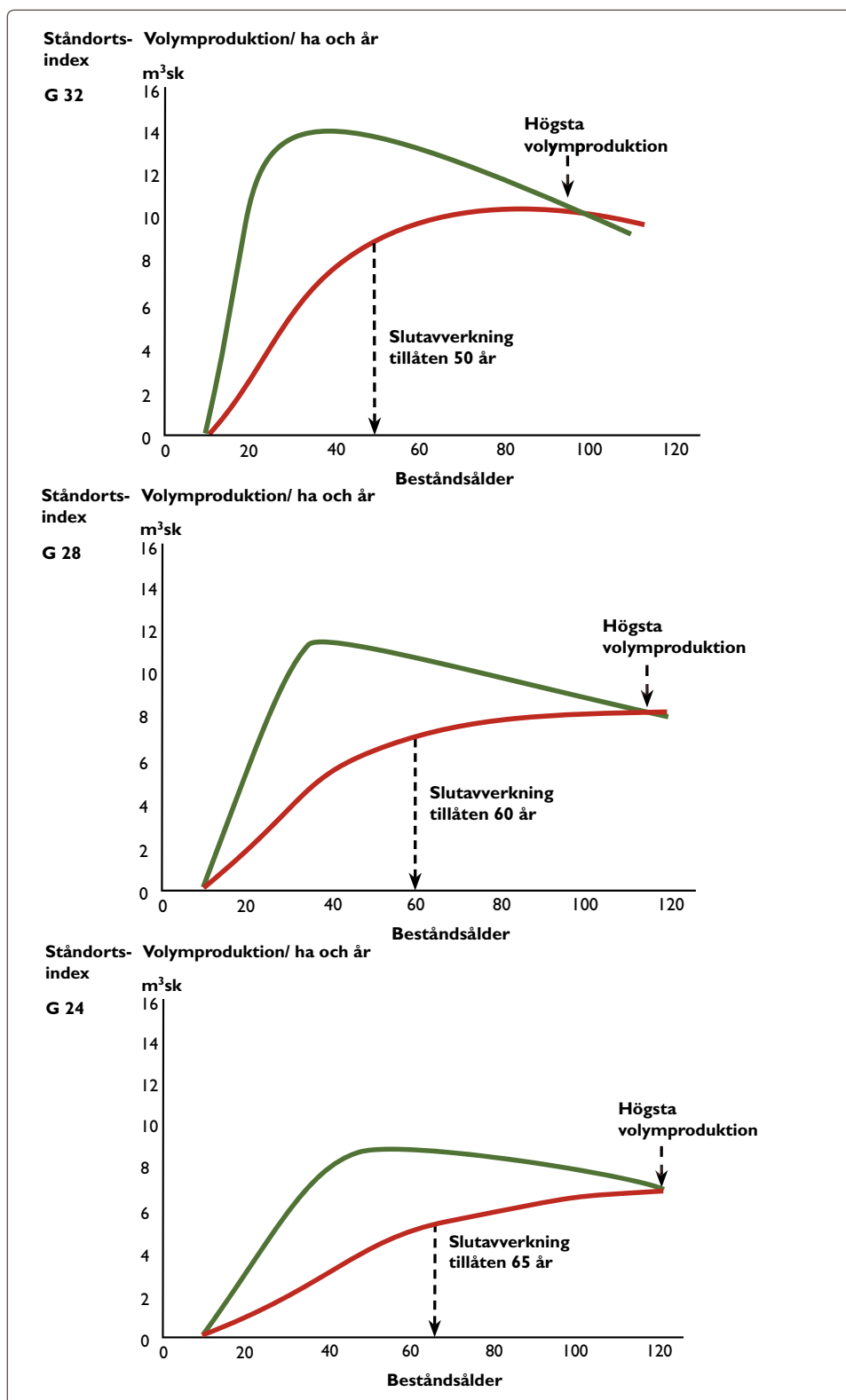
¹⁴⁶ Se s 63.

¹⁴⁷ Se s 64.

¹⁴⁸ Löpande tillväxt är den genomsnittliga årliga tillväxten under en kort period, dvs ett till några få år.

¹⁴⁹ Medeltillväxt (aritmetiskt medelvärde) är den genomsnittliga tillväxten per år sedan beståndet anlades.

Vilken denna tidpunkt är beror av det räntekrav som markägaren har.¹⁵⁰ Ju högre räntekrav desto kortare omloppstid.



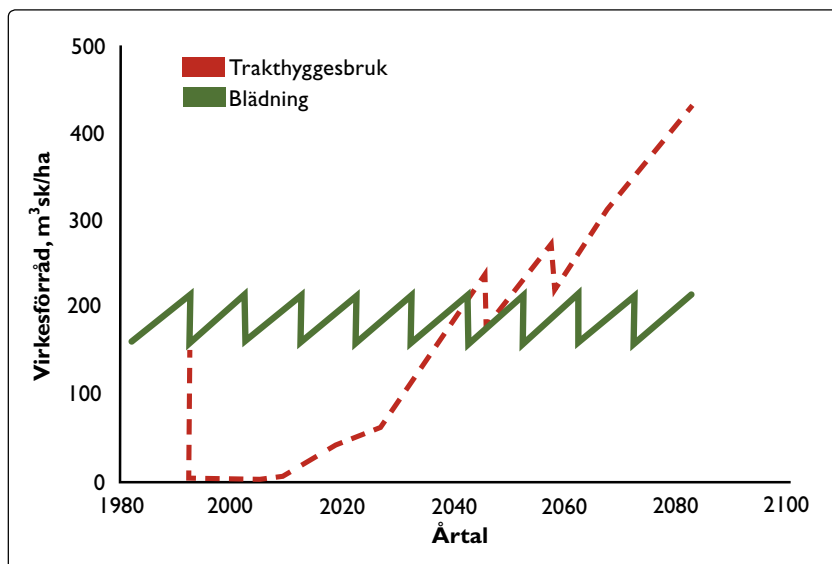
Figur S29 Medelvolymtillväxtens och den löpande volymtillväxtens utveckling i trakthyggesbruket vid olika ståndortsindex, samt den enligt skogsvårdslagen lägsta ålder vid vilket ett bestånd får avverkas.¹⁵¹

¹⁵⁰ Se Skogsskötselserien del 19 Skogsskötselns ekonomi. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁵¹ Söderström, V. 1978. *Ekonomisk skogsproduktion*. LTs förlag. Stockholm.

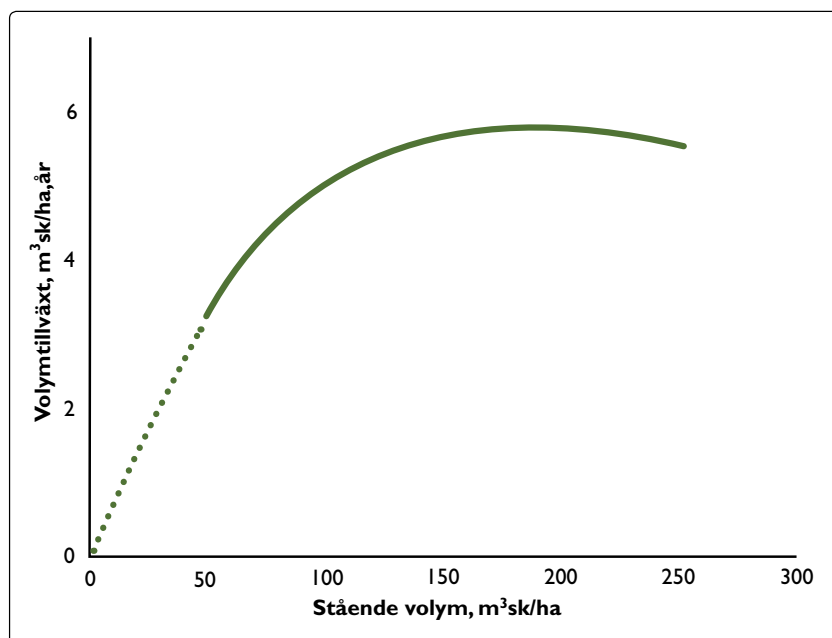
Volymtillväxt i blädningsskog

I blädningsskogens fullskiktade bestånd har inte volymen och volymtillväxten någon långsiktig trend, eftersom tillväxten kontinuerligt skördas vid varje blädning och virkesförrådet rör sig i sågtandsform över tiden (figur S30).



Figur S30 Exempel på stående volymens utveckling över tiden vid blädningsskog (heldragen grön linje) och trakthyggesbruk (streckad röd linje).¹⁵²

Vilken nivå tillväxten hamnar på avgörs nästan helt av beståndets stående volym. Tillväxten blir högre ju större virkesvolym som lämnas efter en blädning, upp till en nivå där tillväxten planar ut (figur S31).



Figur S31 Stående volymens inverkan på volymtillväxten vid blädningsskog.¹⁵³

¹⁵² Lundqvist, L. 2005. Blädningsskog. SLU, inst. för skogsskötsel. *Rapporter* 61.

¹⁵³ Efter Chrimes, D: *Stand development and regeneration dynamics of managed uneven-aged forests in boreal Sweden*. Acta Universitatis agriculturae Suecica, Silvestria 304. 2004.

Skötselåtgärdernas inverkan på tillväxten

Röjning

Sena röjningar ger störst produktionsförlust. Dels förloras röjningsvirket som vid detta tillfälle utgör en stor andel av produktionen, dels ger sena röjningar kläna kvarvarande träd som efter röjningen behöver lång tid för att bygga upp så stor barrmassa att beståndet åter blir fullslutet.¹⁵⁴

Gallring

Gallringsingrepp före volymtillväxtens kulmination förskjuter kulminationen framåt i tiden.¹⁵⁵ Generellt sänker all gallring den totala volymtillväxten, även om undantag kan förekomma. Men i ett ogallrat bestånd blir en stor del av produktionen klen virke och självgallrade torrträd som inte utnyttjas. Produktionen av värdefullt virke eller virke som kan tillvaratas (gagnvirke) blir därför oftast större i den gallrade skogen. Det beror på att träden generellt blir grövre men en bidragande orsak till detta förhållande är också att gallringen leder till en ökad diametertillväxt nedtill i stammen (jfr rotstocken) på bekostnad av tillväxt upptill.

Eftersom tidiga gallringar medför reducerat stamantal under större andel av omloppstiden än sena, så ger tidiga gallringar större produktionsbortfall. Det finns dock många andra välgrundande skäl för att gallra tidigt.¹⁵⁶

Blädning

Eftersom varje blädning minskar virkesförrådet, kommer tillväxten alltid att sjunka en aning efter varje blädning, men i takt med att den stående volymen ökar igen, ökar också tillväxten. Under förutsättning att man lämnar kvar en relativt stor volym, kommer tillväxten bara att sänkas marginellt, eftersom sambandet mellan volym och tillväxt är så flackt i närheten av kulminationsnivån (figur S31).

Stora minskningar av den stående volymen kommer att ge stora sänkningar av tillväxten. Eftersom återuppbyggandet av volymen går långsamt, får man sänkt tillväxt under lång tid.¹⁵⁷

I fullskiktad skog tycks det dessutom inte vara möjligt att uppnå en tillväxt som överstiger boniteten, ens för kortare perioder.¹⁵⁸ Detta medför att tillväxtförluster som orsakas av en för kraftig minskning av den stående volymen inte kan kompenseras genom högre tillväxt längre fram.¹⁵⁹

¹⁵⁴ Se *Skogsskötselserien* del 6, Röjning. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁵⁵ Se "Volymtillväxt i traktthyggesbestånd", s 74.

¹⁵⁶ Se *Skogsskötselserien* del 7, Gallring. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁵⁷ Lindman, J. 1984. Fjällskogsblädning: tillväxtstudier i fyra bestånd. SLU, Inst för skogsskötsel. Examensarbete i ämnet skogsskötsel. 1984:5.

¹⁵⁸ Lundqvist, L. 2004. Stand development in uneven-aged sub-alpine *Picea abies* stands after partial harvest estimated from repeated surveys. *Forestry* 77, s 119–129.

¹⁵⁹ Lundqvist, L. 2012. Virkesproduktion och inväxning i skiktad skog efter höggallring. Skogsstyrelsen. *Rapport* 11-2012.

Beståndets biomassa och biomassatillväxt

Finrötter och blad

Enskiktade bestånd i trakthyggesbruket har en exponentiell utveckling av krona och finrötter tills dess att beståndet når sin produktionsslutenhet, dvs utnyttjar ståndortens produktionsförmåga maximalt. Då kulminerar biomassan av finrötter och blad.

Bladmassan är sedan i balans med näringsutbudet och därför korrelerad med boniteten – ju högre bonitet desto mer bladmassa och därmed också mer ljusupptag.

Hur det är med finrotsmassan är mer osäkert, eftersom det är svårt att studera den. Det verkar dock som om dess maximum, mätt per kvadratmeter, är oberoende av boniteten. En förklaring skulle kunna vara att eftersom kvävet är det vanligaste tillväxtbegränsande ämnet, finns alltid ett optimalt nät av finrötter i den slutna skogen för upptag av växttillgängligt kväve. Ett onödigt tätt rotnät skulle då innebära en kostnad i stället för en fördel för träden.

Stamved

I trakthyggesbruket eftersträvas bestånd med lika stora individer. Sådana bestånd kan vara högeffektiva för stamvedsproduktion under en stor andel av omloppstiden.

Bestånd som anläggs med täta förband, med ett stort antal plantor per hektar, sluter sig snabbt och fångar därmed en stor andel av tillväxtfaktorerna. Trängseln gör att varje träd får en relativt liten krona och träden blir långa och smala. I sådana bestånd styrs en stor andel av tillväxten till stammen och bestånd med stort plantantal ger därför en för växtplatsen maximal produktion av stamvolym per hektar.

Bestånd med lågt initialt plantantal behöver längre tid för att sluta sig och varje träd kommer att ha en betydligt större krona än i det stamtätare beståndet. Den totala produktionen av stamvedsvolym blir lägre än i det tätare beståndet, men den totala produktionen av grenar och grova rötter kan å andra sidan bli högre.

Andra åtgärder som påverkar beståndets biomassa och biomassatillväxt är till exempel gallring och gödsling. Gallring medför, som kort nämnts ovan, att träden förlägger mer av sin tillväxt nedåt i trädet, dvs volymproduktionen ökar i nedre delen av stammen på överdelens bekostnad, och tillväxten i kronans nedre delar ökar på bekostnad av tillväxten i den övre delen.

Gödsling ger motsatt effekt och ökar tillväxten i framförallt trädets övre delar, dock inte på bekostnad av stammens nedre del.^{160,161}

¹⁶⁰ Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallars utveckling. SLU, inst. för skogsskötsel. *Avhandling*.

¹⁶¹ Wallentin, C. 2007. Thinning of Norway Spruce. *Acta Universitatis agriculturae Suecica. Silvestria* 2007:29.

Skogsodlingsmaterial

Härkomsten hos frö och planter har stor betydelse för hur de utvecklas i skogen. Kontrollerad odling av frön och planter förbättrar förutsättningarna för lyckade och produktiva förryngringar. Genetisk förädling kan öka produktionspotentialen ytterligare.¹⁶²

Ett skogsodlingsmaterial, dvs frön och planter av ett visst trädslag, karakteriseras av sin *härkomst* och *förädlingsgrad*. I dagligt tal används ofta *proveniens* synonymt med härkomst, men ett problem med detta är att termen ibland också anger från vilken plantage fröet är hämtat, dvs där det plockats.

Om man av någon anledning vill ändra förutsättningarna i förryngrings-skedet och inte vara beroende av befintligt trädslag, beståndsförryngring eller naturlig förryngring på växtplatsen (ofta av lokal härkomst), så kan skogskultur med förädlad material vara ett alternativ.

Härkomst

Med härkomsten hos frön och planter avses deras geografiska ursprung. Ett givet trädslag anpassar sig till de naturliga förutsättningarna på olika växtlokaler genom naturligt urval.

I Sverige är anpassningen till vegetationsperiodens längd mest påtaglig. Knoppsprickning och knoppsättning/invintring styrs av temperatursumma¹⁶³ och nattlängd. I norra Sverige överlever sydsvenska tallprovenienser sämre än lokala därför att de inte invintrar i tid. Invintringen påbörjas normalt under sensommaren för skogsträden som en reaktion på att nätterna blir längre och att temperaturen sjunker. I södra Sverige växer nordsvenska provenienser dåligt därför att de slutar växa för tidigt på hösten.

Tillväxtavslutningen är genetiskt styrd, en gran av sydlig härkomst reagerar på lång natt först vid 8 timmars natt medan en gran från Norrbotten reagerar redan vid 4 timmars. Nattens längd uppfattas av plantorna med hjälp av ljuskänsliga proteiner (*fytokromer*). Under invintringen sker förändringar i cellerna som ökar växtens tolerans mot frysning. Alltför lång nordförflyttning av provenienser medför att plantorna inte hinner med att invintra tillräckligt för att klara höstfroster. Här finns ett optimeringsproblem: genom nordförflyttning uppnås högre tillväxt för enskilda träd, men också sämre överlevnad. För att ge hög arealproduktion krävs både skaplig tillväxt och överlevnad.

¹⁶² För fördjupning om skogsodlingsmaterial samt förädling och genetisk variation, se *Skogsskötselserien* del 2, Produktion av frö och planter och del 19, Skogsträdsförädling. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

¹⁶³ Temperatursumman (T-sum) är summan av medeltemperaturerna (vanligen dygnsmedelvärden) över ett visst tröskelvärde under en period. Se www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogsencyklopedin/.

Härkomstval

Gällande rekommendationer för härkomstval¹⁶⁴ baseras på data från omfattande proveniensförsök¹⁶⁵. I stora drag gäller:

- I de kärvaste lägena i norra Sverige bör tall förflyttas 2–3 breddgrader söderut.
- I södra Sverige är lokala härkomster av tall oftast bäst.
- På frostlänta marker i Sydsverige rekommenderas vitryska härkomster av gran.
- För gran i övrigt rekommenderas nordförflyttning 2–4 breddgrader.
- För contortatall rekommenderas nordförflyttning 3–6 breddgrader, mer i söder än i norr.
- För björk rekommenderas lokal härkomst eller finska härkomster från motsvarande breddgrad.

Förädling och genetisk variation

Förädlat skogsodlingsmaterial från fröplantager

För våra vanliga trädslag finns idag fröplantager för olika klimatzoner. De är anlagda med hjälp av ympar från utvalda, välväxta träd, så kallade *plusträd*, i glest förband och beskärs så att deras kottar ska bli lättplockade. Plantagerna är anlagda på bördig mark med gott lokalklimat för att fröna ska bli mogna och välmatade. Distans till lokala bestånd med aktuellt trädslag eftersträvas för att reducera inslaget av pollen från oförädlade träd i pollenmolnet.

Genom *kontrollerad korsning* och försöksodling av avkomman från olika föräldrar kan de föräldrar urskiljas som ger bäst träd (*avkomme-försök*). Ympar från dessa träd sätts sedan ut i en ny generation fröplantager, med ökad genetisk förädlingsgrad. Produktionsvinsten beräknas till ca 10 % med frö från första och 15–25 % med frö från andra plantagegenerationen.

Ett sätt att påskynda förädlingsvinsten är att särskilja kottarna från de träd som visat sig ge bäst avkomma i avkommeprövningen, så kallad *särplockning*.

Björk. Björk kan snabbt (på 3–4 år) ge riklig fröproduktion i en så kallad växthusplantage. För närvarande finns förädlat björkfrö i lager både i Sverige och i Finland.

Tall. Dagens efterfrågan av tallplantagefrö är väl tillgodosett förutom för de kärvaste områdena i Norrland, vilket kan anses besvärande för avverkningsmöjligheterna där.

Gran. Granplantagerna ger lägre och ojämnare fröproduktion än tallplantagerna. För gran kan *sticklingar* framställas till rimlig kostnad, dvs granskott från särskilt välväxande träd kan fås att utbilda rötter och växa som normala

¹⁶⁴ Se www.skogforsk.se. Kunskap direkt/Föryngra/Verktyg/Val av skogsodlingsmaterial.

¹⁶⁵ Att genom test av proveniensers olika egenskaper erhålla förbättrade riktlinjer vid val av skogsodlingsmaterial.

plantor. Sticklingar har exakt samma genetiska egenskaper som trädet de tagits från. Detta kan vara ett alternativ till plantor av plantagefrö och kan ge hög produktionspotential, men på grund av den genetiska likformigheten kan det teoretiskt hända att hela föryngringen slås ut genom att de är speciellt känsliga för en speciell skadegörare, till exempel hare.¹⁶⁶ Därför det kan vara fördelaktigt att använda sig av flera olika kloner så att riskerna för utslagning minskas.

Kloning

Framställning av plantor med samma genupsättning (med ursprung i samma individ) kallas *kloning*. För gran pågår utveckling av en ny metod för kloning i större skala. Metoden kallas *somatisk embryogenes* och innebär att plantor odlas ur enstaka celler i ett embryo, vilket är möjligt även om embryot varit nedfruset under lång tid. Ett frö kan på så sätt ge mängder av genetiskt identiska plantor. Tekniken väntas medföra större och snabbare produktionsvinster än vad som kan uppnås genom användning av frö från fröplantager.

Genetisk variation

Genetisk förädling kan minska den naturliga genetiska variationen. Detta blir särskilt påtagligt i ett klonskogsbruk. Risker för total utslagning, till exempel av en rostsvamp som anpassar sig till en viss genotyp¹⁶⁷, ökar med avtagande variation. Exempel på detta kan man bland annat finna inom poppelodlingar i Sydeuropa, där enstaka välväxande kloner som odlats på stora arealer helt slagits ut.

För att upprätthålla acceptabel genetisk variation i den genetiska förädlingen använder man sig av så kallade *förädlingspopulationer* för olika klimatzoner. Varje sådan population omfattar ca 50 utvalda föräldraträd. Det finns 22 populationer av gran, 24 av tall, 11 av contortatall och 7 av björk som utnyttjas för att uthålligt förädla vardera trädslaget inom ramen för programmen ”Förädling Nord” och ”Förädling Syd” (skogsträdsförädling i norra och södra Sverige).¹⁶⁸

Den praktiska effekten av att använda genetiskt förädlad material i en föryngring reduceras ofta genom avgångar och insädd av lokalt material. I en uppföljning av väl utförda, praktiska planteringar från 1980-talet beräknas bara hälften av de planterade plantorna nå gagnvirkesdimension till den första gallringen.¹⁶⁹ Ca 30 % av gagnvirkesträden beräknas bestå av naturligt uppkommen tall, gran och björk. Detta kan tolkas så att den teoretiska produktionshöjningen med förädlad material bara uppnås på 70 % av arealen. Emellertid kan inslaget av naturligt uppkomna träd troligen reduceras något vid gallring varför den realiserade produktionsvinsten kan tänkas hamna i intervallet 70–80 %.

¹⁶⁶ Sonesson, J., Bradshaw, R., Lindgren, D. & Ståhl, P. 2002. Ekologisk utvärdering av klonskogsbruk med gransticklingar. Skogforsk. Arbetsrapport nr 504.

¹⁶⁷ Genotyp är en individs exakta genetiska egenskaper (dess genom), vanligen i form av DNA.

¹⁶⁸ Förädling Nord och Förädling Syd, Skogforsk. www.skogforsk.se.

¹⁶⁹ Elfving, B. & Pedersen, S.M. 2006 *Återinventering 2006 av 1983 års MoDo-planteringar*. SLU, inst. för skogsskötsel. Manuskript.

Prognoshjälpmedel

Planering av skogsskötseln grundas vanligen på datorbaserade produktionsmodeller. De ger prognoser över tillväxt, avgång, inväxning, volymproduktion, höjdtutveckling med mera.

För att beräkna olika skogsskötselåtgärders inverkan på produktion och ekonomi och för att planera skogsbruket i stort används olika former av prognoshjälpmedel.¹⁷⁰ Eftersom många åtgärder i skogen har långsiktiga konsekvenser måste ofta en hel omloppstid eller mer kunna överblickas för att effekterna till fullo ska kunna värderas.

Numera används nästan uteslutande datoriserade produktionsmodeller, dvs matematiska prognosmodeller som beräknar skogens framtida utseende och sammansättning baserad på dagens tillstånd och med hänsyn tagen till skötselåtgärder.

Datoriserade modeller kom inte i allmänt bruk förrän under 1990-talet. Dessförinnan fick många skogsskötare förlita sig på andra typer av prognoshjälpmedel.

Produktionsöversikter

Den första typen av prognoshjälpmedel var så kallade produktionsöversikter. I dessa beskrevs skogens tillstånd – stamantal, grundyta och volym – vid olika ålder. Det fanns produktionsöversikter för både ”normal” skog och för skog som skötts med specifika gallringsprogram. Man jämförde sedan sin egen skog med produktionsöversikten och försökte på så vis få en uppfattning om hur skogen kunde tänkas utvecklas framöver.

Produktionstabeller

Vartefter åren gick anlades en allt större mängd försöksytor skötta med olika gallringsprogram. Man gjorde också ett antal riktade insamlingar av datamaterial från speciellt utvalda beståndstyper. Den viktigaste av dessa var den så kallade ”Stora produktionsundersökningen” som pågick under åren 1941–1965. Samtidigt utvecklades regressionsanalysen¹⁷¹ som statistisk metod.

Med hjälp av regressionsanalys blev det möjligt att räkna fram mer exakta, kvantitativa, matematiska samband mellan olika beståndsbeskrivande variabler och grundyte- eller volymtillväxten i bestånden. Dessa funktioner användes sedan för att beräkna några olika typfall, som publicerades i form av produktionstabeller.

Skillnaden gentemot produktionsöversikterna var att man kunde göra beräkningarna mer anpassade till hur man ansåg att skogen borde skötas, och göra tabeller för olika boniteter, stamantal och gallringsprogram.

Från mitten av 1900-talet och framåt publicerades produktionstabeller för både tall, gran, ek, bok, björk och contortatall (tabell S4). Ett annat sätt att presentera modellerna var genom att göra så kallade gallringsmallar.¹⁷²

Produktionsmodeller

I och med att datorkraft blev mer allmänt tillgänglig, även för privatpersoner, slutade man att publicera produktionstabeller i bokform och presenterade istället

¹⁷⁰ Agestam, E. & Ekö, P. M. 1985. Prognoshjälpmedel för tillväxt och produktion. SLU. *Skogsfakta Konferens* nr 7, s 98–104.

¹⁷¹ Regressionsanalys är en statistisk metod för att analysera sambandet mellan olika variabler.

¹⁷² Se *Skogsskötselserien* nr 7, Gallring. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien.

let de olika tillväxtfunktionerna sammanbyggda i ett dataprogram, så kallade produktionsmodeller. Det här gjorde att prognoserna kunde bli mer flexibla, eftersom den som använde modellen själv kunde specificera både startläget och gallringsprogrammet.

Produktionsmodeller kan konstrueras på några olika sätt. De två vanligaste grundprinciperna är *beståndsmodeller* respektive *trädmodeller*.

Beståndsmodeller

I beståndsmodeller beskrivs skogen med totalvärden för hela beståndet, exempelvis grundyta och stamantal per ha för varje trädslag.

Trädmodeller

I trädmodeller beskrivs enskilda träd på provytor, och dessa träd betraktas sedan som typiska för beståndet. I enkla trädmodeller beskrivs varje träd oftast bara med trädslag och diameter, medan man i mer komplicerade modeller även beskriver trädens rumsliga placering inom ytan, för att på så vis kunna beräkna konkurrens mellan träden baserat på bland annat avståndet mellan träden.

Trädlistmodeller

Ett mellanting mellan bestånds- och trädmodeller är de så kallade trädlistmodellerna. I dessa beskrivs beståndet uppdelat i ett antal diameterklasser. För varje diameterklass anger man exempelvis grundyta och stamantal, ungefär som i beståndsmodellerna, men man beräknar tillväxten för medelträdet i varje klass, ungefär som i trädmodellerna.

Produktionsmodellens delar

En produktionsmodell innehåller normalt flera olika delmodeller.

Tillväxtmodell. Den mest grundläggande delen är tillväxtmodellen, som beskriver hur befintliga träd växer i storlek under ett antal år.

Avgångsmodell. För att beskriva hur stor andel av träden som dör under beräkningsperioden behövs en avgångsmodell.

Inväxningsmodell. För att beskriva hur många träd som växer in i beståndet underifrån i olikåldrig/fullskiktad skog används en inväxningsmodell.

Kompletterande funktioner. För att kunna beräkna exempelvis virkesförråd vid olika tidpunkter behöver produktionsmodellen kompletteras med funktioner för exempelvis höjd eller formhöjd och barktjocklek.

Produktionsmodellernas tillämplighet

Gemensamt för alla produktionsmodeller är att de bara är tillämpliga i skog av samma typ som den skog där man samlat in datamaterialet till modellen. Det innebär att en modell som baserats på data från en viss sorts bestånd i en viss del av landet, bara bör tillämpas på den sortens bestånd i den delen av landet. En produktionsmodell för alla typer av skog i hela landet måste alltså baseras på data från hela landet. Det förutsätts också att klimatet är stabilt.

Prognoshjälpmedel för olika trädslag

I Sverige har det tagits fram ett stort antal prognoshjälpmedel genom åren, för olika trädslag och baserade på flera olika datamaterial, för att skatta framtida produktion vid definierade skötselprogram (tabell S4).

Tabell S4 Exempel på prognoshjälpmedel som utvecklats för olika trädslag i svensk skog.

Trädslag	Titel eller liknande	Bakgrundsmaterial	Författare
Tall	Produktionstabeller för norrländska planteringar	Fasta och tillfälliga försöksytor	S-O Andersson (1963) ¹⁷³
Björk	Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland	Stora produktionsundersökningen	Jöran Fries (1964) ¹⁷⁴
Bok	Bokens produktion i södra Sverige	Fasta provytor	Charles Carbonnier (1971) ¹⁷⁵
Ek	Produktionen i kulturbestand av ek i södra Sverige	Fasta provytor	Charles Carbonnier (1975) ¹⁷⁶
Gran	Granens produktion i Sverige	Stora produktionsundersökningen	Harry Eriksson (1976) ¹⁷⁷
Contortatall	Contortatallens produktion i Sverige och Finland	Fasta provytor	Björn Hägglund et. al. (1979) ¹⁷⁸
Tall, gran, björk i blandskog	En produktionsmodell för blandbestand av tall, gran och björk i blandskog	Stora produktionsundersökningen	Eric Agestam (1985) ¹⁷⁹
Tall, gran, björk, bok, ek samt blandskog	En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor	Riksskogstaxeringen grundad på provytenvis tillväxt	Per Magnus Ekö (1985) ¹⁸⁰
Tall, gran, björk, bok, ek samt blandskog	Funktioner för skogliga produktionsprognoser	Riksskogstaxeringen, grundad på enskilda trädets tillväxt	Ulf Söderberg (1986) ¹⁸¹
Tall	En produktionsmodell för tallskog i Sverige	Stora produktionsundersökningen	Olle Persson (1992) ¹⁸²

¹⁷³ Andersson, S.-O. 1963. Produktionstabeller för norrländska tallplanteringar. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 51(3).

¹⁷⁴ Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. *Studia Forestalia Suecica* 14.

¹⁷⁵ Carbonnier, C. 1971. Bokens produktion i södra Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 91.

¹⁷⁶ Carbonnier, C. 1975. Produktion i kulturbestand av ek i södra Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 125.

¹⁷⁷ Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. SLU, inst. för skogsproduktion. *Rapporter och Uppsatser* 10.

¹⁷⁸ Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. SLU, Projekt HUGIN. *Rapport* 13, SLU.

¹⁷⁹ Agestam, E. 1986. A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. SLU, inst. för skogsproduktion. *Rapport* 13.

¹⁸⁰ Ekö, P.-M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. SLU, inst. för skogsskötsel. *Rapport* 13.

¹⁸¹ Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. Tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag. SLU, avd. för skogsuppskattning och skogsindelning, *Rapport* 14.

¹⁸² Persson, O. 1992. En produktionsmodell för tallskog i Sverige. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport* 31.

Planeringsmodeller

Sedan 1980-talet har det vid SLU utvecklats ett antal mer generella modeller, baserade på Riksskogstaxeringens data: *Hugin*^{183,184}, *Indelningspaketet*¹⁸⁵ och *Heureka*¹⁸⁶. Modellerna används för övergripande analyser och planering, från den nationella nivån ner till den enskilda fastigheten.

Heureka som presenterades 2009, är ett beslutsstödjande modellsystem som idag innehåller en interaktiv beståndssimulator, ett verktyg för långsiktig planering och en simulator för regionala analyser. Systemet består av modeller för bland annat tillväxt, simulering av behandlingar, värdering av rekreativvärden och kolinlagring. Med hjälp av systemet kan allsidiga analyser av allt från trädslagsval, gallring och gödsling till effekter av ett förändrat klimat på både biomassaproduktion och biologisk mångfald göras. Ytterligare information kring systemet finns på sidan Heureka-wikin¹⁸⁷, där även installationshänvisningar finns.

Liknande beslutsstödjande modellsystem finns även internationellt och under senare år har även modellsystem som utifrån sociala, miljömässiga och ekonomiska variabler beskriver uthålligheten i skogens brukande. Ett sådant exempel är *ToSIA*¹⁸⁸. Det är ett modellsystem som utifrån definierade scenarier analyserar förändringar i till exempel förädlingsvärde, produktionskostnad, helårsanställda, olycksfallsrisk, inlagring av kol och utsläpp av emissioner inom hela kedjan från skogen, via industri, till slutanvändaren av producerad vara från skogsbruket. Förutom resultaten för respektive variabel innehåller systemet även verktyg för kostnad-intäkts-, multi-kriterie- och policyanalys.

Båda de presenterade beslutssystemen ställer relativt höga krav på att användare av dem har erfarenhet av både datorbaserade system och skoglig planering.

¹⁸³ Bengtsson, G. 1981. *Översiktlig beskrivning av Hugin-systemet*, SLU, inst. för skogstaxering. Stencil.

¹⁸⁴ Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L. O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. 2011. The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and computational forestry & natural-resource sciences*. Vol. 3, s 87–94.

¹⁸⁵ Jonsson, B., Jacobsson J. & Kallur, H. 1993. The forest management planning package. Theory and application, *Studia Forestalia Suecica* 189.

¹⁸⁶ Lämås, T., Ståhl, G. & Dahlin, B. 2003. Heureka – bättre beslut i skogen. SLU. *Fakta skog* nr 8.

¹⁸⁷ http://heureka.resgeom.slu.se/wiki/index.php?title=Heureka_Wiki/sv

¹⁸⁸ Lindner, M., Werhahn-Mees, W., Suominen, T., Vötter, D., Pekkanen, M., Zudin, S., Roubalova, M., Kneblík, P., Brüchert, F., Valinger, E., Guinard, L., Pizzirani, S. & Päivinen, R. 2012. Conducting sustainability impact assessments of forestry-wood chains – examples of ToSIA applications. *European J. For. Res.* 131, s 21-34.

Litteratur

- Agestam, E. 1986. A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. SLU, inst. för skogsproduktion. *Rapport* 13.
- Agestam, E. & Ekö, P. M. 1985. Prognoshjälpmedel för tillväxt och produktion. SLU. *Skogsfakta Konferens* nr 7, s 98–104.
- Albrektson, A. 1980. Tallens biomassa. Storlek – utveckling – uppskattningsmetoder. SLU, inst. för skogsskötsel. Avhandling. *Rapporter* 2.
- Albrektson, A. & Valinger, E. 1985. Relations between tree height and diameter, productivity and allocation of growth in a Scots pine sample tree material. I: *Crop physiology of Forest Trees. Proceeding of an international conference*, s 95–105. Department of Plant Breeding, University of Helsinki.
- Andersson, S.-O. 1963. Produktionstabeller för norrländska tallplanteringar. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 51(3).
- Anon. 1962. *Praktisk skogshandbok*, 7:e upplagan, s 86. Norrlands skogsvårdsförbund.
- Anon. 1974. *Kalhyggen*. Ds Jo 1974:2. Jordbruksdepartementet.
- Anon. 1994. *TNC 96 Skogsordlista*. Tekniska nomenklaturcentralen & Sveriges Skogsvårdsförbund.
- Anon. 2010. *Skogsdata 2010 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.
- Anon. 2011. *Skogsdata 2011 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.
- Anon. 2012. *Skogsvårdslagen. Handbok*. Skogsstyrelsen. Alternativt: *Skogsvårdslag*. SFS 1979:429. Omtryck 1993:553. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se (länk: Lagen).
- Arnborg, T. 1943. Granberget. En växtbiologisk undersökning av ett sydlappländskt gran-skogsområde med särskild hänsyn till skogstyper och föryngring, *Doktorsavhandlingar*. Uppsala universitet, inst. för växtekologi.
- Assman, E. 1970. *The principals of forest yiel study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands*. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- Bengtsson, G. 1981. *Översiktlig beskrivning av Hugin-systemet*, SLU, inst. för skogstaxering. Stencil.
- Bergh, J. & Linder, S. 2000. Produktionspotentialen på intensivodlade marker. I: Bergh, J. (redaktör): *Fiberskog*. SLU, inst. för produktionsekologi. *Rapport* 6, s 20–32.
- Bergquist, J., Ekö, P.M., Elfving, B., Johansson, U. & Thuresson, T. 2005. Jämförelse av produktionspotential mellan tall, gran och björk på samma ståndort. Skogsstyrelsen. *Rapport* 19.
- Bergquist, J., Eriksson, A. & Fries, C. 2011. Polytax 5/7 återväxttaxering: Resultat från 1999-2009. Skogsstyrelsen. *Rapport* 1-2011.
- Brandel, G. 1990. *Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk*. SLU, inst. för skogsproduktion. Avhandling. *Rapporter* 26.
- Bäcke, J., Larsson, M., Lundmark, J.-E., & Örlander, G. 1986. Ståndortsanpassad markberedning: teoretisk analys av några markberedningsprinciper. Skogsarbeten. *Redogörelse* nr 3.
- Carbonnier, C. 1971. Bokens produktion i södra Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 91.
- Carbonnier, C. 1975. Produktion i kulturbestånd av ek i södra Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 125.
- Cedergren, J. 2008. Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsen. *Meddelande* 1-2008.
- Chrimes, D. 2004. Stand development and regeneration dynamics of managed uneven-aged forests in boreal Sweden. SLU, Acta Universitatis agriculturae Suecica, *Silvestria* 304.
- Ekö, P.-M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. SLU, inst. för skogsskötsel. *Rapport* 13.
- Elfving, B. 2003. Övre höjdens utveckling i granplanteringar. SLU, inst. för skogsskötsel. *Arbetsrapporter* 185, s 1–8.
- Elfving, B. & Pedersen, S.M. 2006. *Återinventering 2006 av 1983 års MoDo-planteringar*. SLU, inst. för skogsskötsel. Manuskript.
- Elfving, B. & Kiviste, A. 1997. Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 98, s 125–124.
- Elfving, B. & Tegnhammar, L. 1995. Varför ökar tillväxten?. SLU. *Fakta Skog* nr 18.

- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. SLU, inst. för skogsproduktion. *Rapporter och Uppsatser* 10.
- Eriksson, H. 1990. Hur har det gått med höggallringen? *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 2, s 43–57.
- Eriksson, H. 1991. *Skogsproduktionslära*. SLU, inst. för skogsproduktion. Kompendium till grundkursen i skogsskötsel.
- Eriksson, H., Johansson, U. & Kiviste, A. 1997. A site-index model for pure and mixed stands of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 12, s 149–156.
- Franklin, J.F. 1989. The "new forestry". *Journal of Soil and Water Conservation* 44(6), s 549.
- Fries, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. *Studia Forestalia Suecica* 14.
- Fries, N. 1973. *Biologi 3, Fysiologisk botanik*. Almqvist och Wiksell, Stockholm.
- Frisk, J. 1998. Basal area before thinning and relation of site index to site properties for birch-dominated stands in Sweden. SLU, inst för skogsskötsel. *Examensarbete i ämnet skogsskötsel* 1998-8.
- Hagner, M. 2005. *Naturkultur*. Mats Hagners Bokförlag.
- Hånell, B. 2008. *Handledning i bonitering. Del 4, Torvmark. Praktiska anvisningar*. Skogsstyrelsen.
- Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J. & Sirén, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. SLU, Projekt HUGIN. *Rapport* 13, SLU.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1987. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 1 Definitioner och anvisningar*. 3:e tryckningen. Skogsstyrelsen.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 2004. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 2 Diagram och tabeller*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.
- Hägglund, B & Lundmark, J.-E. 2010. *Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 3 Markvegetationstyper-Skogsmarksfloran*. 5:e upplagan. Skogsstyrelsen.
- Indermühle, M.P. 1978. Struktur-, Alters-, und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beiheft zu den *Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins* No. 60.
- Joergensen, C.H.R. 1957. Thinning experiments – examples and discussion on technique and leading principles together with an index of thinning experiments in British Columbia. B.C. Forest Service, dept. of Land and Forests. *Technical Publication* T 45, s 24.
- Johansson, T. 1999. Site index curves for common alder and grey alder growing on different types of forest soil in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 14, s 441–453.
- Johansson, T. 1999. Site index curves for European aspen growing on forest land of different soils in Sweden. *Silva Fennica* 30(4), s 437–458.
- Jonsson, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 50(8), s 1–143.
- Jonsson, B., Jacobsson J. & Kallur, H. 1993. The forest management planning package. Theory and application, *Studia Forestalia Suecica* 189.
- Jonsson, T. 1914. Om bonitering på skogsmark. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* nr 5, s 369–392.
- Kneblík, P., Brüchert, F., Valinger, E., Guinard, L., Pizzirani, S. & Päivinen R. 2012. Conducting sustainability impact assessments of forestry-wood chains – examples of ToSIA applications. *European J. For. Res.* 131, s 21–34.
- Lageson, H. 1996. Thinning from below or above? Implications on operational efficiency and residual stand. SLU. *Avhandling*.
- Lindman, J. 1984. Fjällskogsblädning: tillväxtstudier i fyra bestånd. SLU, inst. för skogsskötsel. *Examensarbete i ämnet skogsskötsel* 1984:5.
- Lindner, M., Werhahn-Mees, W., Suominen, T., Vötter, D., Pekkanen, M., Zudin, S., Roubalova, M., Kneblík, P., Brüchert, F., Valinger, E., Guinard, L., Pizzirani, S. & Päivinen, R. 2012. Conducting sustainability impact assessments of forestry-wood chains – examples of ToSIA applications. *European J. For. Res.* 131, s 21–34.
- Lundmark, J.-E. 1988. *Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk del 2 – tillämpning*. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Lundqvist, L. 1984. Blädning och etappvis slutavverkning. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6/84.

- Lundqvist, L. 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine Norway spruce forests in northern Sweden. *For. Ecol. Manage.* 65, s 115–122.
- Lundqvist, L. 2004. Stand development in uneven-aged sub-alpine *Picea abies* stands after partial harvest estimated from repeated surveys. *Forestry* 77, s 119–129.
- Lundqvist, L. 2005. Blådningsbruk. SLU, inst. för skogsskötsel. *Rapporter* 61.
- Lundqvist, L. 2012. Virkesproduktion och inväxning i skiktad skog efter höggallring. Skogsstyrelsen. Rapport 11-2012.
- Marklund, L.-G. 1987. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, inst. för skogstaxering. *Rapport* 45.
- Lämås, T., Ståhl, G. & Dahlin, B. 2003. Heureka – bättre beslut i skogen. SLU. *Fakta skog* nr 8.
- Mielikäinen, K. 1981. Blandskogens produktion i östra Finland. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 6/79:6, s 3–9.
- Oliver, C. & Larson, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. New York.
- Persson, O. 1992. En produktionsmodell för tallskog i Sverige. SLU, inst. för skogsproduktion, *Rapport* 31.
- Petrini, S. 1953. *Elements of forest economics*. Oliver & Boyd, Edinburgh. (Se även *Skogsskötselserien* 18, Skogsskötselns ekonomi.)
- Pommerening, A. & Murphy, S.T. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77, s 27–44.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46(7), s 627–638.
- Rydberg, D. 2000. Initial sprouting, growth and mortality of European aspen and birch after selective coppicing in central Sweden. *For. Ecol. Manage.* 130, s 27–35.
- Savill, P.S. & Evans, J. 1986. *Plantation silviculture in temperate regions*. Clarendon Press, Oxford.
- Schotte, G. 1912. Om gallringsförsök. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt*, häfte 9, s 211–269.
- Sonesson, J., Bradshaw, R., Lindgren, D. & Ståhl, P. 2002. Ekologisk utvärdering av klon-skogsbruk med gransticklingar. Skogforsk. *Arbetsrapport* nr 504.
- Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. Tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag. SLU, avd. för skogsuppskattning och skogsindelning, *Rapport* 14.
- Söderström, V. 1978. *Ekonomisk skogsproduktion*. LTs förlag. Stockholm.
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological studies* 81. Springer-Verlag.
- Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödning, vind och trädstorlek på tallars utveckling. SLU, inst. för skogsskötsel. *Avhandling*.
- Wallentin, C. 2007. Thinning of Norway Spruce. *Acta Universitatis agriculturae Suecica. Silvestria* 2007:29.
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L. O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. 2011. The Heureka forestry decision support system: an overview. *Mathematical and computational forestry & natural-resource sciences*. Vol. 3, s 87–94.
- Wilhelmsson, E. & Nyström, K. 2010. Introduktion till mätning av träd och bestånd. *Kompendium*. SLU, inst. för skoglig resurshushållning.