



Redskap för val av åtgärd och skötselmål i unga täta skogar

A tool for selection of management regimes in young dense stands



Foto: Urban Bergsten

Lars Karlsson, Kristina Ahnlund Ulvcrona, Urban Bergsten

Arbetsrapport 28 2015

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Redskap för val av åtgärd och skötsel mål i unga täta skogar

A tool for selection of management regimes in young dense stands

Lars Karlsson, Kristina Ahnlund Ulvcrona, Urban Bergsten

Nyckelord: Biomassa, gallringsmallar, skötsel mål

Arbetsrapport 28 2015
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2015
Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning	4
Introduktion.....	6
Material och Metod.....	7
Försöksbeskrivning och utgångslägen	7
Simulering av tillväxt.....	10
Volym- och biomassaberäkningar.....	10
Skador och avgångar	11
Ekonomiska beräkningar.....	11
Verktyg för gallringssimulering	11
Exempel på resultat från utlagda försök med krankorridorgallring.....	11
Resultat	12
Verktyg för gallringssimulering	12
Exempel på resultat från framskrivning av utlagda försök med krankorridorgallring.....	13
KKG1-serien.....	13
KKG2-serien.....	14
Diskussion.....	17
Verktyg för simulering av gallring och beståndsutveckling	17
Exempel på resultat från framskrivning av utlagda försök med krankorridorgallring.....	17
Referenser	19

Förord

Detta arbete ingår inom projektet ”Biomassabaserade gallringsmallar för olika skötsel­mål avsedda för unga täta talldominerade bestånd”, finansierat av Norrskogs Forskningsstiftelse. Två försöksserier med krankorridor­gallring (KKG) har nyttjats. KKG 1 har etablerats genom finansiering från Skogssällskapet och Sveaskog har finansierat utläggning av försöksserie KKG 2.

Umeå den 2015-12-14

Lars Karlsson, Kristina Ahnlund Ulvcröna och Urban Bergsten

Sammanfattning

I detta projekt har vi använt oss av beståndsdata från två försöksserier i krankorridorgallring (KKG) för att ta fram ett Excelbaserat redskap för val av åtgärd och skötsel mål i unga täta skogar. Försöksserierna etablerades under åren 2013-2014. Den första, KKG1 ligger i södra Sverige, KKG2 har lokaler i Västerbotten, Värmland samt Småland, dvs. med en större geografisk spridning. I KKG1-serien var beståndens medelhöjd ca 9 m, i KKG2 studerades bestånd med medelhöjden 5-6 m resp. 8-9 m.

I försöken har KKG utförts med olika korridorbredd (1-2 m) och olika metodik beträffande styrning av gallringsuttaget. Gallring i strikta korridorer utan möjlighet att anpassa uttaget har jämförts med mer selektiv KKG-metodik där föraren gjort ett uttag mot låg- respektive höggallring. De olika KKG-behandlingarna har, beroende på beståndshöjd (5-6 m, alt. 8-9 m), jämförts med konventionell röjning eller gallring. Utgångsdata har sedan använts för att simulera tillväxt tio (KKG1) resp. 15 år (KKG2) framåt i tiden. I KKG2-serien gjordes även nuvärdesanalyser (t.o.m. gallringsingreppet).

KKG1-serien

Jämfört med KKG resulterade konventionell selektiv gallring i lägre stamantal, grundyta och en högre medeldiameter i brösthöjd. Antalet träd kvar efter selektiv gallring avvek tydligt från det önskade ca 1000 st/ha, betydligt fler träd kvar på två lokaler och något färre på en lokal. I genomsnitt var medeldiametern 40-64 % högre efter selektiv gallring än efter de olika KKG behandlingarna. Brösthöjdsdiametern för de grövsta träden efter KKG, motsvarande det antal träd som fanns kvar efter selektiv gallring (D N-Sel), var dock 13,8 – 14,8 cm i medeltal, d.v.s ca 1- 2 cm högre än den genomsnittliga diametern för selektiv gallring. På alla lokaler resulterade den delvis selektiva KKG i högre biomassa- och virkesförråd än övriga behandlingar. Val av korridorbredd hade till synes ingen entydig påverkan på beståndens utveckling.

KKG2-serien

På samtliga lokaler uppvisade de konventionella skötselåtgärderna en högre medeldiameter i brösthöjd. Oavsett gallringstidpunkt eller gallringsförfarande var medeldiametern i genomsnitt 22-32 % högre 15 år efter konventionell röjning/gallring jämfört med KKG. Storleken på medeldiameter för D N-Sel, var dock oberoende av behandling. Genomgående på alla lokaler var att grundyta, volym och biomassa var högre efter KKG hög- och låggallring (i genomsnitt 44-48 %, 34-42 och 40-49 %) än efter konventionell gallring. En liknande men något mindre påtaglig skillnad kunde skönjas på två av tre lokaler efter KKG vid beståndshöjden 5-6 m.

Biomassauttaget efter KKG varierade generellt mellan knappt 10 och 30 ton per hektar. På en försöksyta (Mitt; KKG_{låg}) var dock uttaget markant högre (ca 50 ton per hektar). Detta hade

en tydlig positiv effekt på intäkt och nuvärde. På de andra två lokalerna var dock KKG_{hög} den behandling som genererade det högsta nuvärdet. Av behandlingarna som innefattade biomassauttag genererade det tidiga uttaget (KKG_R) det lägsta nuvärdet på två av tre lokaler. För att uppnå lönsamhet vid energigallringar är relationen mellan beståndens struktur (framför allt medelstam och stamtäthet) och aktuellt biomassapris tämligen avgörande. I denna studie var biomassauttaget vid 5-6 m medelhöjd beroende av ett biomassapris över 150 kr/råton för att vara lönsamt medan det vid 8-9 m medelhöjd krävdes cirka 125-150 kr/råton för att uppnå lönsamhet .

Ingen signifikant skillnad mellan behandlingar kunde påvisas beträffande total mängd biomassa i kvarvarande bestånd. För det högre beståndet (8-9 m) var medelvärdet högst i KKG Låggallring (29 ton/ha), följt av KKG Höggallring (28 ton/ha) och lägst medelvärde återfanns i konventionell gallring till 2 000 stammar/ha (22 ton/ha). Inte heller i det lägre beståndet (5-6 m) kunde någon signifikant skillnad påvisas mellan KKG och konventionell röjning (ca 29 ton/ha i de två behandlingarna). För de högre bestånden (8-9 m) var total produktion av nyttig biomassa (exkl. röjd biomassa) högst i KKG Låggallring (114 ton/ha), följt av KKG Höggallring (107 ton/ha) och lägst medelvärde återfanns i konventionell gallring till 2 000 stammar/ha (87 ton/ha). För de lägre bestånden var total nyttig produktion i genomsnitt 82 ton/ha i KKG-behandlingen och 66 ton/ha i konventionell röjning.

Flera variabler är viktiga att beakta när man planerar uttag i unga, täta skogsbestånd. Det Excelverktyg som presenterats här kan användas som analysverktyg för att kvantifiera inverkan av vissa variabler. Beroende av den övergripande målbilden finns det även andra faktorer som kan vara viktiga för en markägare. De beståndsstrukturer som man lämnar efter sig efter en tidig energigallring öppnar t.ex. möjligheter att producera biomassa, timmer och massaved samt träd med specifika vedegenskaper. I och med att KKG utförs i korridorer kommer diameterspridningen/höjdsdiktningen och den vertikala komplexiteten att skilja sig åt jämfört med en konventionell gallring. Heterogenitet och vertikal komplexitet kan vara viktiga faktorer för skapandet av ett brett spektra av ekosystemtjänster och kan vidare medföra en ökad andel lövträd, vilket öppnar möjligheter att bedriva ett skogsbrukande som kan gynna biodiversiteten.

Efter utvärdering av möjliga ”nyckelvariabler” bör därför arbetet med att utforma ett enkelt stödverktyg för biomassa/bioenergigallringar fortsätta. Ett sådant arbete skulle eventuellt bland annat kunna komma att omfatta optimering av gallringstidpunkt/er utifrån olika målbilder. Den framtida prisutvecklingen på biomassa kommer troligtvis att ha en stor betydelse för val av bestånd som är lämpliga för KKG-tekniken.

Introduktion

Valet och utförandet av skötselåtgärder i unga skogar har långsiktig inverkan på beståndens utveckling och de nyttigheter som kan produceras under en omloppstid. Stamtätheten i den unga skogen påverkar beståndets tillväxt, biomassanivåer och vedegenskaper, från senare gallringar till slutavverkning. Røjning och förstagallring är därför viktiga verktyg för att forma bestånd som kan producera såväl önskade virkessortiment och vedegenskaper som miljöer för biodiversitet och ekosystemtjänster.

Sedan ett antal år tillbaka pågår en intensiv debatt angående vilka praktiska handlingsalternativ som finns för stamtäta och dimensionsheterogena bestånd (s.k. konfliktbestånd). Vanligtvis är det viktigt att med tiden reducera stamantalet för att undvika självgallring och produktionsnedsättningar. Både røjning och konventionell massavedsgallring är dock ofta kostsamma. Eftersom stamtäta unga bestånd kan bidra med ett stort nationellt biomassa-/energitillskott (Karlsson et al. 2015; Fernandez-Lacruz et al. 2015) har rationellare gallringsmetoder, som kan förbättra avkastningen för skogsägare, länge efterlysts.

I biomassagallringar påverkas lönsamheten till stor del av medelstammens storlek och av hur mycket biomassa som kan tas ut (Ahtikoski et al. 2008) men också av gallringsteknik och -metodik. Enligt Bergström (2009) kan man genom krankorridorgallring (KKG) höja kostnadseffektiviteten vid biomassauttag i unga, stamtäta skogar. KKG utförs med stickvägsopererande maskiner som arbetar schematiskt i beståndet. Beståndet efter gallring kommer därför att utgöras av stråk, eller korridorer, där samtliga träd gallrats bort, samt orörda mellanzoner. Eftersom det finns viss flexibilitet i KKG-konceptet kan man rikta uttaget mot olika trädklasser. Därigenom kan KKG utföras som hög- (uttag av framförallt härskande och medhärskande träd) och som låggallring (uttag av framförallt undertryckta och behärskade träd). Ekonomiska analyser har visat att lönsamheten sett över en rotationsperiod ökar om man använder KKG i unga, stamtäta bestånd istället för røjning. Gallringsform och uttagsnivå kan dock komma att påverka framtida skötsel och lönsamhet (Karlsson et al. 2015). Det behövs därför riktlinjer kring utförandet.

Konventionella røjningar bidrar till mer eller mindre enskiktade bestånd med relativt låga stamantal (ca 1 700-2 500 stammar per hektar beroende på träslag och geografiskt läge). Därigenom anpassas bestånden till de befintliga skötsel- och gallringssystemen som under en lång tid använts med det huvudsakliga syftet att producera timmer och massaved. Det schematiska inslaget i KKG innebär däremot att man skapar bestånd med högre vertikal komplexitet och en högre andel lövträd jämfört med konventionella skötselmetoder. Sådana beståndsstrukturer kan vara svåra att hantera med de system och verktyg som huvudsakligen används idag (jfr gallringsmallar) men de öppnar möjligheter att bedriva ett skogsbruk som omfattar variabla/multipla målbilder med ökat beaktande av ekosystemtjänster och miljömål.

Syften med detta arbete var (i) att skapa ett verktyg för att underlätta valet av skötselåtgärder för konfliktbestånd, (ii) att exemplifiera verktygets användning genom att kvantifiera hur bestånd utvecklas fram till nästa gallring efter olika former av KKG i jämförelse med konventionell røjning och gallring, samt (iii) att analysera nuvärden t.o.m. förstagallringen.

Material och Metod

Försöksbeskrivning och utgångslägen

Beståndsdata från krankorridorgallringsförsök (Ulvcrona et al. 2015) användes för att simulera beståndsutveckling efter en första åtgärd (röjning, gallring eller krankorridorgallring) i stamtäta ungskogar. De utlagda försöken omfattar två olika försöksserier; KKG1 (Tabell 1, Figur 1) och KKG2 (Tabell 2, Figur 2-3) som syftar till att kvantifiera effekterna av krankorridorgallring på kvarvarande träd med avseende på tillväxt och skador i relation till 1) konventionell selektiv röjning/gallring, 2) korridorernas bredd, 3) graden av geometrisk stringens vid val av korridorer, 4) tidpunkt för åtgärd, och 5) gallringsform. KKG1-serien omfattar bestånd med ca 9 m i medelhöjd och följande gallringsalternativ:

- Selektiv gallring med stickvägsupptagning (Selektiv); stark fri gallring till ca 1 000 huvudstammar per ha och ett gallringsuttag på ca 50 %
- Strikt krankorridorgallring (KKG_{1M}) med stickvägsupptagning; vinkelräta, 1 m breda och 10 m långa korridorer från stickvägscentrum, 2 korridorer per uppställningsplats (en på vardera sidan om stickvägen), avstånd mellan uppställningsplatser 2,67 m.
- Strikt krankorridorgallring (KKG_{2M}) med stickvägsupptagning; vinkelräta, 2 m breda och 10 m långa korridorer, 2 korridorer per uppställningsplats (en på vardera sidan om stickvägen), avstånd mellan uppställningsplatser 5,3 m.
- Delvis selektiv krankorridorgallring (KKG_{sel}) med stickvägsupptagning; flexibel utläggning av 1 m breda och 10 m långa korridorer från stickvägen. En korridor åt vardera hållet ungefär vinkelrätt och en korridor 60 grader snett framåt med frihet att justera (maskinföraren ska sikta på att spara så många huvudstammar av gran som möjligt samt att uppnå fullt krandjup). Fyra korridorer per uppställningsplats (två åt vardera hållet från stickvägen), 5,3 m mellan uppställningsplatser.

KKG2-serien omfattar skötselåtgärder vid olika beståndsmedelhöjder; 5-6 m och 8-9 m samt KKG styrd mot uttag av antingen i huvudsak större (höggallring) eller mindre träd (lågallring). Följande behandlingar i bestånd med ca 5-6 m medelhöjd:

- KKG_R till ca 2 000 huvudstammar/ha.
- Konventionell motormanuell röjning till ca 2 000 huvudstammar/ha. Samtliga övriga stammar röjda. Röjningsstammar kvarlämnade inom parcellen.

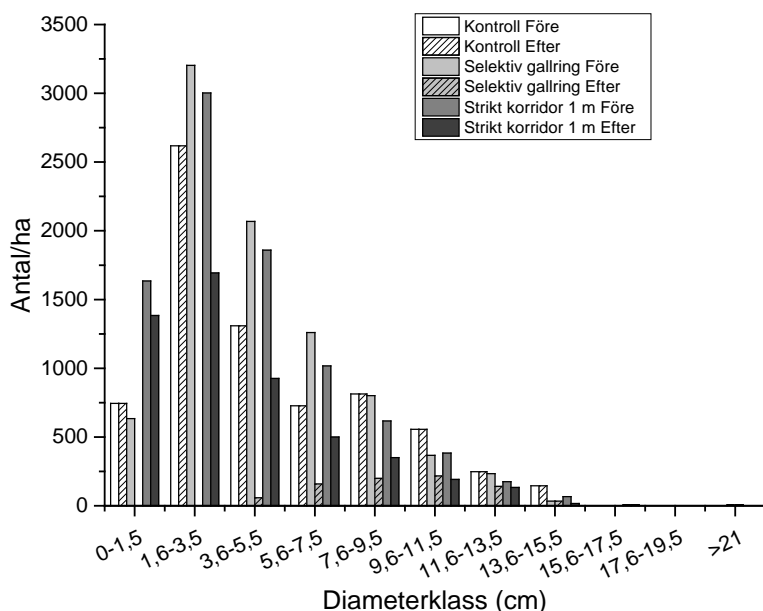
I bestånd med ca 8-9 m medelhöjd omfattar serien:

- Krankorridorgallring låggallring (KKG_{låg}); Antalet kvarvarande huvudstammar i beståndet ca 2 000 stammar/ha. KKG med flexibel (selektiv) utläggning av ca 1 m breda och 10 m långa korridorer. Maskinföraren utgick från att skörda en korridor vinkelrätt och en korridor 60 grader snett framåt och frihetsgrader att justera vinkeln. Fyra korridorer per uppställningsplats, 5,3 m mellan uppställningsplatser. Uppställningsplatser markerades med stakkäpp i samband med utläggning av försöket.

- KKG höggallring ($KKG_{hög}$); Uttag med strävan att grundytan efter utförd KKG skulle bli lika med den efter konventionell gallring (se nedan). $KKG_{hög}$ utfördes selektivt på samma sätt som $KKG_{låg}$.
- Konventionell selektiv gallring (Selektiv) till 2 000 stammar/ha.

Tabell 1. Utgångsläget efter utförd behandling på de olika lokalerna i KKG1-serien. D_{gv} är grundtevägd medeldiameter, GY är grundyta

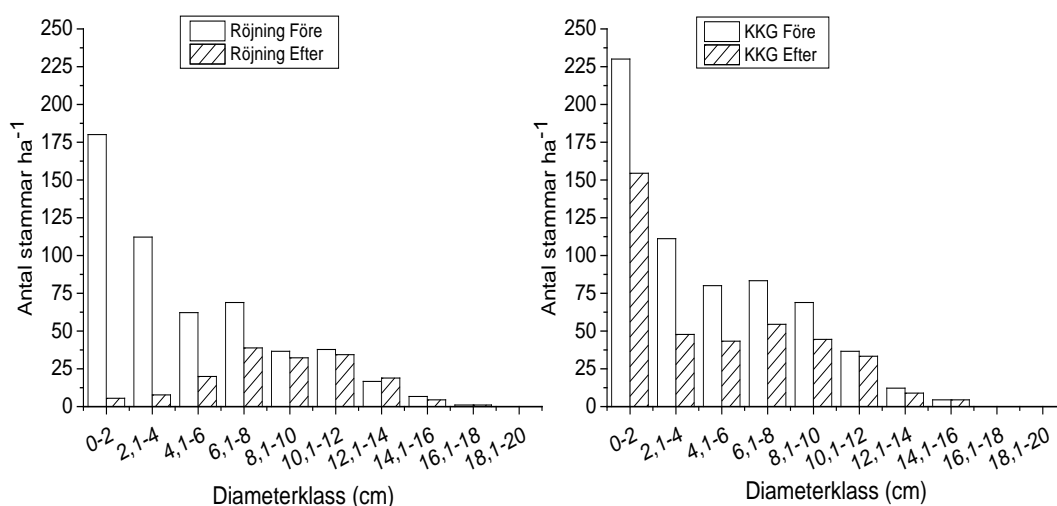
Lokal/ Behandling	Stamantal (st/ha)	D_{gv} (cm)	GY (m^2/ha)	Stam- volym (m^3sk/ha)	Biomassa (ton ts/ha)
1217					
KKG_{sel}	4247	5,2	8,9	32,7	25,1
KKG_{1M}	3303	5,7	8,4	33,8	23,9
KKG_{2M}	4374	4,6	7,2	27,6	19,9
Selektiv	1841	7,5	8,1	31,4	23,0
1294					
KKG_{sel}	5649	6,4	18,0	105,4	59,5
KKG_{1M}	5203	5,6	13,0	63,8	39,8
KKG_{2M}	5844	6,0	16,7	87,5	50,5
Selektiv	817	11,3	8,2	51,6	27,3
1295					
KKG_{sel}	3807	7,6	17,4	91,0	54,5
KKG_{1M}	3340	7,1	13,2	67,8	41,7
KKG_{2M}	7281	5,0	14,4	66,0	42,2
Selektiv	845	9,7	6,3	35,6	20,7



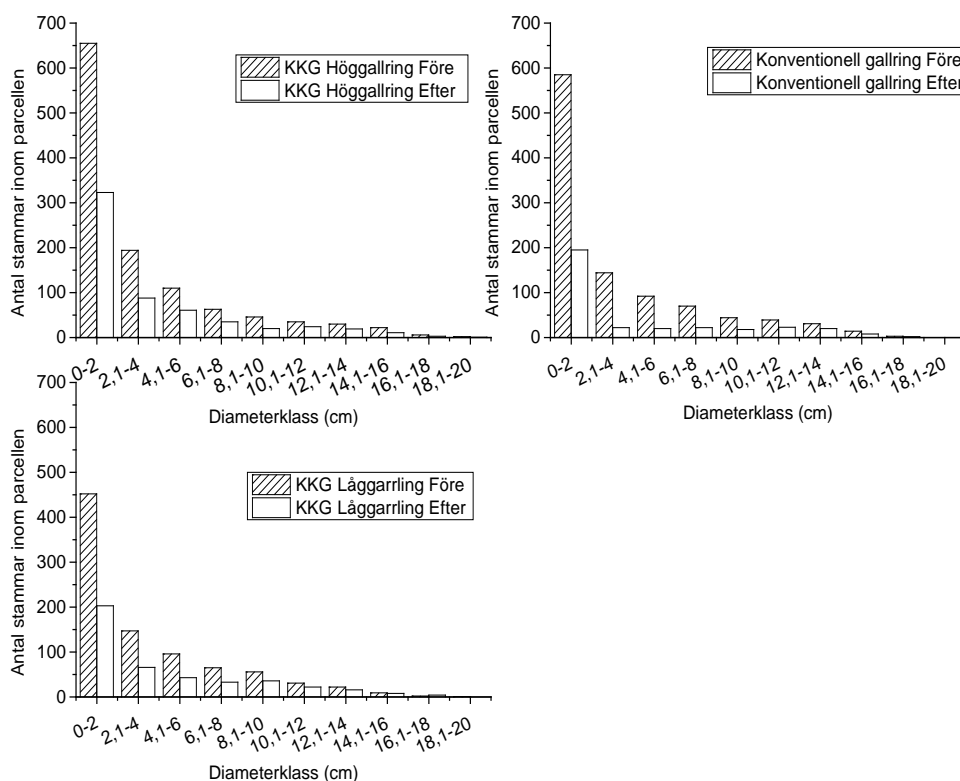
Figur 1. Exempel på diameterfördelning för alla trädslag före respektive efter behandling för lokal 1294 inom serie KKG1.

Tabell 2. Utgångsläget efter utförd behandling på de olika lokalerna i KKG2-serien. För benämningar, se Tabell 1

Lokal/ Behandling	Stamantal (st/ha)	D _{gv} (cm)	GY (m ² /ha)	Stam- volym (m ³ sk/ha)	Biomassa (ton ts/ha)
Norr 5-6 m					
KKG _R	3911	6,1	11,4	45,6	26,7
Röjning	1633	9,2	10,9	45,1	27,0
Norr 8-9 m					
KKG _{låg}	4789	5,8	12,7	67,4	32,9
KKG _{hög}	6500	5,2	13,8	73,0	36,2
Selektiv	3367	6,3	10,5	57,1	27,8
Mitt 5-6 m					
KKG _R	3900	4,6	6,4	25,4	15,5
Röjning	3067	5,8	8,2	30,2	18,6
Mitt 8-9m					
KKG _{låg}	4956	5,1	10,2	41,2	25,6
KKG _{hög}	4789	4,2	6,7	31,1	19,1
Selektiv	989	9,0	6,3	24,9	14,5
Syd 5-6 m					
KKG _R	4967	4,4	7,6	27,1	18,3
Röjning	2067	6,4	6,7	23,9	15,4
Syd 8-9m					
KKG _{låg}	3122	6,4	10,0	46,9	29,1
KKG _{hög}	2089	7,6	9,5	44,7	27,9
Selektiv	1156	9,5	8,2	39,9	25,2



Figur 2. Diameterfördelning före och efter behandling (Röjning till vänster, KKG_R till höger) för det lägre beståndet (5-6 m): KKG2, Kåtaberget Västerbotten.



Figur 3. Diameterfördelning före och efter behandling (KKG till vänster, konventionell gallring till höger) för det högre beståndet (8-9 m). KKG2, Ruskliden Västerbotten.

Simulering av tillväxt

Vid utgångsläget (efter skötselåtgärd) användes uppgifter om diameter vid brösthöjd (DBH), trädslag och skador från den första inventeringen som indata för simulering av tillväxt. Enskilda trädhöjder beräknades med hjälp av provträd och Näslunds (1936) höjdfunktioner. Diametertillväxt skrevs fram i femårsperioder med hjälp av funktioner för grundytetillväxt konstruerade av Nyström och Ståhl (2001). När samtliga träd tillskrivits en diameter användes höjdtillväxtfunktioner för enskilda träd utvecklade av Nyström (2000). Samtliga simuleringar skedde i femårsperioder.

Volym- och biomassaberäkningar

Volymer för träd med DBH < 50 mm beräknades med hjälp av Andersson (1954) och volymer för träd med DBH > 50 mm beräknades med Brandels (1990) funktioner. För biomassaberäkningar användes funktioner för stamtäta bestånd utvecklade av Repola och Ulvcrona (2014).

Skador och avgångar

I simuleringarna antogs det att avgångarna var 10 % i de fem minsta diameterklasserna (0-5 cm) i varje femårsperiod. Därigenom gjordes ett schablonmässigt avdrag på 10 % av den totala grundytan, volymen och biomassan i dessa diameterklasser. På ett fåtal av provvytorna klarade inte funktionerna för framskrivning av att beräkna diametertillväxt för de allra minsta träden (DBH ca <1,2 cm). Dessa träd betraktades istället som avgångar i tillägg till den schablonmässiga avgången på 10 %. Skador delades in i klasserna ”allvarliga” och ”måttliga” enligt beskrivning av Nyström (2000).

Ekonomiska beräkningar

De ekonomiska beräkningarna utfördes endast för den mer omfattande KKG2-serien eftersom denna adresserar viktiga ekonomiska aspekter såsom gallringstidpunkt och gallringsform. Tidsåtgången för KKG med integrerad buntning räknades enligt Bergström och di Fulvio (2014). Tidsåtgång för röjning räknades ut i enlighet med Anon. (1991) och för konventionell gallring användes funktioner utvecklade av Brunberg (2004, 2007). För KKG sattes skördarkostnaden till 1157kr/G₁₅-timme och skotarkostnaden till 746 kr/G₁₅-timme motsvarande maskinkostnader för konventionell gallring sattes till 910 och 746 kr/G₁₅ timme. Transportavståndet antogs vara 300 m (för samtliga behandlingar). Nuvärden (diskonterade efter beståndsanläggning) beräknades för första skötselåtgärden (röjning, gallring eller krankorridorgallring). Pris för helträdssortiment sattes till 170 kr/råton samt 140 kr/råton när den totala vikten understiger 18 råton i enlighet med Skellefteå Krafts prislista (20140801). Fukthalten antogs vara 50 %. I beräkningarna användes en kalkylränta på 2,5 %. Massaved antogs vara det enda sortimentsutfallet från den konventionella gallringen och beräknades med hjälp av Ollas (1980) funktioner. Priset för barmassa hämtades från prislistor publicerade av Norra Skogsägarna (275 kr/ m³fub), Mellanskog (230 kr/m³fub) och Södra Skogsägarna (280 kr/ m³fub).

Verktyg för gallringssimulering

Samtliga funktioner sammanlänkades i ett Excelark för framskrivning i 20 år för att kunna simulera beståndsutveckling av stamtäta bestånd fram till tidpunkter för konventionella skötselåtgärder. I Excelarket infogades även en krankorridorgallringssimulator som visar avverkningsvolym (ton/ha), kostnader, intäkter och nuvärden av olika gallringsstyrkor vid olika beståndsåldrar. I arbetet med denna simulator antogs det att träden är jämt fördelade över arealen. Vid en gallringsstyrka på 50 % räknas således biomassaskörden som 0,5 multiplicerat med den totala biomassan i varje diameterklass.

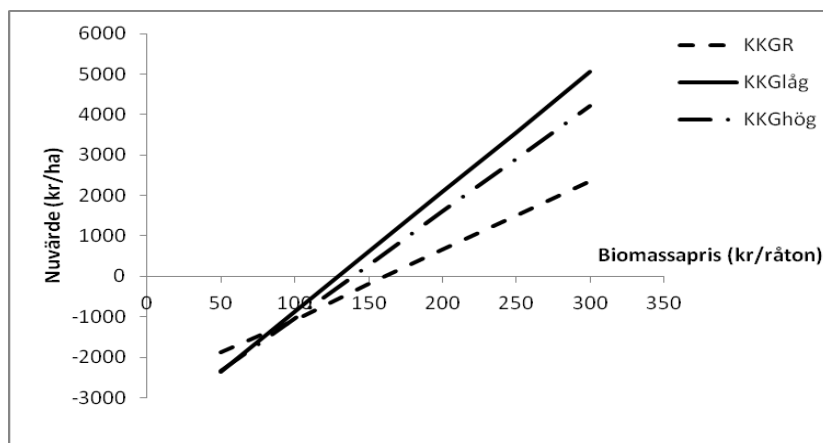
Exempel på resultat från utlagda försök med krankorridorgallring

Eftersom första gallringen redan var praktiskt utförd i de utlagda försöksserierna baserades framskrivningen på faktiska inventeringsdata. I KKG2-serien skrevs de nygallrade bestånden fram i 15 år medan de högproduktiva bestånden i KKG1-serien skrevs fram i 10 år med hjälp av Excelverktyget. Dessa tidsrymder motsvarar en lämplig/trolig tidpunkt för nästa åtgärd, framför allt i de bestånd där KKG har utförts.

Resultat

Verktyg för gallringssimulering

Genom inmatning av träd- och beståndsvariabler går det med hjälp av verktyget att jämföra ekonomiska utfall samt framtida beståndsutveckling efter (tidiga) röjningar/gallringar vid olika tidpunkter och med varierande uttagsvolym. Man kan därigenom jämföra konventionella åtgärder i ung skogs, som skapar relativt homogena enskiktade bestånd, med krankorridor-gallring som kan ge mer vertikal beståndskomplexitet och ev. större valfrihet i att beakta miljömål och olika ekosystemtjänster. För att använda verktyget behöver man uppgifter om traddediameter och trädslag, som tillägg kan användaren också mata in om träden har någon eller några skador. Skadorna delas i sådant fall in i kategorierna ”måttlig” och ”allvarlig”. På beståndsnivå behöver användaren uppgifter om areal, temperatursumma och beståndsålder. För nuvärdesberäkning behöver man uppgifter om maskinkostnader (kr/G₁₅ h), sortimentspriser och en kalkylränta. När alla uppgifter är inmatade beskrivs beståndsutvecklingen (i fem års intervaller) med hjälp av variablerna: stammar/ha, grundytamedelstammens diameter (D_{gv}), grundyta, stamvedsvolym/ha och ton biomassa/ha. Användaren kan sedan välja att gallra vid en av de olika tidpunkterna (beståndsålder eller övre höjd). Användaren fyller då in aktuell tidpunkt, val av gallringsintensitet (procent av det totala stamantalet) samt gallringssystem (exv. konventionell selektiv gallring, KKG eller KKG med integrerad buntning). Därefter kan beståndsvariabler (stamantal, grundyta och stående biomassa) efter gallring, storlek på biomassa-uttaget, intäkter, kostnader och nuvärde utläsas (Figur 4).



Figur 4. Biomassaprisets påverkan på lönsamheten i de olika behandlingarna (i medeltal) i KKG2-serien.

Exempel på resultat från framskrivning av utlagda försök med krankorridorvallring

KKG1-serien

Jämfört med KKG resulterade konventionell selektiv gallring i lägre stamantal, grundyta och en högre medeldiameter i brösthöjd. Antalet träd kvar efter selektiv gallring avvek tydligt från det önskade ca 1000 st/ha, betydligt fler träd kvar på två lokaler och något färre på en lokal. I genomsnitt var medeldiametern 40-64 % högre efter selektiv gallring än efter de olika KKG behandlingarna. Brösthöjdsdiametern för de grövsta träden efter KKG, motsvarande det antal träd som fanns kvar efter selektiv gallring (D N-Sel), var dock 13,8 – 14,8 cm i medeltal, d.v.s ca 1- 2 cm högre än den genomsnittliga diametern för selektiv gallring. På alla lokaler resulterade den delvis selektiva KKG i högre biomassa- och virkesförråd än övriga behandlingar. Val av korridorbredd hade till synes ingen entydig påverkan på beståndens utveckling (Tabell 3).

Tabell 3. Beståndsbeskrivning efter att bestånden i KKG1-serien skrivits fram 10 år. För benämningar, se Tabell 1. D N-Sel är aritmetisk medeldiameter för de grövsta träden, motsvarande det antal som fanns kvar efter selektiv gallring)

Lokal/ Behandling	Stamantal (st/ha)	D_{gv} (cm)	D N-Sel (cm)	GY (m²/ha)	Stam- volym (m³sk/ha)	Stående Biomassa (ton/ha)	Utgallrad + stående biomassa (ton/ha)
1217							
KKG _{sel}	4020	7,9	10,4	19,9	119,1	68,1	86,0
KKG _{1M}	3150	8,5	10,7	17,7	116,3	61,8	80,1
KKG _{2M}	4094	7,2	9,9	16,9	102,6	56,9	70,5
Selektiv	1841	10,6	10,6	16,2	112,3	54,7	75,6
1294							
KKG _{sel}	5366	9,0	17,7	34,0	258,3	135,9	168,0
KKG _{1M}	4937	8,3	15,3	26,6	176,8	101,7	133,1
KKG _{2M}	5527	8,7	16,6	32,9	221,3	119,0	151,6
Selektiv	809	14,5	14,5	13,4	108,8	46,6	99,1
1295							
KKG _{sel}	3682	10,5	16,2	31,9	256,6	118,6	146,4
KKG _{1M}	3280	10,0	15,6	25,7	189,8	97,4	128,5
KKG _{2M}	6667	7,3	14,9	27,7	206,8	113,6	139,1
Selektiv	842	13,0	13,0	11,1	98,0	41,6	154,5
Medelvärde							
KKG _{sel}	4356	9,1	14,8	28,6	211,3	107,5	133,5
KKG _{1M}	3789	8,9	13,9	23,3	161,0	87,0	113,9
KKG _{2M}	5429	7,7	13,8	25,8	176,9	96,5	120,4
Selektiv	1325	12,5	12,5	14,8	110,5	50,7	109,7

KKG2-serien

På samtliga lokaler uppvisade de konventionella skötselåtgärderna en högre medeldiameter i brösthöjd. Oavsett gallringstidpunkt eller gallringsförfarande var medeldiametern i genomsnitt 22-32 % högre 15 år efter konventionell röjning/gallring jämfört med KKG. Storleken på medeldiameter för D N-Sel, var dock relativt oberoende av behandling. Genomgående på alla lokaler var att grundyta, volym och biomassa var högre efter KKG hög- och låggallring (i genomsnitt 44-48 %, 34-42 och 40-49 % för respektive behandling) än efter konventionell gallring. En liknande men något mindre påtaglig skillnad kunde skönjas på två av tre lokaler efter KKG vid beståndshöjden 5-6 m (Tabell 4).

Biomassauttaget efter KKG varierade generellt mellan knappt 10 och 30 ton per hektar. På en försöksyta (Mitt; KKG_{låg}) var dock uttaget markant högre (ca 50 ton per hektar). Detta hade en tydlig positiv effekt på intäkt och nuvärde. På de andra två lokalerna var dock KKG_{hög} den behandling som genererade det högsta nuvärdet. Av behandlingarna som innefattade biomassauttag genererade det tidiga uttaget (KKG_R) det lägsta nuvärdet på två av tre lokaler (Tabell 5). Biomassauttaget vid 5-6 m medelhöjd är beroende av ett biomassapris som ligger över 150 kr/råton för att vara lönsamt medan det vid 8-9 m medelhöjd krävs cirka 125-150 kr/råton för att lönsamhet ska uppnås (Figur 4).

Ingen signifikant skillnad mellan behandlingar kunde påvisas beträffande total mängd biomassa i kvarvarande bestånd (Tabell 4). För det högre beståndet (8-9 m) var medelvärdet högst i KKG Låggallring (29,1 ton/ha), följt av KKG Höggallring (27,6 ton/ha) och lägst medelvärde återfanns i konventionell gallring till 2 000 stammar/ha (22,4 ton/ha). Inte heller i det lägre beståndet (5-6 m) kunde någon signifikant skillnad påvisas (Tabell 4). Skillnaderna mellan de olika behandlingarna var mycket liten, 29,30 ton/ha i KKG-behandlingen och 29,29 ton/ha i konventionell röjning).

För de högre bestånden (8-9 m) var total produktion av nyttig biomassa (exkl. röjd biomassa) högst i KKG Låggallring (114 ton/ha), följt av KKG Höggallring (107 ton/ha) och lägst medelvärde återfanns i konventionell gallring till 2 000 stammar/ha (87 ton/ha). För de lägre bestånden var total nyttig produktion i genomsnitt 82 ton/ha i KKG-behandlingen och 66 ton/ha i konventionell röjning.

Tabell 4. Beståndsbeskrivning efter att bestånden i KKG2-serien skrivits fram 15 år. För benämningar, se Tabell 1

Lokal/ Behandling	Stamantal (st/ha)	Dg (cm)	D N- R/Sel	GY (m ² /ha)	Stam- volym (m ³ sk/ha)	Stående biomassa (ton/ha)	Utgallrad/ röjd+ståen de biomassa (ton/ha)
Norr 5-6 m							
KKG _R	2592	11,2	12,7	25,4	162,9	74,0	85,0
Röjning	1617	13,5	13,5	23,0	147,5	68,3	80,6
Norr 8-9 m							
KKG _{låg}	2419	11,8	12,6	26,4	194,3	80,2	96,0
KKG _{hög}	3193	10,6	12,5	27,9	200,2	85,0	115,6
Selektiv	1827	12,2	12,2	21,3	158,8	66,2	94,0
Mitt 5-6 m							
KKG _R	3278	8,4	8,4	18,2	124,7	55,7	64,0
Röjning	3048	9,9	9,9	23,4	161,1	73,1	80,1
Mitt 8-9 m							
KKG _{låg}	4262	8,9	13,9	26,4	174,6	83,1	133,6
KKG _{hög}	4587	8,3	12,4	24,9	155,4	71,5	95,3
Selektiv	989	13,5	13,5	14,2	98,2	42,2	66,6
Syd 5-6 m							
KKG _R	4337	8,5	10,7	24,8	184,7	75,7	95,7
Röjning	2024	10,9	10,9	18,9	148,7	57,5	71,0
Syd 8-9 m							
KKG _{låg}	2718	10,7	14,0	24,4	205,7	87,2	112,7
KKG _{hög}	1972	12,1	13,9	22,6	193,7	81,1	109,3
Selektiv	1122	14,3	14,3	18,1	164,0	67,2	100,3
Medelvärde							
5-6 m							
KKG _R	3402	9,4	10,6	22,8	157,4	68,5	81,6
Röjning	2230	11,4	11,4	21,8	152,4	66,3	77,2
8-9 m							
KKG _{låg}	3133	10,5	13,5	25,7	191,5	83,5	114,1
KKG _{hög}	3251	10,3	12,9	25,1	183,1	79,2	106,7
Selektiv	1313	13,3	13,3	17,9	140,3	58,5	87,0

Tabell 5. Uttagsnivåer och nuvärden fram till krankorridorgallring i KKG2-serien

Lokal/ Behandling	Uttag Biomassa (ton/ha)	Uttag Biomassa (%)	Uttag St/ha (%)	Intäkt (kr/ha)	Kostnad (kr/ha)	Netto (kr/ha)	Nuvärde* (kr/ha)
Norr 5-6 m							
KKG _R	11,0	29	38	3735	3243	510	265
Röjning	12,3	36	69	0	4412	-4412	-2107
Norr 8-9 m							
KKG _{låg}	15,8	32	51	5371	5077	294	124
KKG _{hög}	30,6	46	50	10411	9822	589	248
Selektiv	27,8	50	70	17133	22433	-5300	-2233
Mitt 5-6 m							
KKG _R	8,3	35	32	2328	3059	-731	-435
Röjning	7,0	27	62	0	3283	-3283	-1765
Mitt 8-9 m							
KKG _{låg}	50,5	66	57	17157	12900	4257	2030
KKG _{hög}	23,8	55	42	8090	7316	774	369
Selektiv	24,4	63	83	7001	14106	-7105	-3387
Syd 5-6 m							
KKG _R	20,0	52	60	6795	6364	431	312
Röjning	13,5	47	64	0	5262	-5262	-3091
Syd 8-9 m							
KKG _{låg}	25,5	47	59	8682	5991	2691	1451
KKG _{hög}	28,2	50	63	9572	6228	3344	1803
Selektiv	33,1	57	82	8291	15189	-6898	-3721
Medelvärde							
5-6 m							
KKG _R	13,1	39	43	4286	4222	70	47
Röjning	10,9	37	65	0	4319	-4319	-2321
8-9 m							
KKG _{låg}	30,6	48	56	10403	7989	2414	1202
KKG _{hög}	27,5	50	52	9358	7789	1569	807
Selektiv	28,4	57	78	10808	17243	-6434	-3114

* Beräknat från tidpunkten direkt efter beståndsanläggning

Diskussion

Verktyg för simulering av gallring och beståndsutveckling

I tidiga biomassagallringar bestäms lönsamheten av kostnaden för uttaget, som beror på beståndsparameterar som medelstammens biomassa/volym, stamantal och biomassa per ha, etc. och intäkten, som till stor del bestäms av möjlig uttagsvolym. Uttaget måste dock avvägas mot beståndets långsiktiga produktionsförmåga och senare uttagsmöjligheter av önskade sortiment. Det presenterade gallringsverktyget syftar till att ge en översiktlig bild av lönsamhet och beståndsutveckling för att förenkla beslutstagande i bestånd vars struktur står i konflikt med befintliga skötselsystem. Verktøget avses kunna användas för olika skötsel mål, både konventionella och mål inkluderande helträdsuttag samt för mål angående miljö och ekosystemtjänster, dvs. när beståndsstrukturen utgör grund för bedömning av andra nyttor annat än virkesproduktion.

Biomassaproduktionen har beräknats med funktioner för stamtäta bestånd, framtagna av Repola och Ulvcrona (2014). Fördelen med att nyttja funktioner för stamtäta bestånd är att de är bättre anpassade till skillnader i stamform och mängd grenar och barr mellan träd från röjda och oröjda bestånd (Repola och Ulvcrona 2014). Begränsningen med funktionerna ligger i att de endast baseras på provträd från ett fåtal lokaler i norra Sverige.

Andelen avgångar är en viktig faktor att beakta i stamtäta bestånd. I de presenterade simuleringarna sattes avgångarna till 10 % för de minsta diameterklasserna i varje 5 års period. Som jämförelse kan det nämnas att Elfving (2010) observerade att den totala andelen avgångar för icke gallrade tallbestånd (i medeltal ca 2000 st/ha) uppgick till ca 9,5 % av stamantalet och 5 % av grundytan under en 12 års period. Motsvarande siffror för granbestånd (ca 3000 st/ha) uppgick till 21 och 9 %. I verkligheten är avgångsnivån högst varierande mellan olika typer av lokaler och bestånd. Det har tidigare konstaterats att avgångar sker först och främst bland de 20-30 % minsta träden i ett bestånd (Westoby 1984). Även i andra försök av täta ungsskogar har det visat sig att det är främst de minsta träden som dör på grund av konkurrens (Ulvcrona et al. 2011). De största trädens konkurrensförmåga och mortalitet verkar inte skilja sig mellan röjda och oröjda behandlingar (Ulvcrona et al. 2014). Detta är en effekt av ojämn storleksberoende konkurrens där ett litet träd påverkas i större utsträckning av ett stort träd, än vad det stora trädet påverkas av det lilla (Weiner och Thomas 1986, Pretzsch 2009).

Exempel på resultat från framskrivning av utlagda försök med krankorridorgallring

Framskrivningen av de olika bestånden indikerar en fortsatt hög biomassaproduktion efter att KKG har utförts. Det har tidigare visats att det är möjligt att ta ut biobränsle ur unga skogar utan att det påverkar framtida uttag av konventionella sortiment negativt (Heikkilä et al. 2009, Karlsson et al. 2015). Det konventionella, selektiva uttaget ledde relativt sett till en hög medeldiameter, ett lågt stamantal och ett lågt biomassaförråd. Även om en större andel träd med mindre diameter kvarlämnas i beståndet jämfört med konventionell gallring är det troligt att dessa i ett senare skede genom konkurrens inte kommer att bidra till den totala tillväxten i

samma utsträckning som de större träden (Weiner och Thomas 1986). De kan dock bidra till ett bestånd med andra värden i form av ökad heterogenitet beträffande strukturer som kan vara gynnsamma för ett flertal organismer. Jämförelse av brösthöjdsdiameter för de grövsta träden efter KKG, motsvarande det antal träd som fanns kvar efter selektiv gallring påvisade att KKG inte omöjliggör beståndens förmåga att producera träd av grovlek väl jämförbara med tänkta slutavverkningsträd i en konventionell skötselregim.

Nuvärdesberäkningar (t.o.m. KKG) utfördes i enlighet med försöksutläggningens huvudsakliga utförande. Detta innebär att nuvärden beräknades för aktuella gallringsutföranden. Utifrån resultaten förefaller det som att KKG är en kostnadseffektiv metod för förstagallring i stamtäta bestånd. Detta överensstämmer även med tidigare analyser av KKG i rena tallbestånd (Karlsson et al. 2015). I den här studien var nuvärdet i medeltal lägre när KKG med integrerad buntning utfördes vid 5-6 m medelhöjd jämfört med när gallringen utfördes vid 8-9 m. Det tidiga gallringsalternativet är till synes mer beroende av att priset på biomassa inte faller under 150 kr/råton än vad det senare gallringsuttaget verkar vara. Låggallringsalternativet var något mindre känsligt för ett fallande biomassapris än vad höggallringsalternativet var. Ett något högre biomassapris krävs förmodligen för KKG utan buntning (Karlsson et al. 2015). Det är dock troligt att beståndens unika strukturer och beskaffenhet har en relativt stor påverkan på det ekonomiska utfallet. Vid kommande gallringar kan det höga stamantalet beroende på underväxt, bli en fördyrad skördarkostnad. Enligt Jonsson (2015) krävs det dock en betydande underväxt för att öka skördarens kostnad med mer än 10 kr/m³, dvs. för de aktuella exemplen är det knappast troligt att en nuvärdesberäkning efter nästa gallring skulle ge annorlunda ranking mellan behandlingarna än den som presenterats här.

Flera variabler är viktiga att beakta när man planerar uttag i unga, täta skogsbestånd. Det Excelverktyg som presenterats här kan användas som analysverktyg för att kvantifiera inverkan av vissa variabler. Beroende av den övergripande målbilden finns det även andra faktorer som kan vara viktiga för en markägare. De beståndsstrukturer som man lämnar efter sig efter en tidig energigallring öppnar t.ex. möjligheter att producera biomassa (Ulvcrona 2011), timmer och massaved (Heikkilä et al. 2009, Karlsson et al. 2015) samt träd med specifika vedegenskaper (Eriksson et al. 2006, Karlsson et al. 2013, Backlund 2013). Heterogenitet och vertikal komplexitet kan vara viktiga faktorer för skapandet av ekosystemtjänster (Puetman et al. 2009) och en förhöjd andel lövträd kan ha en direkt positiv inverkan på biodiversiteten. I och med att gallringen i detta fall utförs i korridorer kommer diameterspridningen att skilja sig åt jämfört med en konventionell gallring. Ett större antal träd i de mindre diameterklasserna återfinns därför i beståndet vilket kan gynna till exempel fågelfaunan med fler skyddande biotoper (Gharehaghaji et al. 2012).

Efter utvärdering av möjliga ”nyckelvariabler” bör därför arbetet med att utforma ett enkelt stödverktyg för biomassa/bioenergigallringar fortsätta. Ett sådant arbete skulle eventuellt bland annat kunna komma att omfatta optimering av gallringstidpunkt/er utifrån olika målbilder.

Referenser

- Ahtikoski, A., Heikkilä, J., Alenius, V. & Siren, M. (2008). Economic viability of utilizing biomass energy from young stands – the case of Finland. *Biomass & Bioenergy* 32, 988-996.
- Andersson, S-O. (1954). Funktioner och tabeller för kubering av småträd. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut, 44:12, 29 p.
- Anon. (1991). Prognosunderlag – Motormanuell röjning och förrensning. SLA. Norr 1991.
- Backlund, I. (2013). Cost-effective cultivation of lodgepole pine for biorefinery applications. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 2013:81, 74 pp. ISBN 978-91-576-7900-0.
- Bergström, D. (2009). Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, 2009:87, 53 pp. ISBN 978-91-576-7434-0.
- Bergström, D. & Di Fulvio, F. (2014). Comparison of the cost and energy efficiencies of present and future biomass supply systems for young dense forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(8), 793-812.
- Brandel, G. (1990). Volymfunktioner för enskilda träd. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research, Report 26, 183 pp. ISBN 91-576-4030-0.
- Brunberg, T. (2004). Productivity-norm data for forwarders. *Skogforsk. Redogörelse nr 3*, 11 p.
- Brunberg, T. 2007. Basic data for productivity norms for extra large single-grip harvesters. *Skogforsk. Redogörelse nr 2*, 8 p.
- Elfving, B. (2010). Natural mortality in thinning and fertilisation experiments with pine and spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 353-360.
- Eriksson, D., Lindberg, H., & Bergsten, U. (2006). Influence of silvicultural regime on wood structure characteristics and mechanical properties of clear wood in *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 40: 743-762.
- Fernandez-Lacruz, R., Di Fulvio, F., Athanassiadis, D., Bergström, D. & Nordfjell, T. (2015). Characteristics of unthinned biomass-dense forests in Sweden and their location in relation to industry. *Silva Fennica*. Vol 49(5), article id 1377.
- Gharehaghaji, M., Shabani, A.A., Fegghi, J., Danehkar, A., Kaboli, M., & Ashrafi, S. 2012. Effects of landscape context on bird species abundance of tree fall gaps in a temperate deciduous forest of Northern Iran. *Forest Ecology and Management*. 267: 182-189. Doi: 10.1016/j.foreco.2011.12.001.
- Heikkilä, J., Sirén, M., Ahtikoski, A., Hynynen, J., Sauvula, T. & Lehtonen, M. (2009). Energy wood thinning as a part of the stand management of Scots pine and Norway spruce. *Silva Fennica* 43, 129-146.
- Jonsson, F. (2015). Hur påverkar avlövad underväxt kvaliteten och drivningskostnaden i gallring? Examensarbete, Arbetsrapport 8. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 36 pp.
- Karlsson L., Mörling T. & Bergsten U. (2013). Influence of silvicultural regimes on the volume and proportion of juvenile and mature wood in boreal Scots pine. *Silva Fennica* 47(4), id 938.

- Karlsson, L., Nyström, K., Bergström, D. & Bergsten, U. (2015). Development of Scots pine stands after first biomass thinning with implications on management profitability over rotation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30(5), 416-428.
- Mellanskog (2015). Massavedspriser Södra Värmland. Tillgänglig: <https://www.mellanskog.se/Vara-tjanster/Virkespriser/Varmland-sodra/>. (2015-11-16).
- Näslund, M. (1936). Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut, 29. Rapport 29. 74 pp.
- Norra Skogsägarna (2015). Virkesprislista Västerbotten inland. Tillgänglig: <http://www.norra.se/verksamhet/skogochvirke/Saljvirke/Sidor/prislistor.aspx>. (2015-11-16).
- Nyström, K. (2000). Funktioner för att skatta höjdtillväxt i ungskog, SKA 99. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Arbetsrapport 68, 29 pp.
- Nyström, K. & Ståhl, G. (2001). Forecasting probability distributions of forest yield, allowing for a Bayesian approach to management planning. *Silva Fennica* 35(2), 185-201.
- Ollas, R. (1980). Nya utbytesfunktioner för träd och bestånd. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi nr 5.
- Puettman, K.J., Coates, K.D. & Messier, C. (2009). *A critique of silviculture: Managing for complexity*. Island Press. 189 pp.
- Pretzsch, H. (2009). *Forest dynamics, growth and yield from measurements to model*. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-88306-7.
- Repola, J. & Ulvcróna, K.A. (2014). Modelling biomass of young and dense Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) dominated mixed forests in northern Sweden. *Silva Fennica* 48(5), id 1190.
- Skellefteå Kraft (2015). Leveransprislista. Tillgänglig: https://www1.skekraft.se/OmOss/.../Pdf/Leveransprislista_skog.pdf. (2015-11-16)
- Södra Skogsägarna (2015). Prislista Massaved. Tillgänglig: <http://skog.sodra.com/sv/Salja-Virke/Virkesprislista/>. (2015-11-16).
- Ulvcróna K.A. (2011). Effects of silvicultural treatments in young Scots pine-dominated stands on the potential for early biofuel harvest. Doctoral thesis No. 2011:79. Faculty of Forest Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå. 64 pp.
- Ulvcróna, K. A., Kiljunen, N., Nilsson, U. & Ulvcróna, T. 2011. Tree mortality in *Pinus sylvestris* stands in Sweden after pre-commercial thinning at different densities and thinning heights. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(4): 319-328.
- Ulvcróna, K.A., Bergström, D. & Bergsten, U. (2015). Effekter av krankorridor gallring (KKG) på beståndets kvalitet och fortsatta utveckling. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig biomassa och teknik. Rapport efter utläggning av försöksytor, 43 pp.
- Ulvcróna, K.A., Nilsson, U., Ulvcróna, T., & Lundmark, T. 2014. Stand density and fertilization effects on aboveground allocation patterns and stem form of *Pinus sylvestris* in young stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(3): 197-209. DOI:10.1080/02827581.2014.906648.
- Weiner, J. & Thomas, S.C. (1986). Size variability and competition in plant monocultures. *OIKOS* 47, 211-222.
- Westoby, M. (1984). The self-thinning rule. *Advances in ecological research*. 14:167-225.