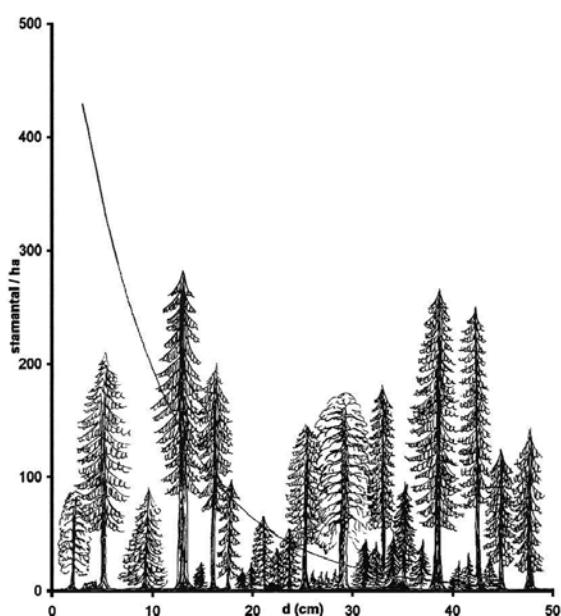


Produktion och beståndsstruktur i fullskiktad  
skog skött med blädningsbruk

*Production and Stand Structure in Uneven-Aged  
Forests managed by the Selection System*



Bert Pilo



Sveriges lantbruksuniversitet  
*Fakulteten för skogsvetenskap*

Institutionen för skogens produkter, Uppsala

Produktion och beståndsstruktur i fullskiktad  
skog skött med blädningsbruk

*Production and Stand Structure in Uneven-Aged  
Forests managed by the Selection System*

Bert Pilo

**Nyckelord:** beståndsdynamik, beståndsstruktur, blädning, blädningsbruk, diameterfördelning, fullskiktad skog, kontinuitetsskog, olikåldrig skog, *Picea abies*, skiktad skog, skogsskötselsystem, tillväxtmodell, tillväxtdynamik

---

*Examensarbete, 30 hp      Avancerad nivå i ämnet skogshushållning (EX4040)  
Skogsvetarprogrammet Uppsala 99/03*

*Handledare SLU: Lennart Eriksson  
Examinator SLU: Anders Lindhagen*

# Sammanfattning

Denna studie behandlar tillväxt och beståndsstruktur samt sambandet mellan dessa i skog skött med blädningsbruk. Blädningsbruk förutsätter fullskiktad skog med fallande diameterfördelning, under nordiska förhållanden vanligtvis dominerad av gran (*Picea abies* (L.) Karst). Strukturen i fullskiktad skog är resultatet av tillväxt, skörd/mortalitet och inväxning. Kunskap om det komplexa samspelet mellan dessa faktorer ger skogsskötaren möjlighet att planera och sköta fullskiktad skog för en hög och uthållig produktion.

Undersökningar och litteratur inom aktuella områden tas upp i en litteraturstudie. Ämnen som behandlas är: definitioner och begrepp, diameterfördelningen i fullskiktad skog och hur denna kan beskrivas, blädning och andra avverkningsstrategier samt tillväxt- och produktionsundersökningar i Norden, Europa och USA. Ett särskilt avsnitt behandlar hur konkurrensförhållanden i fullskiktad skog kan uttryckas i tillväxtmodeller. Litteraturstudien avslutas av en sammanfattning.

En tillväxtmodell för enskilda träd i grandominerad fullskiktad skog skött med blädningsbruk presenteras. Modellen baseras på observationer från 5 försöksytor fördelade på tre platser i Sverige, skötta med blädningsbruk under en period av 20–57 år. Baserat på ingående variabler skattas årlig diametertillväxt för tre ståndortsindex; G19, G24 och G30. Ytorna representerar stor spännvidd i skogsbehandling med varierande virkesförråd och struktur under försöksperioden.

Tillväxtmodellen är avståndsberoende och använder trädets diameter (brh) samt två konkurrensvariabler som oberoende variabler. Inverkan från de större träden uttrycks genom grundyta för dominerande träd definierad som summa grundyta för de 100 grövsta träden per hektar, medan variabeln total grundyta uttrycker den totala tätheten i beståndet.

Det bearbetade materialet från försöksytorna visar att diametertillväxten ökar med diametern och kulminerar inte förrän träden är mycket grova. Diametertillväxten för enskilda träd uppvisar dock stor variation inte bara mellan träd av olika storlek utan också mellan träd av samma storlek.

Partialanalys med framtagen tillväxtmodell visar att förändringar av de dominerande trädens grundyta har stor inverkan på diametertillväxten medan förändringar av de mindre och medelstora trädens grundyta har marginell effekt, givet oförändrad total grundyta. Resultaten indikerar att beståndsstrukturen kan ha en betydande påverkan på tillväxten i fullskiktad skog. Exempel på faktorer som kan påverka beståndsstrukturen är val av största diameter, diameterfördelning och uttagsstrategi.

Virkesförrådets och beståndsstrukturens roll som tillväxtfaktor i fullskiktad skog diskuteras. Vår kunskap om blädningsbruk och tillväxtdynamik är begränsad och ytterligare forskning är angelägen. Denna studie och framtagen tillväxtmodell utgör i detta sammanhang en ansats till att belysa samspelet mellan tillväxt och struktur i fullskiktad skog.

**Nyckelord:** *beståndsdynamik, beståndsstruktur, blädning, blädningsbruk, diameterfördelning, fullskiktad skog, kontinuitetsskog, olikåldrig skog, Picea abies, skiktad skog, skogsskötselsystem, tillväxtmodell, tillväxtdynamik*

## Abstract

This study deals with growth and stand structure and the connection between these characters in forests managed by the selection system. The selection system requires uneven-aged forest with reverse “J-shaped” diameter distribution, during Nordic conditions usually dominated by Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). The structure in uneven-aged forest is the result of growth, harvest/mortality and ingrowth. Knowledge about the complex interplay between these factors gives the forest manager the possibility to plan and to deal with uneven-aged forest for a high and sustainable production.

Studies and literature within current areas being taken up in a literature study. Subjects treated are: definitions and concepts, the diameter distribution in uneven-aged forest and how it can be described, selection cutting and other harvest regimes and; growth- and yield researches in Scandinavia, Europe and USA. A special section treats how competition relations in uneven-aged forest can be expressed in growth models. The literature study is completed by a summary.

A growth model for individual trees in spruce dominated uneven-forest managed by the selection system is presented. The model is based on observations from 5 permanent plots on three localities in Sweden, managed by selection cutting during a period of 20–57 years. Based on variables the model gives annual diameter increment for three site index classes indicating a productivity of 3,9 5,5 and 10,1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> respectively. The plots embrace a wide range of management types with varying levels of standing volume and stand structure during the observation period.

The growth model is distance independent and uses the tree's diameter at breast height and two competition variables as independent variables. Effect from big trees is expressed through basal area of dominating trees defined as basal area sum of the 100 biggest trees per hectare, while the variable total basal area expresses the total density in stand.

The arranged material from the plots shows that the diameter growth increases with the diameter and do not culminate before the trees become very coarse. However, the diameter growth for individual trees shows to have big variation not only between trees of various sizes but also between trees of the same size.

Partial analysis with developed model shows that changes of basal area by dominating trees have a considerable impact on the diameter growth while changes of basal area by the small and medium sized trees have a marginal effect, given equally total basal area. The results indicate that stand structure may have an important influence on the growth in uneven-aged forest. Examples on factors that affect stand structure are choices of maximum diameter, diameter distribution and harvest regimes.

Standing volume and stand structure as growth factors in uneven-aged forest are discussed. Our knowledge about uneven-aged forestry and growth dynamics in such forest is limited and further research is needed. This study and developed growth model make in this context an attempt to elucidating the interplay between growth and stand structure in uneven-aged forest.

**Keywords:** *group selection system, stand dynamics, stand structure, single tree system, selection cutting, uneven-aged, diameter distribution, continuous forest cover, growth model, growth dynamics, Picea abies, multi-layered*

## Förord

Förståelse för interaktionen mellan struktur och tillväxt är av avgörande betydelse för tillämpning av blädningsbruk, ett skötselsystem som praktiserats mycket sparsamt under nordiska förhållanden. Detta arbete behandlar frågor om produktion och beståndsstruktur i fullskiktad skog och har resulterat till framtagande av en tillväxtmodell för enskilda träd för sådan skog. Studien utgör examensarbete om 20p på D-nivå inom Skogsvetarprogrammet.

Då jag först började fundera kring tema för examensarbete drevs jag av nyfikenhet inför ett skötselsystem som jag liksom många andra inte hade någon större kunskap om. Blädning och blädningsbruk var och är fortfarande omgärdat av mycket mystik, okunskap och missuppfattningar.

Mina första planer för examensarbete omfattade en ekonomisk jämförelse av trakthyggesbruk och blädningsbruk. Så småningom kom jag och mina handledare fram till att för att göra en ekonomisk analys skulle det behövas mer ingående uppgifter om relevanta tillväxtnivåer, framför allt för enskilda träd och arbetet kom därför att förskjutas mot de här presenterade ämnesområdena.

Jag vill här rikta ett stort tack till mina handledare, Forskare Lennart Eriksson (ansvarig handledare) och Universitetsadjunkt Roland Hörnfeldt, båda vid Institutionen för Skogens Produkter i Uppsala. Med aldrig sinande tålamod har de lotsat mig igenom alla svårigheter som uppstått under resans gång. Och det har förvisso varit en lång resa med mycket förändringar sedan de första funderingarna tog form. Där jag tvivlat har de alltid mött med förståelse och tillförsikt. Där jag haft besvärliga frågor och idéer har de mött med kunnande och engagemang. Ett varmt tack till Er utan vars hjälp detta arbete inte skulle ha blivit gjort!

Ett stort tack också till Jonas Cedergren, Projektledare för "Kontinuitetsskogsbruk" vid Skogsstyrelsen som fungerat som extern handledare. Det har varit värdefullt att ha en intressent även utanför skolvärlden vilket gjort att arbetet fått en "skarpare" karaktär. Skogsstyrelsen har också bidragit med ekonomiska medel vilket möjliggjort att arbetet blivit fylligare än vad som är normalt inom ramen för en 20-poängsuppsats.

Jag vill särskilt nämna Försöksledare Kjell Karlsson vid Enheten för Skoglig Fältforskning i Uppsala som tagit fram statistikkort för försöksytorna och hjälp till att reda ut alla frågor förknippade med dessa och fältböckerna. Kjell har också medverkat vid den muntliga redovisningen och kommit med förslag och synpunkter på manuskriptet.

Till Försöksledare Christer Karlsson vill jag framföra ett varmt tack för intressanta diskussioner och guidning av försöksytor vid studiebesök på Siljansfors försökspark. Ett tack riktas också till f.d. Länsjägmästare Ingvar Svensson för varmt bemötande vid visning av sina försöksytor i Skåne. Forskare Lars Lundqvist vid Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel i Umeå har rätt ut frågor om försöksytorna och kommenterat det inledande upplägget.

Sylvia Andersson och Amil Sarsour vid Enheten för juridik och dokumentation, Uppsala har välvilligt låtit mig få tillgång till fältböcker och andra data från försöksytorna. Ingenjör Hans Fryk vid Institutionen för Skogens Produkter har redigerat förstasida och bistått vid layoutarbetet.

Till nämnda personer och andra som på olika sätt bidragit till arbetets genomförande riktas ett varmt tack.

Bert Pilo

# Innehållsförteckning

## Sammanfattning

## Abstract

## Förord

<b>Innehållsförteckning .....</b>	<b>5</b>
<b>Inledning.....</b>	<b>6</b>
Syfte och begränsningar .....	7
<b>Litteraturstudie .....</b>	<b>9</b>
Inledande definitioner och begrepp .....	9
Diameterfördelningen i fullskiktad skog.....	13
Måldiameter, uttagsstrategier och blädningsintervall.....	16
Jämförelser av tillväxt mellan blädningsbruk och trakthyggesbruk.....	19
Tillväxt- och produktionsundersökningar i Norden.....	19
Tillväxt- och produktionsundersökningar i övriga Europa .....	22
Tillväxt- och produktionsundersökningar i USA .....	23
Modellering av konkurrensförhållanden i fullskiktad skog.....	25
Sammanfattning av litteraturstudie .....	27
<i>Inledande definitioner och begrepp .....</i>	<i>27</i>
<i>Diameterfördelningen i fullskiktad skog.....</i>	<i>28</i>
<i>Virkesuttag, avverkningsstrategier och blädningsintervall .....</i>	<i>28</i>
<i>Tillväxt- och produktionsundersökningar i Norden.....</i>	<i>29</i>
<i>Tillväxt- och produktionsundersökningar i övriga Europa och USA .....</i>	<i>29</i>
<b>Material .....</b>	<b>30</b>
<b>Metoder.....</b>	<b>32</b>
<b>Resultat .....</b>	<b>34</b>
Diametertillväxt i grundmaterialet .....	34
Tillväxtmodell .....	36
<i>Regressionssamband.....</i>	<i>36</i>
<i>Partialsamband.....</i>	<i>37</i>
<b>Diskussion .....</b>	<b>39</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>43</b>
<b>Bilagor .....</b>	<b>48</b>

## Inledning

Skogsskötsel och skötselsystem är alltid under påverkan av strömningar och trender i det omgivande samhället. Ett bra exempel på det är blädningsbruk – ett skötselsystem som förutsätter fullskiktad skog och där skogen även efter ingrepp är fullskiktad (Skogsenencyklopedin 2000). Blädningsbruk som skogligt skötselsystem utvecklades i Centraleuropa i slutet av 1800-talet, i en tid präglad av reaktioner mot ett okritiskt användande av trakthyggesbruk (Nilson 2001, Lundqvist 2005). Under ett halvt århundrade framåt studerades och debatterades blädning och andra alternativa huggningsformer intensivt i Europa. Reaktionerna spreds även till de nordiska länderna med ett ökat intresse för alternativa skötselmetoder (Lundqvist 2005). I norra Sverige där det under lång tid inte fanns någon avsättning för klenvirke blev dimensionsavverkning i olika former dock den förhärskande avverkningsmetoden (Elmberg et al 1992, Kardell 2004).

Under 1920- och 1930-talen och fram till krigsslutet dominerades Sverige av lågkonjunktur samtidigt som avsättningen för klenvirke ökade i samband med utbyggnaden av massaindustrin. Följden blev ett hårdare utnyttjande av skogsresurserna och ett minskat engagemang i aktiva föryngringsåtgärder (Nilson 2001). Intresset för blädningsbruk och blädningstypade metoder ökade kraftigt under denna period som ibland benämns ”blädningsepoken” (Elmberg et al 1992).

Blädningsbruk blev dock ofta sammanblandat med ren dimensionsavverkning, plockhuggning och andra exploaterande huggningsformer (Lundqvist 2005). Under mitten av förra seklet pratades i Sverige mycket om ”gröna lögner”. Dessa lågproducerande restskogar som var resultatet av många års rovdrift på skogen fick ofta blädningsbruk bära skulden för (Nilson 2001). I Sverige gick det så långt att blädningsbruk avfärdades som praktiskt och ekonomiskt oanvändbart och 1950 blev det inte längre tillåtet att bläda inom statsskogarna (Lundqvist 2005).

Det var nu andra strömningar i skogsnäringen och kalhyggesbruk med markberedning och plantering blev helt dominerande. Under sextio- och sjuttioalet skedde en långtgående mekanisering och stordrift låg i tiden. Ett intensivt trakthyggesbruk med radikala metoder bäddade dock för reaktioner. Det allmänna miljömedvetandet ökar under 1970-talet och skogsbrukets driftsformer ställs under allmän debatt. I början av 1990-talet ungefär hundra år efter den första reaktionen mot ett schabloniserat trakthyggesbruk, ökar intresset åter för alternativa skötselsystem (bl.a. Andreassen 1994a, Lähde et al 1999). Naturvårdsfrågor får en ökad betydelse i samhällsdebatten, strömningar som även påverkar skogsbruket. Detta uttrycks bland annat i Skogsvårdslagen från 1993 där produktion och miljöhänsyn blir jämställda mål.

Hänsyn till olika intressen har medfört att det idag ställs ökande krav på att skog på vissa marker bör skötas med andra metoder än trakthyggesbruk. Det kan gälla tätortsnära skogar med rekreation som huvudmål, skog som hyser en störningskänslig flora eller fauna, skog nära fjällgränsen, skog där renskötseln bör främjas, skogar av refugekaraktär m.fl. (Lundqvist 1984). På andra platser kan höga föryngringskostnader vara en orsak till att man söker alternativa metoder. På senare tid har också mindre privata skogsägare visat ett ökat intresse för ett skogsbruk där skogen kontinuerligt kan ge inkomster samtidigt som skogen bibehåller vissa ickemonetära värden. I en del fall räcker det med modifieringar av dagens skötselsystem för att nå dessa nya mål men ibland kan helt andra system vara lämpligare. En alternativ

metod som ofta diskuteras är blädningsbruk (bl.a. Lundqvist 1984, Solbraa 1996, Fries et al 1997, Lähde et al 1999).

Ett ökat intresse för blädningsbruk ställer dock också ökade krav på kunskaper. Emellertid måste vi konstatera att vårt kunskapsläge om fullskiktad skog och blädningsbruk framför allt under nordiska förhållanden är begränsat. Detta beror delvis på att det fram till slutet av 1980-talet skett mycket lite forskning om blädningsbruk i de nordiska länderna. Även våra praktiska erfarenheter är mycket sparsamma. De få försöksytor som finns eller har funnits har oftast inte skötts på ett vetenskapligt önskvärt sätt och inventerade data är bristfälliga.

Produktionsförhållandena i likåldrig barrskog är relativt väl undersökta och resultaten visar bland annat att tillväxten står i relation till virkesförrådets storlek (bl.a. Petterson 1955, Eriksson & Karlsson 1997). Flera forskare rapporterar att detta förhållande även gäller i fullskiktad skog (t.ex. Eyre & Zillgitt 1953, Erdman & Oberg 1973, Hansen & Nyland 1987a, Lähde et al 1993, Chrimes & Lundqvist 2004). Andra rapporterar dock otydliga samband eller inga samband alls (bl.a. Mitscherlich 1961, Crow et al 1981, Solomon & Frank 1983, Spiecker 1986, Lundqvist 1989b, Andreassen 1994b, Bachofen 1999). En orsak till de varierande resultaten kan vara att beståndsstrukturen, dvs. trädens fördelning på diameterklasser också påverkar tillväxten.

Ett sätt att undersöka hur tillväxten påverkas av olika beståndsstrukturer är genom modellering. Vid simulering med en tillväxtmodell baserad på fullskiktade lövblandskogar i New York State, USA, dominerade av sockerlön (*Acer saccharum* Marsh.), visade Hansen & Nyland (1987a) att valet av största diameter hade stor inverkan på medeltillväxten trots lika stor beståndsgrundyta i övrigt. Schütz (1975 se Schütz 1999c) visade vid simulering av olika beståndsstrukturer baserad på blädningskog i Schweiz att den uthålliga tillväxtnivån kunde bibehållas eller till och med öka genom att minska beståndets största diameter och det totala virkesförrådet. Buongiorno et al (2000) undersökte hur olika uttagsstrategier påverkade struktur och tillväxt med en tillväxtmodell utvecklad för fullskiktade lövblandskogar i norra USA. Dimensionsavverkning och blädning med olika uttagsstyrkor resulterade i olika diameterfördelningar och tillväxtnivåer trots att utgångsbeståndet var det samma för alla behandlingar. Chrimes & Lundqvist (2004) har utvecklat en tillväxtmodell baserad på försöksytor skötta med blädningsbruk från Siljansfors försökspark. Simuleringar med olika uttagsstrategier som ändrade diameterfördelningen resulterade i olika tillväxtnivåer trots oförändrat virkesförråd.

Resultaten från dessa och andra undersökningar antyder att tillväxten i fullskiktad skog kan ha samband med ett flertal faktorer som påverkar beståndsstrukturen förutom virkesförrådets storlek. diameterfördelning, uttagsstrategi och måldiameter är exempel på sådana faktorer som har inverkan på strukturen och eventuellt också tillväxten. Mot denna bakgrund kan det anses motiverat att närmare studera tillväxtförhållandena i fullskiktad skog och de faktorer som har samband med dessa.

## **Syfte och begränsningar**

Denna studie behandlar frågor om tillväxt och struktur i fullskiktad skog och utgör examensarbete om 20hp på D-nivå inom Skogsvetarprogrammet. Syftet är att göra en litteraturstudie där ovanstående frågor belyses, att utveckla en tillväxtmodell för enskilda träd i grandominerad skog skött med blädningsbruk samt att analysera effekterna av olika beståndsstruktur på diametertillväxten.



Arbetet består av två separata delar, litteraturstudie och egen undersökning. Den inledande litteraturstudien ägnas studier och arbeten inom de aktuella ämnesområdena och är begränsad till svensk, norsk och engelskspråkig litteratur. Några särskilt tongivande tysk- och franskspråkiga arbeten har dock medtagits. Den egna undersökningen består av framtagande av en tillväxtmodell för enskilda träd i grandominerad fullskiktad skog skött med blädningsbruk. Underlag till modellen består av trädobservationer från svenska försöksytor skötta med blädningsbruk följda under en period av 20–57 år.

Observationerna är begränsade till fem ytor fördelade på tre lokaler. De tre lokalerna representerar olika bördighet med SI bedömd till G19, G24 och G30. Utgångsbestånden har haft olika utseende och ytorna är inte konsekvent behandlade. Virkesförråd, beståndsstruktur och behandlingsintervall har därför varierat under observationsperioden.

## Litteraturstudie

Litteraturstudien belyser hur frågor om produktion och beståndsstruktur i fullskiktad skog har behandlats i litteraturen. Studien utgör en naturlig bakgrund till den egna undersökningen men kan också läsas separat som en överblick över aktuella ämnesområden. Bland litteraturen återfinns resultat av fältundersökningar och modellsimuleringar men också tongivande läroböcker har medtagits.

Texten har indelats under olika avsnitt där det första tar upp definitioner och centrala begrepp följt av diameterfördelningens utseende i fullskiktad skog och hur denna kan beskrivas. Frågor om måldiameter, blädningsintervall och hur olika avverkningstrategier kan påverka struktur och tillväxt behandlas i ett avsnitt. Därefter följer en genomgång av undersökningar ägnade tillväxt och produktion i fullskiktad skog och inleds med ett allmänt avsnitt om vilka problem som är förknippat med jämförelser av tillväxt mellan blädningsbruk och trakthyggesbruk. Produktionsundersökningar redovisas därefter uppdelade på Norden, övriga Europa och USA. Det sista avsnittet behandlar hur och med vilka variabler som konkurrensförhållanden i fullskiktad skog kan uttryckas i tillväxtmodeller.

Litteraturstudien avslutas av en sammanfattning.

### Inledande definitioner och begrepp

Blädning och blädningsbruk har definierats på olika sätt mellan olika länder och av olika författare. En genomgång av blädningsbegreppets ursprung och definitionsproblematik ges av Kardell et al (1993). Blädning förekommer i svenska skrifter från början av 1700-talet med en innebörd motsvarande den dubbla betydelsen av gallring och dimensionsavverkning. En av de äldsta svenska definitionerna av blädning kan vara den av Fischerström (1781 in Kardell et al 1993) *”blädning, det är: at när det mogna trädet är borthuggit, de yngre lämnas qwarstående i deras växt och efter deras mognad utblädas”*.

Wahlgren (1914) beskriver ”ren blädning” eller ”plockhuggning” som en beståndsform som präglas av olikåldrighet och ...*”böra alla åldersklasser vara företrädda inom varje bestånd och inom varje del av detsamma”*. Wahlgren tillägger att uttagen regleras av virkesförrådets storlek och inte efter areal eller ålder.

Typiskt för fullskiktad skog är att diameterfördelningen är fallande dvs. det blir stegvis färre träd med ökad diameter (bl.a. Knuchel 1953a, Skinnemoen 1969, Lundqvist 1992, Burschel & Huss 1997).

Lundqvist (2005) beskriver ”blädningsbruk” som ett skötselsystem för fullskiktad skog och anger att skogen kan anses vara fullskiktad om det efter att träden har indelas i fyra diameterklasser finns flest stammar i den minsta klassen, näst flest stammar i nästa klass och träd i de båda återstående klasserna. Grövsta trädets diameter bör vara minst 25 cm. Lundqvist poängterar att enligt Skogsvårdslagen krävs det dessutom att volymslutenheten är över 0,5.

Från Norge anger Skinnemoen (1969) liksom Børset (1986) att ”bledningsskogbruk” baseras på att stora och små träd och träd av olika ålder är blandade om varandra, stamvis eller gruppvis. Børset tillägger att det är det enskilda trädet som utgör behandlingsenhet. Skinnemoen poängterar att även likåldriga granskogar kan ha en stor diameterfördelning men för att det ska vara tal om ”bledningsskog” ska skogen vara utpräglat olikåldrig med stora ålderskillnader mellan små och stora träd.

Lähde et al (1999) anger skog som fullskiktad (uneven-sized) under boreala förhållanden om den har träd i minst fyra efterföljande diameterklasser om 4–5 cm.

Osmatson (1968) skiljer på likåldriga och olikåldriga skötselsystem (uneven-aged systems). Vid "true selection" eller "single-tree selection" är träd av alla åldrar blandade om varandra på varje liten yta om ca 1 acre (~0,4 ha). Plantor och mindre träd förekommer ofta i grupper, delvis under de större träden som står enskilt eller i eventuellt i par.

Matthews (1991) urskiljer "selection systems" som skötselsystem där avverkning och förnygring förekommer samtidigt över hela beståndet och där skogen är utpräglad olikåldrig och inhomogen. Med skötselsystemet "the selection system" sker avverkningsingreppen, "selection cuttings" bland enskilda träd eller små grupper vilket typiskt sett ska resultera i en olikåldrig skog där alla åldersklasser är blandade om varandra i varje liten del av beståndet.

Köstler (1956) i Tyskland beskriver blädningsskog som en skött skog där träd av alla åldrar och storlekar är blandade, enskilt eller i grupp på ett sådant sätt att regelbundna uttag endast orsakar mindre fluktuationer i skogstillståndet.

Burschel & Huss (1997) anger att "plenterwald" är en skog med alla åldersklasser och diameterklasser närvarande på varje arealenhet och detta såväl horisontellt som vertikalt. Skötselsystemet (plenterbetrieb) inbegriper periodiska ingrepp som inriktas mot enskilda stammar och där alla skötselmoment sker samtidigt.

Schütz (1999a) beskriver "klassischen plenterwald" som en mycket tät sammanslutning av trädets alla utvecklingsstadier på minsta möjliga yta. I sådan skog har trädens kronor knappt beröring med varandra samtidigt som det vertikala utrymmet är väl använt. Schütz (1997) anger att de huvudsakliga skillnaderna mellan "plenter system" och andra skötselsystem är att den oregelbundna strukturen är kontinuerlig både i tid och rum och att ingreppet (plenterhieb eller plenterung) inbegriper alla skötselåtgärder såsom strukturreglering, gallring, förnygring och skörd.

Från USA definierar Carter (1978) "uneven-aged silviculture" som skötsel av skog för att skapa konstant krontäckning, kontinuerlig förnygring och stimulera utveckling genom alla diameterklasser för en uthållig produktion. Olikåldrig skött skog karakteriseras av träd med olika ålder och diameter blandade individuellt eller i grupp. Träd skördas på motsvarande vis, antingen stamvis eller gruppvis.

Hann & Bare (1979) skriver att ett bestånd klassificeras som olikåldrigt om det innehåller ett flertal åldersklasser vars stammar utvecklas under påtaglig påverkan från omgivande träd som också är olikåldriga.

Smith et al (1997) definierar "selection systems" som skötselsystem för att sköta olikåldrig skog (uneven-aged forests). "Uneven-aged forests" definieras i sin tur som skog av minst tre åldersklasser med utpräglade skillnader inte bara i diameter utan även i höjd och ålder. Med "single-tree selection system" är den areal som det stora "mogna" trädet upptar behandlingsenhet. Sedan detta träd skördats ska det i princip ersättas med förnygring som så småningom glesas ut tills det återigen återstår ett träd. Ett bestånd som sköts på detta sätt blir därmed uthålligt (balanced).

Skogsencyklopedin (2000) skiljer på "blädningsbruk" som är själva skogsskötselsystemet och

”blädning” som är avverkningsformen. Mer exakt definieras blädning bruk som: ”skogsbrukssätt som innebär att skogen sköts med upprepade blädningar”. Med blädning avses: ”avverkning med syfte att avverka i en fullskiktad skog utan att dess struktur ändras. Blädning är en avverkningsform som innebär att beståndet hålls fullskiktat, dvs. att det finns träd i alla diameterklasser enligt den s.k. J-kurvan. J-kurvan innebär att det finns många klena träd och få grova. Likaså ska det finnas många korta träd och färre långa”. Fullskiktad skog definieras vidare som: ”skog eller bestånd som till alla delar består av träd i alla höjdklasser utan tydlig avgränsning mellan de olika höjdsstegen och utan markerat krontak”.

I denna studie används fortsättningsvis begrepp med definitioner enligt Skogencyklopedin.

Som framkommit kännetecknas blädning bruk av att stora och små träd samt plantor står blandade om varandra på varje mindre yta. Plantor och mindre träd kan förekomma i grupper medan de större träden står enskilt eller möjligen i par. Skiktningen på samma yta kan vara stor då små träd ofta står under kronorna på större träd. Denna form av blädningsskog gynnas av marktyper och klimat som är mycket lättföryngrade i kombination med mycket skuggtoleranta trädslag som t.ex. silvergran (*Abies alba*) (Skinnemoen 1969, Børset 1986, Matthews 1991).

Flera författare påpekar att det i praktiken är svårt att få den perfekta blandning som utmärker ovanstående mer strikta form av blädningsskog. Man får därför acceptera att det bitvis förekommer grupper av jämnstora träd (Andreassen 1994a, Matthews 1991). Lundqvist & Fridman (1995) konstaterar att i blädningsskogen står ofta träden inom olika storleksklasser något gruppställda. Wahlgren (1914) menar att svårigheterna att skapa och vidmakthålla den intima blandning som utmärker den klassiska blädningsskogen ökar på medelmåttliga och svaga marker beroende på att plantorna/träden har större ljusbehov och sämre förmåga att reagera vid ökad ljustillförsel. Børset (1986) och Ebert (1994) menar att där blädning bruk tillämpas med ren gran kan uttag av ett moget träd kan vara för lite för att få upp en tillräcklig föryngring. Under norska förhållanden kom Bøhmer (1957) fram till att en kombination av stamvis och gruppvis blädning fungerade bra.

Där det är mer vanligt förekommande att inte bara plantor och mindre träd utan även större träd uppträder i grupper särskiljer vissa författare detta som en variant av blädning bruk (bl.a. Skinnemoen 1969, Børset 1986, Nyland 1997). Braathe (1954) framför en mer ekologisk grundsyn och att det som utmärker blädningsskog inte är det precisa antalet träd av samma åldersklass som växer intill varandra utan den största areal som friläggs vid ingrepp och anger denna till ca 100 m<sup>2</sup>.

Genom att mer konsekvent ta bort ett flertal mogna träd som står intill varandra för att på så vis skapa större ytor (grupper/luckor), lämnar man den klassiska blädning formen. Här går emellertid definitionerna mellan olika författare kraftigt isär. En åsiktsriktning går ut på att luckvisa/gruppvisa blädning metoder inte bör räknas som egna skötsel system utan mer som föryngring metoder inom trakthygges bruket (bl.a. Roach 1974, Lundqvist 1984). Andra författare särskiljer emellertid skötsel system där den minsta behandlingsenheten är likåldriga grupper av träd men där avsikten är att skapa en skog med alla åldergrupper representerade (bl.a. Knuchel 1953a, Nyland 1997, Matthews 1991, Kardell et al 1993). En fördel som framförs för denna skötsel form, som i utländsk litteratur benämns ”group selection system” är att den även tillåter användning av mer ljuskrävande trädslag (Knuchel 1953, Marquis 1978, Matthews 1991, Schütz 2002). Group Selection System ska i detta sammanhang inte förväxlas med ”luckhuggning” som innebär att ett bestånd avvecklas stegvis under en period av ca 15–

40 år (Lundqvist 1984, Børset 1986). Den temporärt olikåldriga prägeln söker man här efter hand jämna ut genom gallring så att skogen mot slutet av omloppstiden i huvudsak är enskiktad (Børset 1986).

Uno Wallmo ivrade under 1900-talets början för ett skogsbrukssätt han kallade ”rationell” eller ”ordnad blädning” beskriven i sin bok *Rationell Skogsafverkning* från 1897. Metoden strävar mot en skog där alla åldersklasser är representerade i form av någorlunda likåldriga grupper. Grupperna sköts enligt samma principer som inom trakthyggesbruket men grupperna går in i varandra genom att föryngringsgrupperna utvidgas efterhand. Metoden ska idealiskt sett resultera i en skog med böljande krontak där varken undertryckta eller överskärmande träd förekommer (Wallmo 1897, 1939).

Smith et al (1997) anger att om diametern på luckorna/grupperna överstiger ett avstånd motsvarande dubbla trädlängden blir de ekologiska förhållandena i centrum av ytan jämförbara med dem som råder på ett kalhygge. Børset (1986) menar att för att bryta den omgivande skogens inflytande på klimatet på en föryngringsyta bör arealen vara minst 0,3 ha, vilket kan sägas motsvara två trädlängder om höjden är 30 m. Även Kardell et al (1993) anför ett ekologiskt synsätt för att särskilja ”luckvis blädningsbruk” från trakthyggesbruk med små bestånd. De arbetade vid sina luckblädningsförsök med luckor om 500–1700 m<sup>2</sup> och sådana yttorlekar menade man, är huvudsakligen under påverkan från omgivande skog.

Marquis (1978) fäster mindre vikt vid ytornas storlek och framför att det som särskiljer ”group selection” från trakthyggesbruk med många små ytor är att ytorna inte registreras som enskilda bestånd och, vilket är det viktigaste, regleringen sker genom diameterfördelning på samma sätt som vid klassiskt blädningsbruk men räknat för hela behandlingsenheten. Även Alexander & Edminster (1978) poängterar vikten av en för alla ytor gemensam reglering även om skötseln mycket väl kan vara lika inom respektive trädgrupp.

Naturlig föryngring är en integrerad del av blädningsbruk och marktyper med goda föryngringsvillkor kan därför antas vara speciellt lämpliga (bl.a. Andreassen 1994, Schütz 1999a). Andra forskare lägger mindre vikt vid markens föryngringsbenägenhet och mer vikt på struktur och virkesförråd hos det aktuella beståndet (Lundqvist 2005). Även om blädningsbruk bygger på naturlig föryngring finns det inget som hindrar att man kompletterar med plantering eller sådd (t.ex. Smith et al 1997, Kardell et al 1993).

Två motstående avverkningsregimer i fullskiktad skog är **blädning** (single-tree selection) och **dimensionshuggning** (dimension cutting/diameter-limit cutting) (Buongiorno et al 2000, Lähde et al 2001). Vid blädning uttas träd i alla diameterklasser för att upprätthålla en förbestämd fallande diameterfördelning medan dimensionshuggning innebär att uttag endast sker bland de grövsta diameterklasserna, ofta begränsad från en viss minimidiameter (bl.a. Lähde et al 2001, Chrimes & Lundqvist 2004).

Dimensionshuggning i detta sammanhang ska inte jämföras med den okontrollerade dimensionsavverkning (high grading) som bedrevs under första halvan av 1900-talet i Sverige (Nilson 2001, Lundqvist 2005) och även tillämpats på flera andra håll i Europa (Matthews 1991) liksom USA (Smith et al 1997). Buongiorno et al (2000) särskiljer high grading från dimensionshuggning genom att vid förstnämnd metod uttas allt virke av kommersiellt värde medan det vid dimensionshuggning begränsas från en viss dimension, oavsett värde. En annan viktig skillnad är att man vid den tidigare praktiserade dimensionsavverkningen oftast inte tog någon hänsyn till föryngring eller hur skogen skulle komma att utvecklas framöver (Smith et

al 1997, Lundqvist 2005). Genom att alla träd ovan en viss diameter uttas jämfört med ren blädning där uttag sker i alla diameterklasser förenklas urvalsprocessen som därmed blir mer kostnadseffektiv. Inget hindrar dock att dimensionshuggning kompletteras med uttag av mindre träd med sämre växtförmåga eller dålig form (Buongiorno et al 2000).

En alternativ form av dimensionshuggning är att större träd uttas när de inte längre ger en tillräcklig värdetillväxt (financial maturity). Även mindre träd uttas efter samma principer så att en viss virkesförrådsnivå upprätthålls (Smith 1980). Metoden kan vara speciellt lämplig för komplexa bestånd med stor spridning i dimension, kvalitet och trädslagssammansättning. Smith poängterar dock att metoden inte ger någon direkt möjlighet att styra beståndets utveckling och att det blir svårare att bedöma uttagens storlek.

Blädning kan definieras genom önskad diameterfördelning, största diameter, samt grundyta (alt. volym) efter ingrepp (Trimble & Smith 1976, Buongiorno et al 2000). Där flera trädslag förekommer kan även trädslagssammansättningen vara en viktig parameter (Frank & Blum 1978). Eventuellt undviker man vid blädning uttag bland de minsta träden baserat på en minsta lönsamma dimension (Smith et al 1997). En variant av blädning är schematiskt uttag (schematic harvest or fixed-proportion harvest) där uttag görs i alla diameterklasser efter bestämda proportioner (Buongiorno & Michie 1980, Chrimes & Lundqvist 2004).

Lundqvist (2005) föreslår för blädningsbruk under nordiska förhållanden att uttagen bör koncentreras till de grövre träden (över 25–30 cm) med en blädningsform kallad ”volymbädning”. Metoden som ursprungligen utvecklats för blädning i fjällnära skog går ut på att virkesförrådet hålls inom vissa nivåer före och efter blädning. Man släpper kravet på en strikt diameterfördelning och nöjer sig med att beståndet förblir fullskiktat.

Centralt inom blädningsbruk är strävan efter en stabil (uthållig) beståndsstruktur, ett jämviktstillstånd (equilibrium/balanced) med vilket menas att den kvarvarande skogen efter varje ingrepp återfår en viss ursprunglig diameterfördelning (bl.a. Prodan 1949b, Meyer 1952, Burschel & Huss 1997, Schütz 1999a). Bøhmer (1922) och Knuchel (1953) tillägger att målet även är högsta möjliga volym- och värdetillväxt. Om skogen är i jämvikt blir virkesuttagen och dess diameterfördelning någorlunda lika vid varje uttag (Braathe 1954, Trimble & Smith 1976, Nyland 1996, Leak 1996, Sterba 2004).

### **Diameterfördelningen i fullskiktad skog**

Blädningsskogens struktur beskrivs ofta genom dess fallande diameterfördelning. Stamantalet per diameterklass plottat över diameterskalan ger då en kurva liknande ett lutande spegelvänt j och diameterfördelningen benämns därför ofta inverterat J-formad (Lundqvist 2005).

I enskiktad, likåldrig skog har träden störst diametertillväxt i ungdomen för att sedan avta ju större träden blir. I fullskiktad skog är förhållandet vanligen det omvända dvs. diametertillväxten ökar med traddiametern och ökningen kulminerar inte förrän träden blivit mycket grova (bl.a. Bøhmer 1922, Prodan 1949a, Mitscherlich 1961, Kern 1966, Schütz 1999a, Chrimes & Lundqvist 2004). Att diameterfördelningen är fallande i blädningsskog beror just på den ökande diametertillväxten som gör att träden växer igenom diameterklasserna allt snabbare. Antalet träd som samtidigt befinner sig i en viss diameterklass sjunker därför med ökande diameter (Burschel & Huss 1997, Lundqvist 2005).

Flera författare poängterar att den struktur som eftersträvas vid bländningsbruk sällan återfinns naturligt i skogssystemen och förutsätter kontinuerlig och omsorgsfull påverkan av människan för att bibehållas (bl.a. Braathe 1954, Schütz 1999a, Matthews 1991, Smith et al 1997, Schütz 2002).

François de Licourt (1898) som var den första att beskriva den fallande diameterfördelningen i fullskiktad skog, fann i franska bländningsskogar med gran, silvergran och bok att diameterfördelningen ganska väl följde en geometrisk serie med avtagande minskningstakt. Schaeffer et al (1930 se Meyer 1933b) arbetade vidare utifrån Licourts studier och approximerade diameterfördelningen i fullskiktad balanserad skog till en geometrisk serie med konstant minskningstakt där kvoten  $q$  mellan stamantalet i två intilliggande diameterklasser är lika över diameterskalan:

$$A, A \cdot q^{-1}, A \cdot q^{-2}, A \cdot q^{-3}, \dots Aq^{-n} \quad (1)$$

där  $A$  är stamantalet i den minsta diameterklassen,  $A \cdot q^{-1}$  är stamantalet i nästföljande diameterklass och  $n$  är antalet diameterklasser. Schaeffer et al (1930 se Knuchel 1953b) fann också att  $q$ -värdet förändrades beroende på växtlokalen och att det tenderade att öka med minskande bonitet.

Meyer (1933a) visade att om stamfördelningen i fullskiktad skog beskriver en geometrisk serie kan denna definieras med en negativ exponentialfunktion enligt:

$$V(x) = k \cdot e^{-ax} \quad (2)$$

där  $V(x)$  betecknar stamantalet i respektive diameterklass,  $k$  är en konstant för den relativa beståndstätheten,  $e$  är basen för den naturliga logaritmen,  $a$  är en konstant för stamantalets förändring vilken bestämmer kurvans lutning och  $x$  är klassmitt (cm). Meyer (1933a) och Meyer & Stevenson (1943) kom fram till att för såväl naturskogar i USA som för kulturskogar i Schweiz rådde ett starkt samband mellan konstanterna  $k$  och  $a$ .

Om diameterfördelningen utjämnas enligt ovanstående funktion kan  $q$ -värdet bestämmas som:

$$q = e^{-ad} \quad (3)$$

där  $e$  är basen för den naturliga logaritmen,  $a$  är en konstant från funktion (2) ovan och  $d$  är klassvidden (cm) (Meyer 1933a).

Fler funktioner för beskrivning och beräkning av diameterfördelningar återfinns i Bilaga 1.

Efter att Licourt presenterade den inverterade J-kurvan i slutet av 1800-talet har många undersökningar ägnats frågan om balanserade och idealiska diameterfördelningar. Knuchel (1953a) redovisar uppgifter från flera tidiga europeiska studier där fasta  $q$ -värden användes för att beskriva uthålliga diameterfördelningar. I USA kom framför allt Meyer (1933a, 1952) och Meyer & Stevenson (1943) att utveckla Licourts idéer och visade från såväl naturskogar i USA och Mexico som för fullskiktade kulturskogar i Schweiz att balanserade diameterfördelningar kunde beskrivas med fasta  $q$ -värden. Med ett fast  $q$ -värde kommer det logaritmerade stamantalet plottat över diametern att beskriva en rak linje vilket enligt Meyer därför på ett enkelt sätt kan användas som en kontroll av om diameterdelningen är balanserad (1933a, 1952). Leak (1964) anvisade en metod för att med hjälp av  $q$ -värdet mellan

diameterklasser och den räta linjens definition matematiskt beskriva även diameterfördelningar som inte är balanserade (se Bilaga 1).

Allt sedan dessa och andra tidiga studier har  $q$ -värdet genom sin enkla teori traditionellt använts för att beskriva och jämföra diameterfördelningen i fullskiktad skog (bl.a. Marquis 1978, Hann & Bare 1979, Nyland 1996). Ju högre  $q$ -värde desto brantare lutar kurvan för diameterfördelningen. Låga  $q$ -värden innebär en större andel mellanstora och stora träd medan ett högt  $q$ -värde innebär att det finns en större andel mindre träd (Lundqvist 2005). Givet samma maxdiameter kommer ett lägre  $q$ -värde innebära att tillväxten fördelas på totalt sett färre stammar med ett mer uttalat skikt av dominerande träd (Alexander & Edminster 1977). Vidare påverkas  $q$ -värdet av diameterklassernas bredd så att ju bredare klasser som används desto högre blir  $q$ -värdet (Lundqvist 2005).

Under senare tid har dock framförts tvivel för att balanserade beståndsstrukturer måste ha konstanta  $q$ -värden (Goff & West 1975, Leak 1978, Lundqvist 1992, Nyland 1996, Schütz 1999a). Till exempel hade Licourts diameterfördelning från 1898 inte fast  $q$ -värde, tvärtom så ökade  $q$ -värdet från minsta till största diameterklass. Vid simuleringar med en tillväxtmodell baserad på fullskiktade lövblandskogar i New York State USA, kom Hansen & Nyland (1987a) fram till att diameterfördelningar med fasta  $q$ -värden kunde ge underskott av stammar, framför allt i mindre diameterklasser. Buongiorno et al (2000) kom till liknande resultat vid simuleringar av olika uttagsstrategier med en tillväxtmodell för lövblandskogar i Wisconsin och Michigan USA.

Ett annat sätt att bestämma den fullskiktade skogens jämviktstillstånd är genom så kallade jämviktsmodeller. Sådana modeller har utvecklats av Prodan (1949b) och Schütz (1975 se Schütz 1999c) och baseras på kända uppgifter om inväxning till den minsta diameterklassen, önskad uttagsfördelning och diametertillväxten för respektive diameterklass.

Exempel på diametertillväxt för enskilda träd från centraleuropeiska blädningsskogar finns redovisade av bland andra Prodan (1949a), Knuchel (1953), Mitscherlich (1961) och Bachofen (1999). Motsvarande uppgifter för grandominerad skog skött med blädningsbruk under nordiska förhållanden är emellertid mycket knapphändiga. Från simuleringar med en tillväxtmodell baserad på svenska försöksytor från Siljansfors försökspark redovisar Chrimes & Lundqvist (2004) bl.a. uppgifter om diametertillväxt för enskilda träd.

Sterba (2004) använde tillväxtmodeller för att simulera utveckling hos bestånd under transformering. Med målet att skapa ett jämviktstillstånd testades såväl fast  $q$ -värde som en jämviktsmodell framtagen av Schütz (1975 se Schütz 1999c). Sterba kom fram till att såväl fast  $q$ -värde som jämviktsmodellen kunde generera jämviktstillstånd. Dessutom, för respektive metod fanns det inte bara en utan flera möjliga diameterfördelningar som resulterade i stabila beståndsstrukturer.

Nyland (1997) konstaterar att ofta är diameterfördelningen inte perfekt utan det är för många stammar i vissa klasser och för få i andra. För att upprätthålla en viss tillväxt i beståndet kan då överskott i en klass få kompensera för underskottet i en intilliggande. Sådana avvikelser från önskad diameterfördelning torde vara speciellt vanliga i bestånd under övergång till blädningsbruk (bl.a. Trimble & Smith 1976, Alexander & Edminster 1977, Frank & Blum 1978).



## Måldiameter, uttagsstrategier och blädningsintervall

Blädningsbruk ger goda förutsättningar att producera virke med grova dimensioner, grövre än vad som är normalt vid slutavverkning i enskiktad, likåldrig skog (bl.a. Braathe 1954, Børset 1986, Lundqvist 2005). Merparten av uttagsvolymen vid blädning är dessutom koncentrerad till de grövre diameterklasserna (bl.a. Bøhmer 1922, Burschel & Huss 1997, Schütz 1999a). Beroende på blädningsskogens tillväxtdynamik kommer samtidigt större delen av beståndets tillväxt ske hos de medelgrova träden som visats av Schütz (1975 se Schütz 1999c).

Det bestäms ofta en så kallad måldiameter som de grövsta träden bör växa fram till (bl.a. Bøhmer 1922, Skinnemoen 1969, Schütz 1999a). En viktig faktor för bestämning av måldiameter är värdetillväxten (Nyland 1997) vilken bland annat är beroende av lokalens växtpotential och ägarens förräntningskrav. Andra påverkande faktorer kan vara hänsyn till naturvård och eller rekreation (Marquis 1978). Måldiameteren behöver dock inte följas slaviskt, det enskilda trädets växtkraft, kvalitet och vitalitet har också betydelse för hur länge ett träd bör kvarhållas (Spiecker 1986, Schütz 1999a) Alltför stora träd kan dock orsaka mycket skador när de väl ska fällas (Børset 1986, Schütz 1999a).

I fullskiktad skog som befinner sig i jämvikt ska inväxningen till respektive diameterklass i princip balanseras av virkesuttag och naturlig avgång (bl.a. Prodan 1949b, Schütz 1975 se Schütz 1999c). Detta behöver dock inte nödvändigtvis innebära uttag i alla diameterklasser. Buongiorno & Michie (1980) och Buongiorno et al (2000) fann vid simulering av tillväxtmodeller baserad på lövblandskogar i Wisconsin respektive Michigan USA, att upprepad dimensionshuggning kunde resultera i jämviktstillstånd med fallande diameterfördelning. Vid en studie av fullskiktad grandominerad fjällskog behandlad med plockhuggning (stora uttag av huvudsakligen grövre träd), kom Lundqvist (2004) fram till att den fullskiktade beståndsstrukturen inte bara bibehölls utan även förstärktes.

Lähde et al (2001) undersökte hur tillväxt och struktur påverkades med olika uttagsstrategier och fann att blädning behöll och förstärkte en fallande diameterfördelning medan låggallring drog ihop diameterskalan mot en diameterfördelning liknande den i likåldrig skog. Dimensionshuggning där uttagen begränsades till de grövre diameterklasserna drog också ihop diameterskalan men gjorde fördelningskurvan brantare.

Roach (1974) uppger att upprepad dimensionshuggning förändrar den fallande diameterstrukturen som är typisk för fullskiktad skog. Genom att de grövre träden tas bort gynnas tillväxten hos mindre och medelstora träd. Samtidigt som det sker en ackumulering av stamantalet i de mindre diameterklasserna hämmas inväxningen vilket skapar en halvcirkelformad diameterfördelning. Detta gör att den fallande diameterfördelningen riskerar att kollapsa.

Om de minsta diameterklasserna lämnas oregrerade vid ingrepp kan det innebära att desto fler träd måste avverkas i diameterklassen närmast ovanför inväxningsgränsen. Dessutom innebär det att mer växtutrymme upptas för dessa minsta diameterklasser än vad den önskade diameterfördelningen anger (Alexander & Edminster 1977, Marquis 1978). Under Nordiska förhållanden där inväxningen ofta är mer sparsam kan det dock finnas skäl att vara försiktig med att avverka bland de mindre träden. Ju fler träd som avverkas givet samma uttagsstorlek desto högre inväxningsnivåer krävs och eftersom man sällan vet hur stor inväxningen blir finns det anledning att vara restriktiv med att avverka bland småträden (Lundqvist 2005).

Vid inventering är det av betydelse för såväl kostnader som kontroll över inväxningen vilken diametergräns (inväxningsgräns) som används. Högre inväxningsgräns ger enklare och

billigare inventeringsrutiner men innebär också sämre kontroll över förnyingsprocessen och därigenom framtida strukturförändringar (Lundqvist & Fridman 1995). Alexander & Edminster (1977) och Marquis (1978) anger att även om det inte är lönsamt eller ens önskvärt att minska antalet i de minsta diameterklasserna bör de inte ignoreras vid inventering.

För blädningsbruk finns det oavsett uttagsstrategi en risk för negativ genetisk selektion genom att de växtkraftigaste individerna tidigare når grova dimensioner och därigenom under kortare tid bidrar till frö för de nya generationerna (Børset 1986). Denna risk kan tänkas öka med upprepad dimensionshuggning. För att undersöka detta studerade Sokol et al (2004) tillväxten hos enskilda träd av rödgran (*Picea rubens* Sarg.) i Maine USA, som behandlats med traditionell blädning och dimensionshuggning under en 50-årsperiod. De kvarlämnade träden på de dimensionshuggna ytorna visade en signifikant lägre diametertillväxt jämfört med de blädade ytorna. Även Nyland (1996) påtalar risken med genetisk utarmning vid dimensionshuggning. För att motverka eventuell negativ effekt av genetiskt urval föreslår Buongiorno et al (2000) en modifierad dimensionshuggning med uttag även bland mindre träd som är undertryckta, skadade eller med dålig form.

Vid blädningsbruk går gallring och skörd av grova träd hand i hand under samma ingrepp. Lundqvist (2005) ger följande huvudregler för blädningssingreppet:

- bibehåll skiktningen i beståndet
- sök inte direkt gynna förnyringen utan vårda trädskiktet
- bibehåll ett högt och jämnt fördelat virkesförråd
- undvik att skapa luckor eller att utvidga existerande luckor

För det direkta trädvalet kan uttag ske enligt följande riktlinjer (Børset 1986):

- döende och sjuka träd
- kvalitativt dåliga träd och oönskade trädslag, speciellt om de hindrar eller trycker bättre stammar eller lovande ungskogsggrupper
- ungskogsggrupper gallras efter vanliga (trakthygges-) principer
- grova ”mogna” träd
- röjning i täta plantgrupper i den mån det är ekonomiskt försvarbart

Schütz (1999a) anger en prioritetsordning för olika åtgärder: (i fallande prioritetsordning)

1. ”tvångsuttag” (döende och sjuka träd)
2. ”skörd” (av grova ”mogna” träd)
3. struktureglering (friställning av fr.a. medelålders stammar för att stimulera tillväxt och öka vitaliteten)
4. ungskogsvård (gallring av fr.a. ungskog för styrning av trädslagssammansättning och för att stimulera kronutveckling hos framtidsstammar)
5. framhjälpande av hämmade förnyingsgrupper (i den mån det är behövligt för att säkra inväxningen till ungskogsggruppen)

Arbogast (1957) föreslår följande prioritering av träd som ska tas ut baserat på erfarenheter från (ofta obrukade) lövblandskogar i nordöstra USA: (i fallande prioritetsordning)

1. ”riskträd” som av olika anledningar inte tros överleva nästa tillväxtperiod
2. skadade eller på annat sätt kraftigt missformade träd som inte längre ökar i värde
3. kvalitativt dåliga träd
4. trädarter med låg skuggtolerans och lågt ekonomiskt värde
5. träd som trycker eller kraftigt hämmar framtidsstammar
6. grova ”mogna” träd

Spiecker (1986) anger att tillväxt och vitalitet kan förbättras betydligt genom att vid blädningssingrepp ta bort medelstora och stora träd med små kronor för att därmed stimulera kronutvecklingen hos mindre träd. Medan små träd kan stimuleras av kraftiga öppningar i dess närhet råder dock ofta motsatsen för stora träd (Spiecker (1986)).

Tiden mellan två blädningstillfällen, blädningsintervallet är beroende av beståndets bonitet (Børset 1986, Lundqvist 2005), önskad beståndstäthet (Alexander & Edminster 1978, Marquis 1978) samt tillgänglighet och skogsbrukets intensitet (Skindemoen (1969, Børset 1986)). Andra faktorer som kan påverka blädningsintervallet är lönsamhetskrav och avsättningsfluktuationer (Alexander & Edminster 1978, Nyland 1996).

För att upprätthålla en hög volymtillväxt anger Lundqvist (1992) att virkesförrådet efter ingrepp inte bör vara mindre än att den löpande tillväxten omedelbart efter ingrepp motsvarar 80–90 % av boniteten. För lövblandskogar i USA föreslår Marquis (1978) att lämplig tidpunkt för ingrepp är vid en virkesförrådsnivå motsvarande 80–90 % av maximalt virkesförråd, vid given medeldiameter och stamantal. För de aktuella skogstyperna angavs typiska blädningsintervall till 15–25 år.

I Centraleuropa är blädningsintervallen i allmänhet mellan 5–10 år (Matthews 1989). Schütz (1999a) föreslår 7–8 år som ett lämpligt intervall för marker med en tillväxt motsvarande ca 8–10 m<sup>3</sup>/ha/år men anger att för svagare marker och bergsskogor kan intervallet förlängas. Under norska förhållanden föreslår Børset (1986) att blädningsintervallet kan vara från 5 år för de bästa markerna till 10–15 år för mer extensiva förhållanden. Skindemoen (1969) anger på motsvarande sätt ett spann från 3–5 år upptill 20 år. Baserat på sin produktionsmodell för blädningsskog kom Bøhmer (1922) fram till att ett intervall på 5–20 år kan vara lämpligt ur ekonomisk/teknisk synpunkt. Bøhmer reste dock samtidigt tvivel för de längsta blädningsintervallen ur markvårdssynpunkt genom att marken i högre grad blir exponerad för väder och vind. För att minska negativa effekter av relativt starka reduktioner av virkesförråd och krontäckning vid långa blädningsintervall på upp till 20 år föreslår Bøhmer att dessa bör förkortas med en fjärdedel vilket skulle innebära ett längsta intervall på ca 15 år. För svenska förhållanden föreslår Lundqvist (2005) ett blädningsintervall på högst 15 år på goda marker (G28 och bättre), högst 20 år på medelgoda marker (G18–G26) och 30 år på svaga marker (G16 och sämre).

Kolström (1993) kom vid simuleringar av en framtagen tillväxtmodell baserad på provytor från östra Finland fram till att om blädningsintervallet förlängdes från 5 till 10 år kunde samtidigt uttagsstyrkan ökas från 15 % till 25–30 %.

Längre intervall ger större uttagsvolymmer vilket kan vara önskvärt ur ekonomisk synvinkel men påverkar de ekologiska förutsättningarna i beståndet. Schütz (1999a) liksom Lundqvist (2005) pekar på att stora uttag kan minska tillväxten och att inväxningen kan påverkas negativt. Också Ebert (1994) menar att täta och medelmåttliga uttag ger gynnsammare förnygringsförhållanden. På samma sätt som för gallringar i äldre granskog ökar troligen också risken för stormskador med ökade uttagsnivåer (Lundqvist (2005)). Ebert (1984) konstaterar att med kraftiga uttag bland de större träden ökar belastningen på kvarvarande träd markant. Spiecker (1986) anger att höga virkesförråd och kraftiga ingrepp försvagar de större träden och att blädningssingreppen därför bör ske ofta och med måttliga uttagsstyrkor.

## Jämförelser av tillväxt mellan blädningsskog och trakthyggesbruk

En central fråga är om produktionsförmågan vid blädningsskog är i nivå med den för likåldrig skog. Från Mellaneuropa där man ofta arbetar med bladskog av silvergran, gran och bok finns en del uppgifter över produktionen i skog skött med blädningsskog (bl.a. Knuchel 1953a, Osmaston 1968, Spiecker 1986, Schütz 1999a) men mer sällan har den aktuella produktionen jämförts med motsvarande produktionsförmåga i likåldrig skog.

Vilka förutsättningar bör då vara uppfyllda för att genomföra en jämförande tillväxtundersökning? Nedan följer en lista av faktorer som kan anses viktiga att beakta vid jämförande tillväxtundersökningar.

1. Skogen bör vara i balans dvs. att det inte föreligger några större skillnader i struktur och diameterfördelning över tiden. För att utjämna klimatiska fluktuationer bör en tillväxtundersökning dessutom följas under minst 20–30 år (Schütz 1999a).
2. Att markens produktionsförmåga blir rätt bedömd är naturligtvis av största vikt men är dock praktiskt svårt. I likåldrig skog används ofta höjdtvecklingskurvor med ålder och höjd på dominerande träd som ingående parametrar för bestämning av boniteten. I blädningsskog som saknar enhetlig ålder och höjd kan dylika kurvor inte okritiskt användas. Detta beror på svårigheter att rätt bestämma de dominerande trädens ålder och höjd i bestånd som mer eller mindre är gallrade ovanifrån. Ämnet behandlas utförligt av Andreassen (1994a) och Braathe (1954).
3. Schütz (1999a) menar att för direkta jämförelser av den löpande tillväxten mellan likåldrig skog och blädningsskog måste bestånden följas under minst en hel omloppstid beroende på att i likåldrig skog varierar den löpande tillväxten under omloppstiden.
4. Blädningsskog bygger på en kontinuerlig påfyllning med plantor vilken i största mån täcks genom naturlig föryngring och vissa marktyper kan därför anses vara mer lämpliga än andra i detta avseende (Andreassen 1994a, Schütz 1999a). Lundqvist (2005) påpekar att det inte är mängden plantor som är avgörande för att kunna bedriva blädning långsiktigt, det räcker att föryngringen förmår ersätta de träd som avverkas eller dör.
5. För likåldrig skog står tillväxten i princip i relation till virkesförrådet eller närmare bestämt den effektiva fotosyntetiserande ytan. Vissa undersökningar har visat på sådana samband även i fullskiktad skog (bl.a. Eyre & Zillgitt 1953, Erdman & Oberg 1973, Hansen & Nyland a 1987a, Lähde et al 1993, Chrimes & Lundqvist 2004). Av detta följer att markens produktionsförmåga kanske inte kan tillvaratas på ett optimalt sätt om virkesförrådet är för lågt.

## Tillväxt- och produktionsundersökningar i Norden

För mer information om de tillväxtmodeller som refereras till i detta avsnitt se Bilaga 2.

Under nordiska förhållanden har undersökningar av grandominerad blädningsskog gjorts i Norge, Sverige och Finland. Från Norge finns tre serier med försöksytor. Den första serien utgjordes av 41 tillfälliga ytor med grandominerad fullskiktad skog på mark med olika bördighet. Syftet med ytorna som anlades under ledning av Professor Bøhmer var att insamla data som underlag för en produktionsmodell. Inga direkta tillväxtuppgifter på beståndsnivå är redovisade varför försöksytorna inte behandlas vidare i detta arbete. Framtagen produktionsmodell och data för ytorna är beskriven av Bøhmer (1922).

Den andra försöksserien, också anlagd och administrerad av Bøhmer bestod ursprungligen av

35 fasta försöksytor anlagda 1925–1926. En beskrivning av ytorna och resultat finns redovisat av Bøhmer (1957). Flertalet ytor hade vid anläggning en fullskiktad struktur och sköttes med blädningsbruk under en period av 25–30 år. Behandlingen inriktades mot att skapa en beståndsstruktur beskriven i ett tidigare arbete (Bøhmer 1922) och där man kombinerade stamvis och gruppvis blädning. Resultaten för 27 ytor visade en årlig medeltillväxt (MAI) som låg plus minus ca 6 % av uppskattad produktion för motsvarande likåldrig skog. Boniteringen gjordes efter äldre svenska höjdtvecklingskurvor för likåldrig skog, s.k. Jonson-bonitet. Årlig relativ tillväxt var 2,0–4,8 % med ett genomsnitt på 3,3 %.

Under perioden 1921–1939 anlades en tredje serie med totalt 30 fasta försöksytor av Norska Skogsforskningsinstitutet. Resultat för 16 ytor är redovisat av Andreassen (1994b). Viktigare data återges i Tabell 1. Genomsnittlig årlig tillväxt (MAI) varierade från plus 21 % till minus 50 % med ett genomsnitt på minus 20 % i jämförelse med uppskattad produktion för likåldrig skog. Ytorna hade boniterats med flera boniteringsmetoder och vid jämförelsen användes ett genomsnitt av 4 metoder. För de flesta ytorna ökade det stående virkesförrådet under observationstiden men inga klara samband registrerades mellan stående virkesförråd och löpande tillväxt. Den årliga relativa tillväxten var i genomsnitt 3,7 % av stående virkesförråd. Andreassen kunde också visa på ett samband mellan graden av tillväxttapp och föryngringsvillkor. Marktyper med svåra föryngringsvillkor hade generellt större tillväxtförluster än de med goda föryngringsvillkor.

De svenska försöken utgörs av 11 fasta ytor belägna i Dalarna, Jämtland och Västerbotten. De flesta anlades under 1920-talet av dåvarande Institutionen för Skogsproduktion. Ytorna är beskrivna av Lundqvist (1989a,b). Viktigare data över ytorna återges i Tabell 1. Av de ursprungliga 11 ytorna är idag endast två aktiva. Ståndortsindex är uppskattade med ståndortsegenskaper enligt Hägglund & Lundmark (1987). Vid anläggning var ytorna fullskiktade med i huvudsak fallande diameterfördelning. Ytorna är skötta oberoende av varandra och utan en bestämd skötselplan eller förbestämd diameterfördelning. Vidare är ytorna inte skötta med någon uttalad målsättning att maximera volymen. På två av ytorna har jämsides med den stamvisa blädningen luckor om 15–25 m upptagits. Även för de flesta av de svenska ytorna ökade det stående virkesförrådet under observationstiden men inga klara samband framkommer mellan stående virkesförråd och löpande tillväxt. För 7 av ytorna var årlig medeltillväxt (MAI) i linje med eller över uppskattad produktion för likåldrig skog. Den årliga relativa tillväxten mellan revisioner varierade för de 11 ytorna mellan 1–7 % av stående virkesförråd, för flertalet ytor 2–4 %.

Tabell 1. Data över norska och svenska blädningssytor sammanställda efter Andreassen 1994b och Lundqvist 1989b. Värden inom parantes anger medeltal

	Norska ytor <sup>a</sup>	Svenska ytor <sup>b</sup>
<b>Antal ytor</b>	16	11
<b>Observationstid, år</b>	27–65 (51)	20–63 (46)
<b>SI H40 för Norge och H100 för Sverige, m</b>	11–22,8 (16,4)	G18–G24 (G22,2)
<b>Bonitet vid medeltillväxtens kulmination m<sup>3</sup>sk ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>	3,6–11,9 (7,1)	3,3–6,1 (5,2)
<b>Observerad tillväxt, MAI m<sup>3</sup>sk ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup></b>	2,3–9,7 (5,5)	2,8–7,6 (4,8)
<b>Markvegetationstyp enligt respektive lands klassificeringssystem</b>	blåbär 3 ytor, lågört 7 ytor småbråken 3 ytor, högört 3 ytor	blåbär frisk mark
<b>Volymvägd granandel vid start av ytorna % av stående virkesförråd</b>	12 ytor 90–100, 3 ytor 75–89, 1 yta 60–74	7 ytor 90–100, 1 yta 75–89, 3 ytor 60–74
<b>Ytstorlek, ha</b>	0,20–1,24 (0,72)	0,25–1,0 (0,63)
<b>Blädningsintervall, år</b>	4–27 (8,9)	5–13 (8,6)

<sup>a</sup> Skogsforskningsinstitutet <sup>b</sup> Institutionen för Skogsproduktion

Lähde et al (1993) undersökte tillväxten på ytor i sydvästra Finland, ingående i den finländska riksskogstaxeringen 1951–1953. För såväl enskiktade som fullskiktade grandominerade ytor ökade tillväxten linjärt med ökande virkesförråd. Den årliga medeltillväxten (MAI) under en femårsperiod var för enskiktade (likåldriga) ytor 4,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> och för fullskiktade ytor 5,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> motsvarande en relativ årlig tillväxt på 3,1 respektive 3,6 %.

Liknande resultat redovisas av Lähde et al (2002) vid en parvis jämförande undersökning av låggallring och blädning. Löpande årlig tillväxt (CAI) ökade linjärt med ökande virkesförråd, och för 18 av de 23 parvisa ytorna var CAI högre för de ytor som behandlats med blädning.

Relativ årlig tillväxt under den i genomsnitt 11-åriga tillväxtperioden var i genomsnitt 3,6 % för blädningssytor och 2,4 % för låggallrade ytor. Ytorna som var belägna på god mark i södra och mellersta Finland, var grandominerade och hade alla före ingrepp en fallande diameterfördelning.

Kolström (1993) kom vid simuleringar med en framtagen matrismodell baserad på finska förutsättningar fram till att beståndsstrukturen (uttryckt med q-värdet) hade mycket liten inverkan på den uthålliga uttagsnivån. Effekten var dessutom lika låg oavsett beståndets grundyta. Simuleringar under en 90-årsperiod visade också att uttagsstyrkan kunde ökas från 15 % till 25–30 % samtidigt som gallringsintervallet förlängdes från 5 till 10 år med endast små skillnader i totalproduktion.

Vid en studie av tillväxt och struktur i södra Finland jämfördes blädning med låggallring och dimensionshuggning (Lähde et al 2001). Behandlingarna utfördes dels i yngre och dels i äldre

bestånd. För de yngre ytorna befanns den årliga löpande tillväxten vara signifikant lägre vid dimensionshuggning ( $5,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) jämfört med blädning ( $11,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) och låggallring ( $10,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ). Motsvarande värden för de äldre ytorna var 3,8 4,6 respektive  $3,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  men utan signifikanta skillnader. Det bör observeras att stående volym efter ingrepp var betydligt lägre vid dimensionshuggning än för de andra två behandlingarna. De yngre ytorna gallrades/blädades två gånger med åtta års mellanrum medan de äldre ytorna gallrades/blädades en gång. Observationstiden varierade mellan 8–11 år. Alla ytor var grandominerade och hade före ingrepp en fallande diameterfördelning. Åtminstone de yngre bestånden var uppkomna under fröträd och troligen relativt likåldriga. Det poängterades att uttagen vid blädning främst inriktades på de grövre träden även om vissa uttag också gjordes bland mindre diameterklasser.

I Norge har Andreassen & Øjen (2002) utvecklat beståndsbaserade tillväxtmodeller för fullskiktad skog, dels för volymtillväxt och dels för grundyttemedelstammens diametertillväxt. Modellerna är baserade på norska försöksytor skötta med blädningsbruk och följda under många år. Vid simuleringar där framtagna modeller jämfördes med modeller för enskiktad, likåldrig skog befanns löpande tillväxt vara högre för enskiktad skog och skillnaden ökade med stigande virkesförråd och ökande bonitet.

Vid simuleringar med en framtagen tillväxtmodell baserad på svenska blädningssytor kom Chrimes & Lundqvist (2004) fram till att olika uttagsstrategier som ändrade beståndsstrukturen resulterade i olika tillväxtnivåer trots oförändrade virkesförråd. Vid simuleringen jämfördes tre behandlingar: blädning som tog ut lika många stammar i alla diameterklasser, dimensionsavverkning som begränsades till de grövsta diameterklasserna och schematiskt uttag som tog ut en konstant volymandel från alla diameterklasser. Den högsta medeltillväxten (MAI) under den simulerade 5-årsperioden erhöles vid dimensionsavverkning ( $5,8 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) och blädning ( $5,4 \text{ m}^3 \text{ sk/ha/år}$ ) medan schematiskt uttag hade lägst tillväxt ( $4,7 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ). För respektive uttagsstrategi visade simuleringarna ett positivt icke linjärt samband mellan årlig medeltillväxt och stående virkesförråd.

## **Tillväxt- och produktionsundersökningar i övriga Europa**

För mer information om de tillväxtmodeller som refereras till i detta avsnitt se Bilaga 2.

För blandskogar med gran (*Picea abies* (L.) Karst), silvergran (*Abies alba* Mill.) och bok (*Fagus sylvatica* L.) i tyska Schwarzwald rapporterar Mitscherlich (1961) om ett svagt positivt samband mellan löpande årlig tillväxt (CAI) och stående virkesförråd. Materialet utgjordes av 159 observationer från 14 försöksytor skötta med blädningsbruk med en observationstid av 35 år. Med ett virkesförråd från 200–700  $\text{m}^3/\text{ha}$  erhöles en årlig tillväxtprocent på 1,7–5,1 %

Inom samma region undersökte Kern (1966) skillnader i tillväxt och ekologiska förhållanden hos två blädningssytor och två likåldriga ytor. Ytorna hade skötts med blädningsbruk respektive trakthyggesbruk under lång tid men tillväxtundersökningen begränsades till den senaste 10-årsperioden (1951–1960). De likåldriga ytorna hade olika ålder (58 resp. 136 år) och genomsnittligt virkesförråd under perioden (200 resp.  $715 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Även blädningssytor skiljde sig åt genom olika virkesförråd (262 resp.  $333 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) men också genom olika struktur (låg resp. hög andel grova träd). Årlig medeltillväxt (MAI) under perioden för de likåldriga ytorna rapporterades till  $8,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  för ytan med lägre virkesförråd och  $12,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  för ytan med högre virkesförråd. Motsvarande värden för blädningssytor var 7,9 resp.  $12,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ .

Också Spiecker (1986) studerade blädningssytor i Schwarzwald. Sju försöksytor med olika virkesförråd och trädslagssammansättning jämfördes under en 34-årig observationstid. Inga klara samband observerades mellan stående virkesförråd och löpande tillväxt. Ytorna hade skötts med ofta återkommande blädningar och med ett virkesförråd för flertalet ytor på 350–550 m<sup>3</sup>/ha.

Badoux (1949 se Schütz 1999b) visade från iakttagelser på sex blädningssytor i Schweiz att det enskilda trädets volymtillväxt i relation till använt kronutrymme ökade snabbt med stigande diameter till en kulminationspunkt för att därefter snabbt avta. För både gran och silvergran uppnåddes kulminationen vid en brösthöjdsdiameter mellan 35 och 45 cm.

Schütz (1975 se Schütz 1999c) som arbetade med simuleringar baserade på blandskogar med gran, silvergran och bok i Juraområdet, Schweiz kom fram till att den uthålliga tillväxtnivån kunde bibehållas eller till och med öka vid förändrad beståndsstruktur. Genom att minska beståndets största diameter och virkesförråd från 120 cm och 359 m<sup>3</sup>/ha till 60 cm och 261 m<sup>3</sup>/ha ändrades den årliga tillväxtnivån från 7,3 till 7,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Baserat på observationer från Badoux (1949 se Schütz 1999b) förklarade Schütz den likartade tillväxtnivån med att de största träden (>50 cm) inte har en tillväxt som står i relation till det kronutrymme som dessa träd upptar. Genom att inte tillåta träd över en viss diameter kan motsvarande kronutrymme i stället föras över till mindre och mer ”tillväxteffektiva” träd varför tillväxten kan upprätthållas. Vid simuleringen minskade andelen grovt virke över 40 cm (starkholz) från 50 till 12 %.

Schütz (1999a) visade att diametertillväxten avtar med graden av överskärning  $G_{cum}$  definierat som summa grundyta för träd med höjd över det aktuella trädets. För det undersökta beståndet som dominerades av gran och silvergran skedde en dramatisk minskning av diametertillväxten vid ett  $G_{cum}$ -värde på ca 28–29 m<sup>2</sup>/ha och vid ca 34 m<sup>2</sup>/ha kunde de minsta träden inte generera någon grundytetillväxt alls.

Bachofen (1999) undersökte data från två bestånd i Schweiz vilka regelbundet hade skötts med blädningsbruk under en period av 70 respektive 85 år. För respektive tillväxtperiod jämfördes årlig periodisk tillväxt med virkesförrådets storlek men inget direkt samband kunde urskiljas.

## **Tillväxt- och produktionsundersökningar i USA**

I USA har det gjorts ett flertal undersökningar av tillväxt och struktur i fullskiktad skog. Merparten av dessa är gjorda inom ”Northern Forest Region” med området New England och staterna kring de stora sjöarna samt ”Appalachian Forest Region” omfattande skogsområdena mellan Atlanten och USA:s inre delar. Inom dessa regioner förekommer ett flertal trädslag som ofta bildar blandskogstyper dominerade av lövträd (About.com: Forestry, <http://forestry.about.com>, 07-02-11).

Eyre & Zillgitt (1953) redovisar 20 års erfarenhet av plockhuggning och blädningsbruk från området runt de stora sjöarna. Man undersökte bland annat tillväxt- och strukturförändringar för nio olika avverkningsstrategier som skiljde sig åt genom olika virkesförrådsnivåer och uttagets fördelning på diameterklasser. Skogen dominerades av sockerlönna (*Acer saccharum* Marsh) och gulbjörk (*Betula alleghaniensis* Britt). För de flesta behandlingar gjordes ett uttag år noll. Oberoende av avverkningsstrategi plottades tillväxtobservationer mot stående virkesförråd vilket resulterade i ett icke linjärt positivt samband. Det bör observeras att försöksområdet huvudsakligen utgjordes av orörd klimaxskog och att behandlingen var mycket extensiv med oftast endast ett uttag under 20-årsperioden.



Från West Virginia rapporterar Trimble (1968) om tillväxt i huvudsakligen likåldriga lövblandskogar under omvandling till fullskiktad skog. Blädning utfördes på en bättre och en sämre markttyp med vardera tre virkesförrådsnivåer. Strukturen sökte man hålla lika för alla behandlingar genom att använda samma q-värde. Ytorna följdes under tio år. Inget samband registrerades mellan virkesförrådets storlek och årlig medeltillväxt (MAI) för någon av markttyperna. Emellertid fanns det signifikanta skillnader när tillväxten fördelades på två diametergrupper, 12,5–27,5 cm dbh och >27,5 cm dbh. Medan de grövre träden ökade sin årliga medeltillväxt (MAI) med ökande beståndsvolym visade träden i den mindre diametergruppen den omvända reaktionen.

Erdman & Oberg (1973) undersökte också tillväxtförhållanden i lövblandskogar under konvertering. Studien utfördes i medelålders och till övervägande del likåldrig skog i Wisconsin USA. Under tre tillväxtperioder på totalt 15 år registrerades tillväxten för 6 olika behandlingar. Tre olika blädningsbehandlingar med olika virkesförrådsnivåer jämfördes med dimensionshuggning (uttag >20 cm diameter i stubbhöjd), krongallring där 75–125 huvudstammar friställdes samt en kontrolyta. Under perioden gjordes två ingrepp på blädningstorna och ett ingrepp för övriga behandlingar. Högst årlig medeltillväxt (MAI) uppnåddes med krongallring trots relativt lågt stående virkesförråd men inga signifikanta skillnader registrerades mellan behandlingarna. Tydliga samband erhöles dock när årlig löpande tillväxt för varje provyta och period plottades mot stående virkesförråd. Löpande grundytetillväxt steg med ökande grundyta snabbt till en kulminationspunkt för att därefter sakta sjunka.

Med en produktionsmodell utvecklad av Ek (1974) arbetade Adams & Ek (1974) med ekonomisk optimering med utnyttjande av matematisk programmeringsteknik. Baserat på en 5-årig tillväxtperiod beräknades en värdeoptimal diameterfördelning för olika virkesförrådsnivåer (14–28 m<sup>2</sup>/ha). Medan värdetillväxten visade stora skillnader för olika virkesförrådsnivåer så var volymtillväxten i stort sett oförändrad. Framtagna diameterfördelningar hade samma måldiameter och angavs vara uthålliga dvs. tillväxten kunde uttas med jämna intervall samtidigt som struktur och virkesförråd var oförändrad. Produktionsmodellen av Ek (1974) baseras på likåldriga och olikåldriga lövblandskogar dominerade av sockerlön (*Acer saccharum* Marsh.) i Wisconsin USA.

Solomon (1977) undersökte tillväxtförhållanden i lövblandskogar i New Hampshire USA, dominerade av amerikansk bok (*Fagus grandifolia*), rödlön (*Acer rubrum*) och pappersbjörk (*Betula papyrifera*). Ytorna som alla hade fallande diameterfördelningar följdes under en 10-årsperiod. De var uppdelade på fyra grundytanivåer och tre beståndsstrukturer (olika sågtimmerandel), totalt tolv behandlingar. Inga tydliga samband kunde urskiljas mellan beståndets täthet (grundyta) och årlig medeltillväxt (MAI) under tioårsperioden, givet samma struktur. Det fanns en tendens till minskad tillväxt med ökande sågtimmerandel (ökande q-värde).

Liknande resultat redovisas av Crow et al (1981) vid undersökning av tillväxt och struktur i fullskiktade lövblandskogar i Michigan USA, dominerade av sockerlön. De kom fram till att beståndets grundyta kunde varieras inom vida gränser utan några signifikanta skillnader i årlig medeltillväxt (MAI). Vid periodstart var merparten av virkesförrådet samlad till de grövre diameterklasserna. Ytorna följdes under en period av 20 år med uttag år noll, fem, tio och femton år. Man poängterade att det tillämpades olika riktlinjer för stamfördelning och största diameter vid uttagen beroende på ytornas grundyta vilket resulterade i olika beståndsstrukturer.

Crow et al gjorde också tillväxtsimuleringar med olika virkesförråd (grundyta) och diameterfördelningar ( $q$ -värde 1,1–1,4) med en produktionsmodell utvecklad av Moser (1974). Modellen som baseras på fullskiktade lövblandskogar dominerade av sockerlön prognostiserar tillväxt per diameterklass med hänsyn till inväxning och mortalitet. För en simuleringsperiod på 20 år redovisades betydande skillnader i årlig nettotillväxt vid ändrad diameterfördelning trots oförändrade virkesförråd.

Solomon & Frank (1983) undersökte tillväxtreaktioner hos fullskiktade barrdominerade blandskogar (spuce-fir forest type) i Maine USA följda under en 20-årsperiod. År noll, fem och tio gjordes uttag i form av blädning. Resultaten visade att årlig medeltillväxt (MAI) var relativt opåverkad av ytornas grundyta efter ingrepp. Emellertid fanns det signifikanta skillnader när tillväxten fördelades på två diametergrupper, 11,4–24,1 cm dbh (poletimber) och >24,1 cm dbh (sawtimber). Medan den grövre diametergruppen ökade sin årliga medeltillväxt (MAI) med ökande beståndsgrundyta, visade de klenare träden den omvända reaktionen. Detta förklarades med att det skedde en ackumulering av grövre träd med god tillväxt när grundytan ökade medan inväxningen samtidigt hämmades.

Hansen & Nyland (1987a) undersökte tillväxtförhållanden för sockerlön (*Acer saccharum* Marsh.) med en tidigare framtagen tillväxtmodell (Hansen 1983) baserad på tillväxtdata från skogar dominerade av sockerlön i New York State USA. De redovisade ett icke linjärt samband mellan årlig medeltillväxt (MAI) för träd >15 cm dbh och stående virkesförråd (grundyta). Man undersökte också hur medeltillväxten påverkades vid förändringar av: maxdiameter (40–60 cm), diameterfördelning definierad med  $q$ -värdet (1,2–1,8) och blädningsintervall (10–30 år). Härvid framkom att:

- tillväxten ökade med grövre maxdiameter
- tillväxten ökade med lägre  $q$ -värde
- tillväxten ökade med kortare blädningsintervall, kortare intervall ledde också till att tillväxten kulminerade vid lägre virkesförrådsnivåer

Man fann vidare att flera av modellbestånden med fasta  $q$ -värden inte hade en uthållig virkesproduktion genom att det blev underskott av stammar i vissa av de mindre diameterklasserna. Genom att i stället använda olika  $q$ -värden genom diameterskalan, från  $q=1,8$  för de minsta diameterklasserna upp till  $q=1,2$  för de grövsta erhöles en stabil diameterfördelning

Buongiorno et al (2000) undersökte tillväxt- och strukturförändringar med en tillväxtmodell baserad på fullskiktade lövblandskogar (maple-beech-birch forest type) i Wisconsin och Michigan USA. Blädning med tre olika virkesförrådsnivåer och dimensionsavverkning med tre olika diametergränser jämfördes under en 120-årig simuleringsperiod. Ett gemensamt utgångsbestånd användes för alla uttagsstrategier, och uttagsintervall simulerades för tio, femton eller tjugo år. Högst årlig medeltillväxt (MAI) under perioden uppnåddes med de två kraftigaste dimensionsavverkningarna (1,3 resp. 1,1  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) följt av den kraftigaste blädningsbehandlingen (0,8  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ). Blädningsintervallet däremot hade mycket liten betydelse på medeltillväxten. Vid simuleringsperiodens slut (120 år) hade de olika uttagsstrategierna resulterat i beståndsstrukturer nära jämviktsläge men de önskade virkesförråden för blädningsbehandlingarna kunde dock inte uppnås beroende på en konstant brist av stammar 10–25 cm orsakad av otillräcklig inväxning.

## **Modellering av konkurrensförhållanden i fullskiktad skog**

En genomgång av tillväxtmodeller för fullskiktad skog, både för enskilda träd och bestånd ges

av Peng (2000). För mer information om de tillväxtmodeller som refereras till i detta avsnitt se Bilaga 2.

Vid konstruktion av tillväxtmodeller för enskilda träd krävs att konkurrenssituationen kan beskrivas och definieras i form av modellvariabler. I fullskiktad skog är konkurrenssituationen komplex där trädets förmåga att uppta vatten/näring och ljus är avgörande för tillväxt och ytterst för överlevnad. Weiner (1990) beskriver konkurrens mellan trädindivider som symmetrisk, osymmetrisk eller som en kombination av bägge. Symmetrisk konkurrens (tvåsidig konkurrens eller rotkonkurrens) innebär att trädet konkurrerar i förhållande till sin storlek medan asymmetrisk konkurrens gör att större individer har en oproportionerligt stor fördel gentemot mindre individer. Symmetrisk konkurrens förklaras som konkurrens om vatten och näring och att trädet upptar dessa resurser i förhållande till sin rotmassa (storlek) medan osymmetrisk konkurrens framför allt uppstår som ett resultat av begränsad tillgång på ljus (Weiner 1990).

Vid symmetrisk konkurrens kommer tillväxten att sjunka relativt sett lika mycket för alla träd när beståndstätheten ökar, förutsatt att vatten och näring är jämnt fördelade. Vid asymmetrisk konkurrens däremot kommer stora träd att påverkas relativt sett lite av ökad beståndstäthet medan förändringen för de minsta träden kan innebära att tillväxten stagnerar eller i värsta fall till att trädet dukar under (Lundqvist & Fridman 1995). Baserat på ovanstående kan man anta att konkurrenssituationen förändras från huvudsakligen symmetrisk till osymmetrisk med ökad beståndstäthet. Detta resonemang tillämpade Chrimes & Lundqvist (2004) vid konstruktion av sin tillväxtmodell för fullskiktad grandominerad skog.

I tillväxtmodeller för enskilda träd kan man skilja på de oberoende variabler som anger beståndets täthet och de som uttrycker trädets ställning i beståndet (se bl.a. Stage 1973). Inte sällan kan en variabel anses uttrycka såväl trädets ställning i beståndet som beståndets täthet varför indelningen inte är användningsfri. Gemensamt för dessa typer av variabler är att de uttrycker konkurrens mellan träd på olika sätt.

För att uttrycka den totala tätheten i beståndet använde Söderberg (1985) beståndets totala grundyta. Denna variabel användes också av Andreassen & Tomter (2003) i kombination med grundytavgd diameter.

Stage (1973), Wykoff (1990) och Monserud & Sterba (1995) använde en variabel bestående av trädkronans längd som andel av trädets längd, "crown ratio". Crown ratio kan sägas uttrycka trädets fotosyntetiserande potential och inkluderar i jämförelse med total grundyta också effekter av tidigare behandling.

En tredje variabel för att beskriva tätheten i fullskiktad skog är "crown competition factor" CCF beskriven av Krajicek et al (1961). CCF anger den samlade kronprojektionsarean för alla träd i förhållande till beståndets totala areal. Kronprojektionsarea definieras härvid för fristående träd som växer helt utan konkurrens. Ett CCF-värde på 100 anger full krontäckning utan att kronorna överlappar varandra medan ökande värde visar att kronorna överlappar varandra indikerande ökande grad av konkurrens. CCF har tidigare använts i tillväxtmodeller av Wykoff (1990) och Monserud & Sterba (1995). Under europeiska förhållanden har Hasenauer et al (1994) framtagit CCF-funktioner för vanliga trädslag i Österrike.

Även om beståndets täthet uttryckt genom ovanstående variabler är en viktig faktor för att modellera diametertillväxten i fullskiktad skog är det i allmänhet inte tillräckligt för att

beskriva den komplexa konkurrenssituationen för det enskilda trädet. I modeller för enskilda träd används därför ofta också en variabel som uttrycker trädets ställning i beståndet.

Stage (1973) föreslog en variabel bestående av kvoten av trädets diameter i brösthöjd och grundytamedelstammens diameter, alternativt det enskilda trädets percentil i grundyta. För percentil i grundyta får det största trädet värdet 100 medan värdet 75 anger att 75 % av alla träd per ytenhet har en grundyta som är mindre än det aktuella trädets grundyta.

Schütz (1975 se Schütz 1999c) visade för fullskiktade barrdominerade skogar i Schweiz ett starkt samband mellan diametertillväxt och grundyta för överskärmande träd,  $G_{cum}$  (überschirmungsindex) definierat som summa grundyta för träd vars höjd är högre än det aktuella trädets/diameterklassens. För de största träden var dock sambandet svagt vilket förklarades med att de dominerande träden har en fri ställning praktiskt taget utan överskärning och tillväxten är då mer beroende av andra faktorer, framför allt kronans storlek. Variabeln grundyta för överskärmande träd har tidigare använts i tillväxtmodeller för fullskiktad skog, såväl för bestånd (Moser 1974) som för enskilda träd (Wykoff 1990, Monserud & Sterba 1995). Även Chrimes & Lundqvist (2004) använde i sin beståndsmodell grundyta för överskärmande träd, då definierad som grundyta för träd vars höjd är minst 2m högre än den aktuella diameterklassens.

I tillväxtmodeller för enskilda träd använde Söderberg (1985) en variabel bestående av kvoten av diametern i brösthöjd och beståndets största diameter för att beskriva trädets ställning i beståndet medan Andreassen & Tomter (2003) i sin modell, utnyttjade kvoten av diametern i brösthöjd och grundytamedelstammens diameter.

Baserat på friväxande träd utan konkurrens har Hasenauer et al (1994) utvecklat funktioner för sambandet mellan höjd och diameter vilket man föreslår kan användas för att beskriva det enskilda trädets ställning i beståndet. Genom att jämföra kvoten för ett träd utsatt för konkurrens i ett bestånd med kvoten för motsvarande friväxande träd erhålls ett relativt mått på trädets konkurrenssituation.

## **Sammanfattning av litteraturstudie**

### ***Inledande definitioner och begrepp***

Blädning och blädningsbruk har definierats på olika sätt i olika länder och av olika författare. De flesta författare poängterar att skogen ska vara fullskiktad så att det finns träd i alla utvecklingsstadier. Typiskt för sådan skog är att det blir stegvis färre stammar med ökande diameter.

Den klassiska formen av blädningsbruk kännetecknas av att stora och små träd samt plantor står blandade om varandra på varje mindre yta. I grandominerad fullskiktad skog under nordiska förhållanden är det dock vanligt att träd även förekommer i mindre grupper. Anledningen till detta kan vara att uttag av endast ett moget träd kan vara för lite för att få upp förnygring i grandominerad skog.

Två motstående avverkningsstrategier i fullskiktad skog är blädning (single-tree selection) och dimensionshuggning (dimension cutting/diameter-limit cutting). Vid blädning uttas träd i alla diameterklasser för att upprätthålla en förbestämmd diameterfördelning medan dimensionshuggning innebär att uttag endast sker bland de grävsta diameterklasserna.

Under åren lopp har ett antal metoder använts i Sverige som ansetts vara olika former av blädningsbruk. Mycket av blädningsbrukets dåliga rykte beror på att man i början och mitten av

seklet tillämpade blädningsbruk som plockhuggning och dimensionsavverkning efterlämnande små virkesförråd, metoder som inte har något gemensamt med blädningsbruk.

Centralt inom blädningsbruk är strävan efter en stabil beståndsstruktur, ett jämviktstillstånd (equilibrium/balanced) med vilket menas att den kvarvarande skogen efter varje ingrepp återfår en viss ursprunglig diameterfördelning.

I utländsk litteratur definieras ofta en skogsskötselmetod benämnd "group selection system". Metoden baseras på grupper med likåldrig skog blandade inom samma bestånd så att alla ålderklasser är representerade. Denna skötselmetod anses gynna mer ljuskrävande trädslag. Group selection system ska inte förväxlas med "luckhuggning" som innebär en stegvis föryngring av ett bestånd där man på sikt strävar efter att utjämna initiala olikheter. Gränsen mellan vad som är group selection system eller trakthyggesbruk med många små hyggen har dock definierats på olika sätt av olika författare.

### ***Diameterfördelningen i fullskiktad skog***

I enskiktad, likåldrig skog har träden vanligen störst diametertillväxt i ungdomen för att sedan avta ju större träden blir. För fullskiktad skog skött med blädningsbruk är förhållandet ofta det omvända det vill säga diametertillväxten ökar med diametern och kulminerar inte förrän träden är mycket grova. Den fallande diameterfördelningen i fullskiktad skog beror på den accelererande diametertillväxten som gör att träden växer igenom diameterklasserna allt snabbare. Stamantalet per diameterklass plottat över diameterskalan ger då en kurva liknande ett lutande spegelvänt J och diameterfördelningen benämns därför ofta inverterat J-formad. Beståndsstrukturen vid traditionellt blädningsbruk anses sällan förekomma naturligt i skogsekosystemen och kräver regelbundna ingrepp för att vidmakthållas.

Ett vanligt sätt att beskriva diameterfördelningen i fullskiktad skog är med det så kallade q-värdet som anger förändringen av stamantalet mellan två diameterklasser. Ett över hela diameterskalan fast q-värde har dessutom ofta använts som mall för att skapa en lämplig beståndsstruktur. Det har dock inte framkommit några bevis för att förändringen i stamantal måste falla på ett sådant systematiskt sätt. Vissa studier har kommit fram till att det är lämpligare eller till och med nödvändigt att tillämpa olika q-värden över diameterskalan.

### ***Virkesuttag, avverkningsstrategier och blädningsintervall***

Inom blädningsbruk bestäms ofta en så kallad måldiameter, den diameter som de grövsta träden bör växa fram till. Val av måldiameter styrs framför allt av värdetillväxten men också restriktioner som naturvård och rekreation kan vara av betydelse.

Blädningsbruk ger goda möjligheter att driva fram virke till grova dimensioner, grövre än vad som är normalt inom dagens trakthyggesbruk. Huvuddelen av uttagsvolymen vid blädning är dessutom koncentrerad till de grövre diameterklasserna.

Blädningsbruk förknippas traditionellt med uttag i alla storleksklasser så att en definierad fallande diameterfördelning upprätthålls. Att avverka mindre träd ger dock försämrade drivningsekonomi och ökad tidsåtgång vid eventuell stämpling. Det kan också finnas anledning att vara återhållsam med avverkning av mindre träd och ungskog, framför allt under nordiska förhållanden, eftersom antalet träd som avverkas inte kan överstiga inväxningen och man sällan vet hur stor inväxningen är.

Av ovanstående anledningar kan det vara intressant med avverkningsstrategier som helt inriktas mot de grövre träden t.ex. dimensionshuggning. En kritik som framförts mot dimensionshuggning är att

den fallande diameterfördelningen som är typisk för fullskiktad skog förändras och till och med kan kollapsa. Effekten av eventuellt negativt genetiskt urval riskerar också att förstärkas.

Vid blädningssingreppet sker olika uttagsåtgärder parallellt, skörd av grova ”mogna” träd, friställning av medelålders träd och gallring i ungskogsgrupper. Uttagets fördelning på diameterklasser beror dels på uttagsstrategi men också på beståndets karaktär och aktuella utseende. Uttag sker i första hand bland oönskade trädslag, skadade, sjuka eller kvalitativt dåliga träd samt ”mogna” träd.

Blädningssintervallerna dvs. tidsrymden mellan ingrepp har också stor betydelse för drivningsekonomi. Längre intervall ger större volym att avverka och därför mer ekonomiskt attraktivt. Med tanke på inväxning tillväxt och stormrisk anses dock korta intervall vara att föredra. Under nordiska förhållanden är blädningssintervallen ofta 5–20 år, kortare intervall på bättre marktper och marker med goda åtkomstmöjligheter.

### ***Tillväxt- och produktionsundersökningar i Norden***

Av flera orsaker är det förenat med svårigheter att jämföra produktionspotentialen i skog skött med blädningssbruk i jämförelse med traditionellt trakthyggesbruk. En av de mest uppenbara orsakerna idag är att det helt enkelt inte finns tillräckligt av fullskiktade skogar lämpliga för blädningssundersökningar.

Från Sverige och Norge finns bearbetade och jämförbara data från huvudsakligen två försöksserier skötta med blädningssbruk. Flertalet av försöksytorna anlades under 1920-talet och har följts under en period av 25–60 år. Av dessa försöksytor återstår idag endast ett fåtal.

Medan de svenska ytorna i hög grad visade en medeltillväxt i nivå med uppskattad bonitet visade den norska försöksserien för flertalet ytor en tillväxtnivå som var lägre jämfört med bedömd produktionsförmåga. Variationen mellan olika ytor var dock mycket stor både i den svenska och norska serien. Det bör poängteras att det finns vetenskapliga brister i undersökningarna, bland annat avsaknad av eller oklara skötsel mål liksom låg grad av konsekvens i behandlingarna. För varken de svenska eller norska ytorna framkom några klara samband mellan virkesförrådets storlek och årlig löpande tillväxt. Sådana samband har dock redovisats vid en del andra undersökningar.

Resultaten från olika undersökningar baserat på nordiska förhållanden indikerar dock att den relativa tillväxten i grandominerad skog skött med blädningssbruk i de flesta fall kan antas vara i storleksordningen 2–4 % av stående virkesförråd.

### ***Tillväxt- och produktionsundersökningar i övriga Europa och USA***

Det är endast ett fåtal undersökningar i Europa där tillväxten från blädningssbruk jämförts med den från trakthyggesbruk såsom gjorts för de norska och svenska ytorna. De få undersökningar som gjorts har inte påvisat några klara skillnader i tillväxtnivåer mellan skötselssystemen.

Däremot har många studier, såväl i Europa som i USA, ägnats frågor om hur faktorer som avverkningsstrategier, måldiameter, diameterfördelning och virkesförrådets storlek påverkar tillväxt och produktion. Vissa forskare redovisar klara samband mellan tillväxt och stående virkesförråd medan flera andra inte finner några samband alls eller redovisar otydliga resultat. Inte heller vad gäller strukturberoende faktorer framkommer någon klar bild av dess inverkan på tillväxten.

## Material

Denna undersökning baseras på trädoobservationer från 5 svenska försöksytor skötta med blädningsbruk. För urvalet av försöksytor uppställdes vissa kriterier beskrivna i Bilaga 3. Ytorna Vs 7.2 och Vs 7.4 är belägna på Svartberget i Västerbotten tillhörande Vindelns försökspark och ytorna Sf 56.1 och Sf 56.2 är belägna i Dalarna på Siljansfors försökspark. Dessa fyra ytor ingår i en serie om elva ytor, de flesta anlagda under 1920-talet av dåvarande Statens Skogsforskningsinstitut och är alla belägna i mellersta och norra Sverige på medelmåttliga boniteter (SI G18–G24). Under mitten av 1980-talet anlades en demonstrations- och försöksyta på bättre mark (SI G30), norr om Ronneby i Blekinge, yta 2487. En geografisk beskrivning av de fem försöksytorna ges i Tabell 2.

Tabell 2. Geografiska data för försöksytor (Lundqvist 1993)

Yta	Latitud	Longitud	Höjd över havet, m	Storlek, ha
Vs 7.2	64° 14'	19° 43'	180	0,25
Vs 7.4	64° 14'	19° 43'	180	0,25
Sf 56.1	60° 52'	14° 23'	250	0,64
Sf 56,2	60° 52'	14° 23'	250	0,43
2487 <sup>a</sup>	56° 18'	15° 21'		0,2045

<sup>a</sup> (Lundqvist 2005 och Statistikkort)

Gemensamt för den äldre försöksserien är avsaknad av en konsekvent skötselstrategi och att ytorna inte har skötts med någon uttalad målsättning att maximera volymproduktionen. Blädningsintervallet dvs. antal år mellan ingreppen har dessutom varierat under observationstiden. Observationstiden för de fyra äldre ytor som använts för denna undersökning är 46–57 år. Ingen av dessa ytor är aktiva idag. Yta 2487 i Blekinge har följts under 20 år med en förbestämd skötselstrategi (se Lundqvist 2005). En beskrivning av revisioner och ingrepp för de fem försöksytorna ges i Tabell 3.

Tabell 3. Data över revisioner och ingrepp (Lundqvist 1993)

Yta	Första revision	Sista revision	Observationsperiod, år	Antal revisioner	Antal blädningar
Vs 7.2	1924	1970	46	6	5
Vs 7.4	1924	1970	46	6	5
Sf 56.1	1925	1982	57	8	7
Sf 56,2	1925	1982	57	8	7
2487 <sup>a</sup>	1985	2005	20	5	2(3) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> (Lundqvist 2005 och Statistikkort)

<sup>b</sup> Två blädningar och en större vindfällning

Ståndortsindex är uppskattad med hjälp av ståndortsegenskaper enligt Hägglund & Lundmark (1987). Markvegetationen domineras av blåbär (*Vaccinium myrtillus* L.) på frisk mark för alla ytorna. De fyra äldre ytorna har uppkommit genom självföryngring och har sannolikt berörts av olika former av plockhuggningar före den första officiella blädningen (Lundqvist 1989b). Yta 2487 har troligen uppstått spontant på före detta betes- eller slättermark och har sannolikt

inte berörts av avverkningar under en period av 25–30 år före första blädning (Lundqvist 2005).

Alla ytor var vid start dominerade av gran (*Picea abies* (L.) Karst) med minst 65 % andel av grundytan. Övriga trädslag utgörs av tall (*Pinus silvestris* L.), vårtbjörk (*Betula pendula* Roth), glasbjörk (*Betula pubescens* Ehrh.) och för yta 2487 bok (*Fagus sylvatica* L.) samt klibbal (*Alnus glutinosa*). En beskrivning av skogstillståndet vid start för respektive yta ges i Tabell 4. Alla ytor hade vid anläggning av försöken huvudsakligen en fallande diameterfördelning, se Bilaga 4.

Tabell 4. Skogstillstånd vid ytornas anläggning (Lundqvist 1989b)

Yta	Markfuktighetsklass och markvegetationstyp	Ståndorts- index H100	Bonitet m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>	Virkes- förråd m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> c	Trädslagssammansättning % av grundyta c		
					Gran	Tall	Löv
Vs 7.2	Frisk mark, blåbär	G19	3,6	211	65	2	33 <sup>a</sup>
Vs 7.4	Frisk mark, blåbär	G19	3,6	176	70	9	21 <sup>a</sup>
Sf 56.1	Frisk mark, blåbär	G24	6,1	244	92	7	1 <sup>a</sup>
Sf 56.2	Frisk mark, blåbär	G24	6,1	231	84	16	0
2487 <sup>d</sup>	Frisk mark, blåbär	G30	10,1	302	81	3	16 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Huvudsakligen björk

<sup>b</sup> Huvudsakligen bok och klibbal

<sup>c</sup> (Efter Statistikkort)

<sup>d</sup> (Lundqvist 2005)

Inventeringsrutinerna har delvis varit olika för ytorna. För de fyra äldre ytorna numrerades vid anläggningen samtliga träd över 1,3 m och mätpunkt för brösthöjdsdiameter markerades med ett kors. Trädslag noterades för varje träd. Vid varje inventering mättes diametern, dels parallellt och dels vinkelrät mot korset (korsklavning). För yta 2487 markerades på motsvarande sätt träd grövre än 4 cm i brösthöjd. På alla ytor och för varje revision registrerades för varje träd om det var levande, dött, saknat, vindfällt eller utgallrat. På provträd valda bland de numrerade träden mättes höjden. För de äldre ytorna mättes normalt även krongränshöjd och barktjocklek på provträden. Volymen är bestämd i två-centimetersklasser med hjälp av Näslunds (1947) kuberingsfunktioner.

En brist för den äldre försöksserien är avsaknaden av uppgifter om inväxning och eventuell utgallring bland dessa träd. Endast vid den sista inventeringen finns fullständiga sådana uppgifter. För yta 2487 har inväxningen registrerats vid varje inventering dock med olika systematik. På grund av ovanstående brister har inväxning inte medtagits vid framtagande av regressionssambanden. En följd av detta är att den totala grundytan blir något undervärderad med ett fel som ökar över tiden.



## Metoder

För framtagna tillväxtmodeller har årlig diametertillväxt i mm på bark använts som beroende variabel medan oberoende variabler uttrycker det enskilda trädets storlek och konkurrenssituation. Trädets storlek representeras i modellen av trädets diameter i brösthöjd, mm på bark. Konkurrenssituationen beskrivs med tre oberoende variabler;

1. grundyta för dominerande träd, definierad som summa grundyta för de 100 grävsta träden per hektar
2. kvoten av trädets grundyta i brösthöjd och total grundyta för dominerande träd
3. det logaritmerade värdet av kvoten av trädets grundyta i brösthöjd och total grundyta per ha

Beståndets totala grundyta är hämtad från Statistikkort medan grundyta för dominerande träd är framräknad utifrån data i Fältnöcker.

Framräknad diametertillväxt för det enskilda trädet baseras på uppgifter om diameterförändringen på bark från en revision till nästa. Diameterregistreringar är för de äldre försöksytornas tidigare revisioner endast tillgängliga i handskrivna form från så kallade Fältnöcker. För att begränsa datainsamlingen inom ramen för detta arbete har därför ett urval av diameterregistreringar skett. Från varje revision har 4–8 diameterregistreringar slumpmässigt uttagits från varje 4cm-diameterklass. Genom denna metodik kommer samma träd att kunna uttas under flera tillväxtperioder. Totalt har 1677 diameterregistreringar fördelade på 28 tillväxtperioder använts för framtagna tillväxtmodell. En närmare beskrivning av urvalsmetodik och antal använda registreringar ges i Bilaga 3.

Årlig diametertillväxt har bestämts som diameterökningen på bark mellan två revisioner dividerad med antal vegetationsperioder under perioden. Framräknad årlig diametertillväxt är därför ett medelvärde för aktuell tillväxtperiod. Det bör också observeras att tillväxtperiodernas längd har varierat under observationstiden.

Vid regressionsanalysen har trädets diameter mellan två revisioner använts, definierad som medelvärdet av diametern vid revision X och diametern vid efterföljande revision. Samma princip har använts för konkurrensvariablerna. Variabeln grundyta per hektar och grundyta för dominerande träd har då bestämts som medelvärdet av respektive grundyta efter gallring vid revision X och grundytan före gallring vid efterföljande revision.

Diametertillväxten har korrigerats för meteorologiska fluktuationer med årsringsindex (Jonsson 1972, Jonsson & Stener 1986, Westerlund, pers. medd. 2006). Materialet har inte rensats för eventuella ”outliers”, dvs. extrema värden orsakade av mycket speciella förhållanden eller av rena mätfel vid inventeringar. Rensning har heller inte gjorts för eventuellt skadade eller sjuka träd.

Materialet från de fem försöksytorna har fördelats på tre SI-nivåer, G19, G24 och G30. Inom respektive SI-grupp är materialet relativt homogent varför en sammanslagning av ytorna har kunnat ske, se Figur 1 i resultatdelen. Antal tillväxtperioder och använda observationer för respektive yta framgår av Tabell 5.

Tabell 5. Uppgifter om antal tillväxtperioder och observationer på försöksytorna

Försöksyta	SI-grupp	Antal tillväxtperioder	Antal använda observationer
7.2	G19	5	294
7.4	G19	5	268
56.1	G24	7	369
56.2	G24	7	328
2487	G30	4	411

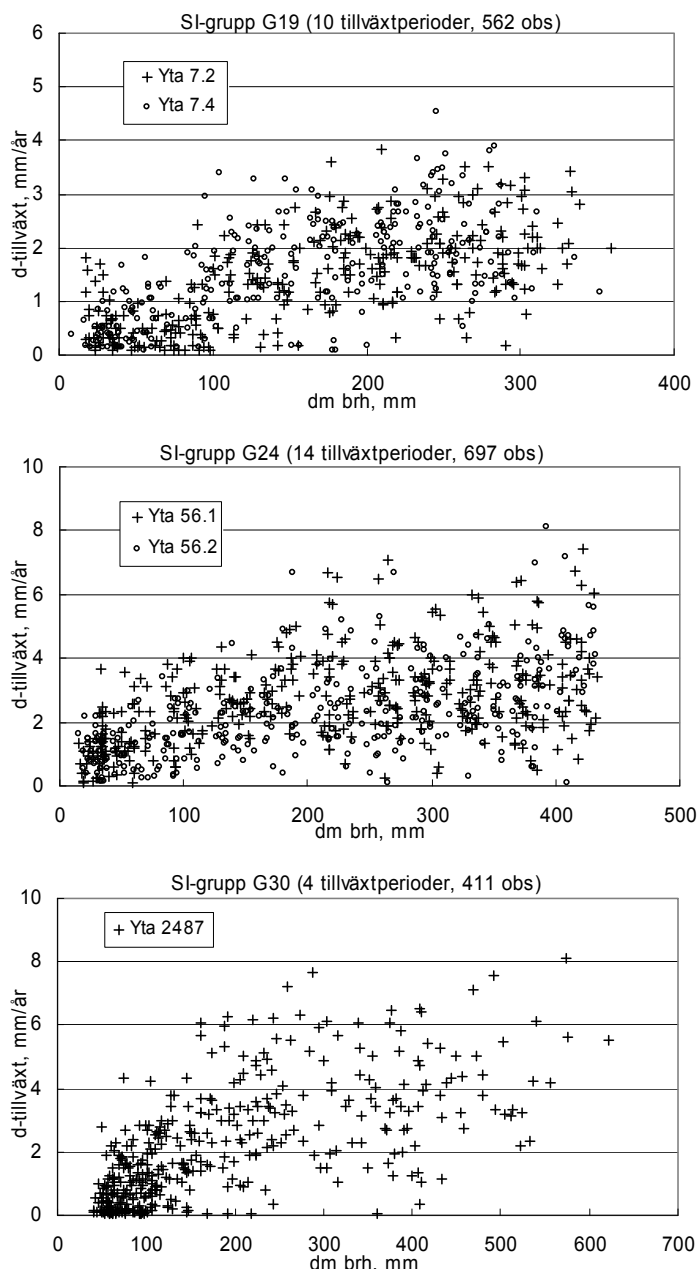
Den sammantagna effekten av ståndortsindex och skötsel har i tillväxtmodellen hanterats genom användning av s.k. dummyvariabler. Med multipel regression har olika variablers samband med diametertillväxten studerats. Bland ett hundratal kombinationer har urval gjorts baserat på i turordning; förklaringsgrad ( $r^2$ ), residualanalys och partialanalys.

En närmare beskrivning av modellkonstruktionen ges i Bilaga 3.

# Resultat

## Diametertillväxt i grundmaterialet

Figur 1 visar väderkorrigerad årlig diametertillväxt för på varandra följande tillväxtperioder plottad mot genomsnittlig brösthöjdsdiameter,  $d_m$  under respektive tillväxtperiod. Diametertillväxten ökar generellt över diametern men för respektive diameter är variationen stor.



Figur 1. Samband mellan årlig diametertillväxt, mm/år och genomsnittlig diameter mellan revisioner,  $d_m$  brh för ingående försöksytor fördelade på tre SI-grupper. Värden inom parentes efter diagramrubrik anger det sammanlagda antalet tillväxtperioder och observationer per SI-grupp.

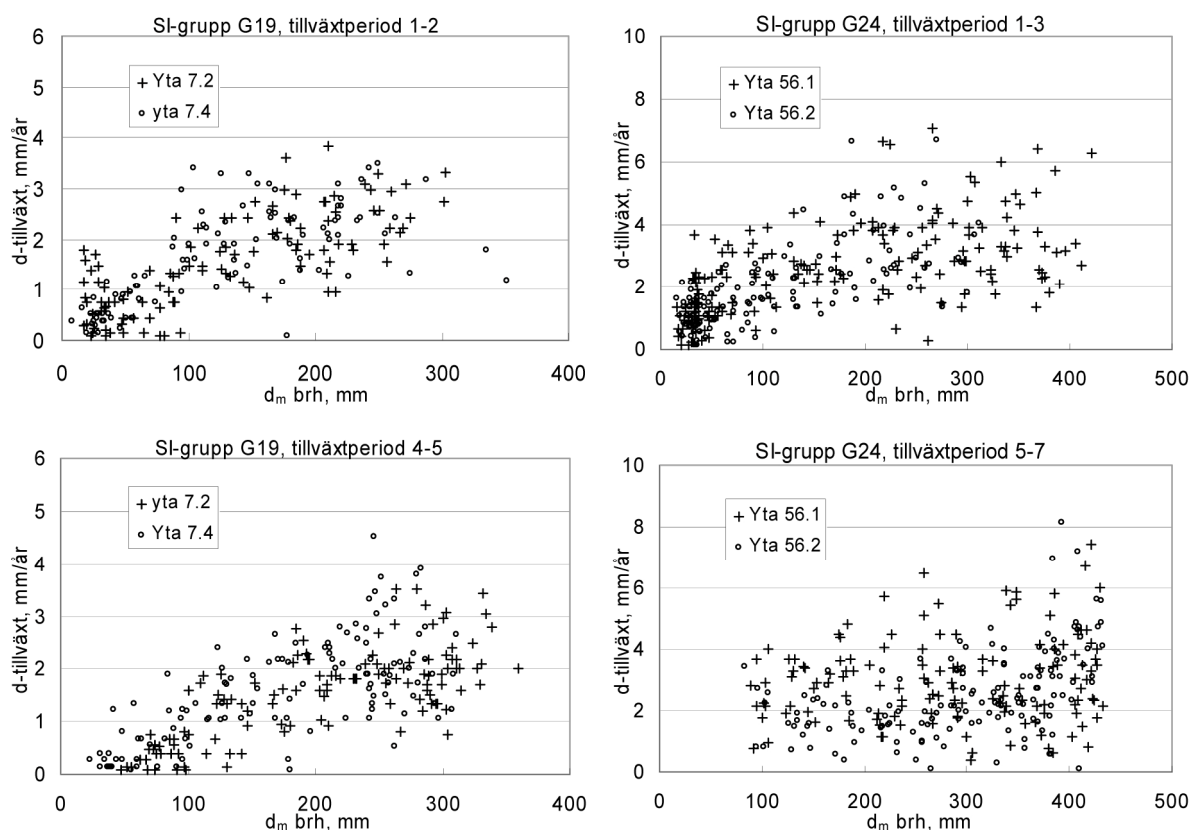
Ytornas struktur har inte varit konstant under observationstiden. Så har grundyta för dominerande träd, definierad som summa grundyta för de 100 grövsta träden per hektar, ökat under hela observationsperioden för de äldre försöksytorna (Bilaga 4). För ytorna 56.1 och

56.2 har denna förändring skett parallellt med en minskning av de indominanta trädens grundyta, definierad som skillnaden mellan total grundyta och de dominerande trädens grundyta.

Figur 2 visar diametertillväxten för SI-grupp G19 under den första och sista delen av observationsperioden, tillväxtperiod 1–2 respektive 4–5. Över tid har diameterskalan förlängts från en övre diameter mellan 25 och 30 cm till 30–35 cm.

Figur 3 visar diametertillväxten för SI-grupp G24 under tillväxtperiod 1–3 respektive 5–7. Även för denna SI-grupp har diameterskalan förlängts över tid.

I bägge figurerna syns en minskning av antal observationer under observationsperioden för de minsta träden beroende på bristande data om inväxande träd (se Material och metoder samt Bilaga 3).



Figur 2. Årlig diametertillväxt för SI-grupp G19 fördelat på två tillväxtintervall. Övre diagram visar diametertillväxten under tillväxtperiod 1-2 och undre diagram diametertillväxt för period 4-5.

Figur 3. Årlig diametertillväxt för SI-grupp G24 fördelat på två tillväxtintervall. Övre diagram visar diametertillväxten under tillväxtperiod 1-3 och undre diagram diametertillväxt för period 5-7.

Figur 3. Årlig diametertillväxt för SI-grupp G24 fördelat på två tillväxtintervall. Övre diagram visar diametertillväxten under tillväxtperiod 1-3 och undre diagram diametertillväxt för period 5-7.

## Tillväxtmodell

### Regressionssamband

$$i_d = c_1 + (c_2 * d) + (c_3 * g\text{-}yta_{dom}) + [c_4 * (g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{dom})] + [c_5 * \ln(g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{ha})] + (c_6 * D24) + (c_7 * D30)$$

Definitioner:

$i_d$  är årlig diametertillväxt i brösthöjd på bark (mm/år)

$d$  är diametern på bark i brösthöjd (mm)

$g\text{-}yta_{dom}$  är grundyta för dominerande träd ( $m^2/ha$ ) definierad som summa grundyta för de 100 grövsta träden per hektar

$g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{dom}$  är kvoten av det enskilda trädets grundyta ( $m^2$ ) baserad på diametern i brösthöjd på bark, och grundyta för dominerande träd ( $m^2/ha$ )

$\ln(g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{ha})$  är det logaritmerade värdet av kvoten för det enskilda trädets grundyta ( $m^2$ ) baserad på diametern i brösthöjd på bark, och total grundyta per hektar ( $m^2/ha$ )

$D24$  är dummyvariabel med värdet 1 för SI-grupp G24 annars 0

$D30$  är dummyvariabel med värdet 1 för SI-grupp G30 annars 0

$c_1, \dots, c_7$  är regressionskoefficienter

Koefficienter för de olika variablerna ges i Tabell 6.

Tabell 6. Koefficienter för variabler i tillväxtmodell

Variabel	Koefficient	se	t-kvot	p-värde
konstant	3,714	0,48	7,82	8,95E-15
d	0,00987	0,0011	8,72	6,38E-18
$g\text{-}yta_{dom}$	-0,244	0,025	-9,96	9,27E-23
$g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{dom}$	-147,487	22,92	-6,44	1,6E-10
$\ln(g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{ha})$	0,233	0,047	4,94	8,63E-07
D24	1,289	0,10	12,85	4,2E-36
D30	2,306	0,22	10,65	1,15E-25

Regressionssammanfattning:

Determinationskoefficient,  $r^2=0,45$

Frihetsgrader,  $df=1676$

Residualvarians,  $MSE=1,17$

Residualspridning,  $se=1,08$

F-kvot=224,7

För residualsamband och korrelation, se Bilaga 5.

### **Partialsamband**

Figur 4–5 visar partialdiagram över den framtagna modellens tillväxtförlopp där total grundyta,  $g\text{-yta}_{\text{ha}}$  och grundyta för dominerande träd,  $g\text{-yta}_{\text{dom}}$  varierar för respektive SI-grupp.

Figur 4 uttrycker tillväxtförloppet då  $g\text{-yta}_{\text{ha}}$  förändras mellan en högre och en lägre nivå samtidigt som  $g\text{-yta}_{\text{dom}}$  är fixerad på en grundnivå, medan Figur 5 visar partialsamband för situationen där  $g\text{-yta}_{\text{ha}}$  och  $g\text{-yta}_{\text{dom}}$  förändras samtidigt.

De värden för  $g\text{-yta}_{\text{ha}}$  och  $g\text{-yta}_{\text{dom}}$  som använts för partialsambanden framgår av Tabell 7. Med grundnivå avses medianvärdet av alla använda observationer för respektive SI-grupp. Högre och lägre nivå är första respektive fjärde kvartilen av observationer inom SI-gruppen under observationstiden.

På grund av materialets sammansättning är det inte meningsfullt att jämföra absoluta värden av diametertillväxten mellan olika SI-nivåer. Så har t.ex. total grundyta genomgående varit högre för SI-grupp G19 jämfört med SI-grupp G24. Vidare har de dominerande trädens grundyta som andel av total grundyta varit avsevärt olika mellan SI-grupperna. Räknat på grundnivåerna är denna andel 56 % för SI-grupp G30, 45 % för SI-grupp G24 och 24 % för SI-grupp G19.

Tabell 7. Variabelvärden använda i partialsamband, för definitioner se text. Värden i  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$

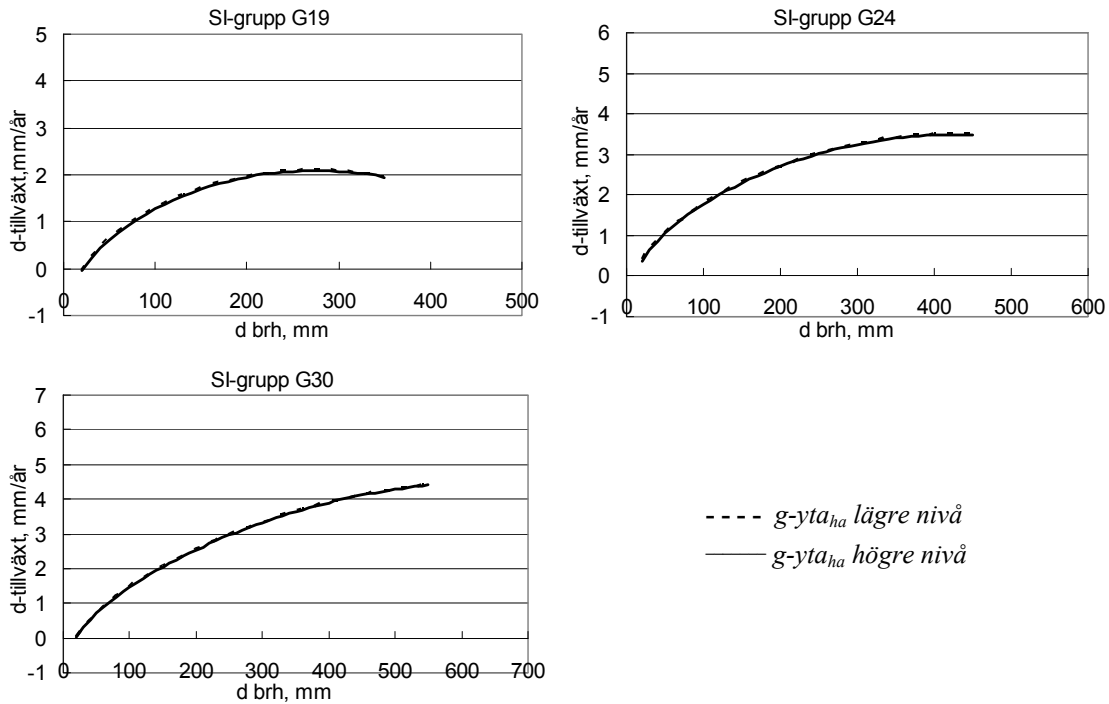
Variabel	SI-grupp G19	SI-grupp G24	SI-grupp G30
$g\text{-yta}_{\text{ha}}$ högre nivå	24,4	23,2	27
$g\text{-yta}_{\text{ha}}$ grundnivå	23,3	21,8	26,8
$g\text{-yta}_{\text{ha}}$ lägre nivå	21,8	20,8	25,2
$g\text{-yta}_{\text{dom}}$ högre nivå	6,3	10,7	15,2
$g\text{-yta}_{\text{dom}}$ grundnivå	5,6	9,8	14,9
$g\text{-yta}_{\text{dom}}$ lägre nivå	4,7	8,9	13,9

Tillväxtmodellen har ett icke linjärt tillväxtförlopp med för SI-grupp G19 och G24 tydliga kulminationspunkter. För SI-grupp G19 kulminerar diametertillväxten vid en diameter på 25–35 cm beroende på ingående värden och för SI-grupp G24 vid 40–50 cm. För SI-grupp G30 kan kulminationsnivåerna uppskattas till 55–65 cm.

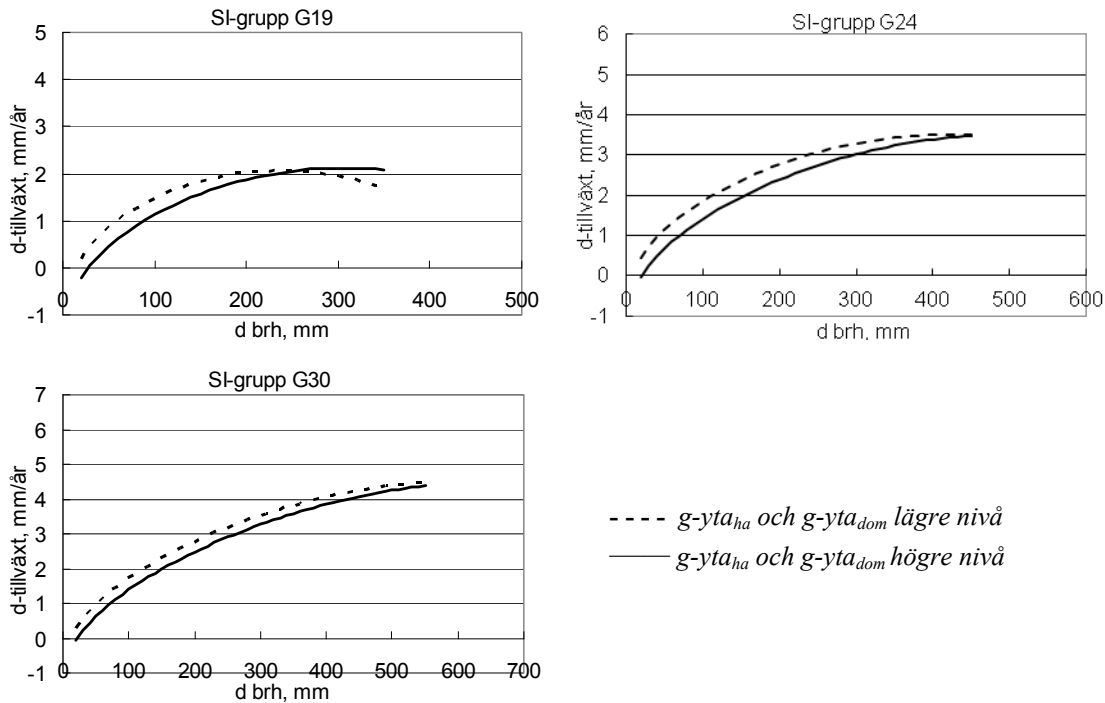
Av Figur 4 framgår att förändringar av total grundyta påverkar diametertillväxten marginellt givet att de dominerande trädens grundyta är konstant. Detta är liktydigt med att grundytan för mindre och medelstora träd ändras vilket är jämförbart med en utpräglad låggallring. Det bör observeras att skillnaderna mellan den högre och lägre nivån för de mindre och medelstora trädens grundyta är relativt liten vilket framgår av Tabell 7.

Om i stället total grundyta och grundyta för dominerande träd ändras samtidigt blir resultatet en betydande tillväxtförändring (Figur 5). Denna förändring kan rent praktiskt jämföras med en utpräglad höggallring. Skillnaden i diametertillväxt mellan den högre och lägre tillväxtnivån är störst för de mindre och medelstora träden. Vid ökande grovlek minskar skillnaden i diametertillväxt och så småningom korsas kurvorna. Med ökad grundyta för dominerande träd sker diametertillväxtens kulmination också vid en större diameter.

Under vissa förhållanden genererar tillväxtmodellen negativa tillväxtvärden. Denna situation kan uppträda då diametern är mycket liten ( $d \leq 2$  cm) samtidigt som de dominerande trädens grundyta är relativt hög.



Figur 4. Partialsamband mellan diametertillväxt och diameter där total grundyta varierar mellan en högre och lägre nivå samtidigt som grundyta för dominerande träd är fixerad på en grundnivå. Värden enligt Tabell 7.



Figur 5. Partialsamband mellan diametertillväxt och diameter där total grundyta och grundyta för dominerande träd samtidigt varierar mellan en högre och lägre nivå. Värden enligt Tabell 7.

## Diskussion

Framtagen tillväxtmodell utgör en ansats till prognostisering av tillväxtförlopp för enskilda träd i grandominerad fullskiktad skog. De fem försöksytorna som använts som grund för denna modell har skötts med blädningsbruk under lång tid och alla ytor var vid start fullskiktade. Ytorna har dock varit stadda i förändring under observationstiden, framför allt de äldre försöksytorna. Detta kan förklaras med att ytorna från början inte haft en ideal struktur vilket man sedan sökt förbättra efterhand. Till exempel har grundytan för dominerande träd ökat under hela observationstiden. Vidare har virkesförrådets storlek, blädningsintervall och uttagens storlek och fördelning på diameterklasser varierat under observationstiden. Materialet kan därför sägas representera fullskiktad skog under en transformeringsfas snarare än idealiska blädningsbestånd.

Även om modellen representerar tre SI-nivåer baseras de på ett litet material, framför allt SI-grupp G30 som är underrepresenterat i förhållande till övriga SI-grupper. Det bör också observeras att skillnaden i tillväxt mellan olika SI-grupper inte nödvändigtvis enbart beror på skillnader i bördighet utan också kan inkludera effekter av varierande behandling på ytorna liksom tidigare historik. Tillväxtmodellen bör därför användas med en viss försiktighet och inte utanför materialets gränser.

Partialstudier med framtagen tillväxtmodell visar att en minskning av framför allt de större trädens grundytan (höggallring) har en större påverkan på diametertillväxten, i både absoluta och relativa tal än motsvarande förändring bland mindre och medelstora träd (lågallring) (Figur 4 och 5 i resultatdelen). Detta är i linje med Chrimes & Lundqvist (2004) som vid simulering med sin tillväxtmodell redovisade en något högre diametertillväxt med avverkningsstrategier där enbart de större träden togs ut (diameter-limit harvest). Resultatet överensstämmer också med undersökningar från likåldrig skog som anger att höggallring ger något högre tillväxt än lågallring (bl.a. Eriksson 1990).

Ovanstående redovisade tillväxtreaktioner kan beskrivas utifrån de olika konkurrenssituationer som uppstår mellan träd av olika storlek. Träd i fullskiktad skog är utsatta för en påtaglig konkurrens om vatten, näring och ljus där träden kan tänkas uppta växtresurser i förhållande till sin storlek (symmetrisk konkurrens) men också där större träd upptar opropotionellt mycket växtresurser för sin storlek (osymmetrisk konkurrens) (Weiner 1990). Opropotionellt mycket växtresurser för de större träden innebär här framför allt en väsentligt bättre tillgång på ljus. Vid symmetrisk konkurrens tänker man sig att tillväxten påverkas relativt sett lika mycket för alla träd, förutsatt att vatten och näring är jämnt fördelade. Asymmetrisk konkurrens däremot innebär att små och medelstora träd påverkas relativt sett mer av ökad beståndstäthet jämfört med större träd (Lundqvist & Fridman 1995).

På teoretiska grunder kan man då anta att minskad beståndstäthet bland mindre och medelstora träd framför allt påverkar den symmetriska konkurrensen, med en i relation till trädstorleken ökad diametertillväxt som följd. Om konkurrenstrycket från de dominerande träden är oförändrat stor blir dock den absoluta tillväxtförändringen liten eller marginell (jämför med Figur 4 i resultatdelen).

Vid en minskning av framför allt de större (dominerande) trädens grundytan kan man istället anta en betydande tillväxtförändring för mindre träd (se Figur 5). Detta skulle då dels bero på att stora träd upptar en motsvarande stor andel av tillgängliga växtresurser (symmetrisk konkurrens) men också på en relativt sett stor förändring av ljustillgången för mindre och



medelstora träd (osymmetrisk konkurrens). Mot bakgrund av ovanstående resonemang verkar tidigare beskrivna tillväxtreaktioner hos framtagna tillväxtmodell logiska.

Som framkommit under avsnittet Material är inväxning inte medräknad i försöksytornas grundyteuppgifter på grund av bristfälliga inventeringsdata. Endast vid ytornas anläggning finns fullständiga uppgifter om inväxningen liksom eventuell utgallring bland denna. Inväxningens storlek och förlopp är generellt utsatt för stora variationer och lite undersökt varför något försök till korrektion för detta inte gjorts vid modellkonstruktionen. Detta innebär att försöksytornas totala grundyta är rättvisande endast vid start för att därefter bli underskattad med ett fel som ökar över observationstiden.

Lundqvist (1989b) redovisade i sin undersökning av svenska försöksytor att vid start var andelen av stående virkesförråd för träd under 8,5 cm brh, på 10 av 11 ytor, i intervallet 1–5 % med ett genomsnitt på 2,1 %. Diametern 8,5 cm motsvarar här den diameter som de minsta av de vid start inmätta träden förväntades uppnå vid observationstidens slut dvs. 50–60 år. Baserat på ovanstående kan man uppskatta att grundyteuppgifterna för de försöksytor som bildar underlag för presenterad tillväxtmodell vid observationstidens slut kan vara underskattad med som mest 5 %. Om det är så kan man anta att tillväxtmodellen ger en något underskattad diametertillväxt eftersom konkurrensen i verkligheten varit högre än vad de grundyteuppgifter som ligger till grund för modellen anger. Av residualdiagram över diametern framgår dock inget som antyder någon sådan inverkan på diametertillväxten (Bilaga 5).

På grund av materialets sammansättning och vald modellkonstruktion ger tillväxtmodellen under vissa förhållanden negativa tillväxtvärden. Detta kan uppträda då diametern är mycket liten ( $d \leq 2\text{ cm}$ ) samtidigt som de dominerande trädens grundyta är relativt hög dvs. då konkurrenstrycket från de större träden är högt. Det bör påpekas att prognostisering av diametertillväxt för så små träd ( $d < 4\text{ cm}$ ) och med aktuell konkurrenstryckssituation är mycket svagt representerad i materialet. I fullskiktad tät skog är det också vanligt att de minsta träden uppvisar en närmast obefintlig diametertillväxt för att när tillfälle ges kunna skjuta fart och på sikt ändå utvecklas till fullstora träd (bl.a. Lundqvist 1994, Schütz 1999a). Modellens reaktion under dessa förhållanden är därför inte ologisk. Vi tolkning av residualdiagram för tillväxtmodellen framkommer heller inget som antyder någon negativ inverkan på tillväxtförloppet i övrigt (Bilaga 5).

Framtagen tillväxtmodell simulerar diametertillväxten för ett år i taget. Förändringen i diametertillväxt under ett normalt blädningsintervall (5–15 år) är liten eller försumbar för mindre träd men ökar i betydelse för större träd och på bättre marktyper. Det torde dock vara enkelt att modifiera modellen för valfri period genom att låta tillväxtberäkningen för ett år utgöra underlag för nästa års beräkning och på så sätt bilda en beräkningskedja motsvarande antalet tillväxtperioder.

För denna tillväxtmodell har trädets diameter använts som tillväxtberoende variabel. Söderberg (1986) poängterar att diametern är mindre användbar som variabel vid uppskattning av tillväxten för ett helt bestånd beroende på att effekten av den totala grundytan då riskerar att underskattas. Grundytetillväxt som beroende variabel testades vid regressionsanalysen men visade svag signifikans eller gav oönskade residualavvikelser. Framtagen tillväxtmodell är inte i första hand avsedd för tillväxtanalyser på beståndsnivå och inga sådana simuleringar har heller gjorts i denna studie.

Tekniken att använda grundyta hos dominerande träd för att uttrycka konkurrensen från de

större träden förefaller ha varit en bra modellansats. Grundyta för dominerande träd visade sig vara en starkt påverkande variabel genom att visa signifikans tillsammans med en mängd andra variabler. Grundyta för dominerande träd har tidigare använts i både beståndsmodeller (Chrimes & Lundqvist 2004) och modeller för enskilda träd (Wykoff 1990, Monserud & Sterba 1995) men då begränsad till diameterklasser som är större än den aktuella (grundyta för överskärmande träd). En sådan differentiering kunde dock inte göras inom tidsramen för detta arbete då det kräver uppgifter om den fullständiga diameterfördelningen.

I fullskiktad skog är beståndets struktur heterogen och varierar starkt från plats till plats. Variabeln kvoten av det enskilda trädets grundyta och beståndets grundyta per hektar som i tillväxtmodellen använts för att uttrycka beståndets samlade konkurrenstryck kan i detta sammanhang vara ett trubbigt mått på den struktur som omger och påverkar det enskilda trädets. Modeller som beskriver trädets ställning i en trädgrupp med hjälp av avståndsberoende variabler kan vara effektivare mätare men är i allmänhet begränsade till teoretiska simuleringar.

Wykoff (1990) liksom Monserud & Sterba (1995) använde variabeln ”crown competition factor”, CCF som komplement till variabeln grundyta för överskärmande träd. Uppgifter om kronprojektionsarea som ligger till grund för variabeln CCF finns dock inte framtagna för svenska förhållanden.

Söderberg (1986) använde kvoten av trädets diameter och det största trädets diameter som enda variabel för att uttrycka konkurrenssituationen i fullskiktad skog. Denna variabel är dock inte med nödvändighet en rättvisande mätare för det totala konkurrenstrycket från de större träden i fullskiktad skog. Det största trädets i beståndet kan vara väsentligt grövre än övriga dominerande träd varvid konkurrenstrycket från de dominerande träden då torde bli överskattat. Omvänt så skulle en ansamling av grövre träd kring en övre diameter kunna leda till en underskattning. Vid framtagande av tillväxtmodellen har flera andra variabler provats för att beskriva konkurrenssituationen men även betydligt mer avancerade variabelkonstruktioner bidrog inte nämnvärt till högre förklaringsgrad. De variabler som använts för tillväxtmodellen har också fördelen att vara enkla att mäta i fält.

Efter gallringsingrepp kan man förvänta sig en tillväxteffekt som avklingar med tiden (se bl.a. Söderberg 1986). Variabler som uttagsstyrka och blädningsintervall testades vid regressionsanalysen men visade låg signifikans. Detta kan bero på att träd i fullskiktad skog som länge varit överskuggade har ett delvis annat reaktionsmönster jämfört med träd i likåldrig skog. En annan orsak kan vara att blädningsintervallen i det använda materialet delvis har varit korta, i vissa fall så korta som 3–5 år. Tillväxteffekten av blädningarna kan därför ha överlappat revisionsperioderna.

Diametertillväxten för enskilda träd i fullskiktad skog uppvisar stora skillnader, inte bara mellan träd av olika storlek utan även mellan jämnstora träd (bl.a. Schütz 1999a). Detta beror delvis på de olika konkurrenssituationer som uppstår i fullskiktad skog och de mycket varierande ljus- och näringsförhållanden som dessa skillnader resulterar i. De ytor som använts för denna undersökning har påverkats genom stora variationer i täthet och struktur varför variationen i diametertillväxt kan antas vara speciellt stor. Detta tillsammans med att materialet är litet kan antas ha resulterat i större varians och lägre förklaringsgrad.

I detta sammanhang kan en förklaringsgrad ( $r^2$ ) på 43 % för framtagen tillväxtmodell vara intressant att jämföra med andra tillväxtmodeller för enskilda träd. Monserud & Sterba (1995) rapporterar för sin betydligt mer avancerade modellkonstruktion där även ståndortsfaktorer

ingår, en förklaringsgrad för gran på 58 %. Så mycket som 44 procentenheter förklarades av trädets storlek (grundyta) medan konkurrensvariabler bidrog med 11 procentenheter och ståndortsfaktorer förklarade resterande 3 procentenheter. Trädets storlek är vanligen den faktor som har störst betydelse för att förklara tillväxten för enskilda träd (Wykoff 1990, Monserud & Sterba 1995, Andreassen & Tomter 2003). För tillväxtmodeller utvecklade under norska förhållanden redovisar Andreassen & Tomter (2003) en förklaringsgrad för gran på 43–55 %.

Söderberg (1986) rapporterar en förklaringsgrad för gran på ca 85 % med en tillväxtmodell uppbyggd av ett mycket stort antal variabler (34 st). Materialet från svenska Riksskogstaxeringen utgjordes till större delen av ytor med likåldrig skog. Storleken på datamängden tillät också en uppdelning av materialet i grupper beroende på region och ålder.

Typiskt för fullskiktad skog är att diametertillväxten ökar över diametern för att kulminera först när träden är mycket grova. Resultaten från denna undersökning överensstämmer med tidigare observationer av bland andra Bøhmer (1922), Prodan (1949a), Mitscherlich (1961), Kern 1966, Schütz (1999a), Chrimes & Lundqvist (2004).

Chrimes & Lundqvists (2004) beståndsmodell för fullskiktad skog som baseras på sex svenska försöksytor med SI G24 ger indirekt även uppgifter om diametertillväxt för enskilda träd. Vid simulering av blädning och en grundyta på 17–27 m<sup>2</sup>/ha var diametertillväxten 1–2,4 mm/år ( $d \geq 8,5$  cm brh) med en kulmination vid 25–35 cm. I jämförelse genererar den tillväxtmodell som framtagits i denna undersökning för SI-grupp G24 och grundyta 20–23 m<sup>2</sup>/ha ett mer utdraget tillväxtförlopp med högre tillväxtnivåer (1–3,5 mm/år) och senarelagda kulminationspunkter (35–45 cm brh). I Chrimes & Lundqvists modell gav ökande virkesförråd en senareläggning av diametertillväxtens kulmination. Samma mönster kan ses i denna undersökning (se Figur 5 i resultatdelen).

Flera forskare har rapporterat att tillväxten i fullskiktad skog står i relation till stående virkesförråd (Eyre & Zillgitt 1953, Erdman & Oberg 1973, Hansen & Nyland 1987a, Lähde et al 1993) medan andra redovisar oklara samband (Mitscherlich 1961, Solomon & Frank 1983, Spiecker 1986, Lundqvist 1989b, Andreassen 1994b, Bachofen 1999).

Partialstudier för framtagna tillväxtmodeller visar att förändringar av beståndsstrukturen kan ha en betydande inverkan på diametertillväxten för enskilda träd även om det totala virkesförrådet hålls oförändrat. I förlängningen kan detta naturligtvis också innebära att beståndets totala tillväxt påverkas. Det är i så fall i linje med flera studier som kommit fram till att olika avverkningstrategier som ändrat beståndsstrukturen också påverkat tillväxtnivåerna trots oförändrade virkesförråd (bl.a. Solomon 1977, Crow et al 1981, Schütz 1975 se Schütz 1999c, Buongiorno et al 2000, Chrimes & Lundqvist 2004).

Resultaten från detta arbete indikerar att virkesförrådet som enskild faktor inte är tillräckligt för att beskriva tillväxtförhållandena i fullskiktad skog. Beståndets struktur kan vara en väl så viktig faktor. Exempel på omständigheter som kan påverka beståndsstrukturen är val av måldiameter, diameterfördelningens utseende och uttagsstrategi. Det finns naturligtvis en lägre gräns för virkesförrådets storlek under vilken tillväxtnivån inte kan upprätthållas. På samma vis finns det en högre nivå där skogen blir så tät att föryngringen avtar eller helt uteblir. Det är mellan dessa nivåer som ett uthålligt blädningsbruk bör bedrivas.

## Referenser

- About.com: Forestry. Available at: <[http://forestry.about.com/cs/treeid/a/hdwd\\_type\\_us.htm](http://forestry.about.com/cs/treeid/a/hdwd_type_us.htm)> or: <<http://forestry.about.com>> Identifying Your Trees/Tree Habitat and Range/About The Great American Hardwood Forest. (accessed 070211).
- Adams, D.M. & Ek, A.R. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. Canadian journal of forest research 4, pp 274–287.
- Alexander, R.R. & Edminster, C.B. 1977. Uneven-aged management of old growth spruce-fir forests -cutting methods and stand structure goals for the initial entry. (USDA Forest Service research paper RM-186). 12pp. Fort Collins, Colorado.
- Alexander, R.R. & Edminster, C.B. 1978. Regulation and control under uneven-management. In: Uneven-aged silviculture & management in the United States. (General Technical Report WO-24, pp 217–230 / Forest Service, U.S Department of Agriculture). Washington, D.C.
- Andreassen, K. 1994a. Bledning og bledningsskog -en litteraturstudie. (Aktuelt fra Skogforsk 2-1994 / Norsk institutt for skogforskning, og Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole). 23pp. Ås. (In Norwegian).
- Andreassen, K. 1994b. Development and yield in selection forest. (Meddelelser fra Skogforsk 47(5) / Norsk institutt for skogforskning, Institutt for skogfag, NLH). 37pp. Ås.
- Andreassen, K. & Øjen, B-H. 2002. Nye tillvekstmodeller for granskog behandlet med bledningshogst. In: Modellering av skogsproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning. (Aktuelt fra skogforskningen 6-2002, pp 10–12 / Norsk institutt for skogforskning, Institutt for skogfag, NLH). Ås. (In Norwegian).
- Andreassen, K. & Tomter, S.M. 2003. Basal area growth models for individual trees of norway spruce, scots pine, birch and other broadleaves in Norway. Forest ecology and management 180, pp 11–24.
- Bachofen, H. 1999. Gleichgewicht, struktur und wachstum in plenterbeständen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 150(5), pp 157–170. (In German with summary in English).
- Børset, O. 1986. Skogskjøtsel, skogskjøtselens teknikk, pp 87–92. Oslo: Landbruksforlaget. (In Norwegian).
- Bøhmer, J.G. 1922. Bledningsskog. 122pp. Kristiania. (In Norwegian with summary in French).
- Bøhmer, J.G. 1957. Bledningsskog II. Supplement to Tidsskrift for skogbruk Nr. IV 1957, pp 203–247. (In Norwegian with summary in French).
- Braathe, P. 1954. Produksjonsundersøkelser i bledningsskog -innledende bemerkninger og litteraturoversikt. 46pp. Vollebekk: Det Norske Skogforsøksvesen. (In Norwegian).
- Buongiorno, J. & Michie, B.R. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. Forest science 26, pp 609–625.
- Buongiorno, J., Kolbe, A. & Vasievich, M. 2000. Economic and ecological effects of diameter-limit and BDq management regimes -simulation results for northern hardwoods. Silva Fennica 34(3), pp 223–235.
- Burschel, P. & Huss, J. 1997. Grundriss des Waldbaus, 2:d edition, pp. 145–159. Berlin: Parey Buchverlag. (In German).
- Chrimes, D. & Lundqvist, L. 2004. Simulated volume increment of managed uneven-aged *Picea abies* stands in central Sweden. 17pp. In: Chrimes, D. 2004. Stand development and regeneration dynamics of managed uneven-aged *Picea abies* forests in boreal Sweden. Thesis. (Acta Universitates agriculturae Sueciae. Silvestria 304). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Crow, T.R., Jacobs, R.D., Oberg, R.R. & Tubbs, C.H. 1981. Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands. (U.S.D.A. Forest Service research paper NC-199). 16pp. St. Paul, Minnesota.
- Ebert, H-P. 1994. Die Plenterung –die Baumpflege als grundlage wertorientierter bestandespflege. (Schriftenreihe der Fachhochschule für Forstwirtschaft, Nr. 01). Rottenburg am Neckar. 111pp. (In German).
- Elmberg, J., Bäckström, P-O. & Lestander, T. (eds.) 1992. Vår Skog -Vägvalet. 207pp. Stockholm: LT. (In Swedish).
- Ek, A.R. 1974. Nonlinear models for stand table projection in northern hardwood stands. Canadian journal of forest research 4, pp 23–27.
- Eyre, F.H. & Zillgitt, W.M. 1953. Partial cuttings in northern hardwoods of the Lake States -twenty-year experimental results. (Technical bulletin, United States Department of Agriculture No. 1076). 124pp. Washington D.C.
- Erdman, G.G. & Oberg, R.R. 1973. Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwoods. (U.S.D.A. Forest Service research paper NC-100). 12pp. St. Paul, Minnesota.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. (Rapport 42 / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion). 135 pp. Uppsala. (In Swedish with summary in English).
- Fries, C., Johansson, O., Pettersson, B. & Simonsson, P. 1997. Silvicultural models to maintain and restore natural stand structures in Swedish boreal forests. Forest ecology and management 94, pp 89–103.

- Fältböcker. Centrala universitetsarkivet, Enheten för juridik och dokumentation, Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Goff, F.G. & West, D. 1975. Canopy-understory interaction effects on forest population structure. *Forest science* 21(2), pp 98–108.
- Hansen, G.D. & Nyland R.D. 1987a. Effects of diameter distribution on the growth of simulated uneven-aged sugar maple stands. *Canadian journal of forest research* 17, pp 1–8.
- Hansen, G.D. & Nyland R.D. 1987b. Effects of diameter distribution on the growth of simulated uneven-aged sugar maple stands. *Canadian journal of forest research* 17, pp 1–8. Referring to: Hansen, G.D. 1983. Development and application of a computer simulation model to evaluate the effects of different residual diameter distributions on 30-year growth of uneven-aged northern hardwood stands. Thesis. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, NY.
- Hann, D.W. & Bare B.B. 1979. Uneven-aged forest management -state of the art (or science?). (USDA Forest Service general technical report INT-50). 18pp. Ogden, Utah.
- Hasenauer, H., Stampfer, E., Rohrmoser, C. & Sterba, H. 1994. Solitärdimensionen der wichtigsten baumarten Österreichs. *Österreichische Forstzeitung* 3-1994, pp 28–29. (In German).
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1987. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. (3 volumes). Jönköping: Skogsstyrelsen. (In Swedish).
- Jonsson, B. 1972. Totala årsringsindex för tall och gran i olika delar av Sverige åren 1911–1968. (Rapporter och uppsatser 22-1972 / Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan). 45pp. Stockholm. (In Swedish).
- Jonsson, B. & Stener, L-G. 1986. Totala årsringsindex för tall och gran i olika delar av Sverige åren 1950–1983. (Rapport 15 / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning, Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning). 41pp. Umeå. (In Swedish).
- Kardell, L. 2004. Svenskarna och Skogen del 2, Från baggböleri till naturvård. 302pp. Skogsstyrelsen: Jönköping. (In Swedish).
- Kardell, L., Eriksson, L. & Lindhagen, A. 1993. Luckblådningsförsök i Uppsalatrakten 1976–1990 - förnyingsresultat och upplevelsevärden. (Rapport 54 / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård). 120pp. Uppsala. (In Swedish).
- Kern, K.G. 1966. Wachstum und umweltfaktoren im schlag- und plenterwald. (Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Band 5). 232pp. München: Bayerischer Landwirtschaftsverlag. (In German with summary in French).
- Knuchel, H. 1953a. Planning and control in the managed forest, pp 39–84, 172–232. Translated by: Mark. L. Anderson. Edinburgh: Oliver and Boyd. Translated from: Planung und kontrolle in forstbetrieb. Aarau: Verlag H.R. Sauerländer & Co.
- Knuchel, H. 1953b. Planning and control in the managed forest, pp 39–84, 172–232. Translated by Mark. L. Anderson. Edinburgh: Oliver and Boyd. Translated from: Knuchel, H. 1950. Planung und kontrolle in forstbetrieb. Aarau: Verlag H.R. Sauerländer & Co. Referring to: Schaeffer, A., Gazin, A. & d'Alverny, A. 1930. Sapinières: Le jardinage par contenance (méthode du contrôle par les courbes). Société des amis et anciens élèves de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts. Paris: Presses Universitaires de France.
- Kolström, T. 1993. Modelling the development of an uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scandinavian journal of forest research* 8, pp 373–383.
- Krajicek, J.E., Brinkman, K.E. & Gingrich. S.F. 1961. Crown competition -a measure of density. *Forest science* 7, pp 35–42.
- Leak, W.B. 1964. An expression of diameter distribution for unbalanced, uneven-aged stands and forests. *Forest science* 10(1), pp 39–50.
- Leak, W.B. 1965. The j-shaped probability distribution. *Forest science* 11, pp 405–409.
- Leak, W.B. 1978. Stand structure. In: Uneven-aged silviculture & management in the United States. (General Technical Report WO-24, pp 104–114 / Forest Service, U.S Department of Agriculture). Washington, D.C.
- Leak, W.B. 1996. Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods. *Forest science* 42(2), pp 160–165.
- Leak, W.B. & Gottsacker, J.H. 1985. New Approaches to uneven-age management in New England. *Northern journal of applied forestry* 2(1), pp 28–31.
- Licourt, F. de. 1898. On the improvement of fir forests through selective management. Translated by: Maria Nygren. 2001. 11pp. The School of Natural Resources, University of Missouri-Columbia. Available from: <<http://oak.snr.missouri.edu/silviculture/systems/uneven-aged/deLicourt>> (accessed 2007-02-11). Translated from: De l'amenagement des sapinières. Bulletin trimestriel, Société forestière de Franche-Comté et Belfort, juillet 1898, pp 396–409.
- Lundqvist, L. 1984. Blådnig och etappvis slutavverkning en litteraturstudie. *Skog & forskning* 6-1984, pp 27–40. (In Swedish).

- Lundqvist, L. 1989a. Changes in the stand structure on experimental plots managed with single-tree selection. 25pp. In: Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog -strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Thesis. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel.
- Lundqvist, L. 1989b. Volume increment on experimental plots managed with single-tree selection. 21pp. In: Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog -strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Thesis. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel.
- Lundqvist, L. 1992. Blädning. Skog & forskning 4-1992, pp 4–9. (In Swedish).
- Lundqvist, L. 1993. Changes in the stand structure on permanent *Picea abies* plots managed with single-tree selection. Scandinavian Journal of forest research 8(4), pp 510–517.
- Lundqvist, L. 1994. Growth and competition in partially cut sub-alpine norway spruce forests in northern Sweden. Forest ecology and management 65, pp 115–122.
- Lundqvist, L. 2005. Blädningsbruk. (Rapporter 61-2005 / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel). 40pp. Umeå. (In Swedish).
- Lundqvist, L. & Fridman, E. 1995. Blädningskogens struktur och dynamik. Skog & forskning 1-1995, pp 25–29. (In Swedish).
- Lähde, E., Laiho, O. & Saksala T. 1993. Structure and yield of all-sized conifer-dominated stands on fertile sites. Annals of forest science 51(2), pp 97–109.
- Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999. Diversity-oriented silviculture in the boreal zone of Europe. Forest ecology and management 118, pp 223–243.
- Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y., 2001. Structure transformation and volume increment in norway spruce-dominated forest following contrasting silvicultural treatments. Forest ecology and management 151, pp 133–138.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksala T. 2002. Development of Norway spruce dominated stands after single-tree selection and low thinning. Canadian journal of forest research 32, pp 1577–1584.
- Marquis, D.A. 1978. Application of uneven-aged silviculture on public and private lands. In: Uneven-aged silviculture & management in the United States. (General Technical Report WO-24, pp 25–61 / Forest Service, U.S Department of Agriculture). Washington, D.C.
- Matthews, J.D. 1991. Silvicultural systems, pp 163–182. Paperback edition. Oxford : Oxford University Press.
- Meyer, H.A. 1933a. Eine mathematisch-statistische untersuchung über den aufbau des plenterwaldes. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 102, pp 33–46, 88–103, 124–131. (In German).
- Meyer, H.A. 1933b. Eine mathematisch-statistische untersuchung über den aufbau des plenterwaldes. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 102, pp 33–46, 88–103, 124–131. (In German). Referring to: Schaeffer, A., Gazin, A. & d'Alverny, A. 1930. Sapinières: Le jardinage par contenance (méthode du contrôle par les courbes). Société des amis et anciens élèves de l'École Nationale des Eaux et Forêts. Paris: Presses Universitaires de France.
- Meyer, H.A. & Stevenson D.D. 1943. The structure and growth of virgin beech-birch-maple-hemlock forests in northern Pennsylvania. Journal of agriculture research 67, pp 465–484.
- Meyer, H.A. 1952. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. Journal of forestry 50(2), pp 85–92.
- Mitscherlich, G. 1961. Untersuchungen in plenterwäldern des Schwarzwaldes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 132, pp 61–73, 85–95. (In German).
- Monserud, R.A. & Sterba, H. 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. Forest ecology and management 80, pp 57–80.
- Moser, J.W. Jr. 1972. Dynamics of an uneven-aged forest stand. Forest science 18(3), pp 184–191.
- Moser, J.W. Jr. 1974. A system of equations for the components of forest growth. In: Fries, J. (ed.) 1974. Growth models for tree and stand simulation: Proceedings of meetings in 1973, International union of forestry research organizations working party S4.01-4. (Rapporter och uppsatser 30, pp 260–287 / Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan). Stockholm.
- Murphy, P.A. & Farrar, R.M. 1982. Calculation of theoretical uneven-aged stand structures with the exponential distribution. Forest science 28(1), pp 105–109.
- Nilson, K. 2001. Studies on single-tree selection from 1830 to 1949 -a review. 17pp. In: Nilson, K. 2001. Regeneration dynamics in uneven-aged norway spruce forests with special emphasis on single-tree selection. Thesis. (Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 209). Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Nyland, R.D. 1996. Silviculture, concepts and applications. 633pp. The McGraw-Hill Companies, INC.
- Näslund, M. 1940. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd: tall, gran och björk i norra Sverige. (Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt 32(4), pp 87–142). Stockholm.

- Øjen, B-H. & Andreassen, K. 2002. Nye tillvekstmodeller for granskog behandlet med bledningshogst. (Aktuelt fra skogforskningen 6-2002, pp. 7–9 / Norsk institutt for skogforskning, Institutt for skogfag, NLH). Ås. (In Norwegian).
- Osmaston, F.C. 1968. The management of forests. 384pp. London: George Allen and Unwin LTD.
- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest ecology and management* 132, pp 259–279.
- Petterson, H. 1955. Barrskogens volymproduktion. (Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut 45:1A). Stockholm.
- Prodan, M. 1949a. Normalisierung des plenterwaldes? (Schriftenreihe der Badischen forstlichen Versuchsanstalt, Heft 7). 21pp. (In German).
- Prodan, M. 1949b. Die theoretische bestimmung des gleichgewichtszustandes im plenterwalde. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 100(2), pp 81–99. (In German with summary in French).
- Roach, B.A. 1974. What is selection cutting and how do you make it work -what is group selection and where can it be used. (State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, AFRI Misc. Report 5.) 9pp.
- Schütz, J-Ph. 1993. Geschichtlicher hergang und aktuelle bedeutung der plenterung in Europa. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 165, pp 106–114. (In German with summary in English).
- Schütz, J-Ph. 1997. The Swiss experience: more than one hundred years of experience with a single-tree-selection management-system in mountainous mixed forests of spruce, fir and beech. In: Emmingham, W.E. (ed.) 1999. Proceedings of the IUFRO interdicplinary uneven-aged management symposium september 1997, pp 21–34. Oregon State University, Corvallis.
- Schütz, J-Ph. 1999a. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen formen -skript zu vorlesung walbau II und waldbau IV. 125pp. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule. (In German).
- Schütz, J-Ph. 1999b. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen formen -skript zu vorlesung walbau II und waldbau IV. 125pp. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule. (In German). Referring to: Badoux, E. 1949. L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 26, pp 9–58.
- Schütz, J-Ph. 1999c. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen formen –skript zu vorlesung walbau II und waldbau IV. 125pp. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule. (In German). Referring to: Schütz, J-Ph. 1975. Dynamique et conditions d'équibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 126, pp 637–671.
- Schütz, J-Ph. 2002. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry* 75(4), pp 329–337.
- Stage, A.R. 1973. Prognosis model for stand development. (USDA Forest Service research paper INT-137). 32 pp. Ogden, Utah.
- Skinnehoen, K. 1969. Skogskjøtsel, pp 478–484. Oslo: Landbruksforlaget. (In Norwegian)
- Skogencyklopedin. 2000. (ed. Håkansson, M.) Stockholm: Föreningen Skogen.
- Smith, H.C. 1980. An evaluation of four uneven-age cutting practices in central Appalachian hardwoods. *Southern journal of applied forestry* 4, pp 193–200.
- Smith, D.M., Larson, B.C., Matthew, J.K. & Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture –applied forest ecology. Ninth edition. 527pp. John Wiley & Sons, INC.
- Sokol, K.A., Greenwood, M.S. & Livingston, W.H. 2004. Impacts of long-term diameter-limit harvesting on residual stands of red spruce in Maine. *Northern journal of applied forestry* 21(2), pp 69–73.
- Solbraa, K. 1996. Veien til et bærekraftig skogbruk. 183 pp. Oslo: Universitetsforlaget. (In Norwegian).
- Solomon, D.S. 1977. The influence of stand density and structure on growth of northern hardwoods in New England. (USDA Forest Service research paper NE-362). 13pp. Upper Darby, Pennsylvania.
- Solomon, D.S. & Frank. R.M. 1983. Growth response of managed uneven-aged northern conifer stands. (Research paper NE-517). 17pp. Broomall.
- Spiecker, H. 1986. Das wachstum der tannen und fichten auf plenterwald-versuchsflächen des Schwarzwaldes in der zeit von 1950 bis 1984. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 157(8), pp 152–164. (In German with summary in English).
- Statistikkort. Enheten för skoglig fältforskning, Sveriges Lantbruksuniversitet. Vindeln.
- Sterba, H. 2004. Equilibrium curves and growth models to deal with forests in transition to uneven-aged structure -application in two sample stands. *Silva Fennica* 38(4), pp 413–423.
- Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser -tillväxt och formhöjd för enskilda träd av inhemska trädslag i Sverige. Thesis. (Rapport 14 / Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning, Avdelningen för skogsuppskattning och skogindelning). 251pp. Umeå.
- Trimble, G.R., Jr. 1968. Growth of Appalachian hardwoods as affected by site and residual stand density. USDA Forest Service Research Paper NE-98, 13pp.
- Trimble, G.R. & Smith, H.C. 1976. Stand Structure and Stocking Control in Appalachian Mixed Hardwoods. USDA Forest Service Research Paper NE-340. 10pp.

- Wahlgren, A. 1914. Skogsskötsel, pp 311–333, 517–523. Stockholm: P.A. Norstedt & Söners Förlag. (In Swedish).
- Wallmo, U. 1897. Rationell Skogsafverkning. 288 pp. Stockholm: C.E. Fritzes Kongl. Hofbokhandel. (In Swedish).
- Wallmo, U. 1897. Rationell skogsavverkning. Skogen 1, pp 8–13. (In Swedish).
- Westerlund, B. Personliga meddelanden. Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå. Telefonsamtal mars 2006. Årsringsindex för Skåne åren 1985–2003.
- Wykoff, W.R. 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *Forest science* 36(4), pp 1077–1104.



# Bilagor

## Bilaga 1. Funktioner för beräkning av diameterfördelningar

Schaeffer et al (1930 se Meyer 1933b) beskrev diameterfördelningen i fullskiktad ”balanserad” skog som en geometrisk serie där kvoten  $q$  mellan stamantalet i två intilliggande diameterklasser är konstant över diameterskalan:

$$A, A \cdot q^{-1}, A \cdot q^{-2}, A \cdot q^{-3}, \dots Aq^{-n} \quad (1)$$

där  $A$  är stamantalet i den minsta diameterklassen,  $A \cdot q^{-1}$  är stamantalet i nästföljande diameterklass och  $n$  är antalet diameterklasser. Schaeffer et al (1930 in Knuchel 1953b) fann också att  $q$ -värdet förändrades beroende på växtplatsen och att  $q$ -värdet tenderade att öka med minskande bonitet.

Meyer (1933a) visade att om stamfördelningen i fullskiktad skog beskriver en geometrisk serie kan denna definieras med en negativ exponentialfunktion enligt:

$$V(x) = k \cdot e^{-ax} \quad (2)$$

där  $V(x)$  betecknar stamantalet i respektive diameterklass,  $k$  är en konstant för den relativa beståndstätheten,  $e$  är basen för den naturliga logaritmen,  $a$  är en konstant för stamantalets förändring vilken bestämmer kurvans lutning och  $x$  är klassmitt (cm). Meyer (1933a) och Meyer & Stevenson (1943) kom fram till att för såväl naturskogar i USA som för kulturskogar i Schweiz rårde ett starkt samband mellan konstanterna  $k$  och  $a$ .

Om diameterfördelningen utjämnas enligt ovanstående funktion kan  $q$ -värdet bestämmas som (Meyer 1933a):

$$q = e^{-ad} \quad (3)$$

där  $e$  är basen för den naturliga logaritmen,  $a$  är en konstant från funktion (2) ovan och  $d$  är klassvidden (cm). Då konstanten  $a$  är relaterad till  $q$ -värdet kan denna bestämmas som:

$$a = \ln q/d \quad (4)$$

där  $d$  är klassvidden (cm).

För diameterfördelningar som kan beskrivas med den negativa exponentialfunktionen (2) visade Moser (1976) hur konstanten  $k$  kan relateras till beståndets täthet uttryckt som crown competition factor (enligt krajicek et al 1961), tree-area ratio eller grundyta. Om tätheten anges med grundyta ( $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ) kan  $k$  bestämmas som:

$$k = \frac{g}{\sum_i b \cdot D_i^2 \cdot e^{-aD_i}} \quad (5)$$

där  $g$  är grundyta ( $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ),  $b$  är en konstant enligt nedan,  $D_i$  är klassmitt (cm) för respektive diameterklass,  $e$  är basen för den naturliga logaritmen och  $a$  är en konstant enligt funktion (2) och (4) ovan. Konstanten  $b$  som är beroende av vilket täthetsmått som används kan för

grundyta ( $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ) härledas ur följande funktion (Moser 1976):

$$g = b \cdot \sum D_i^2 \cdot N_i \quad (6)$$

där  $g$  är grundyta ( $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ),  $D_i$  är klassmitt (cm) i respektive diameterklass och  $N_i$  är stamantalet i respektive diameterklass. Ett närmevärde på konstanten  $b$  för grundyta ( $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ) blir med ovanstående funktion  $\pi \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}$ .

Vid konvertering av stamantalet från exempelvis 4 cm-klasser till 2 cm-klasser kan den av Leak (1965) redovisade fördelningsfunktionen vara användbar:

$$f(x) = r e^{-rx} \quad (7)$$

där  $f(x)$  betecknar andelen av det totala stamantalet som tillhör respektive diameterklass,  $r$  är en konstant överensstämmande med konstanten  $a$  enligt funktion (2) och (4) ovan,  $e$  är basen för den naturliga logaritmen och  $x$  är klassmitt (cm).

Önskar man i stället få reda på hur stor andel av stamantalet som finns ovanför en viss diameter kan nedanstående funktion användas (Leak 1965):

$$F(x) = 1 - e^{-rx} \quad (8)$$

där  $F(x)$  betecknar den kumulativa andelen av det totala stamantalet som tillhör diametern  $x$  (cm),  $e$  är basen för den naturliga logaritmen,  $r$  är en konstant från funktionen (7) ovan och  $x$  är klassmitt (cm).

Baserat på önskat virkesförråd (grundyta),  $q$ -värde, klassvidd och största respektive minsta diameterklass visade Moser (1976) hur en teoretisk stamfördelning kan beräknas. För den minsta diameterklassen utnyttjas funktionerna (4, 5, 6) ovan medan resterande diameterklasser kan beräknas med funktion (2) eller enklare, med  $q$ -värdet.

Ett alternativt sätt att beräkna en teoretisk stamfördelning har anvisats av flera författare (bl.a. Trimble & Smith 1976, Marquis 1978). Metoden baseras på önskad grundyta, klassvidd och största respektive minsta diameterklass. Först anges en ungefärlig diameterfördelning och den samlade grundytan för denna fördelning beräknas. Därefter beräknas kvoten av den önskade grundytan och grundytan för den ungefärliga diameterfördelningen. Den erhållna kvoten (korrektionsfaktorn) multipliceras sedan med respektive stamantal från den ungefärliga diameterfördelningen vilket ger det önskade stamantalet för respektive diameterklass. Leak (1964) har visat att tekniken även är användbar för diameterfördelningar med varierande  $q$ -värden.

## Bilaga 2. Sammanställning av tillväxtmodeller

Tabell 8. Sammanställning av tillväxtmodeller som berörs i detta arbete. För fotnoter se följande sida

Modellkategori <sup>a</sup> och trädslag	Upplösning och period	Beroende variabel	Oberoende variabler <sup>b</sup>	Referens
<b>B</b> gran (SI G24) i Sverige	diameterklass 2cm-klasser 5-årsperiod	grundytetillväxt	grundyta/d-klass, diameter klassmitt, överskärmande g-yta <sup>c</sup>	Chrimes & Lundqvist (2004)
<b>E</b> Trädslag i Norge	enskilda träd 5-årsperiod	grundytetillväxt	ba <sup>d</sup> , trädslag, P <sup>e</sup> , LAY <sup>f</sup> , Lat <sup>g</sup> , ALT <sup>h</sup> , SI <sup>i</sup> , BA <sup>j</sup> , Dg <sup>k</sup> , NQ <sup>l</sup>	Andreassen & Tomter (2003)
<b>B<sup>m</sup></b> gran i Norge	Dg <sup>k</sup> 1-årsperiod	diametertillväxt för Dg <sup>k</sup>	Dg <sup>k</sup> , H40 <sup>i</sup> , BA <sup>j</sup>	Andreassen & Øjen (2002)
<b>E</b> trädslag i Österrike	enskilda träd 5-årsperiod	grundytetillväxt	trädslag och region, ståndortsfaktorer <sup>n</sup> , BAL <sup>o</sup> , CCF <sup>p</sup> , d brh, CR <sup>q</sup>	Monserud & Sterba (1995)
<b>B<sup>m,r</sup></b> gran i Finland	diameterklass 4cm-klasser 5-årsperiod	antal stammar som växer upp till nästa diameterklass	diameter klassmitt, beståndets medelhöjd, BA <sup>j</sup>	Kolström (1993)
<b>E</b> barrträdslag i norra delen av Klippiga Bergen	enskilda träd 10-årsperiod	diametertillväxt	trädslag, region, HAB <sup>t</sup> , lutning, exposition, ALT <sup>h</sup> , BAL <sup>o</sup> , CCF <sup>p</sup> , CR <sup>r</sup> , d brh	Wykoff (1990)
<b>E</b> trädslag i Sverige	enskilda träd 5-årsperiod	grundytetillväxt	trädslag, region, LAT <sup>g</sup> , ALT <sup>h</sup> , H100 <sup>u</sup> , ståndort <sup>v</sup> , gallr <sup>w</sup> , göds <sup>x</sup> , ålder, BA <sup>j</sup> , d/dmax <sup>y</sup>	Söderberg (1986)
<b>E<sup>r</sup></b> Lövblandskogar nordöstra USA <sup>s</sup>	enskilda träd 5-årsperiod	diametertillväxt	d brh, BA <sup>j</sup>	Hansen (1983) se: Hansen & Nyland (1987b)
<b>B<sup>m,r</sup></b> lövblandskogar i USA (northern hardwoods) <sup>s</sup>	diameterklass 2inch-klasser ≈5,1cm	antal stammar som växer upp till nästa diameterklass	g-yta d-klass, stamantal/d-klass	Buongiorno & Michie (1980)
<b>B<sup>r,z</sup></b> lövblandskogar i USA (northern hardwoods) <sup>s</sup>	diameterklass 5in-klasser ≈12,7cm	grundytetillväxt	stamantal/d-klass, g-yta/d-klass, BA <sup>j</sup> , BAL <sup>o</sup>	Moser (1974)
<b>B<sup>r,z</sup></b> lövblandskogar i USA (northern hardwoods) <sup>s</sup>	diameterklass 2in-klasser ≈5,1cm 5-årsperiod	antal stammar som växer upp till nästa diameterklass	H50 <sup>å</sup> , stamantal/d-klass, g/n <sup>å</sup> , Dg <sup>k</sup> , BA <sup>j</sup>	Ek (1974)

Fotnoter till Tabell 8: Sammanställning av tillväxtmodeller

- <sup>a</sup> B= tillväxtmodell för bestånd Bm = tillväxtmodell för bestånd, av matrismodell  
E= tillväxtmodell för enskilda träd, ej avståndsberoende
- <sup>b</sup> oberoende variabler är angivna utan ev. matematiska omskrivningar, som t.ex. kvadrering, logaritmering mm.
- <sup>c</sup> överskärmande g-yta = samlad grundyta för diameterklasser vars medelhöjd är minst 2 meter över den aktuella diameterklassens
- <sup>d</sup> ba = basal area (=grundyta för det enskilda trädet)
- <sup>e</sup> P = trädslagsblandning
- <sup>f</sup> LAY = enskiktad eller flerskiktad
- <sup>g</sup> LAT = latitud i grader
- <sup>h</sup> ALT = altitud, höjd över havet
- <sup>i</sup> H40 = övre höjd i meter vid 40 års ålder
- <sup>j</sup> BA = Basal Area (=total grundyta)
- <sup>k</sup>) Dg = grundytamedelstammens diameter
- <sup>l</sup> NQ = trädets diameter/Dg
- <sup>m</sup> en av flera framtagna modeller
- <sup>n</sup> höjd över havet, lutning, exposition, humuslagrets tjocklek, jordmånstyp, jorddjup, markvegetationstyp, markfuktighetsklass
- <sup>o</sup> BAL = basal area of larger trees (=samlad grundyta för träd vars diameter är större än det aktuella trädets)
- <sup>p</sup> CCF = crown competition factor (enligt Krajicek et al 1961)
- <sup>q</sup> CR = crown ratio (=den levande kronans längd som andel av trädets höjd)
- <sup>r</sup> innehåller delmodell för inväxning
- <sup>s</sup> dominerade av sockerlönn (*Acer saccharum* Marsh.)
- <sup>t</sup> HAB = habitat type (=naturtyp)
- <sup>u</sup> H100 = övre höjd i meter vid 100 års ålder
- <sup>v</sup> ståndort = ståndortsfaktorer för fastmark/torvmark samt markvegetationstyp
- <sup>w</sup> gallr. = tillväxteffekt efter gallring
- <sup>x</sup> göds. = tillväxteffekt efter gödsling
- <sup>y</sup> d/dmax = trädets diameter/beståndets största diameter
- <sup>z</sup> innehåller delmodell för mortalitet
- <sup>å</sup> g/n = diameterklassens grundyta/diameterklassens stamantal
- <sup>ä</sup> H50 = höjd i feet vid 50 års ålder

### **Bilaga 3. Tillägg till Material och Metoder**

#### ***Kriterier vid urval av försöksytor***

På grund av arbetets begränsade omfattning har det varit tvunget att göra ett urval bland försöksytor. Grundläggande önskemål med tillväxtmodellen har varit att a) prognostisera tillväxtförlopp för enskilda träd i grandominerad fullskiktad skog och b) analysera beståndsstrukturens inverkan på tillväxten i sådan skog. För att skapa förutsättningar för detta med ett begränsat material uppställdes följande kriterier på försöksytorna:

- Virkesförrådet på försöksytorna bör inte ha varit för lågt under observationstiden. Detta med anledning av att virkesförrådets storlek kan tänkas inverka på såväl tillväxtens storlek och dynamik samt föryngrings- och inväxningsförhållanden.
- Av samma skäl eftersträvades en så låg inblandning som möjligt av andra trädslag.
- För att inte begränsa tillväxtmodellen till en viss bonitet önskades en spridning i ståndortsindex.
- Tillväxt- och strukturförändringar är långsamma förlopp. Därför efterstävades ytor med så lång observationstid som möjligt.

Bland ett femtontal möjliga svenska försöksytor utvaldes slutligen 5 ytor för detta arbete.

#### ***Metodik vid urval av diameterregistreringar***

Av samma skäl som ovan har det gjorts ett urval bland diameterregistreringarna från respektive försöksyta. En beskrivning av använda diameterregistreringar ges i Tabell 9. I allmänhet har enbart diameteruppgiften parallellt mot korsmarkeringen använts om träden inte varit uppenbart ovala. På grund av att uppgifter om inväxning saknas och att diameterskalan förlängts över tiden är urvalet något skevt, de klenaste diameterklasserna saknas eller är svagt representerade vid de senare revisionerna och omvänt för de grövre diameterklasserna. För att i någon mån kompensera för detta har ett större antal registreringar medtagits från dessa revisioner för respektive diameterklass.

För yta 2487 (SI 30) är materialet underrepresenterat. Dels är det bara en yta jämfört med två ytor för de andra SI-nivåerna, dels har ytan följts under betydligt kortare tid. För att överhuvudtaget få ett användbart material för denna SI-nivå har därför alla tillgängliga diameterregistreringar från ytan använts.

Antalet revisioner är olika mellan ytorna. Därför har ett högre antal registreringar använts per diameterklass och revision för ytor med färre revisioner. Totalt har 1677 diameterregistreringar använts som underlag för tillväxtmodellen.

Tabell 9. Beskrivning av diameterregistreringar använda i tillväxtmodell

Yta	Antal observationer	Minsta diameterklass klassvidd 4 cm	Största diameterklass klassvidd 4 cm	Antal registreringar per d-klass i genomsnitt	Antal tillväxtperioder	Registreringar per d-klass och tillväxtperiod i genomsnitt
Vs 7.2	294	0–4	32–36	33	5	6,5
Vs 7.4	268	0–4	28–32	34	5	6,7
Sf 56.1	369	0–4	40–44	34	7	4,8
Sf 56,2	328	0–4	40–44	30	7	4,3
2487	411	4–8	52–56	32	4	7,9

### Modellkonstruktion

Det enskilda trädets diametertillväxt beskrivs i tillväxtmodellen av trädets storlek och konkurrenssituation. Ståndortsförhållanden uttryckt genom ståndortsfaktorer eller ståndortsindex har inte använts på grund av materialets begränsade storlek samt svårigheter att särskilja ståndortens betydelse från skogsskötsel effekter och tidigare historik. Den sammantagna effekten av dessa faktorer har i stället fångats upp genom användande av så kallade dummyvariabler.

Tillväxtmodellen kan skrivas på den allmänna formen:

$$i_d = c + (c * storlek) + (c * konkurrens) + (c * D)$$

där  $i_d$  är diametertillväxt

*storlek* är huvudsaklig tillväxtberoende variabel

*konkurrens* är variabler som uttrycker konkurrensens inverkan på diametertillväxten

*D* är dummyvariabler för respektive SI-nivå

*c* är regressionskoefficienter

Tillväxt för enskilda träd uttrycks vanligen som ökning av grundyta eller diameter för en definierad tillväxtperiod. Som beroende variabel för denna tillväxtmodell valdes årlig diametertillväxt (mm/år på bark). Grundytetillväxt använd av t.ex. Söderberg (1986) och Monserud & Sterba (1995) provades men visade svag signifikans eller gav oönskade residualavvikelser.

Som framkommit tidigare (se Modellering av konkurrensförhållanden i fullskiktad skog i Litteraturstudien) kan konkurrenssituationen i fullskiktad skog beskrivas som en kombination av symmetrisk och osymmetrisk konkurrens. Ett sätt att uttrycka mer allmän osymmetrisk konkurrens (ljuskonkurrens) kan vara att söka definiera inverkan från större, dominerande träd. Härvid har grundyta för dominerande träd uttryckt som summa grundyta för de 100 grövsta träden per hektar har använts som oberoende variabel. Grundyta för dominerande träd har tidigare använts i både beståndsmodeller (Chrimes & Lundqvist 2004) och modeller för enskilda träd (Wykoff 1990, Monserud & Sterba 1995) men då begränsad till grundytan för de diameterklasser som är större än det aktuella trädets.

En mer specifik påverkan på det enskilda trädets orsakad av (ljus-) konkurrens från större träd, uttrycks i modellen av kvoten för det enskilda trädets grundyta baserad på diametern i brösthöjd, och grundyta för dominerande träd.

Symmetrisk konkurrens eller rotkonkurrens kan uttryckas som täthet mellan trädindivider. I

tillväxtmodellen beskrivs denna konkurrenssituation genom det logaritmerade värdet av kvoten för det enskilda trädets grundyta baserad på diametern i brösthöjd, och total grundyta per hektar. Denna variabel anger beståndets allmänna täthet och uttrycker konkurrens från omgivande träd oavsett storlek.

Eftersom materialet inom respektive SI-grupp är relativt homogent har ytorna kunnat sammanslås vad gäller användning av dummyvariabler (se Figur 1 i Resultatdelen). Härvid har SI-grupp 24 (ytorna Sf 56.1, Sf 56.2) tilldelats variabelvärde 1 annars 0. På motsvarande sätt har SI-grupp 30 (yta 2487) tilldelats variabelvärde 1 annars 0.

Ett samlat uttryck för modellen blir då:

$$i_d = c_1 + (c_2 * d_m) + (c_3 * g\text{-}yta_{dom}) + [c_4 * (g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{dom})] + [c_5 * \ln(g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{ha})] + (c_6 * D24) + (c_7 * D30)$$

där  $i_d$  är årlig diametertillväxt (mm/år)

$d_m$  är genomsnittlig diameter mellan revisioner (mm brh)

$g\text{-}yta_{dom}$  är grundyta för dominerande träd ( $m^2/ha$ ) definierad som summa grundyta för de 100 grövsta träden per hektar

$g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{dom}$  är kvoten av det enskilda trädets grundyta ( $m^2$ ) baserad på diametern i brösthöjd på bark, och grundyta för dominerande träd ( $m^2/ha$ )

$\ln(g\text{-}yta_{stam}/g\text{-}yta_{ha})$  är det logaritmerade värdet av kvoten för det enskilda trädets grundyta ( $m^2$ ) baserad på diametern i brösthöjd på bark, och total grundyta per hektar ( $m^2/ha$ )

$D24$  är dummyvariabel med värdet 1 för SI-grupp G24 annars värdet 0

$D30$  är dummyvariabel med värdet 1 för SI-grupp G30 annars värdet 0

$c_1, \dots, c_7$  är regressionskoefficienter

Tillväxtmodellen har konstruerats för att ge årlig tillväxt i diameter. Eftersom intervallet mellan två revisioner har varit flera år (vanligen 5–10 år) är den årliga framräknade diametertillväxten ett medelvärde av diametertillväxten för hela tillväxtperioden. För att få trädets diameter att bättre motsvara denna genomsnittliga diametertillväxt har trädets uppskattade diameter mellan två revisioner använts vid regressionsanalysen. Härvid har diametern bestämts som medelvärdet av diametern vid revision X och diametern vid efterföljande revision. Samma princip har använts för konkurrensvariablerna varvid grundyta per hektar och grundyta för dominerande träd har bestämts som medelvärdet av grundytan efter gallring vid revision X och grundytan före gallring vid efterföljande revision.

## Bilaga 4. Skogens utveckling på försöksytor

Vid start var alla ytor grandominerade med en andel på 66–97 % av grundytan (Tabell 10). Under observationstiden har andelen gran ökat för alla ytor. Ökningen har varit speciellt stor för ytorna 7.2 och 7.4 motsvarande ca 30 procentenheter.

Årlig medeltillväxt (MAI) exklusive inväxning har varit i nivå med eller över uppskattad bonitet för de äldre fyra ytorna (Tabell 11). För yta 2487 har MAI varit ca 10 % under nivån för uppskattad bonitet.

Tabell 10. Trädslagssammansättning vid start och vid sista inventering baserad på data från Statistikkort

Yta	Trädslagssammansättning före första ingrepp, % av grundytan			Trädslagssammansättning före sista ingrepp, % av grundytan		
	Gran	Tall	Löv	Gran	Tall	Löv
Vs 7.2	65,6	1,9	32,5 <sup>a</sup>	94,4	0	5,6 <sup>a</sup>
Vs 7.4	69,7	9,0	21,3 <sup>a</sup>	92,9	7,1	0
Sf 56.1	92,1	6,5	1,4 <sup>a</sup>	97,5	2,1	0,4 <sup>a</sup>
Sf 56,2	84,4	15,6	0	94,8	4,3	0,9 <sup>a</sup>
2487	80,6	3,3	16,1 <sup>a</sup>	84,4 <sup>b</sup>	0	16,6 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Huvudsakligen björk

<sup>b</sup> Huvudsakligen bok och klippal

Tabell 11. Bonitet och tillväxt på försöksytor (Lundqvist 1989b)

Yta	Ståndorts- Index <sup>a</sup> H <sub>100</sub> , m	Bonitet m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> vid medeltillväxtens kulmination	Observerad tillväxt, MAI <sup>b</sup> m <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>
Vs 7.2	G19	3,6	4,4
Vs 7.4	G19	3,6	4,2
Sf 56.1	G24	6,1	6,2
Sf 56,2	G24	6,1	5,9
2487	G30 <sup>c</sup>	10,1	9,1

<sup>a</sup> Uppskattad med ståndortsegenskaper

<sup>b</sup> MAI= Genomsnittlig årlig medeltillväxt under observationstiden efter data sammanställd från Statistikkort exklusive inväxning

<sup>c</sup> (Lundqvist 2005)

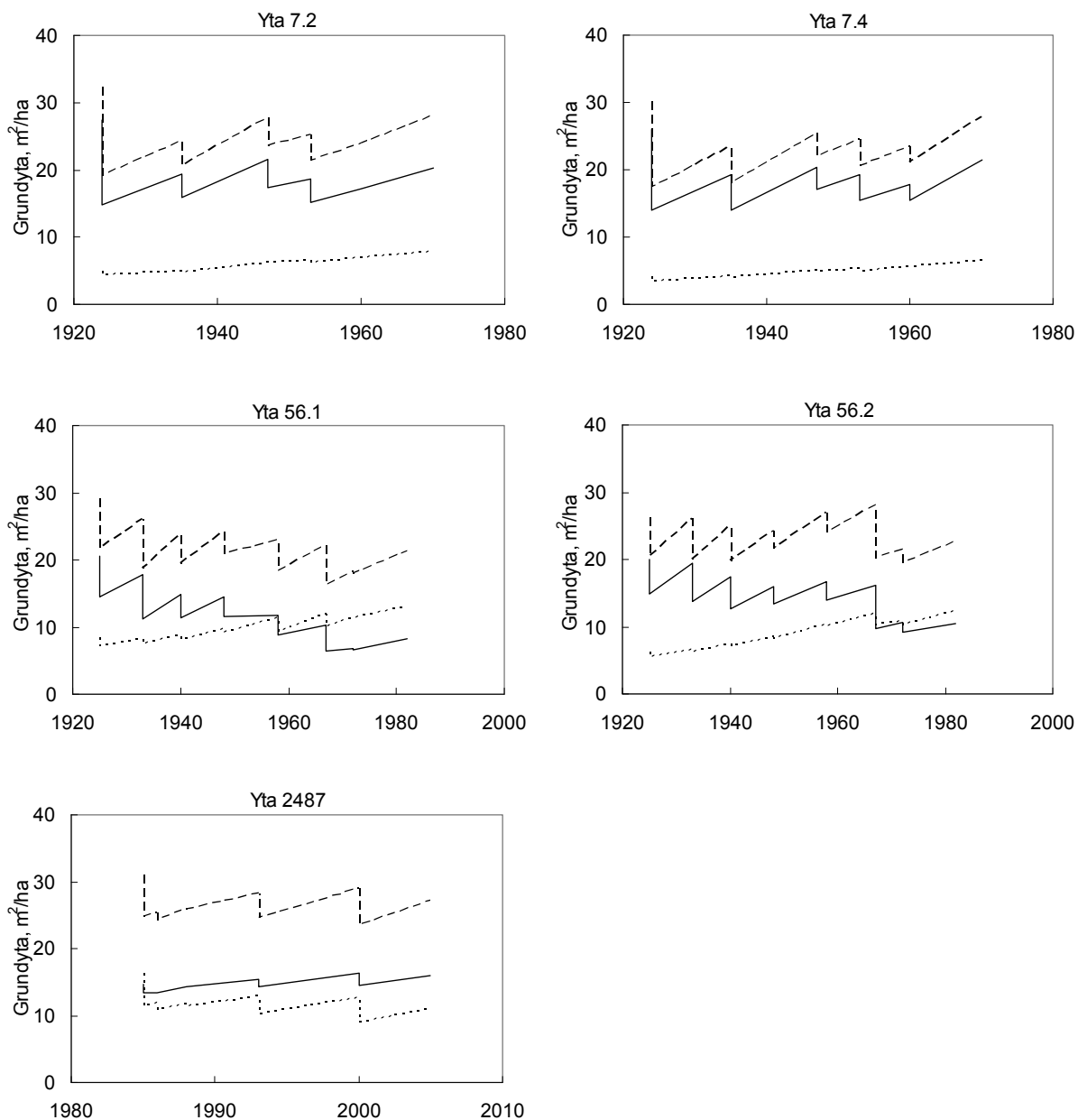
Figur 6 visar virkesförrådets utveckling på försöksytorna under observationstiden. För alla ytor har stående virkesförråd mätt som grundytan per hektar fluktuerat över tiden. För ytorna 7,2 och 7,4 har virkesförrådet ökat sakta över tiden medan det motsatta gäller för yta 56.1. För yta 56.2 sänktes virkesförrådet kraftigt vid revision fem, framför allt för mindre träd.

Grundytan för dominerande träd, definierad som summa grundytan för de 100 grövsta träden per ha har ökat konstant under observationstiden för de fyra äldre försöksytorna beroende på att ingreppen i huvudsak har varit koncentrerade till mindre och medelstora träd. De



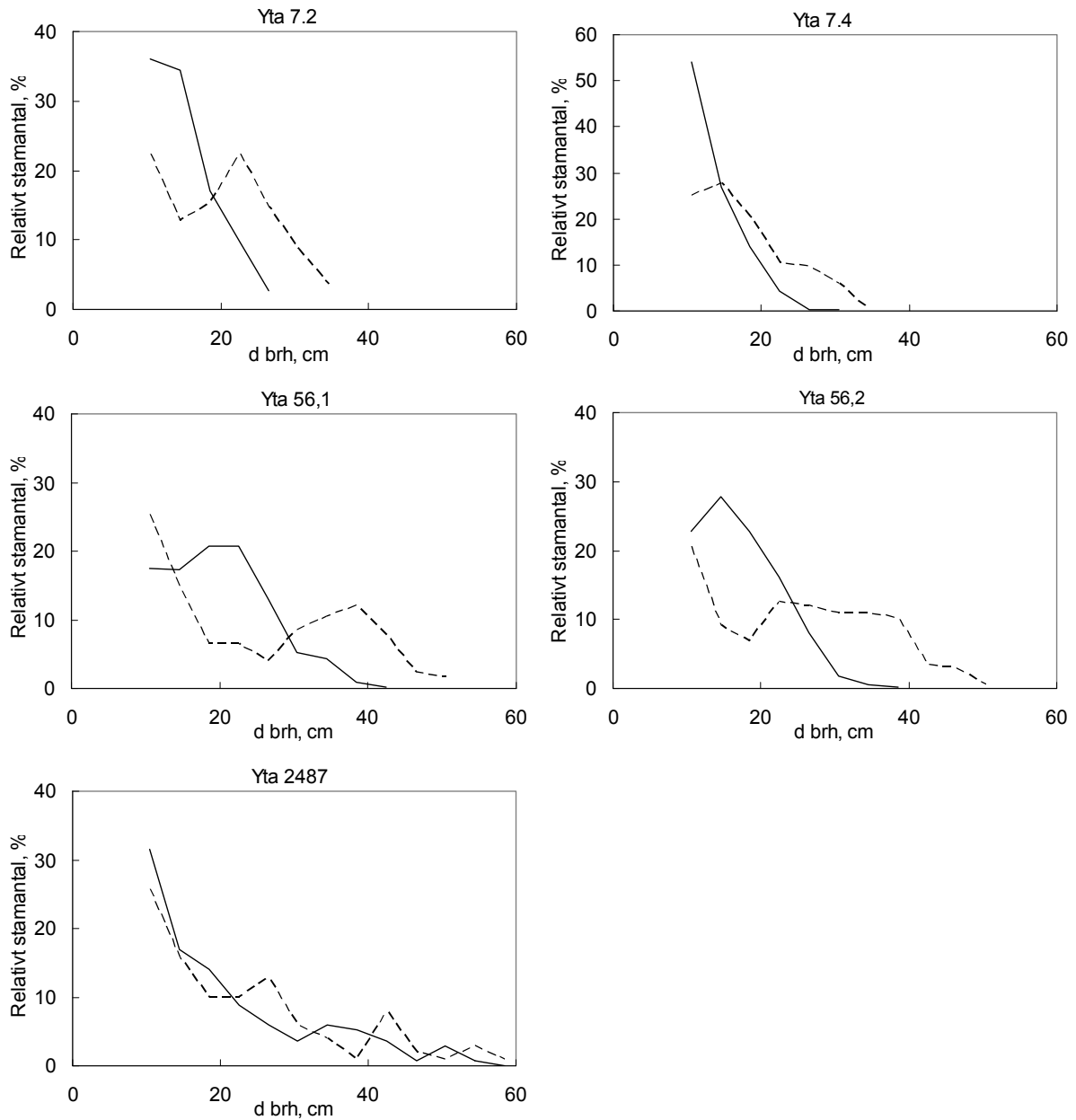
dominerande trädens andel av den totala grundytan har under observationstiden varit i genomsnitt 24 % för SI-grupp G19, 45 % för SI-grupp G24 och 56 % för SI-grupp G30.

De indominanta trädens grundyta definierad som differensen mellan total grundyta och de dominerande trädens grundyta har sjunkit kontinuerligt under observationstiden för ytorna 56.1 och 56.2. För dessa två ytor var de indominanta trädens grundyta lägre än respektive grundyta för de dominerande träden vid slutet av observationstiden.



Figur 6. Virkesförrådets utveckling på försöksytor exklusive inväxning, grundyta  $m^2 ha^{-1}$  baserad på data från Statistikkort och Fältnöcker, för definitioner, se text.  
 --- grundyta total — grundyta indominanta träd ..... grundyta dominerande träd

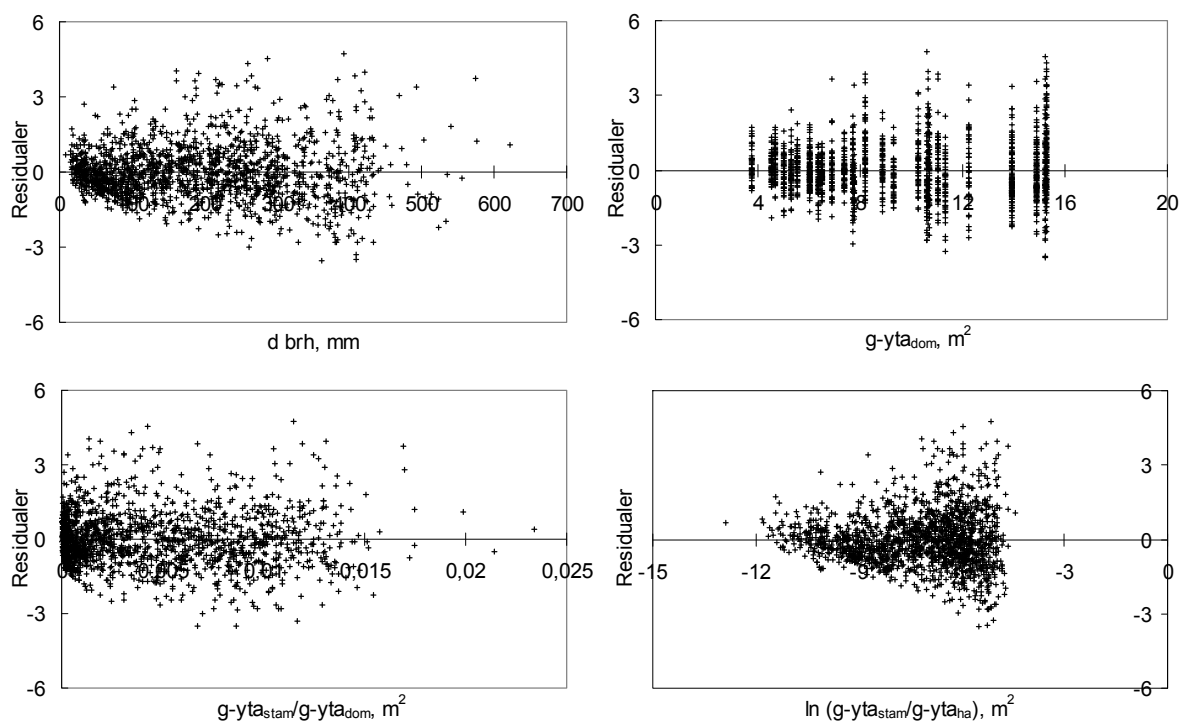
Figur 7 visar diameterfördelningen vid observationstidens början och slut. Huvudsakligen på grund av valda uttagsstrategier har det för de äldre fyra ytorna skett en minskning av andelen stammar i klenare diameterklasser och en ökning i de grövre klasserna. Trädens största diameter har också ökat under observationstiden.



Figur 7. Diameterfördelningens utveckling på försöksytorna under observationstiden, andel stammar i % per 4cm diameterklass med  $d \geq 8,5$  cm brh exklusive inväxning (efter Lundqvist 1989a och Statistikkort). — vid första revision, före ingrepp - - - vid sista revision, före ingrepp

## Bilaga 5. Residualsamband och korrelation

Residualdiagram över modellens variabler visar inga tecken på över- eller underestimering av diametertillväxten eller osymmetrisk inverkan på tillväxtförloppet i övrigt (Figur 8).



Figur 8. Residualdiagram för variabler i tillväxtmodell.

Tabell 12 visar korrelation mellan tillväxtmodellens variabler.

Tabell 12. Korrelation mellan variabler i tillväxtmodell

	<b>d</b>	<b>g-yta<sub>dom</sub></b>	<b>g-yta<sub>stam</sub>/g-yta<sub>dom</sub></b>	<b>ln(g-yta<sub>stam</sub>/g-yta<sub>ha</sub>)</b>	<b>D24</b>	<b>D30</b>
<b>d</b>	1,00					
<b>g-yta<sub>dom</sub></b>	0,21	1,00				
<b>g-yta<sub>stam</sub>/g-yta<sub>dom</sub></b>	0,92	-0,07	1,00			
<b>ln(g-yta<sub>stam</sub>/g-yta<sub>ha</sub>)</b>	0,93	0,17	0,83	1,00		
<b>D24</b>	0,19	-0,02	0,13	0,16	1,00	
<b>D30</b>	-0,03	0,83	-0,21	-0,05	-0,48	1,00

# Publications from The Department of Forest Products, SLU, Uppsala

## Rapporter/Reports

1. Ingemarson, F. 2007. De skogliga tjänstemännens syn på arbetet i Gudruns spår. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
2. Lönnstedt, L. 2007. *Financial analysis of the U.S. based forest industry*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
4. Stendahl, M. 2007. *Product development in the Swedish and Finnish wood industry*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
5. Nylund, J-E. & Ingemarson, F. 2007. *Forest tenure in Sweden – a historical perspective*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
6. Lönnstedt, L. 2008. *Forest industrial product companies – A comparison between Japan, Sweden and the U.S.* Department of Forest Products, SLU, Uppsala
7. Axelsson, R. 2008. Forest policy, continuous tree cover forest and uneven-aged forest management in Sweden's boreal forest. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
8. Johansson, K-E.V. & Nylund, J-E. 2008. NGO Policy Change in Relation to Donor Discourse. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
9. Uetimane Junior, E. 2008. Anatomical and Drying Features of Lesser Known Wood Species from Mozambique. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
10. Eriksson, L., Gullberg, T. & Woxblom, L. 2008. Skogsbruksmetoder för privatskogs-brukaren. *Forest treatment methods for the private forest owner*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
11. Eriksson, L. 2008. Åtgärdsbeslut i privatskogsbruket. *Treatment decisions in privately owned forestry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
12. Lönnstedt, L. 2009. *The Republic of South Africa's Forests Sector*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
13. Blicharska, M. 2009. *Planning processes for transport and ecological infrastructures in Poland – actors' attitudes and conflict*. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
14. Nylund, J-E. 2009. *Forestry legislation in Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
15. Björklund, L., Hesselman, J., Lundgren, C. & Nylinder, M. 2009. Jämförelser mellan metoder för fastvolymbestämning av stockar. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
16. Nylund, J-E. 2010. *Swedish forest policy since 1990 – reforms and consequences*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
17. Eriksson, L., m.fl. 2011. Skog på jordbruksmark – erfarenheter från de senaste decennierna. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
18. Larsson, F. 2011. Mätning av bränsleved – Fastvolym, torrhalt eller vägning? Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
19. Karlsson, R., Palm, J., Woxblom, L. & Johansson, J. 2011. Konkurrenskraftig kundanpassad affärsutveckling för lövträ - Metodik för samordnad affärs- och teknikutveckling inom leverantörskedjan för björkämnen. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

## Examensarbeten/Master Thesis

1. Stangebye, J. 2007. Inventering och klassificering av kvarlämnad virkesvolym vid slutavverkning. *Inventory and classification of non-cut volumes at final cut operations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
2. Rosenquist, B. 2007. Bidragsanalys av dimensioner och postningar – En studie vid Vida Alvesta. *Financial analysis of economic contribution from dimensions and sawing patterns – A study at Vida Alvesta*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
3. Ericsson, M. 2007. En lyckad affärsrelation? – Två fallstudier. *A successful business relation? – Two case studies*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
4. Ståhl, G. 2007. Distribution och försäljning av kvalitetsfuru – En fallstudie. *Distribution and sales of high quality pine lumber – A case study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
5. Ekholm, A. 2007. Aspekter på flyttkostnader, fastighetsbildning och fastighetstorlekar. *Aspects on fixed harvest costs and the size and dividing up of forest estates*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

6. Gustafsson, F. 2007. Postningsoptimering vid sönderdelning av fura vid Sätters Ångsåg. *Saw pattern optimising for sawing Scots pine at Sätters Ångsåg*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
7. Götherström, M. 2007. Följdeffekter av olika användningssätt för vedråvara – en ekonomisk studie. *Consequences of different ways to utilize raw wood – an economic study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
8. Nashr, F. 2007. *Profiling the strategies of Swedish sawmilling firms*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
9. Högsborn, G. 2007. Sveriges producenter och leverantörer av limträ – En studie om deras marknader och kundrelationer. *Swedish producers and suppliers of glulam – A study about their markets and customer relations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
10. Andersson, H. 2007. *Establishment of pulp and paper production in Russia – Assessment of obstacles*. Etablering av pappers- och massaproduktion i Ryssland – bedömning av möjliga hinder. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
11. Persson, F. 2007. Exponering av trägolvet och lister i butik och på mässor – En jämförande studie mellan sport- och bygghandeln. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
12. Lindström, E. 2008. En studie av utvecklingen av drivningsnett i skogsbruket. *A study of the net conversion contribution in forestry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
13. Karlhager, J. 2008. *The Swedish market for wood briquettes – Production and market development*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
14. Höglund, J. 2008. *The Swedish fuel pellets industry: Production, market and standardization*. Den Svenska bränslepelletsindustrin: Produktion, marknad och standardisering. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
15. Trulsson, M. 2008. Värmebehandlat trä – att inhämta synpunkter i produktutvecklingens tidiga fas. *Heat-treated wood – to obtain opinions in the early phase of product development*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
16. Nordlund, J. 2008. Beräkning av optimal batchstorlek på gavelspikningslinjer hos Vida Packaging i Hestra. *Calculation of optimal batch size on cable drum flanges lines at Vida Packaging in Hestra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
17. Norberg, D. & Gustafsson, E. 2008. *Organizational exposure to risk of unethical behaviour – In Eastern European timber purchasing organizations*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
18. Bäckman, J. 2008. Kundrelationer – mellan Setragroup AB och bygghandeln. *Customer Relationshipship – between Setragroup AB and the DIY-sector*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
19. Richnau, G. 2008. *Landscape approach to implement sustainability policies? - value profiles of forest owner groups in the Helgeå river basin, South Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
20. Sokolov, S. 2008. *Financial analysis of the Russian forest product companies*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
21. Färilin, A. 2008. *Analysis of chip quality and value at Norske Skog Pisa Mill, Brazil*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
22. Johansson, N. 2008. *An analysis of the North American market for wood scanners*. En analys över den Nordamerikanska marknaden för träscannern. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
23. Terzieva, E. 2008. *The Russian birch plywood industry – Production, market and future prospects*. Den ryska björkplywoodindustrin – Produktion, marknad och framtida utsikter. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
24. Hellberg, L. 2008. Kvalitativ analys av Holmen Skogs internprissättningsmodell. *A qualitative analysis of Holmen Skogs transfer pricing method*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
25. Skoglund, M. 2008. Kundrelationer på Internet – en utveckling av Skandias webbplats. *Customer relationships through the Internet – developing Skandia's homepages*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
26. Hesselman, J. 2009. Bedömning av kunders uppfattningar och konsekvenser för strategisk utveckling. *Assessing customer perceptions and their implications for strategy development*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
27. Fors, P-M. 2009. *The German, Swedish and UK wood based bio energy markets from an investment perspective, a comparative analysis*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
28. Andræ, E. 2009. *Liquid diesel biofuel production in Sweden – A study of producers using forestry- or agricultural sector feedstock*. Produktion av förnyelsebar diesel – en studie av producenter av biobränsle från skogs- eller jordbrukssektorn. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
29. Barrstrand, T. 2009. Oberoende aktörer och Customer Perceptions of Value. *Independent actors and Customer Perception of Value*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

30. Fälldin, E. 2009. Påverkan på produktivitet och produktionskostnader vid ett minskat antal timmerlängder. *The effect on productivity and production cost due to a reduction of the number of timber lengths*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
31. Ekman, F. 2009. Stormskadornas ekonomiska konsekvenser – Hur ser försäkringsersättningsnivåerna ut inom familjeskogsbruket? *Storm damage's economic consequences – What are the levels of compensation for the family forestry?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
32. Larsson, F. 2009. Skogsmaskinföretagarnas kundrelationer, lönsamhet och produktivitet. *Customer relations, profitability and productivity from the forest contractors point of view*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
33. Lindgren, R. 2009. Analys av GPS Timber vid Rundviks sågverk. *An analysis of GPS Timber at Rundvik sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
34. Rådberg, J. & Svensson, J. 2009. Svensk skogsindustris framtida konkurrensfördelar – ett medarbetarperspektiv. *The competitive advantage in future Swedish forest industry – a co-worker perspective*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
35. Franksson, E. 2009. Framtidens rekrytering sker i dag – en studie av ingenjörstudenters uppfattningar om Södra. *The recruitment of the future occurs today – A study of engineering students' perceptions of Södra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
36. Jonsson, J. 2009. *Automation of pulp wood measuring – An economical analysis*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
37. Hansson, P. 2009. *Investment in project preventing deforestation of the Brazilian Amazonas*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
38. Abramsson, A. 2009. Sydsvenska köpsågverksstrategier vid stormtimmerlagring. *Strategies of storm timber storage at sawmills in Southern Sweden*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
39. Fransson, M. 2009. Spridning av innovationer av träprodukter i byggvaruhandeln. *Diffusion of innovations – contrasting adopters views with non adopters*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
40. Hassan, Z. 2009. *A Comparison of Three Bioenergy Production Systems Using Lifecycle Assessment*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
41. Larsson, B. 2009. Kundens uppfattade värde av svenska sågverksföretags arbete med CSR. *Customer perceived value of Swedish sawmill firms work with CSR*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
42. Raditya, D. A. 2009. *Case studies of Corporate Social Responsibility (CSR) in forest products companies - and customer's perspectives*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
43. Cano, V. F. 2009. *Determination of Moisture Content in Pine Wood Chips*. Bachelor Thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
44. Arvidsson, N. 2009. Argument för prissättning av skogsfastigheter. *Arguments for pricing of forest estates*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
45. Stjernberg, P. 2009. Det hyggesfria skogsbruket vid Ytringe – vad tycker allmänheten? *Continuous cover forestry in Ytringe – what is the public opinion?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
46. Carlsson, R. 2009. *Fire impact in the wood quality and a fertilization experiment in Eucalyptus plantations in Guangxi, southern China*. Brandinverkan på vedkvaliteten och tillväxten i ett gödselexperiment i Guangxi, södra Kina. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
47. Jerenius, O. 2010. Kundanalys av tryckpappersförbrukare i Finland. *Customer analysis of paper printers in Finland*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
48. Hansson, P. 2010. Orsaker till skillnaden mellan beräknad och inmätt volym grot. *Reasons for differences between calculated and scaled volumes of tops and branches*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
49. Eriksson, A. 2010. *Carbon Offset Management - Worth considering when investing for reforestation CDM*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
50. Fallgren, G. 2010. På vilka grunder valdes limträleverantören? – En studie om hur Setra bör utveckla sitt framtida erbjudande. *What was the reason for the choice of glulam deliverer? - A studie of proposed future offering of Setra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
51. Ryno, O. 2010. Investeringskalkyl för förbättrat värdeutbyte av furu vid Krylbo sågverk. *Investment Calculation to Enhance the Value of Pine at Krylbo Sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
52. Nilsson, J. 2010. Marknadsundersökning av färdigkapade produkter. *Market investigation of pre cut lengths*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
53. Mörner, H. 2010. Kundkrav på biobränsle. *Customer Demands for Bio-fuel*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

54. Sunesdotter, E. 2010. Affärsrelationers påverkan på Kinnarps tillgång på FSC-certifierad råvara. Business Relations Influence on Kinnarps' Supply of FSC Certified Material. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
55. Bengtsson, W. 2010. Skogsfastighetsmarknaden, 2005-2009, i södra Sverige efter stormarna. *The market for private owned forest estates, 2005-2009, in the south of Sweden after the storms*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
56. Hansson, E. 2010. Metoder för att minska kapitalbindningen i Stora Enso Bioenergis terminallager. *Methods to reduce capital tied up in Stora Enso Bioenergy terminal stocks*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
57. Johansson, A. 2010. Skogsallmänningars syn på deras bankrelationer. *The commons view on their bank relations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
58. Holst, M. 2010. Potential för ökad specialanpassning av trävaror till byggföretag – nya möjligheter för träleverantörer? *Potential for greater customization of the timber to the construction company – new opportunities for wood suppliers?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
59. Ranudd, P. 2010. Optimering av råvaruflöden för Setra. *Optimizing Wood Supply for Setra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
60. Lindell, E. 2010. Rekreation och Natura 2000 – målkonflikter mellan besökare och naturvård i Stendörrens naturreservat. *Recreation in Natura 2000 protected areas – visitor and conservation conflicts*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
61. Coletti Pettersson, S. 2010. Konkurrentanalys för Setragroup AB, Skutskär. *Competitive analysis of Setragroup AB, Skutskär*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
62. Steiner, C. 2010. Kostnader vid investering i flisaggregat och tillverkning av pellets – En komparativ studie. *Expenses on investment in wood chipper and production of pellets – A comparative study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
63. Bergström, G. 2010. Bygghandelns inköpsstrategi för träprodukter och framtida efterfrågan på produkter och tjänster. *Supply strategy for builders merchants and future demands for products and services*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
64. Fuente Tomai, P. 2010. *Analysis of the Natura 2000 Networks in Sweden and Spain*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
65. Hamilton, C-F. 2011. Hur kan man öka gallringen hos privata skogsägare? En kvalitativ intervjustudie. *How to increase the thinning at private forest owners? A qualitative questionnaire*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
66. Lind, E. 2011. Nya skogsbaserade material – Från Labb till Marknad. *New wood based materials – From Lab to Market*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
67. Hulusjö, D. 2011. Förstudie om e-handel vid Stora Enso Packaging AB. *Pilot study on e-commerce at Stora Enso Packaging AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
68. Karlsson, A. 2011. Produktionsekonomi i ett lövsågverk. *Production economy in a hardwood sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
69. Bränngård, M. 2011. En konkurrensanalys av SCA Timbers position på den norska bygghandelsmarknaden. *A competitive analyze of SCA Timbers position in the Norwegian builders merchant market*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
70. Carlsson, G. 2011. Analysverktyget Stockluckan – fast eller rörlig postning? *Fixed or variable tuning in sawmills? – an analysis model*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
71. Olsson, A. 2011. Key Account Management – hur ett sågverksföretag kan hantera sina nyckelkunder. *Key Account Management – how a sawmill company can handle their key customers*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
72. Andersson, J. 2011. Investeringsbeslut för kraftvärmeproduktion i skogsindustrin. *Investment decisions for CHP production in The Swedish Forest Industry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
73. Bexell, R. 2011. Hög fyllnadsgrad i timmerlagret – En fallstudie av Holmen Timbers sågverk i Braviken. *High filling degree in the timber yard – A case study of Holmen Timber's sawmill in Braviken*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
74. Bohlin, M. 2011. Ekonomisk utvärdering av ett grantimmersortiment vid Bergkvist Insjön. *Economic evaluation of one spruce timber assortment at Bergkvist Insjön*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
75. Enqvist, I. 2011. Psykosocial arbetsmiljö och riskbedömning vid organisationsförändring på Stora Enso Skutskär. *Psychosocial work environment and risk assessment prior to organizational change at Stora Enso Skutskär*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

76. Nylinder, H. 2011. Design av produktkalkyl för vidareförädlade trävaror. *Product Calculation Design For Planed Wood Products*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
77. Holmström, K. 2011. Viskosmassa – framtid eller fluga. *Viscose pulp – fad or future*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
78. Holmgren, R. 2011. Norra Skogsägarnas position som trävaruleverantör – en marknadsstudie mot bygghandeln i Sverige och Norge. *Norra Skogsägarnas position as a wood-product supplier – A market investigation towards the builder-merchant segment in Sweden and Norway*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
79. Carlsson, A. 2011. Utvärdering och analys av drivningsentreprenörer utifrån offentlig ekonomisk information. *Evaluation and analysis of harvesting contractors on the basis of public financial information*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
80. Karlsson, A. 2011. Förutsättningar för betalningsgrundande skördarmätning hos Derome Skog AB. *Possibilities for using harvester measurement as a basis for payment at Derome Skog AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
81. Jonsson, M. 2011. Analys av flödesekonomi - Effektivitet och kostnadsutfall i Sveaskogs verksamhet med skogsbränsle. *Analysis of the Supply Chain Management - Efficiency and cost outcomes of the business of forest fuel in Sveaskog*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
82. Olsson, J. 2011. Svensk fartygsimport av fasta trädbaserade bibränslen – en explorativ studie. *Swedish import of solid wood-based biofuels – an exploratory study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
83. Ols, C. 2011. *Retention of stumps on wet ground at stump-harvest and its effects on saproxylic insects*. Bevarande av stubbar vid stubbrytning på våt mark och dess inverkan på vedlevande insekter. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
84. Börjegren, M. 2011. Utvärdering av framtida mätmetoder. *Evaluation of future wood measurement methods*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
85. Engström, L. 2011. Marknadsundersökning för högvärdiga produkter ur klenkubb. *Market survey for high-value products from thin sawn timber*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
86. Thorn-Andersen, B. 2012. Nuanskaffningskostnad för Jämtkrafts fjärrvärmeanläggningar. *Today-acquisition-cost for the district heating facilities of Jämtkraft*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
87. Norlin, A. 2012. Skogsägarföreningarnas utveckling efter krisen i slutet på 1970-talet – en analys av förändringar och trender. *The development of forest owners association's in Sweden after the crisis in the late 1970s – an analysis of changes and trends*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
88. Johansson, E. 2012. Skogsbränslebalansen i Mälardalsområdet – Kraftvärmeverkens syn på råvaruförsörjningen 2010-2015. *The balance of wood fuel in the region of Mälardalen – The CHP plants view of the raw material supply 2010-2015*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
89. Biruk, K. H. 2012. *The Contribution of Eucalyptus Woodlots to the Livelihoods of Small Scale Farmers in Tropical and Subtropical Countries with Special Reference to the Ethiopian Highlands*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
90. Otuba, M. 2012. *Alternative management regimes of Eucalyptus: Policy and sustainability issues of smallholder eucalyptus woodlots in the tropics and sub-tropics*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
91. Edgren, J. 2012. *Sawn softwood in Egypt – A market study*. En marknadsundersökning av den Egyptiska barrträmarknaden. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
92. Kling, K. 2012. *Analysis of eucalyptus plantations on the Iberian Peninsula*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
93. Heikkinen, H. 2012. Mätning av sorteringsdiameter för talltimmer vid Kastets sågverk. *Measurement of sorting diameter for pine logs at Kastet Sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
94. Munthe-Kaas, O. S. 2012. Markedsanalyse av skogsforsikring i Sverige og Finland. *Market analysis of forest insurance in Sweden and Finland*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
95. Dietrichson, J. 2012. Specialsortiment på den svenska rundvirkesmarknaden – En kartläggning av virkeshandel och -mätning. *Special assortments on the Swedish round wood market – A survey of wood trade and measuring*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
96. Holmquist, V. 2012. Timmerlängder till Iggesunds sågverk. *Timber lengths for Iggesund sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
97. Wallin, I. 2012. *Bioenergy from the forest – a source of conflict between forestry and nature conservation? – an analysis of key actor's positions in Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
98. Ederyd, M. 2012. Användning av avverkningslikvider bland svenska enskilda skogsägare. *Use of harvesting payments among Swedish small-scale forest owners*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala



99. Högberg, J. 2012. Vad påverkar marknadsvärdet på en skogsfastighet? - En statistisk analys av markvärdet. *Determinants of the market value of forest estates. - A statistical analysis of the land value.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
100. Sääf, M. 2012. Förvaltning av offentliga skogsfastigheter – Strategier och handlingsplaner. *Management of Municipal Forests – Strategies and action plans.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
101. Carlsson, S. 2012. Faktorer som påverkar skogsfastigheters pris. *Factors affecting the price of forest estates.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
102. Ek, S. 2012. FSC-Fairtrade certifierade trävaror – en marknadsundersökning av två byggvaruhandlare och deras kunder. *FSC-Fairtrade labeled wood products – a market investigation of two builders' merchants, their business customers and consumers.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
103. Bengtsson, P. 2012. Rätt pris för timmerråvaran – en kalkylmodell för Moelven Vänerply AB. Right price for raw material – a calculation model for Moelven Vänerply AB. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
104. Hedlund Johansson, L. 2012. Betalningsplaner vid virkesköp – förutsättningar, möjligheter och risker. *Payment plans when purchasing lumber – prerequisites, possibilities and risks.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
105. Johansson, A. 2012. *Export of wood pellets from British Columbia – a study about the production environment and international competitiveness of wood pellets from British Columbia.* Träpelletsexport från British Columbia – en studie om förutsättningar för produktion och den internationella konkurrenskraften av träpellets från British Columbia. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
106. af Wählberg, G. 2012. Strategiska val för Trivselhus, en fallstudie. *Strategic choices for Trivselhus, a case study.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
107. Norlén, M. 2012. Utvärdering av nya affärsområden för Luna – en analys av hortikulturindustrin inom EU. *Assessment of new market opportunities for Luna – an analysis of the horticulture industry in the EU.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
108. Pilo, B. 2012. Produktion och beståndsstruktur i fullskiktad skog skött med blädningsbruk. *Production and Stand Structure in Uneven-Aged Forests managed by the Selection System.* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

Distribution  
Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skogens produkter  
Department of Forest Products  
Box 7008  
SE-750 07 Uppsala, Sweden  
Tfn. +46 (0) 18 67 10 00  
Fax: +46 (0) 18 67 34 90  
E-mail: [sprod@slu.se](mailto:sprod@slu.se)