

Beslutsstöd för produktion av biomassa och uttag av bioenergi i unga skogar

Slutrapport till Energimyndigheten (2011-003472)
och Skogssällskapet [1112-95/154-10; LOMOL]



Bilden visar en f.d. tät ungskog av tall efter den första gallringen där energisortiment är på väg att tas ut (fältförsök i Gagnet). Foto: Kristina A. Ulvcrona.

Kristina A. Ulvcrona, Lars Karlsson, Dan Bergström, Ingegerd Backlund och Urban Bergsten

Arbetsrapport 29 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

Beslutsstöd för produktion av biomassa och uttag av bioenergi i unga skogar

**Slutrapport till Energimyndigheten (2011-003472)
och Skogssällskapet [1112-95/154-10; LOMOL]**

**Kristina A. Ulvcrona, Lars Karlsson, Dan Bergström, Ingegerd Backlund och
Urban Bergsten**

Arbetsrapport 30 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

Sammanfattning.....	3
Bakgrund	4
Mål och syfte	5
Genomförande	6
Resultat	8
Biomassafunktioner	8
Tall, gran, och björk (Repola & Ulvcrona 2014).....	8
Contorta (Elfving & Ulvcrona, manus)	9
Intensitet vid skogsföryngring (Hallsby et al. 2015).....	10
Biomassans utveckling över tiden.....	11
Fram till första uttaget – contorta (Backlund & Bergsten 2012)	11
Fram till och med första uttaget – contorta i fältförsöket Bjärkliden	12
Beståndsutveckling i täta gödslade blandbestånd före och efter energiuttag.....	13
Allokeringsmönster i röjda respektive oröjda bestånd (Ulvcrona et al. 2014b)	15
Biologisk effekt av enkelställning vid röjning (Ulvcrona et al. 2014a).....	16
Beståndsutveckling efter bortförande av röjningsvirke (Egnell & Ulvcrona 2014).....	17
Inverkan av uttagsform och skötselregim (Karlsson et al. 2013, Karlsson 2013)	18
Teknisk utveckling - systemanalyser	20
Ekonomiska kalkyler – nuvärden	22
Nya krankorridor-gallringsförsök.....	25
Slutsatser.....	30
Referenser till inledning	33
Publikationer inom projektet.....	33

Sammanfattning

I Sverige finns stora arealer av täta ungskogar ("eftersatta röjningar") i vilka skörd av biomassa i form av bränslesortiment kan bidra med ett betydande energitillskott. Det har dock saknats ett konkret kunskapsunderlag för utveckling av praktiska skötselinstruktioner, de s.k. gallringsmallar som till viss del används härrör från 1960-talet och avser enbart stamved. I projektet har därför en kunskapssammanställning tagits fram som kan tillämpas vid uttag av biomassa/bioenergisortiment i stamtäta unga bestånd. Vi kan nu bättre prognostisera (i) beståndsutveckling vid olika skötsel,

(ii) möjliga/lämpliga uttagsnivåer vid olika beståndshöjd och stamantal, (iii) ev.

tillväxteffekter orsakade av näringsbortfall vid uttag av biomassa och (iv) tillväxt över tiden för träd som står kvar efter ett första biomassauttag. Grund för arbetet har varit ett stort antal fältförsök som är följda upp till närmare 50 år. Långsiktigheten och upplösningen i dessa försök gör att vi bedömer att vår sammanställning kan fungera som ett beslutsstöd angående val av skötselåtgärd för den unga skogen samt val av tidpunkt och uttagsnivå vid ett tidigt uttag av bioenergi. En viktig faktor vid valet av åtgärd är kostnaden för ett tidigt biomassauttag. Därför har vi även kvantifierat kostnadseffektiviteten för de nya tekniska skördelösningar som är på väg, och som kan möjliggöra ett rationellt uttag av bioenergisortiment redan vid den första gallringen, och kalkylerat ekonomiskt utfall för olika skötselregimer. Projektresultaten bör utgöra en grund för att ta fram ett verktyg för val av åtgärd i täta unga skogar.

Bakgrund

Förutsättningarna för omställning av samhällets energiförsörjning är i Sverige relativt väl konkretiserade såväl i lagstiftning som i nationella mål (Anon. 2008a, Anon. 2008b, Anon. 2008c, Anon. 2008d, Anon. 2008e, Anon. 2009a, Anon. 2009b, Anon. 2010a). Omställningsprocessen förväntas ske parallellt med att nationella miljökrav och internationella hållbarhetskriterier både beaktas och följs. Skogsbruket förväntas bidra substantiellt till denna omställning genom att tillåta en ökad årlig skörd av fasta biobränslen motsvarande 30 TWh (Anon. 2011). Under de senaste åren har biobränslen från skogen i huvudsak skördats som grenar och toppar (GROT) i samband med förnygringsavverkning (Anon 2010b). Eftersom GROT- uttaget är kopplat till förnygringsavverkningen är det relativt lätt att realisera potentialen, om prisnivån är tillräcklig. I Sverige har den outnyttjade GROT-potentialen bedömts till ca 12 TWh. Samtidigt pågår en intensiv debatt sedan ett antal år tillbaka om vilka praktiska handlingsalternativ som finns för så kallade ”eftersatta röjningar”. Dessa bestånd, vilka karakteriseras av att de är stamtäta ($>3\ 000$ stammar ha^{-1}) och med en höjd understigande 15 meter, har haft ett generellt ogynnsamt både tekniskt och ekonomiskt utgångsläge inför första gallringen vid traditionell skogsskötsel (Bergström et al. 2010). Å andra sidan utgör de en betydande potential för utveckling av nya skogsskötselsystem med fokus på ökad biomassaproduktion eftersom det finns möjlighet att inrikta dessa bestånd mot bränsleproduktion i en tidig skörd utan att det utesluter produktion av både massaved och timmersortiment senare i beståndsutvecklingen. I Sverige utgör oröjda/ogallrade skogar med en höjd under 15 m ca 18 % av den totala skogsmarksarealen. Den totala stående volymen uppgår i dessa skogar till 258 miljoner ton torrsubstans (TS) och den årliga avverkningspotentialen är ca 5 miljoner TS (ca 23 TWh) för Sverige som helhet om hela biomassan ovan stubben räknas in (Nordfjell et al. 2008). För att kunna skörda stora delar av denna potential krävs dock nya skördesystem som baseras på rationell flerträdsfällning och hantering. Bergström (2009) visar att man kan öka produktiviteten upp till 200% vid fällningsarbetet om man utvecklar teknik och system för krankorridor-gallring. Enligt Bergström et al. (2010a, b) kan man även implementera teknik som medför att delar av trädens näringsämnen (barr och finkvist) lämnas kvar i beståndet samtidigt som en kostnadseffektiv skörd och transport av biomassan kan utföras.

I dagens praktiska skogsbruk planeras gallringar sedan lång tid tillbaka med hjälp av s.k. gallringsmallar. Dessa mallar är beslutsstöd för praktiker och utvecklades av Skogsstyrelsen tillsammans med forskare under 1960-talet och även om vissa justeringar gjorts sedan dess har grundprinciperna använts i praktiskt skogsbruk under ca 50 år. Till sin konstruktion är mallarna uppbyggda kring två slutenhetsgränser, den högsta respektive lägsta slutenheten ett bestånd (på en given bonitet och för ett visst träslag) kan ha vid olika beståndsåldrar utan att betydande produktionsförluster uppstår. Den förväntade beståndsutvecklingen från en viss slutenhet projiceras sedan med hjälp av tillväxtlinjer (Anon. 1969). Med hjälp av mallarna kan man därigenom bilda sig en uppfattning om det föreligger ett gallringsbehov i ett visst bestånd, och efter en gallring med ett visst uttag, bedöma hur lång tid beståndet kan lämnas fortsätta växa innan gallring blir nödvändig igen. Viktigt att poängtera är också att de gamla mallarna erbjuder skogsägaren ett verktyg med vilket det också är möjligt att, tillsammans med aktuella prislistor och förväntade kostnader, bedöma förväntat ekonomiskt utfall i samband med olika åtgärder och därmed implementera en medveten, långsiktig skoglig strategi. Tyvärr utgör de existerande gallringsmallarna inte tillräckligt stöd till det praktiska skogsbruket för att möjliggöra en implementering av uttalade mål från energimyndigheten att ”långsiktigt hållbara metoder för skogsskötsel och uttag för ökad biobränsleproduktion ska kunna tillämpas av aktuella aktörer”. De befintliga mallarna är endast tillämpbara i bestånd

där man enligt traditionell skogsskötsel genom en tidig röjning reglerat stamantal, diameterfördelning och trädslagsblandning (Anon. 1969). Så kallade eftersatta röjningar finns inte med som start- alternativ. Dessutom är de utformade för stamvedens och inte biomassans utveckling. För utveckling av nya skogsskötselsystem som avser produktion av både skogsbränslen, massaved och timmersortiment utan att hållbarhetsaspekter och/eller skogsägarnas möjligheter till en medveten skoglig planeringsstrategi äventyras krävs därför ett nytt vetenskapligt baserat beslutsstöd som inkluderar biomassaproduktion.

Mål och syfte

Projektets mål har varit att bidra till förbättrad kunskap om den unga skogens skötsel och förutsättningarna för ekonomiskt lönsamt uttag av bioenergisortiment i stamtäta unga bestånd. Syftet har varit att ta fram underlag för ett beslutsstöd för att prognostisera (i) beståndsutveckling vid olika skötsel, (ii) möjliga/lämpliga uttagsnivåer vid olika beståndshöjd och stamantal, (iii) ev. tillväxteffekter orsakade av näringsbortfall vid uttag av biomassa och (iv) tillväxt över tiden för träd som står kvar efter ett första biomassauttag. Dessutom har kostnadseffektiviteten för nya tekniska skördelösningar kvantifierats genom ett samarbete med projekt finansierade av Skogssällskapet respektive Interreg. En modell för ekonomisk jämförelse av olika skötselprogram och uttagsalternativ har därmed kunnat tas fram.

Genomförande

Projektet har omfattat arbeten kring biomassans utveckling över tiden före och efter en tidig gallring/skörd av biomassa samt utvärdering av ekonomiskt utfall efter en tidig biomassagallring:

- Framtagning av biomassafunktioner har gjorts bl.a. i samarbete med Metla, Finland. Biomassaprovtagning för utveckling av biomassafunktioner har gjorts för tall, gran, björk och contorta. Utvärdering av intensitetsförsök. En nationell serie som anlades under 1980-talet (14 lokaler) har inventerats och bearbetats. Intensiv och normal föryngringsintensitet har jämförts med att inte göra någon åtgärd alls.
- Sammanställning av biomassans utveckling över tiden i orörda, självförngrade tall- och grandominerande bestånd har gjorts med befintliga funktioner kompletterat med framtagning av ytterligare funktioner med hjälp av äldre fältförsök. Även uttag i form av korridoröjning och -gallring har studerats. Data från fältförsök från nationella serier (ansvarig framlidne professor Sven Olof Andersson) har använts. Försöken är anlagda från 1950- – 1980-tal och deras utveckling har följts upp till närmare 50 år. Försöken utvärderar effekter av röjningsstyrkor, röjningshöjder, gallringsform, etc.. Beståndsutveckling har studerats uppdelat på diameterklasser vilket är nödvändigt för att kunna utveckla ett praktiskt användbart beslutsunderlag.
- Simuleringar av möjliga uttagsnivåer vid skörd av skogsbränslen och kvantifiering av utveckling för kvarvarande träd har genomförts med material från dels ovanstående beskrivna försök, dels från 6 stycken äldre s.k. korridoröjningsförsök vilka också ingår i Sven Olof Anderssons röjningsserie. Effekter av olika schematiska och selektiva röjningsmönster har jämförts mot en obehandlad kontroll. I korridoröjningsförsöken har beståndsutvecklingen efter olika schematiska uttagsnivåer (57-82 % av arealen) kunnat följas i ca 30 år och jämföras med oröjda respektive konventionellt röjda bestånd. Kalkyler på ekonomiskt utfall har därmed kunnat göras för att utvärdera olika uttags- och skötselregimer.
- Utvärdering av effekter efter uttag av biomassa. Äldre fältförsök inom Sven Olof Anderssons röjningsserie har använts för att utvärdera de långsiktiga effekterna på kvarvarande bestånd och enskilda träd efter bortförande av röjningsvirke (inkl. barr och fin kvist). Försök tidigare utlagda av bl.a. projektgruppens forskare (jfr Ulvcrone 2011) har följts upp efter ett tidigt biomassauttag för att kvantifiera kvarstående träds tillväxt över tiden.
- Utläggning av nya försök. Två serier med inriktning mot utvärdering av krankorridoröjning (KKG 1 & 2) har anlagts. KKG är i sig ett resultat av vårt projekt, dvs. från vårt arbete har vi kommit fram till förslag på nya uttagsätt som behöver följas upp med fältförsök. Syftet med försöken är att utvärdera effekter avseende både skador och produktion efter KKG. För KKG 1 har utläggning skett i södra Sverige i bestånd > 8 meters medelhöjd, medelstam $0.02 - 0.05 \text{ dm}^3$. Gran är huvudträdsdrag och det är > 4000 stammar ha^{-1} . Fältarbetet med etableringen av KKG 1 har utförts av personal från Tönnersjöhedens försökspark. KKG 2 har etablerats i talldominerade bestånd på tre lokaler i Västerbotten, Värmland och Småland. Inom varje lokal har två olika bestånd med höjd runt 5-6 m respektive 8-9 m valts ut.

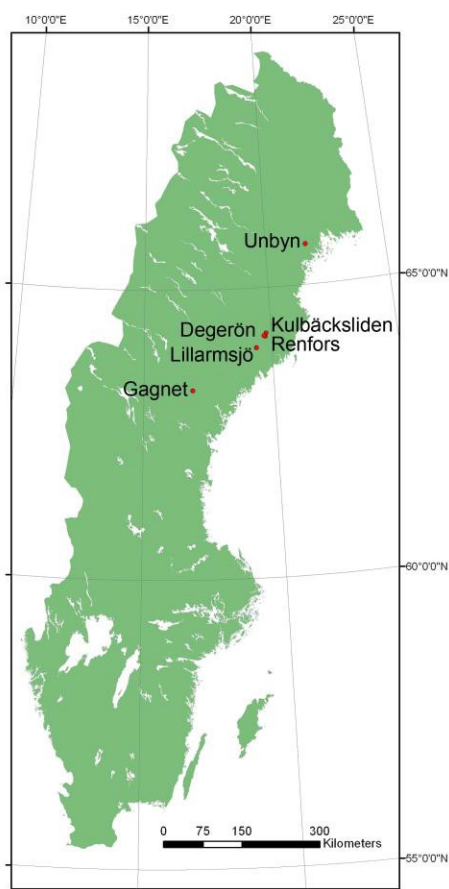
Behandlingarna omfattar krankorridorgallring, konventionell gallring och röjning. Fältarbetet med etableringen av KKG 2 har utförts av personal från Enheten för Skoglig Fältforskning (Vindeln samt Asa försöksparker), samt av personal från Jädraås Skog och Mark.

Resultat

Biomassafunktioner

Tall, gran, och björk (Repola & Ulvcróna 2014)

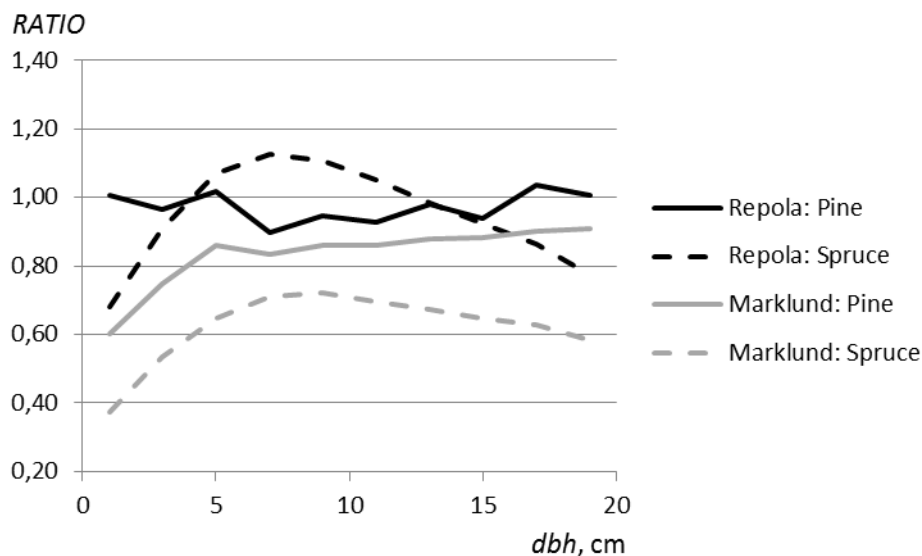
Arbetet med att ta fram biomassafunktioner för olika trädfraktioner av tall, gran och björk i unga och täta bestånd har genomförts i samarbete med forskare vid METLA (Rovaniemi). Inledningsvis planerades att utöver svenska provträd även nyttja provträd från redan utförda biomassaprovtagningar i Finland. Det visade sig dock att dessa kom från betydligt glesare och äldre bestånd, vilket resulterade i att gruppen slutförde analyserna uteslutande med befintligt material från Sverige (Figur 1).



Figur 1. Lokaler för provtagning för biomassafunktioner

Biomassaprovtagningen, i naturligt förnygrade unga och täta bestånd, hade utförts vid tre tillfällen. Den första 1997 och 1998 i samband med etablering av fältförsök, den andra sex år senare (hösten 2003/våren 2004), och den sista ytterligare sju år senare (2010). Totalt omfattar studien 280 träd, varav 126 tall, 68 gran och 86 björk. Träden kommer från sex olika bestånd i norra Sverige (Figur 1). Brösthöjdsdiameter (BHD) för provträden varierar mellan 1-22 cm för tall, 1-21 för gran och 1-11 cm för björk. De framtagna funktionerna skattar torrvikten för biomassa för fraktionerna stamved, grenar respektive barr på ett tillförlitligt sätt. De variabler som används i funktionerna är BHD, trädhöjd samt i vissa fall kronlängd. Skattningarna jämfördes (se Repola & Ulvcróna 2014) med biomassafunktioner av Marklund (1988) samt Repola (2008, 2009). Dessa funktioner har ursprungligen tagits fram för röjda

bestånd. Slutsatsen av jämförelserna visar på att funktioner baserade på provträd från röjda bestånd inte ska användas för att skatta biomassan för träd från oröjda bestånd på grund av allokeringskillnader mellan fraktioner. Till exempel visar jämförelser med Marklunds funktioner (1988) som baseras på provträd från röjda bestånd att dessa funktioner ger systematiskt en högre skattning av torrvikten för barrmassa för alla diameterklasser jämfört med de nya funktionerna (Repola & Ulvcrona 2014). Skillnaden är störst för de minsta träden (< 2 cm) och varierar mellan 9-40 % för tall, respektive 28-63 % för gran (Figur 2).



Figur 2. Jämförelse av skattning av torrsvikt barr med nya funktioner (Repola & Ulvcrona 2014; tall svart heldragen linje, gran svart streckad linje) och äldre funktioner (Marklund 1988; tall grå heldragen linje respektive gran grå streckad linje).

Contorta (Elfving & Ulvcrona, manus)

För Contorta insamlades provträd inom projektets ram från totalt 13 lokaler i norra Sverige (latitud 61.9-66.2 °N; totalt 164 provträd) (Figur 3). Provträden varierade i storlek från 4 till 43 cm i BHD och från 4 till 31,5 m i höjd. Beståndsåldern varierade mellan 19 och 84 år. Funktioner har tagits fram för stamved inklusive bark, bark, levande respektive döda grenar samt barrbiomassa. De variabler som ingår i funktionerna är BHD i kombination med höjd och i vissa fall även kronlängd.

Fraktionerna kvistar och barr utgör var för sig för tall i snitt ungefär 15 % av trädets totala torrsvikt. Om även dessa fraktioner ingår i uttaget innebär det en väsentlig ökning av torrsvikten som kan utvinnas vid en första energiskörd (ca 40 % utöver det som stamveden ger). Eftersom torrsvikten har hög korrelation med energiinnehållet innebär det en motsvarande ökning i energimängd. Arbetet med biomassafunktioner har tydligt visat att särskilda funktioner krävs för unga täta bestånd. Dessutom krävs ny inventeringsmetodik om man snabbt och kostnadseffektivt vill bestämma biomassan i nämnda beståndstyper. Att använda manuell klavning av enskilda träd är alldeles för kostsamt. Inventering med hjälp av laserskanning används idag för äldre/glesare bestånd men borde också kunna användas för unga täta bestånd. Tillförlitliga biomassafunktioner kan då krävas. Inom projektet har också samarbete med andra forskare initierats för att ta fram ett inventeringsredskap baserat på digitala bilder (foton) för att kostnadseffektivt skatta biomassa.

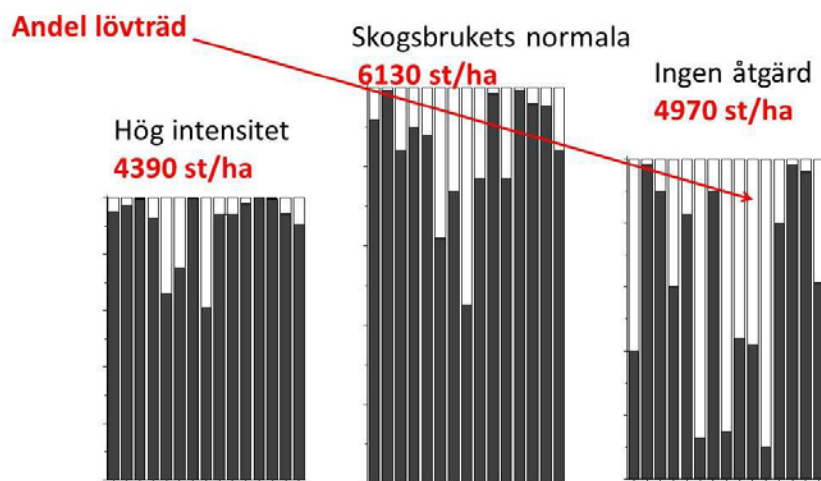


Figur 3. Biomassaprovtagning i Sveriges äldsta contortaförsök, Toböle hösten 2012. Foto Kristina Ulvcrona

Intensitet vid skogsföryngring (Hallsby et al. 2015)

Ett landsomfattande etableringsförsök utvärderades 24-27 år efter anläggning på bolagsmark. Tre olika nivåer av intensitet vid etablering efter slutavverkning jämfördes på totalt 14 lokaler i Sverige. De skötselnivåer som jämfördes var I. Högintensiv behandling med markberedning och plantering med stora plantor direkt efter slutavverkning. Anläggning i plantförband 2 x 2 meter i kombination med hjälpplantering i de fall detta ansågs nödvändigt samt röjning enligt praxis. II. Normal intensitet, dvs. det för respektive skogsbolag gällande rutinerna för föryngring. III. Låg intensitet, ingen markberedning, endast självföryngring och ingen röjning.

Efter 4-7/8 tillväxtsåsonger kunde man vid återinventering konstatera att högst antal plantor återfanns i behandling I med i genomsnitt 3 359 plantor ha⁻¹. Lägst antal återfanns i behandling III med endast 1 662 plantor ha⁻¹. Revisionen hösten 2011 samt våren 2012 av samtliga lokaler visade att 24-27 år efter etablering kvarstod denna trend, med högst volym i behandling I (90 m³ ha⁻¹), vilket var signifikant högre jämfört med behandling III med endast 36 m³ ha⁻¹. Stora skillnader mellan lokaler kunde dock påvisas och avgångar i behandling I och II i kombination med en ibland lyckad självföryngring inom försöksled III resulterade på ett antal lokaler till små skillnader mellan behandlingarna (Figur 4). En generell slutsats är att det även i framtiden kommer att finnas en viss andel unga täta bestånd även om intensitetsnivån vid föryngringsarbetet skulle vara låg, dvs. projektets resultat kommer att vara av vikt även om/när dagens s.k. eftersatta röjningar är åtgärdade.

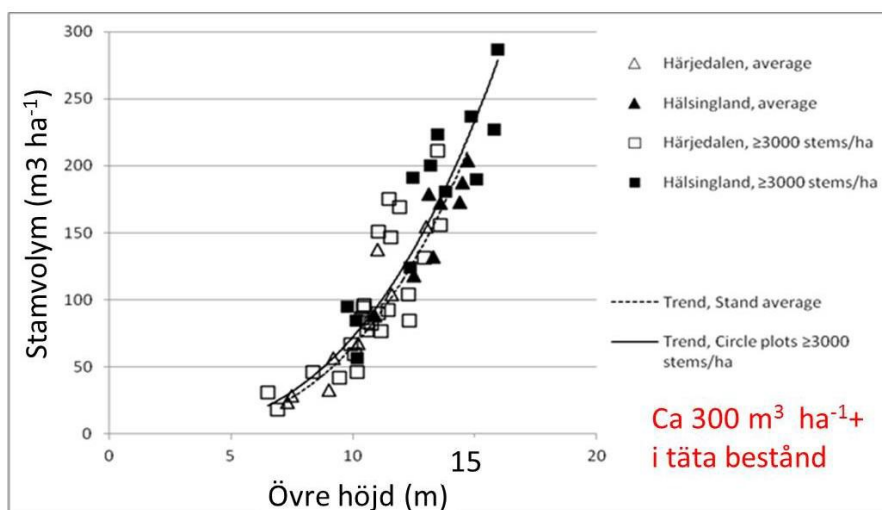


Figur 4. Stamantal ($\geq 1,3$ m) efter ca 25 år i en landsomfattande (14 lokaler) serie med olika intensitet i föryngringsfasen (Hallsby et al. submitted). Mörk stapel är barrträd och ljus är löfträd.

Biomassans utveckling över tiden

Fram till första uttaget – contorta (Backlund & Bergsten 2012)

Produktionen i unga sådda skogar av contorta kvantifierades genom att inventera 16 av de äldsta sådda bestånd som finns i Sverige. Inventeringsresultaten visar att sådd av contorta kan vara ett mycket kostnadseffektivt sätt att på relativt kort tid skapa bestånd med höga nivåer av biomassa. Contortabestånd med höga stamantal kan tillåta en form av kortrotationskogbruk baserat på ett lättföryngrat och snabbväxande barrträd. Redan efter ca 30-40 år kan ca 300 m^3 stamvedsvolym uppnås på bättre boniteter i mellannorrland (Figur 5).



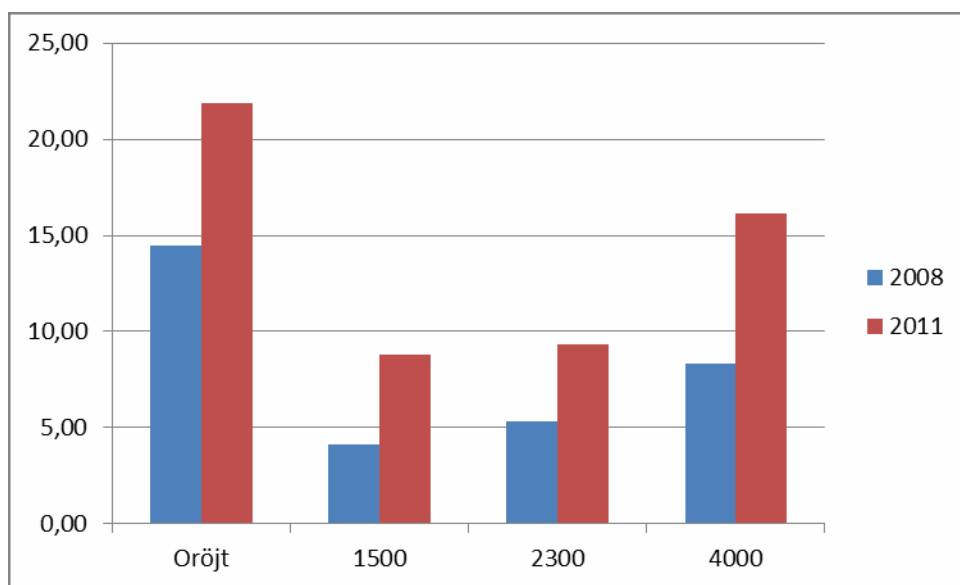
Figur 5. Stamvolym över tiden i ett kortrotationssystem för contortatall (Backlund & Bergsten 2012).

Fram till och med första uttaget – contorta i fältförsöket Bjärkliden

(Ulvcrona et al. 2013)

Försöket lades ut hösten 2006 i ett bestånd av sådd Contorta (utfört juli 1993) utanför Norsjö (Bjärkliden) i Västerbottens län. Totalt omfattar försöket 2 block och 4 behandlingar; I. Oröjt (maximal biomassaproduktion), II. Røjning till 1 600 stammar/ha (snabb diameterutveckling för alla träd), III. Røjning till 2 200 stammar/ha (konventionell røjning), och IV. 4 000 stammar/ha (kombinerad diameterutveckling och hög biomassaproduktion). Inom projektet har försöket reviderats under våren 2012. Dessutom har energiskörd som simulerad krankorridoragallring (två behandlingar) utförts motormanuellt i örøjda parceller. Biomassaprovtagning (29 träd) gjordes i samband med energiskörden, jfr biomassafunktioner ovan.

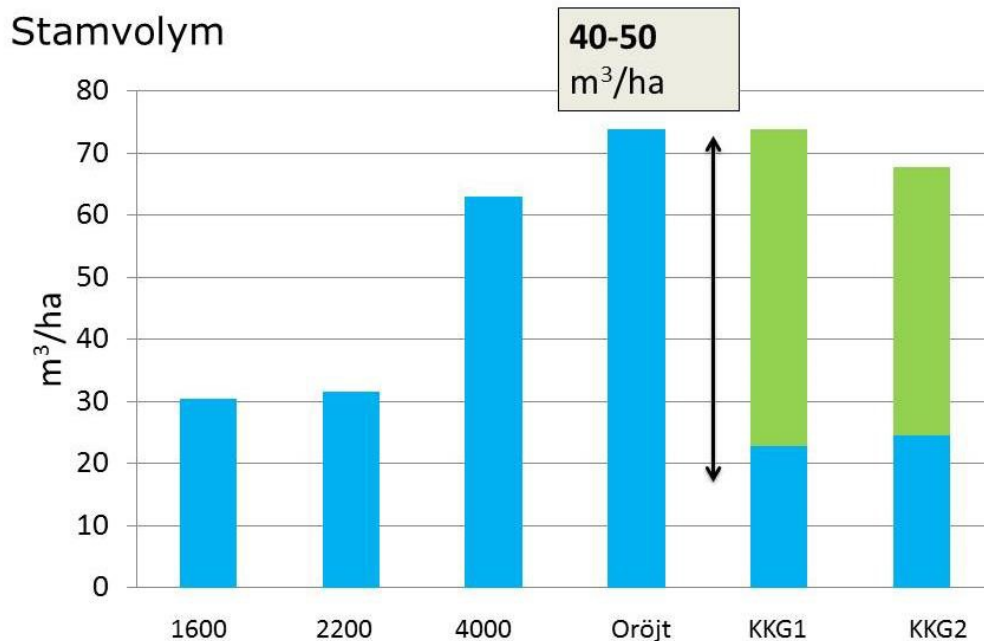
Inmätningar av försöken mellan år 2008 och 2011 visar på en högre grundyteutveckling vid högre antal stammar ha⁻¹. Högst grundyta återfanns i örøjda bestånd (Figur 6).



Figur 6. Grundyteutveckling Bjärkliden mellan 2008-2011 efter røjning 2006 till olika stammar per ha (Ulvcrona et al. 2013).

Skillnaden i produktion mellan de olika leden var stor, genom att inte röja alls var det möjligt att i en första gallring ta ut mer än vad som nu finns i stående volym i de hårdare røjda försöksleden (1 600, 2 200 stammar ha⁻¹) (Figur 7). Att röja till ett tätare förband än dagens (här 4 000 stammar ha⁻¹) förefaller vara en lämplig åtgärd om ett tidigt energiuttag ska kombineras med mer konventionell produktion av timmer och massaved. Om ett kortrotationsalternativ (exv. 35-40 år) för bioenergiproduktion kan bli aktuellt är det förmodligen mest kostnadseffektivt att inte göra någon åtgärd alls fram till slutavverkning.

I Bjärklidenförsöket bör stamvolym och biomassa i det örøjda vara så hög som ca 300 m³ och ca 200 ton t.v. ha⁻¹ efter ca 35-40 år (jfr Figur 5).



Figur 7. Stamvolym Bjärkliden efter 20 år (5 år efter röjning) för olika stamtal per ha och efter uttag av biomassa/bioenergi genom motormanuell krankorridorgallring (KKG).

Vid återbesök oktober 2014 (två år efter bioenergiskörden) kunde inga omfattande skador p.g.a. exv. snöbrott upptäckas (Figur 8.)



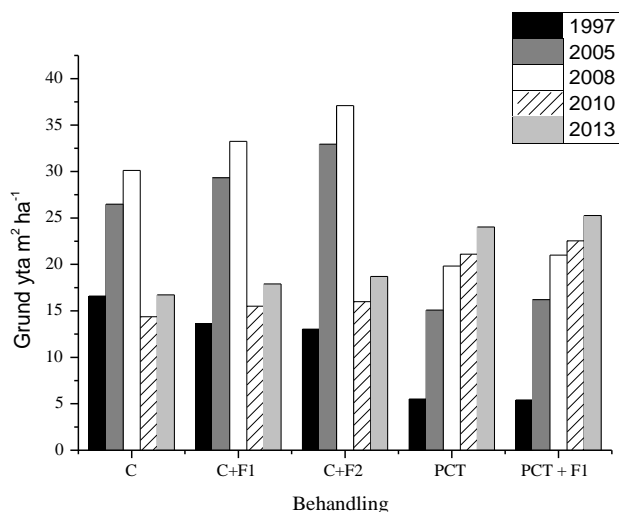
Figur 8. Bjärkliden oktober 2014, två vegetationsperioder och vintrar efter energiskörd utförd som motormanuell krankorridorgallring. Foto Urban Bergsten.

Beståndsutveckling i täta gödslade blandbestånd före och efter energiuttag

(Ulvcróna et al., manus; Ulvcróna & Bergsten, manus)

I en försöksserie med olika nivåer av gödning och röjningsintensitet (tre/fyra lokaler) följdes produktionen både före (Figur 9) och efter ett tidigt biomassauttag (Figur 10).

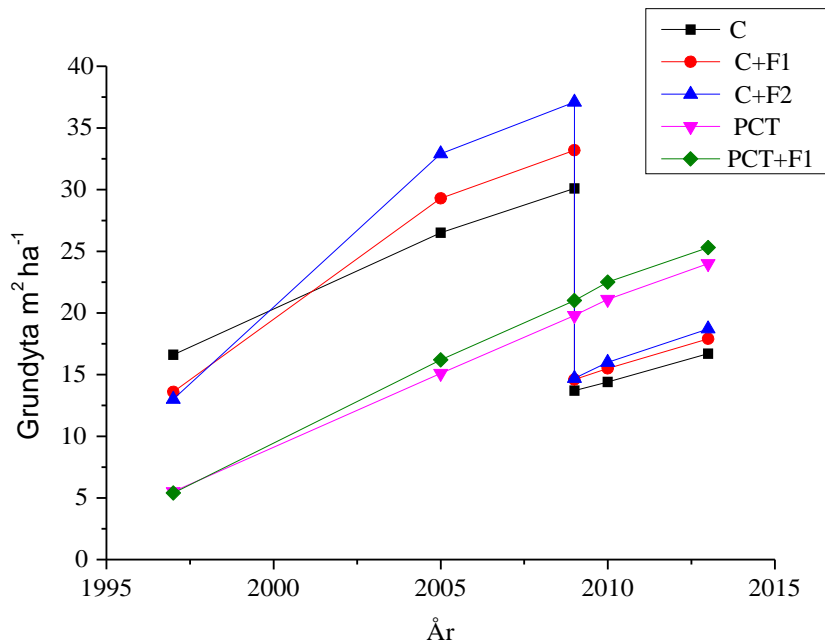
Jämförelser gjordes mellan ogödslad kontroll, gödning med 100 kg N ha⁻¹ vid två tillfällen (1997 samt 2003), samt ett högintensivt gödslingsprogram med 100 kg N ha⁻¹ årligen.



Figur 9. Grundytan 1997-2013 för fältförsök etablerade i talldominerad ungskog 1997. Energiskörd utfördes 2009. C= oröjd, C+F1= Oröjd + 100 kg N ha⁻¹ 1997 och 2003, C+F2= Oröjd + 100 kg N ha⁻¹ årligen från 1997-2008, PCT= röjning 3 000 stammar ha⁻¹, PCT+F1= röjning 3 000 stammar ha⁻¹+100 kg N ha⁻¹ 1997 och 2003.

Högintensiva gödslingen resulterade i den högsta totalproduktionen med 100 ton TS biomassa ha⁻¹, motsvarande 162 m³ ha⁻¹. Resultaten visar även att produktion biomassa/tillförd kg N var högst för den lägre gödslingsgivan som gavs vid två tillfällen med fem års mellanrum. Anledningen är troligtvis att träden inte kunde tillgodogöra sig den större mängden kväve vid intensivgödsling beroende på aktuell nivå på barmassa och/eller ljus.

Vid biomassa-/bioenergiuttag försommaren 2009 i de oröjda försöksleden kvantifierades mängden skördad biomassa till i medel 50 ton TS ha⁻¹ (Figur 10). Försöken följdes därefter under fyra vegetationsperioder med två mätningar på enskilda numrerade individer (maj 2010 och 2013). Diametertillväxten följdes alltså inom olika diameterklasser, även för träd från behandlingar som tidigare (vid 3-5 meters övre höjd) röjts till 3 000 stammar ha⁻¹ (behandling PCT). Efter energiuttag återfanns förstås den högsta grundytan i de tidigare röjda ytorna, men 2013 var det ingen skillnad i grundytetillväxt mellan de ytorna och de ytor där energiskörd utfördes. Det var ingen signifikant skillnad i aritmetisk medeldiameter mellan behandlingarna våren 2010, men tre vegetationsperioder senare (maj 2013) var den tidigare oröjda och intensivgödslade (C+F2) signifikant högre än kontrollen (C, oröjd med energiskörd). Förändringen i diameter mellan 2010-2013 var störst i C+F2, som också hade signifikant högre diameter än de två tidigt röjda till 3 000 stammar ha⁻¹ (PCT och PCT+F1). Resultaten från mätningar innan och efter energiuttaget indikerar att de tidigare oröjda parcellerna klarat sig bra från skador efter bioenergisörden, trots att uttaget var i storleksordningen 50-60 % av grundytan. Mätningarna visar också att träd i de största diameterklasserna har en större tillväxt än träd i mindre klasser. Ytterligare ett resultat är att konkurrensen i parcellerna som tidigare röjts till 3 000 stammar ha⁻¹ nu resulterar i ökad mortalitet och en minskad tillväxt hos de mindre träden.

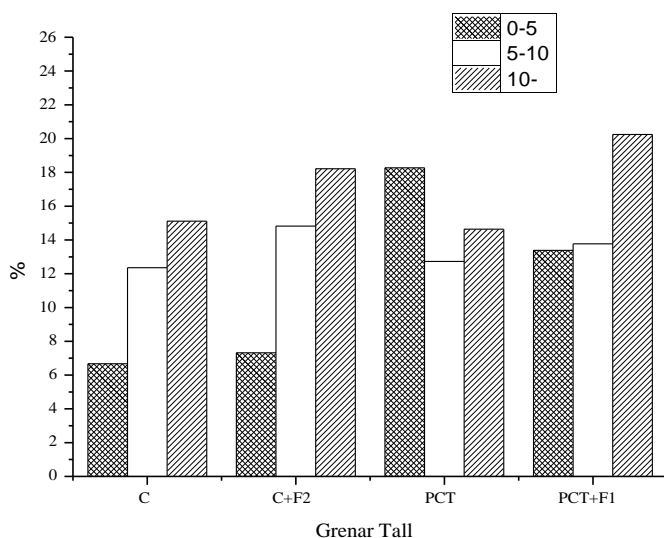


Figur 10. Grunddyta 1997-2013 för fältförsök etablerade i talldominerad ungskog 1997. Figuren illustrerar effekten av energiskörd som utfördes våren 2009. Ang. förkortningar, se figurtext i figur 9.

Försöksserien visar att man kan skapa hög biomassaproduktion i unga skogar genom att låta dem vara täta under en längre period än vad som betraktas som konventionellt. Ett bioenergiuttag som första uttag måste anpassas i tiden för att inte riskera att skapa tillväxtförluster genom mortalitet orsakad av ljuskonkurrens. Tidsfönstret verkar dock inte vara mycket snävt, det verkar finnas ett spelrum på ett antal år. Skörd i täta bestånd innebär dock även en teknisk utmaning för att inte riskera att kvarvarande bestånd skadas vid hanteringen av alltför långa stammar.

Allokeringsmönster i röjda respektive oröjda bestånd (Ulvcrona et al. 2014b)

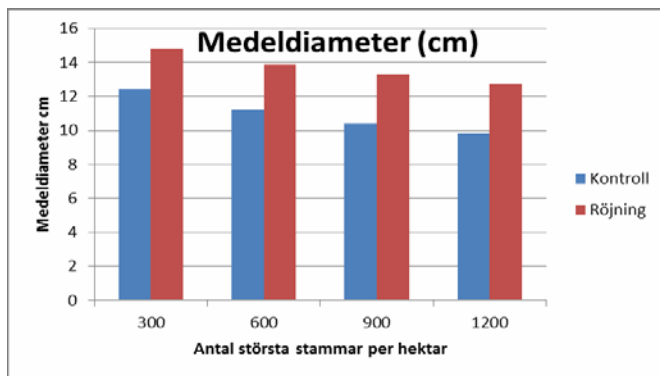
I samma bestånd som beskrivits ovan analyserades även allokeringsmönster på provträd av tall sex år efter försökets etablering (oröjd behandling C och C+F2 hösten 2003, röjda parceller PCT och PCT + F1 våren 2004). Övre höjd var vid tillfället 8-9 m och ingen skillnad kunde påvisas mellan röjda eller oröjda behandlingar. Resultaten visar på att träd med BHD > 5 cm inte påverkades av varken röjning eller gödsling beträffande fördelning av stamved, grenar eller barr. Träd med BHD < 5 cm i täta oröjda bestånd hade en lägre kvot diameter/höjd och hade mindre biomassa i grenar och barr jämfört med träd i röjda bestånd (Figur 11). Gödsling påverkade de minsta träden i liten utsträckning. En slutsats av utvärderingen är att de största trädens allokeringsmönster inte påverkas av om röjning görs eller inte.



Figur 11. Andel grenar hos tall från behandlingarna oröjd kontroll (C), C+F2= Oröjd + 100 kg N ha⁻¹ årligen från 1997-2008, PCT= röjning 3 000 stammar ha⁻¹, PCT+F1= röjning 3 000 stammar ha⁻¹+100 kg N ha⁻¹ 1997 och 2003.

Biologisk effekt av enkelställning vid röjning (Ulvcróna et al. 2014a)

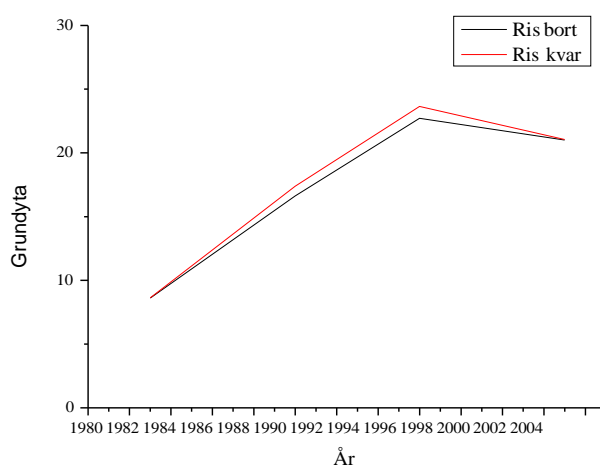
Utvecklingen över tid hos huvudstammar (enskilda träd) när de vuxit i olika förband jämfördes mot motsvarande utvalda huvudstammar (träd) som vuxit i ett oröjt bestånd. Sju försök i tallbestånd i centrala Sverige utvärderades med avseende på BHD utveckling. BHD och höjd mättes upp till fyra gånger under en 15-års period. Försöken anlades från ca 15 upp till mer än 30 år efter beståndsanläggningen i mycket täta bestånd (i medel ca 28 000 st/ha i de oröjda bestånden). Eftersom träden varit nummerade innebär det att samma individer kunnat följas under hela försöksperioden. Analys av medeldiameter och diameter tillväxt hos de 300, 600, 900 respektive 1200 största träden gjordes. Röjning resulterade under perioden i en signifikant ökad diameter för varje storleksklass (ca 2 cm i genomsnitt) jämfört med träd i oröjda behandlingar (Figur 9). Samtidigt var medeldiametern för de 300 grövsta oröjda ungefär lika med de 1200 grövsta röjda. Eftersom försöksserien är utlagd i mycket täta och förhållandevis gamla bestånd ska nog resultaten ses som att de största träden även i mycket täta bestånd och under lång tid kan tåla konkurrens från ett stort antal konkurrerande träd utan att tillväxten dramatiskt försämras.



Figur 12. Medeldiameter (cm) för oröjda träd och motsvarande träd i röjda behandlingar uppdelat på de 300-1200 största stammarna per hektar vid sista revisionen efter 15 år.

Beståndsutveckling efter bortförande av röjningsvirke (Egnell & Ulvcröna 2014).

Studien omfattar fyra försökslokaler i tallbestånd (*Pinus sylvestris* L.) i Sverige som följts upp till 22 år efter behandlingen. Volymtillväxt efter helträdsuttag vid röjning jämfördes med konventionell röjning där röjningsvirket lämnats på ytorna. Resultaten visar på en signifikant tillväxtreduktion på 4 % efter helträdsuttag under perioden. Analyser av tillväxt mellan revisioner visar dock på att tillväxtreduktionen inträdde redan under den första perioden (0-8 år) då tillväxtreduktionen låg på 6 %. För den andra och tredje perioden kunde ingen signifikant tillväxtreduktion påvisas. Skattningar av näringsförluster visar på förluster i storleksordningen på i genomsnitt 37-77 kg kväve (N) per hektar i samband med helträdsuttag. Resultaten från studien indikerar att kväveförluster i samband med helträdsuttag för energiskörd vid första gallringen kan motsvara ungefär effekten av att inte göra en konventionell gödsling, både i nivå och i varaktighet (Figur 13). Effekten är kortvarig och under en omloppstid bör den därför ha liten inverkan på totalproduktionen. I områden med risk för kvävenedfall och utlakning kanske ett helträdsuttag t.o.m. kan bedömas ge vissa positiva miljöeffekter.



Figur 13. Grunddyteutveckling i kvarvarande bestånd efter röjning med röjningsris kvar (röd linje) eller bortfört (svart linje). Medelvärde för lokalerna.

Inverkan av uttagsform och skötselregim (Karlsson et al. 2013, Karlsson 2013)

De långsiktiga effekterna av korridor-röjning (Figur 14) och -gallring undersöktes genom att följa upp fältförsök från 1970-talet (uppföljning efter 27 resp. 22 år). Uttagnivån hade självfallet effekt på kvarvarande träd produktionsförmåga (Tabell 1) men uttagsformen (selektivt eller i strikt korridorform) hade liten effekt på de större trädens utveckling (Figur 15). Diameterspridningen var förstås betydligt större efter korridoruttag och medeldiametern lägre jämfört med selektiv röjning.

Korridor-gallring, som utfördes strikt planteringsradvis vid 9 m höjd, hade effekt på medeldiametern (ca 20 % fler träd kvar än vid selektiv gallring) men ingen effekt på tillväxt och mortalitet (Tabell 2).

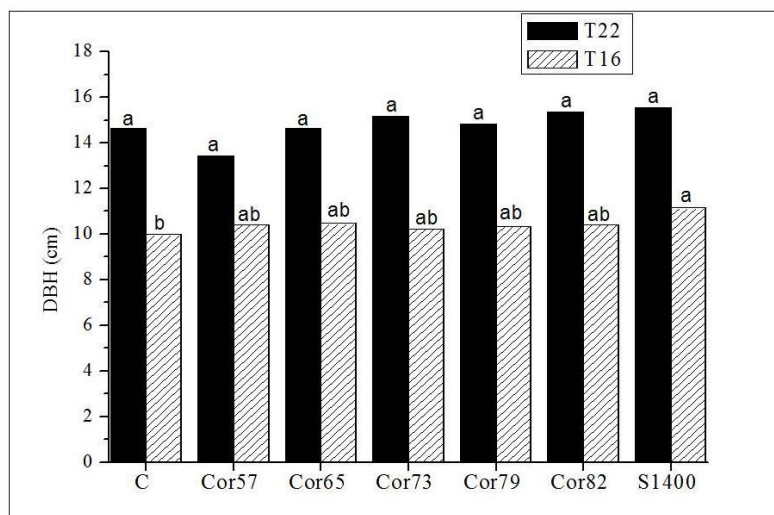
I de analyserade försöken hade alltså uttagsformen ingen dramatisk effekt på kvarvarande träd och bestånd, slutsatsen har haft betydelse för att kunna gå vidare med krankorridor-gallring (jfr nedan).



Figur 14. Strikt korridor-röjda tallbestånd efter 27 år (Karlsson et al. 2013).

Tabell 1. Stamantal, brösthöjdsdiameter (DBH) och stamvolym 27 år efter röjning (korridor eller selektivt) vid 3-4 m medelhöjd. Medelvärden för två lokaler (T16, T22). Korridor-röjning: 2 resp. 2,8 m breda korridorer; intakt 0,75 resp. 1,5 m. Korr 57 % anger korridorareal. Karlsson et al. (2013).

Behandl.	St/ha	DBH (cm)	Stamvolym (m ³ /ha)
Öröjd	7 480 ^a	7.6 ^b	200
Korr 57 %	4 620 ^b	8.1 ^b	139
Korr 65 %	4 070 ^b	8.9 ^b	151
Korr 73 %	3 700 ^b	9.1 ^b	140
Korr 79 %	3 540 ^b	9.0 ^b	132
Korr 82 %	3 160 ^{bc}	9.6 ^b	133
Sel 1400 st/ha	1600 ^c	12.6 ^a	125
Sel 1000 st/ha	1090 ^c	14.5 ^a	118

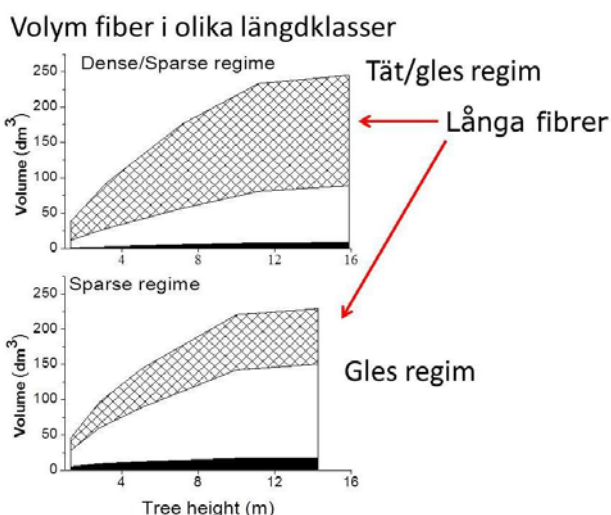


Figur 15. Medeldiameter för de 1400 grövsta i öröjt (C), efter korridorörjning till olika korridor area (exv. Cor57) och efter selektiv örjning (S1400) i två bestånd (T16, T22). Karlsson et al. 2013.

Tabell 2. Stamantal, brösthöjdsdiameter (DBH), stamvolym och mortalitet 22 år efter korridor- och selektiv gallring vid 9 m medelhöjd (9 lokaler). Korridorogallring (strikt): Två plantrader gallrade, två kvarlämnade. Selektiv gallring: 50 % av grundytan. Karlsson et al. (2013).

Behandling	St/ha	DBH (cm)	Volym (m ³ /ha)	Volym tillväxt (m ³ /ha, år)	Mortalitet (m ³ /ha, år)
Selektiv	1231b	17.6a	213.3a	8.1a	0.14a
Korridor	1492a	15.9b	212.6a	8.0a	0.21a

Även olika skötselregimers inverkan på kvarvarande träd har undersökts (Karlsson et al. 2013). Regimer med hög stamtäthet av tall i ungdomen medför att andelen mogen ved och volymen långa fibrer blir högre vid senare uttag (Figur 16).



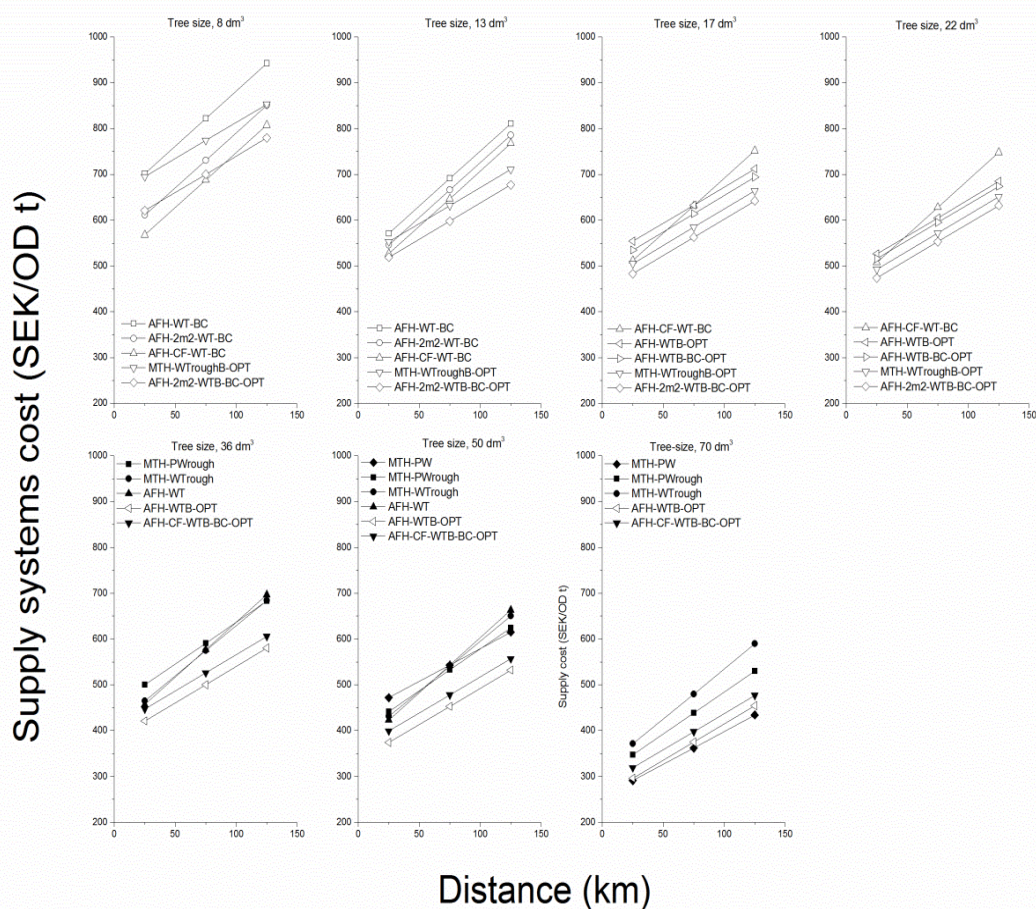
Figur 16. Inverkan av skötselregim på volymen långa fibrer i medelålders tall (Karlsson et al. 2013). Gles regim innebär 3 m förband under studieperioden. I tät/gles regim var beståndstätheten hög fram till drygt 20 år, därefter gjordes höga uttag för att skapa glesa bestånd.

Teknisk utveckling - systemanalyser

Nationella skattningar visar att det finns en stor potential att skörda biomassa från ogallrade ungskogar. Dessa skogar är ofta dimensionsheterogena vilket medför att det man kan skörda relativt låga volymer massaved, men totalt sett kan man skörda mycket biomassa om även klena träd och grenar och toppar inkluderas. Under det senaste decenniet har det utförts forskning och utveckling på teknik och system för skörd och hantering av okvistade klena träd. Teoretiska studier visar att om man utvecklar nya metoder och tekniker för fällningsarbetet kan produktiviteten på skördaren öka med upp till 100-200 % (Jfr inledning, Bergström 2009). Studier visar även att man kan uppnå låga transportkostnader om träddelarna hanteras i komprimerad och buntad form från skog till industri. Dessutom har ny teknik för kostnadseffektiv komprimering och buntning av träddelar realiserats på marknaden de senaste åren.

I delprojektet har 14 olika system för skörd och transport av träddelar analyserats (Bergström & Di Fulvio 2014a). Nio av systemen representerar konventionella system och fem innovativa (framtida). Systemens kostnads- och energieffektivitet analyserades med variabler som beståndstyp (skördad medelstamvolym; 8-70 dm³), typ av sortiment (massaved, grokvistad massaved, knäckkvistade träddelar, obearbetade träddelar och buntade träddelar, buntade knäckkvistade träddelar), skotnings (100-500 m)- och vägtransportavstånd (20-250 km). Dessutom analyserades effekten av att införa lastkomprimering på både terräng- och vägtransport av obearbetade träddelar (10-30 % komprimeringseffekt). Effekten av skörd med innovativa tekniker som t.ex. nya krankorridoraggregat i kombination med direktbuntning jämfördes med konventionella system som standard gallringsskördare utrustade med ackumulerande skördar- eller fällningsaggregat.

Analyserna visar tydligt att om man kan utveckla nya leveranssystem baserade på ny krankorridoraggregatsteknik och effektiv direktbuntning i fält uppnås betydligt högre kostnadseffektivitet i jämförelse med dagens system (Figur 17).



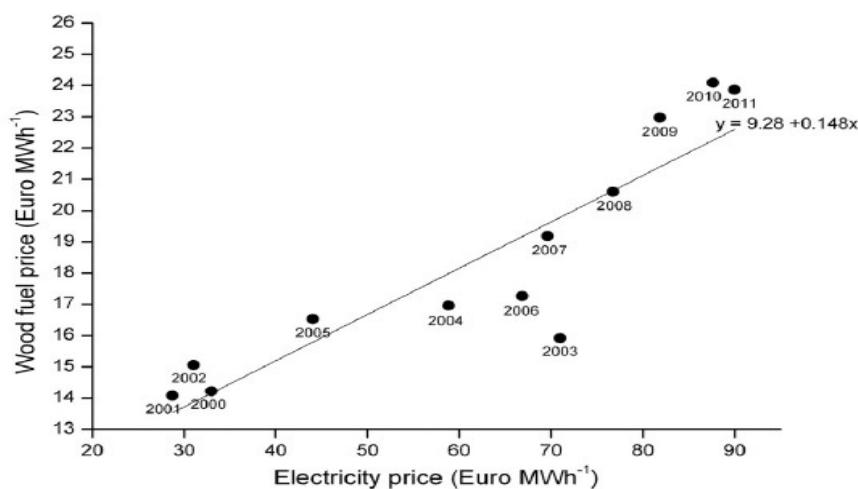
Figur 17. Leveranssystemens kostnadseffektivitet vid skörd och terrängtransport 300 m som funktion av vägtransportavstånd för sju olika beståndstyper. PW=massaved, PWrough=grovkvistad massaved, WT=obearbetade träddelar, WTrough=grovkvistade träddelar, B=buntar. MTH=flerträdshanterande skördaraggregatet (med matarhjul), AFH=ackumulerande fällaggregat, 2m2=AFH som kan skörda en areal av 2 m² i ett svep, CF=AFH som kan skörda en hel krankorridor under en rörelse, OPT=optimerad buntningseenhet som medför att det inte uppstår några väntetider med fällningsarbetet, BC=krankorridorgallring (träd skördas i ca. 1m breda och 10m långa korridorer mellan stickvägar). Figur från Bergström & Di Fulvio (2014a).

Om man utvecklar ett system bestående av ny krankorridorgallringsteknik och lastkomprimering på skotare vid leverans av obearbetade träddelar från bestånd med en skördad medelstamvolym av 22 dm³ kan man sänka kostnaderna och energiförbrukningen (diesel) upp till 12 % respektive 32 %. Effekterna ökar med minskad medelstamvolym och ökat transportavstånd. Motvarande effekt vid införandet av en buntskördare baserad på ny krankorridorgallringsteknik och optimerad buntning blir 15 % respektive 22 %. Det förstnämnda systemet är lämpligt för skörd av träd < cirka 30 dm³ och det sistnämnda för skörd av träd > cirka 30 dm³ (detta system är i stort sett realiserat idag, se www.fixteri.se). Fortsatt forskning och utveckling bör inriktas på utveckling av nya tekniker för effektiv fällning av klena träd samt hur denna teknik kan integreras med effektiv direktbuntning. De modeller som tagits fram i projektet kan användas för att utföra ytterligare analyser där man t.ex. jämför mot system som levererar sönderdelade material.

Ekonomiska kalkyler – nuvärden

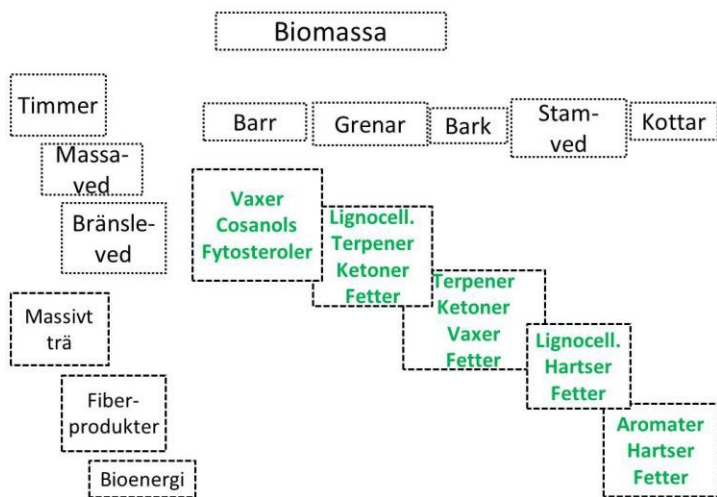
(Backlund 2013, Backlund et al. 2014, Karlsson et al. 2013a, Karlsson et al. 2013b, Karlsson et al 2014).

Att göra en ekonomisk analys över inverkan av olika skötsel- och uttagsregimer kräver kunskap om trädens och beståndens tillväxt över tiden, möjliga uttagsnivåer under en omloppstid för olika regimer, teknik och kostnader för uttag, aktuella priser för olika sortiment, räntenivåer, etc. Många faktorer påverkar och för vissa av dem kan nivå/kvantitet skattas noggrant medan för andra är enbart en ”intelligent gissning” möjlig. För exempelvis framtida kostnader vid tidiga uttag har vi kunnat prognostisera nivåer med relativt hög säkerhet tack vare att vi både deltagit i utvecklandet av ny teknik och följt upp hur kostnader påverkas av den nya tekniken. Därigenom har vi även kunna simulera möjliga effekter av framtida tekniker/metoder. När det gäller framtida (energi)sortimentspriser är det förstås svårare, utbud och efterfrågan påverkas till stor del av prisnivåer för fossil energi och internationellt marknadsförda biobränslen (rivningsvirke, pellets från brunna skogar i Nordamerika, sopor) samt av kommande eventuella politiska beslut angående styrmedel för att övergå till en biobaserad ekonomi. Vår enkät angående framtida potential för utveckling inom skogsindustrin (Backlund et al. 2014) visar dock på att utvecklingsansvariga inom industrin har en positiv syn på framtiden och att priset för energisortiment från skogen korrelerar positivt med elpriset (Figur 18). Värdet av trädbiomassa förväntades öka under kommande tioårsperiod, särskilt för råvaror som förädlats till produkter såsom biodrivmedel, specialcellulosa, plaster eller vissa kemikalier.



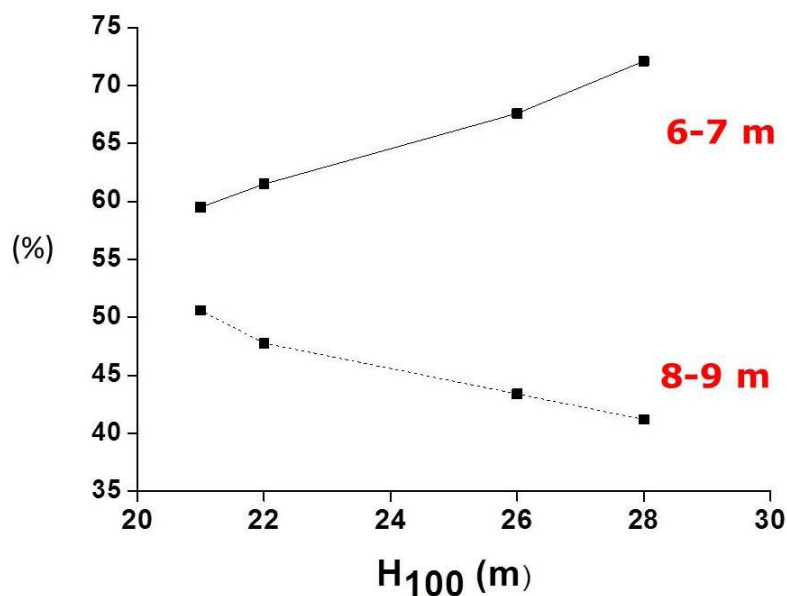
Figur 18. Samband mellan pris för energisortiment och elpriser i Sverige mellan 2000 och 2011 ($R^2 = 0.78$). Backlund et al 2014.

Vi har också från våra arbeten insett att framtida sortiment från skogen bör innehålla även en ”varudeklaration” kring kemiskt innehåll för att kommande bioraffinaderier ska kunna välja rätt material (Figur 19) och sortimenten ska kunna prissättas på ett relevant sätt.

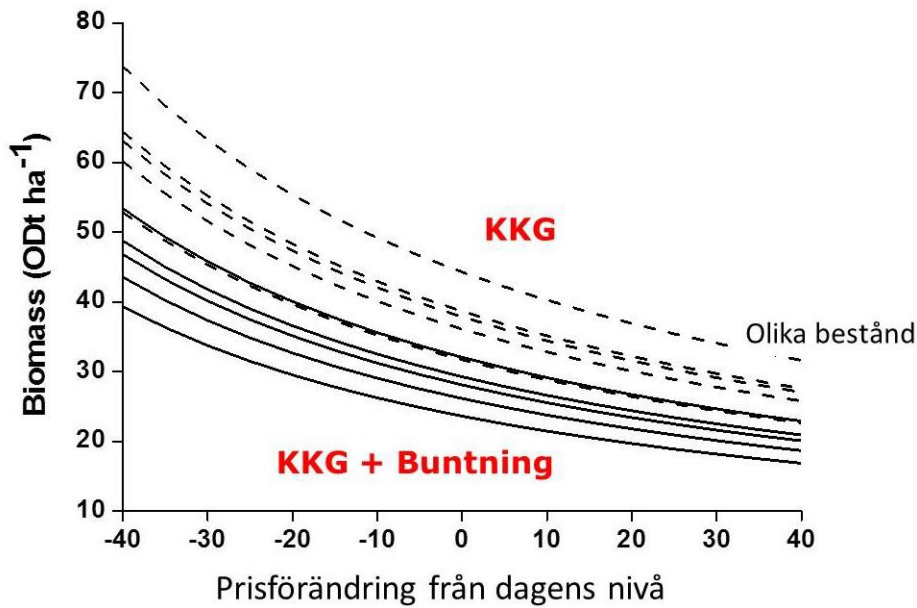


Figur 19. Sortimentuppdelning med kemisk innehållsbeskrivning (Backlund 2013.).

I våra analyser har vi enligt ovanstående resonemang utgått från att dagens prisnivåer för energi- och rundvirkessortiment inte är alltför optimistiska utan relevanta att utgå från vid känslighetsanalyser (Figur 20-21). Enligt vissa analyser förväntas dessutom elpriset stiga betydligt i Europa under 2020-talet, åtminstone under högkonjunkturer.



Figur 20. Procent biomassuttag som krävs för att nå break-even vid 6-7 m och vid 8-9 m beståndsmedelhöjd i fyra unga täta bestånd. Uttag i form av krankorridor-gallring med ny teknik (jfr Karlsson et al. 2014; Bergström et al. 2014). Sortimentspriser från 2013.



Figur 21. Inverkan av pris, uttag vid 8-9 m medelhöjd. Krankkorridor gallring (KKG) med och utan buntning (Jfr figur 16 och Karlsson et al. 2014).

Krankkorridor gallring med bioenergiuttag vid 8-9 m är enklare att få lönsam än vid 6-7 m om enbart den momentana situationen beaktas. Andra faktorer, som hur man bedömer framtida värden av kvarstående träd, kan göra att uttag vid 6-7 m väljs. I analysen gav ett bioenergiuttag genom krankkorridor gallring vid en medelhöjd på 8-9 m högre nuvärden än konventionell röjning och konventionell gallring senare. Den kalkylmodell som tagits fram inom projektet (Karlsson 2013, Tabell 3) ger möjlighet att utvärdera olika nivåer av de viktigaste parametrarna.

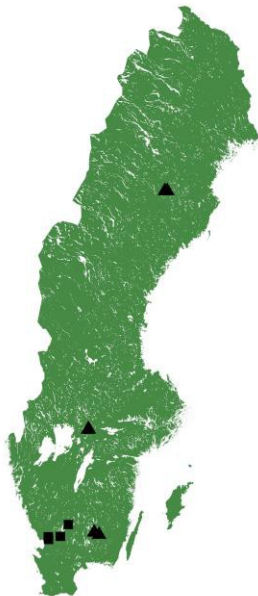
Tabell 3. Biomall, en kalkylmodell för att bedöma lönsamhet vid ett bioenergiuttag vid förstagallringen.

Indata	Beståndssimulering							Simulering geometrisk gallring	
	Övre höjd	Beståndsalder	Dg	Grundyta	Stamantal	Stamvolym (m ³ sk/ha)	Biomassa		
Beståndsalder	15	4,5	15	1,4	2,3	15867	9,0	4,6	
SI	22	5,7	20	2,3	5,8	14389	19,1	11,9	
Skotningsavstånd (m)	300	7,2	25	3,4	12,1	12996	42,5	25,6	
Areal (ha)	0,03	8,9	30	4,7	20,7	11687	82,9	49,0	
Andel avgångar små träd	0,11	10,7	35	6,1	30,5	10429	144,9	84,4	
Andel avgångar stora träd	0								
Temp Summa	1300								
Kalkylränta	0,025								
Skördarkostnad (kr/G15 h)	1157								
Skotarkostnad (kr/G15 h)	746								
Pris helträd (kr/ton torrsubstans)	400								

Gallringstidpunkt (övre höjd =C3-C7)	7,2
Gallringsintensitet (0-1)	0,7
Gallringsystem (1=KKG; 2=KKG+buntning)	2
Stamantal efter gallring	3899
Grundyta efter gallring	3,6
Biomassa efter gallring (ton/ha)	7,7
Biomassauttag (ton/ha)	17,9
Intäkt (kr/ha)	7158,2
Kostnad (kr/ha)	8391,5
Nuvärde (kr/ha)	-963,4

Nya krankorridorgallringsförsök

Under projektet har två serier med försök med KKG anlagts. Syftet med försöken är att besvara frågan vilken effekt KKG har på kvarvarande bestånd med avseende på tillväxt och skador. Hypotesen är att det inte är någon skillnad mellan KKG och selektiv konventionell gallringsmetod vid lika kvarvarande grundyta eller stamvolym. Övergripande mål med försöket var att ta fram ett kunskapsunderlag som möjliggör ekonomisk utvärdering av KKG i yngre bestånd angående aktuellt uttag och värdeinverkan på sikt under omloppstiden. Den första försöksserien, KKG 1 omfattar totalt 4 lokaler i södra Sverige (Torared, Erikstad, Gastensbo, Hallarp), se figur 22 Karta med KKG 1 och KKG 2. Bestånden är grandominerade med en medelhöjd på ca 7 meter. De behandlingar som testats inom serie 1 är obehandlad kontroll, selektiv gallring till 2 000 stammar/ha, strikt KKG med bredden 1 alternativt 2 m samt selektiv KKG där föraren skapar 1 m breda korridorer genom att selektera till förmån för framtida huvudstammar.



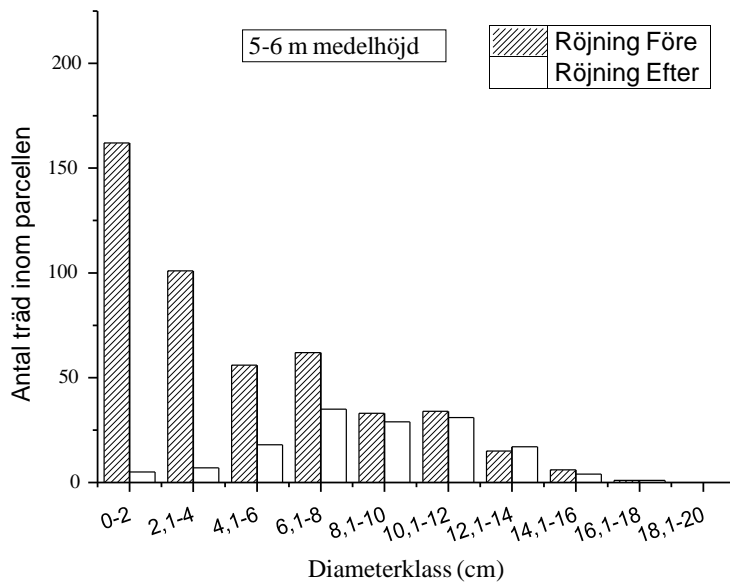
Figur 22. Lokaler med krankorridorgallring (KKG) försöksserie 1 (kvadrater) och 2 (trianglar).

Försöksserie KKG 2 omfattar tre områden inom Sveaskogs Marknadsområden (MO) Nord (Västerbotten) (Figur 22), Mitt (Värmland) och Syd (Småland). Bestånden är alla barrdominerade. Två försöksled inom ett 5-6 m medelhöjd och tre försöksled inom ett 8-9 m medelhöjd har lagts ut inom varje MO. Föraren har i samband med behandlingen upparbetat ett större område inom avdelningen, vilket innebär att provytan naturligt får en yttre kapp som ej markerats i fält. Varje försöksled (parcell) har ytan 30 x 30 m. I bestånd med ca 8-9 m medelhöjd jämförs konventionell gallring med KKG låggallring respektive höggallring. Selektiva korridorer skapas med målet 2 000 stammar/ha.

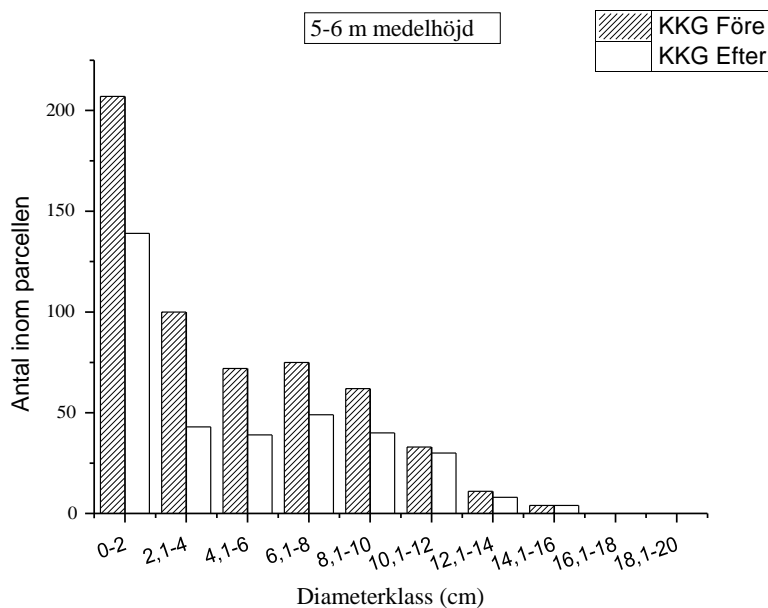


Figur 23. Krankorridorgallring i Västerbotten, 2 000 stammar ha⁻¹. Foto Kristina Ulvcrona

I bestånd med ca 5-6 m medelhöjd jämförs konventionell motormanuell röjning med KKG till 2 000 stammar ha⁻¹. Inmätningar före och efter behandling visar på att röjning resulterar i en normalfördelad diameterfördelning med färre stammar kvar i beståndet med en medeldiameter på <4 cm (Figur 24). Medelvärde för alla lokaler visar på en aritmetisk medeldiameter innan röjning på 3,7 cm och 6,6 cm efter röjning. Antal stammar >5 cm ändrades i medeltal från 1 833 ha⁻¹ innan röjning till 1 330 stammar ha⁻¹ efter röjning (Figur 24).

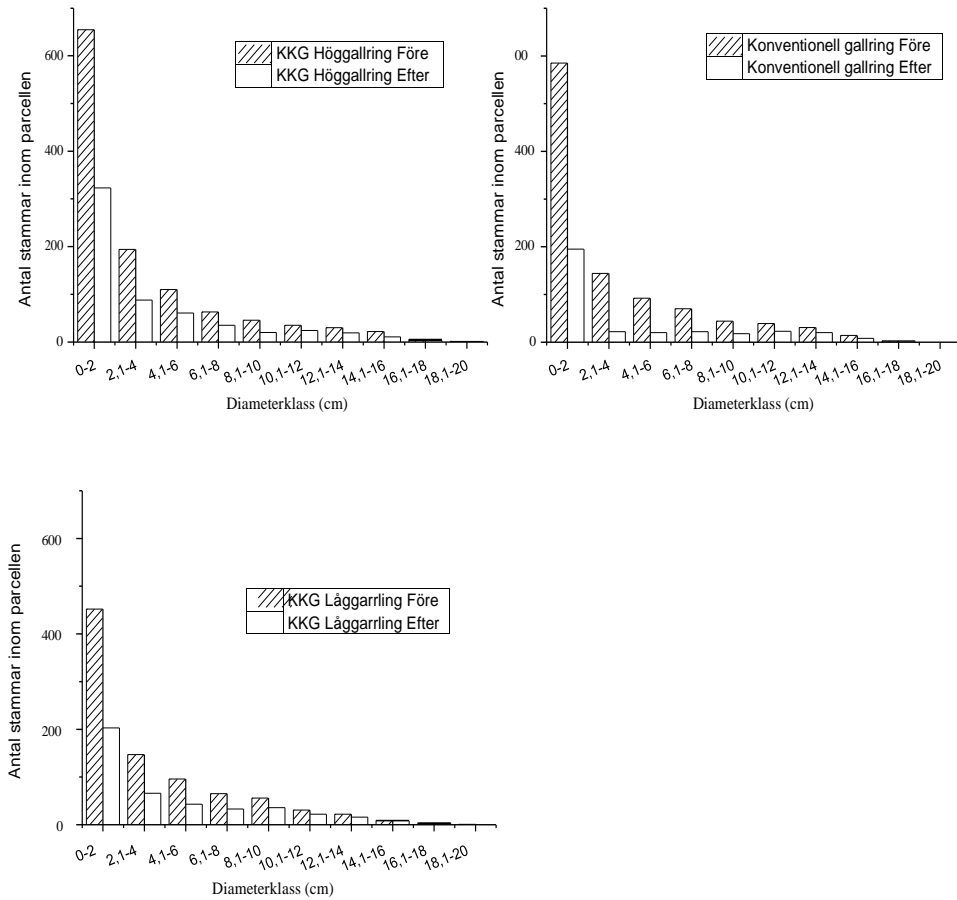


Figur 24. Diameterfördelning inom parcellen före och efter konventionell röjning i bestånd med en medelhöjd på 5-6 m. Data från försöksområde Västerbotten.



Figur 25. Diameterfördelning inom parcellen före och efter krankorridorskörd (KKG) i bestånd med en medelhöjd på 5-6 m. Data från försöksområde Västerbotten.

Inom försöksled med KKG inom samma beståndshöjd ses inte samma mönster beträffande diameterfördelningen där fler stammar inom diameterklasser < 4 cm återfinns i beståndet efter behandling (Figur 25). Medelvärde för alla lokaler ligger på 3,8 cm respektive 3,7 cm före och efter behandling. Antal stammar > 5 cm var i medeltal 2 211 ha⁻¹ innan behandling och 1 244 stammar ha⁻¹ efter behandling, vilket motsvarar antalet i den röjda behandlingen.



Figur 26. Diameterfördelning inom parcellen före och efter krankorridorskörd (KKG) respektive konventionell gallring i bestånd med en medelhöjd på 8-9 m. Data från försöksområde Västerbotten.

Mönstret av diameterklassfördelning före och efter behandling i det högre beståndet (8-9 m medelhöjd) skiljer sig inte mellan KKG och konventionell gallring (Figur 26). Aritmetisk medeldiameter före respektive efter behandling var för höggallring 4,2-4,3 cm, låggallring 4,5-4,4 cm och för konventionell gallring 4,6-7,2 cm. Antal stammar med en diameter > 5cm var för KKG behandlingarna runt 1 400, och för konventionell gallring ca 1 000.

Slutsatser

En tillfredsställande skattning av biomassa i unga och täta bestånd är beroende av funktioner baserade på provträdd från den typen av bestånd. Användandet av funktioner anpassade till röjda bestånd har visat sig innebära en felskattning av både stamved, grenar och barr. En tillförlitlig skattning av olika typer av bestånd är av största vikt, inte endast i samband med olika typer av avverkning (energiskörd, gallring, slutavverkning), utan även i samband med analyser av kollager, omsättning och produktion. Detta har under de senaste åren blivit en allt mer viktig del av kunskap kopplad till skogsmark, vilket innebär en ökad efterfrågan av korrekta skattningar på beståndsnivå. Inom projektet har nu nya biomassafunktioner för tall, gran och björk tagits fram.

Inom projektet har även nya biomassafunktioner för contorta tagits fram, vilket tidigare saknats. Dessa funktioner fyller därför en viktig kunskapslucka inom området. Utvärdering av olika intensitet vid nyetablering efter slutavverkning visar dels på stor spridning mellan de undersökta lokalerna inom försöket. Generellt resulterade intensiva åtgärder vid etablering av nytt bestånd i form av tidig markberedning och plantering med stora plantor i högre produktion vid utvärdering ca 25 år efter plantering. Ingen åtgärd efter slutavverkning resulterade, på de flesta lokaler, i lägst produktion, men på ett antal lokaler återfanns högst produktion. Ytterligare en slutsats är att naturligt förnygrade plantor till väsentlig del kan bidra till beståndets totalproduktion.

De försök med contorta som utvärderats inom ramen av projektet visar på betydande tillväxtpotential för trädslaget. En ökning av antal stammar från 2 200 till 4 000 ha⁻¹ innebär en dubbling av uppmätt stamvolym. Contortabestånd med höga stamantal kan tillåta en form av kortrotationsskogbruk baserat på ett lättföryngrat och snabbväxande barrträd. Uppskattningar visar på ca 300 m³ stamvedsvolym efter ca 30-40 år på bättre boniteter i mellannorrland. Kostnadseffektiviteten vid förnygringsavverkning av dessa bestånd blir sannolikt högre än vid motsvarande gallring då effektivare metoder vid t.ex. fällningsarbetet kan nyttjas (jmf. Di Fulvio et al. 2012).

Utvecklingen över tid hos huvudstammar (enskilda träd) när de vuxit i olika förband jämfördes mot motsvarande utvalda huvudstammar (träd) som vuxit lång tid i mycket täta oröjda bestånd. Sju försök i tallbestånd i centrala Sverige utvärderades med avseende på BHD utveckling. Analys av medeldiameter och diametertillväxt hos de 300, 600, 900 respektive 1200 största träden gjordes. Resultaten visar att röjning resulterade under perioden i en signifikant ökad diameter för varje storleksklass (ca 2 cm i genomsnitt) jämfört med träd i oröjda behandlingar. Samtidigt hade de 300 grövsta oröjda ungefär samma medeldiameter som de 1200 röjda. Resultaten stödjer andra resultat som visar att de största träden i beståndet påverkas i liten eller ingen utsträckning av övriga stammar, samtidigt som mindre träd tappar i tillväxt även i glesare bestånd. Större träd i beståndet kan alltså under lång tid stå tätt utan någon dramatisk inverkan på tillväxten.

Analyser av tillväxt efter bortförande av röjningsrester (ris) visar på en signifikant tillväxtreduktion på 4 % efter helträdsuttag som avklingade under den studerade 15-årsperioden. Skattningar av näringsförluster visar på förluster i storleksordningen på i genomsnitt 37-77 kg kväve (N) per hektar i samband med helträdsuttag. Resultaten från studien indikerar att kväveförluster i samband med helträdsuttag för energiskörd vid första gallringen kan motsvara ungefär effekten av att inte göra en konventionell gödsling, både i

nivå och i varaktighet (Figur 10). Effekten är kortvarig och under en omloppstid bör den därför ha liten inverkan på totalproduktionen. För minskad bortförsel av barr och finkvist kan mekanisk avbarrning tillämpas vid skördearbetet. Detta kan ske genom att t.ex. utrusta skördaren med ett aggregat som knäckkvistar träden innan terrängtransport, och metoden medför även ökad transporteffektivitet och biobränslekvalitet (t.ex. lägre askhalt) (Bergström & Di Fulvio 2014b).

Uppföljning av projektets egna ungskogsförsök efter utförd energiskörd i oröjda bestånd visar att mycket få skador uppkommit under de första åren efter energiskörd. Däremot har skador bland de klenare träden i försöksled som röjts till 3 000 st/ha uppkommit. Detta är en indikation på att ljuskonkurrensen nu påverkar dessa träd. Övre höjd vid tillfället för energiskörd låg på ca 10 m. Dessa konventionellt röjda behandlingar uppvisar även en mindre diametertillväxt under perioden 2010-2013 jämfört med övriga behandlingar där energiskörd utförts.

Jämförelser mellan oröjda och röjda bestånd visar att skillnader endast kunde hittas för de minsta träden, gruppen träd med brösthöjdsdiameter < 5 cm. Dessa träd visade sig ha en lägre diameter/höjd kvot och mindre massa grenar och barr jämfört med motsvarande diameterklass i röjda bestånd. Bland träd med en brösthöjdsdiameter > 5 cm kunde inga signifikanta skillnader mellan oröjda och röjda behandlingar visas. Slutsatsen blir därför att de största träden är opåverkade av förbandet.

Äldre fältförsök som följts i flera decennier indikerade inte att schematiska uttag skulle innebära risk för dramatiska effekter på kvarstående träd (Karlsson et al. 2013), dvs. den påbörjade vägen att utveckla kostnadseffektiv krankorridorring bedömdes som ett fortsatt realistiskt alternativ. Det är fullt möjligt att teknisk utveckling kan medföra effektivare skörd av biomassa från unga biomassatäta skogar som ger både lägre arbetskostnader och energiförbrukning (Bergström & Di Fulvio 2014a). Fokus vid utvecklingsarbetet bör ligga på att utveckla ny teknik för fällning och hantering av träd i kombination med att biomassa redan i skogen komprimeras och/eller buntas. Denna utveckling pågår och bör intensifieras ytterligare eftersom den även medför att man kan rationalisera hanteringen vid omlastningar och vid flisning. I utvecklingsarbetet finns det stora synergier med att samarbeta internationellt eftersom behovet av utveckling av leveranssystem för klena träd från t.ex. kortrotationsbruk på EU-nivå är stort. I detta område går Sverige i bräschen med innovationer som t.ex. Flowcut, MAMA och Sintoc. Intresset för utveckling av den ”nya” tekniken för ungskog har internationellt fått stort intresse och t.ex. i Finland letar man nu samarbeten för utveckling av leveranssystem för konventionella ungskogor och kortrotationsskogor på torvmark. Kan marknaden för dessa tekniker breddas ökar sannolikheten för att investeringar i produktutveckling ska ske.

De modeller för ekonomisk kalkylering som tagits fram inom projektet visar tydligt att vissa parametrar är speciellt viktiga för att få lönsamhet vid ett första bioenergiuttag. Det är främst kostnad för uttaget (jfr ovan), marknadspris för energi och mängden biomassa som kan tas ut utan att äventyra kvarvarande träds/beståndets framtida produktion.

De nyetablerade försöksserierna för att studera effekten av skörd i krankorridor (KKG) resulterade i ingen eller liten förändring av den aritmetiska medeldiametern till skillnad mot konventionell röjning och gallring där diametern vanligtvis ökar markant efter behandling. Vid analys av antal stammar med en diameter >5 cm var skillnaderna mellan de olika behandlingarna däremot mycket små. I det högre beståndet där KKG jämfördes med konventionell gallring var antal stammar > 5 cm fler (1 500) i KKG behandlingen jämfört med konventionell gallring (1 000). Detta innebär att det finns tillräckligt många potentiella huvudstammar i beståndet även vid KKG trots att medeldiametern ej ökat efter behandlingen.

Referenser till inledning

- Anon. 1969. Beståndsvård och produktionsekonomi. Skogsstyrelsen.
- Anon. 2008a. Prop. 2008/09:162. URL:www.riksdagen.se/webbnav/index.aspx?nid=20019. Riksdagen.
- Anon. 2008b. Rskr. 2008/09:301.
- Anon. 2008c. Prop. 2008/09:163.
- Anon. 2008d. Bet. 2008/09:NU25.
- Anon. 2008e. Bet 2008/09:MJU28.
- Anon. 2009a. Miljö- och jordbruksutskottets verksamhet riksmötet 2009/10. Anon. 2009b. 2009/28/EG.
- Anon. 2010a. Proposition 2010/11:1. Anon. 2010b. (2011) Skogsstatistisk Årsbok. URL: <http://www.skogsstyrelsen.se/sv/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/>. Skogsstyrelsen.
- Anon. 2011. Energimyndigheten, www.energimyndigheten.se
- Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests. Doctoral thesis No. 2009:87. Faculty of Forest Sciences, SLU Umeå, Sweden. ISBN 97891577674340.
- Bergström, D., Ulvcrona, T., Nordfjell, T., Egnell, G. & Lundmark, T. 2010. Skörd av skogsbränsle i förstagallringar. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 281. ISRN SLU-SRG-AR-281-SE. (In Swedish).
- Bergström, D., Bergsten, U. & Nordfjell, T. 2010a. Comparison of boom-corridor thinning and thinning from below harvesting methods in young dense Scots pine stands. *Silva Fennica* 44(4): 669-679.
- Bergström, D., Nordfjell, T. & Bergsten, U. 2010b. Compression processing and load compression of young Scots pine and birch trees in thinnings for bioenergy. *International Journal of Forest Engineering* 21(1): 31-39.
- Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. 2008. Unutilized biomass resources in Swedish young dense stands. Proceedings: World Bioenergy 2008, 27-29 May, Jönköping, Sweden. pp: 323-325.
- Marklund, L.G. 1988. Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences. INst. för Skogstaxering Report No. 45.
- Ulvcrona, K. 2011. Effects of silvicultural treatments in young Scots pine-dominated stands on the potential for early biofuel harvest. Doctoral Thesis No 2011: 79. Sveriges Lantbruks Universitet. ISBN 978-91-576-7623-8.

Publikationer inom projektet

- Arshadi, M., Backlund, I., Geladi, P. & Bergsten, U. (2013). Comparison of fatty and resin acid composition in boreal lodgepole pine and Scots pine for biorefinery applications. *Industrial Crops and Products* 49, 535–541. DOI 10.1016/j.indcrop.2013.05.038 URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013002896>
- Backlund, I. & Bergsten, U. (2012). Biomass production of dense direct-seeded lodgepole pine (*Pinus contorta*) at short rotation periods. *Silva Fennica* 46(4), 609-623. id 914. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.914>
- Backlund, I. (2013). Cost-effective cultivation of lodgepole pine for biorefinery applications. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2013:81*. Doctoral thesis. <http://pub.epsilon.slu.se/10871/>
- Backlund, I., Arshadi, M., Hunt, A.J., McElroy, R., Attard, T.M., Bergsten, U. 2014a.

- Extractive profiles of different lodgepole pine (*Pinus contorta*) fractions grown under a direct seeding-based silvicultural regime. *Industrial Crops and Products* 58C, 220-229. DOI information: 10.1016/j.indcrop.2014.04.027.
- Backlund, I., Karlsson, L., Mattsson, L. & Bergsten, U. 2014b. Biorefinery product potentials using tree biomass as feedstock - a survey on opportunities and threats to the new wood products industry. *Biomass & Bioenergy*.
- Bergström, D., Bergsten, U., Hörnlund, T. & Nordfjell, T. 2012. Continuous felling of small diameter trees in boom-corridors with a prototype felling head. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(5): 474-480.
- Bergström, D. & Di Fulvio, F. 2014a. Comparison of the cost and energy efficiencies of present and future biomass supply systems for young dense forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, DOI: 10.1080/02827581.2014.976590.
- Bergström, D. & Di Fulvio, F. 2014b. Studies on the use of a novel prototype harvester head in early fuel wood thinnings. *International Journal of Forest Engineering*, DOI:10.1080/14942119.2014.945697.
- Di Fulvio, F., Bergström, D., Kons, K. & Nordfjell, T. 2012. Productivity and profitability of forest machines in the harvesting of normal and overgrown willow plantations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1):25-37.
- Di Fulvio, F. & Bergström, D. (2013). Analyses of a single-machine system for harvesting pulpwood and/or energy-wood in early thinnings. *International Journal of Forest Engineering*, 24(1): 2-15. DOI 10.1080/14942119.2013.798935
- Egnell, G. & Ulvcróna, K.A. Stand productivity following whole-tree harvest in pre-commercial thinning of Scots pine stands in Sweden. *Forest Ecology and Management* (accepted)
- Elfving, B. & Ulvcróna, K.A. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden. (submitted?)
- Fahlvik, N. & Ulvcróna, K.A. Early thinning of energy wood in dense mixtures of Norway spruce and birch in Northern Sweden (manuscript).
- Hallsby, G., Ulvcróna, K.A., Karlsson, A., Elfving, B., Ulvcróna, T., Sjögren, H. & Bergsten, U. Effects of intensity of forest regeneration measures on stand development in a nationwide Swedish field experiment. *Forestry* 0: 1-13. 10.1093/forestry/cpv010.
- Jundén, L., Bergström, D., Servin, M. & Bergsten, U. 2013. Simulation of boom-corridor thinning using a double-crane system and different levels of automation. *International Journal of Forest Engineering*, 24(1): 16-23.
- Karlsson, Lars (2013). *Silvicultural regimes and early biomass thinning in young, dense pine stands*. Diss. (sammanfattning/summary) Umeå : Sveriges lantbruksuniv., Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 1652-6880 ; 2013:90. ISBN 978-91-576-7918-5. <http://pub.epsilon.slu.se/10885/> (Doctoral thesis).
- Karlsson, L., Bergsten, U., Ulvcróna, T. & Elfving, B. (2013). Long-term effects on growth and yield of corridor thinning in young *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(1), 28-37. URL <http://www.tandfonline.com/loi/sfor20> DOI 10.1080/02827581.2012.702222
- Karlsson, L., Mörling, T. & Bergsten, U. (2013). Influence of silvicultural regimes on amount and proportion of juvenile and mature wood in boreal Scots pine. *Silva Fennica* vol. 47(4), id 938. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.938>
- Karlsson, L., Nyström, K., Bergström, D. & Bergsten, U. Profitability and stand development by early biomass thinning applied to dense Scots pine stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* (under review).

- Nordfjell, T., Bergström, D., Wennberg, R., Forsberg, J. & Bergsten, U. (2011). Geometric thinning for forest bioenergy. Austro2011/FORMEC'11: Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering October 9 – 12, 2011, Graz and Rein – Austria.
- 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*. In Press.
- Sängstuvall, L., Bergström, D., Lämås, T. & Nordfjell, T. 2012. Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(1): 56-73.
- Ulvcróna, K.A., Karlsson, L., Backlund, I. & Bergsten, U. (2013). Comparison of silvicultural regimes of lodgepole pine (*Pinus contorta*) 5 years after precommercial thinning. *Silva Fennica* 47(3), id 974. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.974>
- Ulvcróna, K.A., Karlsson, K. & Ulvcróna, T. (2014a). Identifying the biological effects of pre-commercial thinning on diameter growth in young Scots pine stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 29 (85): 427-435 doi.org/10.1080/02827581.2014.919354.
- Ulvcróna, K.A., Nilsson, U., Ulvcróna, T., & Lundmark, T. (2014b). Stand density and fertilization effects on aboveground allocation patterns and stem form of *Pinus sylvestris* young stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(3): 197-209. DOI:10.1080/02827581.2014.906648
- Ulvcróna, K. A., Bergsten U., Nilsson, U. & Lundmark, T. Biomass production in young dense Scots pine stands allowing harvest of biofuel and the retention of crop trees (*submitted to Forestry nov. 2015*).
- Ulvcróna, K.A., Bergsten, U., Nilsson, U. and Lundmark, T. Biomass production in young dense stands; combining biofuel harvest and later cuttings. (*Manuscript*).
- Ulvcróna, K.A. and Bergsten, U. Development of individual trees after early bioenergy harvest (*manuscript*).
- Ulvcróna, K.A., Bergsten, U. & Sahlén, K. Individual tree development in dense stands, and after pre-commercial thinning (*manuscript*).
- Ulvcróna, K.A., Bergström, D. & Bergsten, U. 2015. Effekter av krankorridor gallring (KKG) på beståndets kvalitet och fortsatta utveckling. Rapport efter utläggning av försök. *Inst. För Skogens Biomaterial och Teknologi, SLU Rapport Nr.29*.