



Är bonitetssänkningen efter tidig gallring med
helträdsuttag i svensk boreal tallskog temporär eller
permanent?

*Is the productivity decline in Scots pine following whole-tree
harvest in early thinning in boreal Sweden permanent or
temporary?*

Lewi Köppler och Gustav Stål



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Lewi Köppler och Gustav Stål
Titel, Sv	Är bonitetssänkningen efter tidig gallring med helträdsuttag i svensk boreal tallskog temporär eller permanent?
Titel, Eng	Is the productivity decline in Scots pine following whole-tree harvest in early thinning in boreal Sweden permanent or temporary?
Nyckelord/ Keywords	HTU, röjning, tillväxtförlust, produktionsförmåga, helträdsutnyttjande, skogsbränsle, GROT WTH, pre-commercial thinning, growth decrease, forest fuels, logging residuals, site productivity
Handledare/Supervisor	Gustaf Egnell, Skogens Ekologi och Skötsel
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2015

Förord

Denna kandidatuppsats inom skogsvetenskap är skriven av Gustav Stål och Lewi Köppler under vår sjätte termin på Jägmästarprogrammet i Umeå. Vi vill tacka vår handledare Gustaf Egnell för gott samarbete och tillhandahållande av datamaterial, vägledning och respons. Vi tackar även Kristina Ahnlund Ulvcrona för otroligt snabba svar angående datamaterialet, samt Tomas Lämås och Hampus Holmström för all hjälp med simuleringarna i Heureka StandWise.

Sammanfattning

Nya miljölagar och -direktiv inom EU för att bromsa rådande klimatförändringar och minska EU:s importberoende av fossila bränslen, har ökat efterfrågan på förnybarenergi från skogen. Det medför att ny teknik och nya sortiment av skogsbränslen måste utvecklas för att tillgodose och uppnå de nya målen. Det finns en stor potential för skogsbränsleuttag i unga ogallrade bestånd med en medelhöjd under 12 meter som i Sverige 2008 uppgick till 2,8 miljoner hektar. Men med ökat biomassauttag följer även ett ökat uttag av näringsämnen. En sänkning av bonitet och trädillväxt har kunnat påvisas i tidigare försök. Denna studie inriktar sig på att vidare ta reda på om effekten av helträdsuttag (HTU) är permanent eller temporär. Data är hämtat från en av SLU:s försöksytor (5118) i sydöstra dalarna utanför Avesta. Det är ett randomiserat blockförsök, med tre block, i ett ungt talldominerat bestånd med två olika behandlingar; HTU och konventionell röjning där all avverkad biomassa lämnats. Försöket anlades för att studera effekter av skogsbränsleuttag, som följts upp och reviderats 3 gånger under en period av 19 år. Analyser utfördes på volymproduktion samt markens produktionsförmåga med simuleringar i Heureka StandWise som approximation. Även om medelproduktionen var lägre efter HTU kunde inte några statistiskt signifikanta skillnader påvisas under studieperioden varken på volymproduktion eller på markens produktionsförmåga mellan de två olika behandlingarna. Försöksyta 5118 ingick i en försöksserie och analys över hela försöksserien visade i en tidigare studie på en signifikant sänkning av volymproduktion, efter HTU, inom de första 0-8 åren.

Nyckelord: *HTU, röjning, tillväxtförlust, produktionsförmåga, helträdsutnyttjande, skogsbränsle, GROT*

Summary

Environmental laws and directives with set targets within the EU to curb the prevailing climate change and reduce Europe's energy dependence on fossil fuels have increased the demand for renewable energy from the forest. There is a great potential for forest fuel extraction in young unthinned stands with an average height less than 12 meters in Sweden (2.8 million hectares, 2008). With increased removal of biomass the removal of nutrients increases. Studies have showed that this may lead to a decrease in site productivity and tree growth. This study focused on if the effect of the whole-tree harvest (WTH) is permanent or temporary. The data is taken from of SLU's experimental plot 5118. It is a randomized block design with three blocks, in a young pine-dominated stand with two different treatments; whole-tree harvesting (WTH), and conventional clearing where all the harvested biomass was removed. The experiment was laid out to study the effects of forest fuel extraction, followed up and revised three times over a period of 19 years. Analyses were performed on volume production and soil productivity with simulations in Heureka StandWise as an approximation. Although the volume production means were lower following WTH the results did not reveal a statistically significant difference in production during the study period. This was also the case for soil productivity. Plot 5118 is part of a series of experiments and an analysis including all four sites in a previous study showed a significant decrease in volume production, after WTH during the first growth period (0-8 years).

Keywords: *WTH, pre-commercial thinning, growth decrease, forest fuels, logging residuals, site productivity*

INLEDNING

Under de senaste decennierna har oron för klimatförändringar ökat runtom i världen. De stigande medeltemperaturerna och de stora utsläppen av koldioxid som anses vara en stor bidragande orsak, tar mycket plats i den internationella och den nationella politiken. Därför har man inom den Europeiska Unionen år 2009 antagit ett nytt klimat- och energipaket (2009/28/EC), mer känt som miljömål 20-20-20. Syftet med målen är att bromsa rådande klimatförändringar och minska EU:s beroende av importerade fossila bränslen och sträcker sig fram till år 2020. Ett delmål är att 20 % av EU:s energikonsumtion ska komma från förnybara källor. För Sveriges del innebär det att andelen förnybar energi ska vara minst 49 % men Sverige har själv antagit det något ambitiösare målet 50 % och redan 2013 var andelen 52,1 % (Eurostat, 43/2015 - 10 Mars 2015).

Biomassans framtida betydelse

Den viktigaste källan till förnybar energi i Europa har sitt ursprung i trädbiomassa. Därför förväntades det nya direktivet ha stor inverkan på efterfrågan på trädbränslen, (Mantau m.fl., 2008). Efterfrågan har ökat och i Sverige har investeringar på 30 miljarder kronor satsats på expansion och utveckling av bioenergielddade kraftvärmeverk (Skogsstyrelsen, 2013).

I Sverige har en stor del av biobränsleanvändningen sitt ursprung i sekundära skogsbränslen som sågspån och bark från sågverk men också biprodukter som lutar från massa- och pappersindustrierna. Dessa resurser är idag nästan fullt utnyttjade. Det som på kort sikt går att mätta efterfrågan med är därför de primära skogsbränslena som levereras direkt från skogen (Nordfjell m.fl., 2008; Egnell och Björheden 2013). Redan idag skördas grenar och toppar (GROT) från framförallt slutavverkning men även i gallring. Men i och med den ökade efterfrågan på biomassa från skogen kommer dessa biprodukter inte att räcka till för att täcka framtida behov (Fernandez-Lacruz m.fl. 2015). Enligt Nordfjell m.fl., (2008) finns en stor potential i unga täta ogallrade bestånd med en trädhöjd under 12 m som i Sverige 2008 uppgick till 2,8 miljoner hektar. Dessa bestånd är så kallade konfliktbestånd där man ur en ekonomisk synvinkel inte är säker på om en röjning eller gallring är det bästa alternativet. I dessa bestånd kan man då göra ett så kallat helträdsuttag (HTU), där man kapar, faller och tar ut hela träd ovan stubbskäret som ett rent energisortiment.

Tillväxteffekter av helträdsuttag enligt tidigare studier

Vid HTU är uttaget av näring betydligt större än vid vanligt konventionellt stamvedsuttag (Hyvönen m.fl., 2000). Detta kan leda till produktionsförluster och i slutändan en förlängning av omloppstiden med 1-2 år om samma totalvolym ska uppnås som vid vanlig konventionell skogsskötsel (Iwarsson, 2009). Huvuddelen av GROT-uttagen sker i granskogar, då den relativa andelen biomassa i form av GROT är större hos gran (*Picea Abies*) än hos tall (*Pinus Sylvestris*). Men om näringsuttaget ska minimeras är det bättre att inrikta sig mot tallbestånd (Palviainen, M. & Finèr, L. 2012).

Studier som gjorts i ämnet visar på en sänkt träd tillväxt/bonitet till följd av HTU (Helmisaari m.fl., 2011; Egnell & Ulvcrona, 2014; Egnell, 2011 & Egnell & Leijon, 1997). En studie där man använde årlig höjdtillväxt för att uppskatta bonitet i granbestånd efter föryngringsavverkning med HTU och efterföljande plantering, har påvisat en temporärt sänkt bonitet 8-12 år efter föryngringsavverkningen (Egnell 2011). En finsk studie på både gran och tall med HTU i gallring som löpte över 20 år, där hälften av ytorna gallrades 1 gång och andra hälften gallrades 2 gånger (mellanrum på 10-13 år), visade på en signifikant lägre träd tillväxt för gran under hela studieperioden medan på tall endast under de sista 10 åren efter behandling (Helmisaari m.fl., 2011). Två andra studier (Tveite & Hanssen, 2013; Egnell & Ulvcrona, 2014), där försöken gallrats endast en gång, visade inte på några signifikanta skillnader i tillväxt för tall vid studieperiodernas slut, 20 år respektive 22 år.

Näringsmässiga konsekvenser av helträdsuttag

Kväve är det näringsämne som är mest tillväxtbegränsande på fastmark i boreal skog (Jacobson m.fl., 2000; Mahendrappa m.fl., 1986; Mälkönen m.fl., 1990). Både gran och tall allokering mycket kväve i barren och när dessa tas ut från skogen tas relativt stora mängder av det viktigaste näringsämnet ut. När kväve tas ut på kvävefattiga marker, kan kvävebrist uppstå och kan ge märkbart lägre träd tillväxt. Behovet av näringsämnen är som störst i ungskog som ännu inte nått full slutenhet (Mälkönen, 1976), vilket borde medföra större tillväxtförluster vid HTU i gallring än vid HTU i föryngringsavverkning. På kort sikt efter en avverkning står näringen i barr och kvistar för den snabbaste och viktigaste näringstillförseln, de grövre resterna med större diameter är näringsfattigare och tar längre tid att bryta ned och varför de ger näring längre fram i tiden (Hyvönen m.fl., 2000). Ett uttag med HTU bör så tillvida ge en tillväxtsänkning på kort sikt men även på längre sikt med avseende på de grövre avverkningsresterna.

Syfte och hypotes

Det huvudsakliga syftet med den här studien är att *undersöka om tillväxtminskningen som följer efter tidig gallring med helträdsuttag i tallskog beror på en temporär eller permanent sänkning av skogsmarkens bonitet*. Detta behöver utvärderas för att skogsbruket i stort ska kunna fatta lämpliga beslut angående trädbränsleuttag i tidiga gallringar av tallskogar, med avseende på framförallt de ekonomiska aspekterna där tillväxtminskningar till följd av skogsbränsleuttaget ställs mot intäkterna för skogsbränslet och kostnader för en eventuell kompenserande gödsling.

Genom att jämföra och analysera data från fältförsöket tillsammans med simulerade data från Heureka StandWise hoppas vi kunna se om det finns någon trend eller inte till en uthållig bonitetssänkning samt när den upphör enligt samma princip som i Egnell (2011). Dock med förväntad volymtillväxt, vid givet ståndortsindex, istället för förväntad höjdtillväxt som ett mått på markens produktionsförmåga. Med dessa resultat kompletterade med litteraturstudier inom området, vill vi kunna medverka till en mer klar bild av effekterna av helträdsuttag i tidiga gallringar.

Vår hypotes är att gallring med helträdsuttag i ungskog sänker volymproduktionen och markens produktionsförmåga på kort sikt (0-7 år) jämfört med en konventionell röjning i ett liknande bestånd, där samma grundyta avverkas, men där hela biomassan har lämnats kvar i skogen. Men att efter ca.20 år har effekten avtagit och skogsmarken har återhämtat sig från det näringsuttag som sker via det bortförda barren och kvistarna.

MATERIAL OCH METOD

Beståndsbeskrivning

Data är hämtat från försöksyta 5118 i ett ungt talldominerat bestånd utanför Avesta i sydöstra Dalarna. Det är ett av flera långtidsförsök som upprättades av Sven-Olov Andersson mellan 1983-1985. Bestånden på de sex olika försöksytorna uppkom genom naturlig förnyring. Försöksyta 5118 ligger på latitud 60 och har X koordinat (nord) 6675285; Y koordinat (öst) 1516353. Altituden är 105 meter över havet och jordarten består av fluvialt sandsediment med en utvecklad järnpodsol. Vegetationstypen är en fattigristyp med lingon och lav. Ståndortsindex var skattat till T31.

Försöksdesign och behandlingar

Försöksyta 5118 etablerades i juli 1983 och är ett randomiserat blockförsök med tre block och två olika behandlingar i varje block. Försöket anlades för att studera effekterna av skogsbränsleuttag i ung tallskog i samband med röjning. Behandlingarna var; gallring med helträdsuttag där all biomassa ovan stubbskåret togs ut (HTU) respektive kontrolltytor med konventionell röjning där man lämnade all avverkad biomassa (KR). Gallringarna hade en styrka på 78 % sett till stamantal, 69 % sett till grundyta och 70 % sett till stamvolym. Areal för respektive behandlingsyta varierade mellan 0,0481-0,0743 hektar. Ytorna har reviderats höstarna 1990, 1996 och 2002.

Revisioner och mätningar

Efter behandlingarna 1983 mättes diametern i brösthöjd (1,3m) på alla kvarvarande träd. För att underlätta efterföljande diametermätningar enligt SLU:s standard för långtidsexperiment i fält, markerades alla kvarvarande träd som hade en diameter överstigande 45 mm i brösthöjd med ett kryss, i brösthöjd (Karlsson, 2003). Vid varje revision 1990, 1996 och 2002 mättes diameter i brösthöjd på alla träd. Höjder och volymer på de enskilda träden vid varje revision har tagits fram av Kristina Ahnlund Ulvcrona med höjdfunktioner av Näslund (1936) och volymfunktioner av Andersson (1954), för träd mindre än 45 mm i brösthöjd, och Brandel (1990), för träd större eller lika med 45 mm i brösthöjd.

Simuleringar

Mallar för import av data, framtagna för Heureka StandWise, fylldes i med data om provytorna för varje mättillfälle. Startlägen, utöver beståndsbeskrivande variabler, för varje period och simulering i StandWise redovisas i tabell 1. Startläget låg till grund för beståndsutvecklingen i StandWise och vi kunde då stega fram till nästa mättidpunkt för att få en förväntad volym per hektar vid samma tidpunkt som för observerad volym per hektar. I de första körningarna (startpunkt 1983) för varje behandlingsyta användes endast höjdvärden för enskilda träd då StandWise beräknar tillväxt i ungskog med höjd som variabel. I de efterföljande simuleringarna (startpunkt med revisionsdata från 1990 och 1996) användes både höjd och diameter. De flesta träd var då över sju meter vilket är gränsen för när Heureka börjar använda diametern som

variabel i tillväxtberäkningarna. Vid inmatning av data togs alla döda träd bort. Behandlingsytorna importerades som trädlistor och sparades som enskilda bestånd i programmet. StandWise räknar om alla värden så att de gäller per hektar.

Tabell 1. Startvärden för samtliga simuleringar i StandWise utöver beståndsbeskrivande variabler. I simuleringarna användes höjd och/eller diametervärden för varje träd. Nedan redovisas medelvärden för höjder och diametrar.

Ex. Simulering 123; 1=block, 2=behandling, 3=mätår

Behandling: 1=KR, 2=HTU

Mätår: 1=1983, 2=1990, 3=1996

Table 1. Initial state for all simulations in StandWise beyond descriptive variables for the stand. In the simulations height and/or diameter was used for every single tree. In the table below, mean values for height and diameters are shown. Ex. Simulation 123; 1=block, 2=treatment, 3=time for measurements

Treatment: 1=KR, 2=HTU

Time for measurements: 1=1983, 2=1990, 3=1996

Simulering	ålder	Antal stammar		Ytstorlek (ha)	medelhöjd (dm)	medeldiameter (cm)
		Tall	Gran			
111	10	182	2	0,06762	29,91	*
112	17	181	2	0,06762	63,42	8,88
113	23	179	2	0,06762	11,63	10,4
121	11	117	4	0,0481	22,95	*
122	18	116	4	0,0481	65,08	8,18
123	24	116	4	0,0481	102,83	10,86
211	11	157	16	0,07	31,79	*
212	18	154	16	0,07	69,73	9,25
213	24	149	15	0,07	100,2	11,64
221	13	160	4	0,069	31,52	*
222	20	156	5	0,069	68,65	8,86
223	26	153	4	0,069	100,84	11,32
311	12	178	9	0,0743	31,53	*
312	19	178	9	0,0743	66,7	9,14
313	25	177	8	0,0743	101,17	11,57
321	13	165	4	0,07	28,07	*
322	20	165	4	0,07	66,98	8,78
323	26	164	4	0,07	101,8	11,17

Statistisk analys

För att testa behandlingseffekten på volymproduktion gjordes variansanalyser med ANOVA, General Linear model i Minitab® 16.2.4.0. Med nollhypotesen $H_0=V_{htu}=V_{kr}$. Tre stycken ANOVA-test genomfördes med volymproduktion per hektar mellan två perioder som beroende variabel och med volym per hektar vid periodstart som kovariat. Behandling angavs som fix variabel och block som oberoende slumpmässig variabel. Nollhypotesen testades med en signifikansnivå på 5 %.

Behandlingseffekten på bonitet testades genom att använda volymproduktion per hektar som indikator på markens produktionsförmåga. Den förväntade volymproduktionen per ha vid varje mättidpunkt vid ett givet ståndortsindex (T31) skattades för varje provyta (18st) med hjälp av

Heureka StandWise 2.2.0.9. Observerade värden från HTU respektive KR-ytorna vid tidpunkterna 1983, 1990 och 1996 användes som startvärden i körningarna. Programmet arbetar i 5-års perioder. Det är möjligt att använda funktionen ”periodmitt” vilket gör att man kan läsa av tillståndet i beståndet var 2,5: e år. Detta medförde att det inte var möjligt att läsa av värdena i StandWise för samma tidpunkter som mätningarna utfördes. Nödvändigt var då att interpolera dessa specifika tidpunkter. Med hjälp av omkringliggande värden med mellanrum på 2,5 år skapades polynomialfunktioner i Microsoft Excel 2010 med beståndsålder som beroende variabel (fig. 1). Sex stycken ytor vid tillfällena 1990, 1996 och 2002 resulterade i 18 stycken interpoleringar.

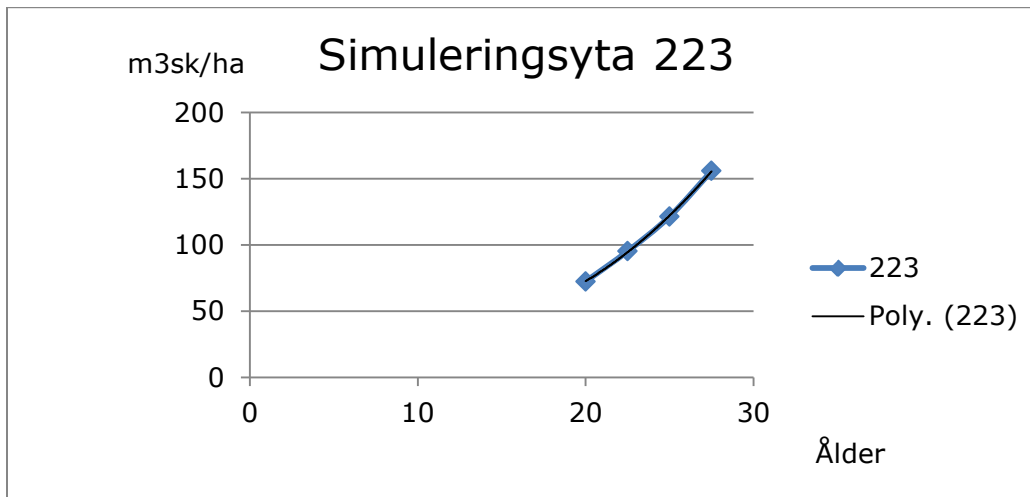


Fig. 1. Exempel från provyta 223. Eq. $11,068x - 151,59$, $X = 19$ år.

223 = block 2, behandling 2 (HTU), interpoleringstidpunkt 3 (1996)

Fig. 1. Example from sample plot 223. Eq. $11,068x - 151,59$, $X = 19$ year.

223 = block 2, treatment 2 (HTU), time for interpolation 3 (1996)

Den beräknade volym/ha/provyta/tidpunkt, från StandWise, (Vber) tillsammans med den observerade volym/ha/provyta/tidpunkt (Vobs) och den observerade volym/ha/provyta/tidpunkt efter en mätperiod (Vobs+1) användes sedan för att beräkna den relativa differensen (Vdev) från förväntad volym per hektar för varje provyta och mättidpunkt med ekvation (1).

$$(1) \quad Vdev = \frac{(Vobs+1) - Vobs}{(Vber - Vobs)}$$

Genom att använda relativ differens istället för differens mellan observerade och beräknade värden ges provytor med olika initiallägen lika vikt. Medelvärden av skillnaderna i Vdev för varje period mellan behandlingarna uttrycker hur länge effekten på markens produktionsförmåga håller i sig. För att testa behandlingseffekten på markens produktionsförmåga gjordes variansanalyser med ANOVA, General Linear model i Minitab® 16.2.4.0. Med nollhypotesen $Vdev_{KR} = Vdev_{HTU}$. Tre stycken ANOVA-test genomfördes – en för varje mätperiod – med Vdev som beroende variabel. Behandling angavs som fix variabel och block som oberoende slumpmässig variabel. Nollhypotes testades med en signifikansnivå på 5 %.

RESULTAT

Variansanalys på volymproduktion (tabell 2) och på relativ differens (tabell 3) visade inte på några signifikanta skillnader (signifikansnivå 5 %), mellan behandlingar vid någon av tidpunkterna 1990, 1996 och 2002. Men granskning av de observerade värdena på volymproduktion visar på en lägre volymproduktion på HTU-ytorna jämfört med ytorna med KR (fig. 2). Medelproduktionen på HTU-ytorna över studieperioden var 12,3 m³sk/ha/år respektive 13,7 m³sk/ha/år på KR-ytorna. En skillnad i markens produktionsförmåga (relativ differens) kunde skönjas 1996 men kunde inte statistiskt säkerställas (fig. 3).

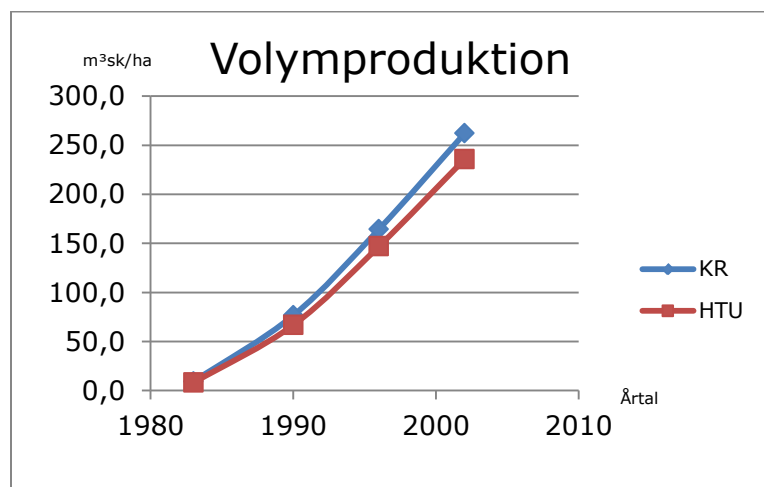


Fig. 2. Volymproduktion för de observerade värdena för behandlingar HTU och KR.

Fig. 2. Volume growth for observed values in treatments WTH and KR.

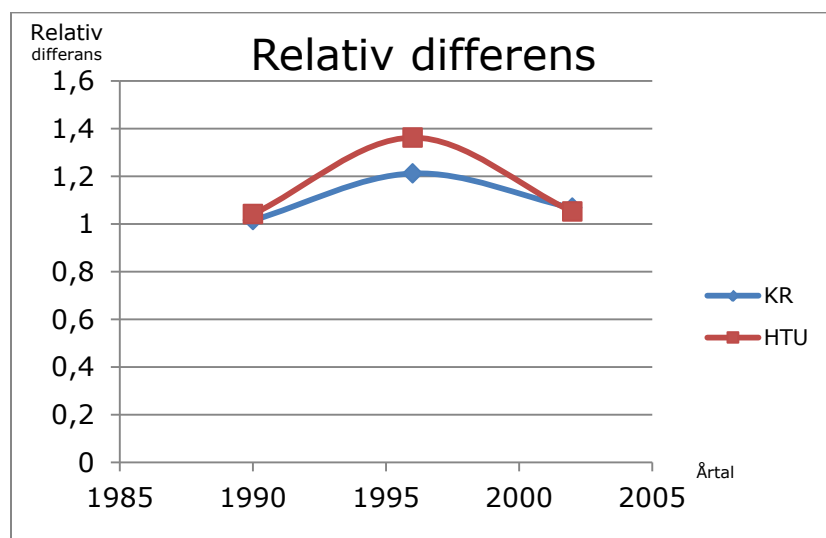


Fig. 3. Relativ differens från förväntad volymproduktion (Heureka StandWise) mellan behandlingarna HTU och KR. Med volymproduktion som mått på markens produktionsförmåga.

Fig. 3. Relative difference from expected volume growth (Heureka StandWise) between treatments WTH and KR. With volume growth as an indicator on soil productivity.

Tabell 2. Resultat från variansanalys på volymproduktion. Som beroende variabel i modellen sattes volymtillväxt mellan perioder till följd av två olika behandlingar: konventionell röjning där all biomassa lämnats kvar (KR); gallring med helträdsuttag, där all avverkad biomassa tagits ut (HTU). V periodstart = m³sk/ha vid periodstart.

Table 2. Results from analysis of variance on volume production. Dependent variable in the model is volume growth following two different treatments: Conventional clearing where all biomass is left on site (KR); Thinning with whole tree harvest where all harvested biomass is extracted (WTH). V periodstart = m³sk/ha in the beginning of the period.

1983-1990

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
V periodstart	1	4,443	4,443	4,23	0,288
Block	2	1,461	0,731	0,7	0,647
Behandling	1	7,449	7,449	7,09	0,229
Error	1	1,05	1,05		

1990-1996

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
V periodstart	1	65,01	65,01	4,57	0,279
Block	2	115,19	57,6	4,05	0,332
Behandling	1	30,79	30,79	2,16	0,38
Error	1	14,23	14,23		

1996-2002

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
V periodstart	1	90,5	90,5	0,84	0,529
Block	2	42,2	21,1	0,19	0,848
Behandling	1	185,2	185,2	1,71	0,416
Error	1	108,4	108,4		

Tabell 3. Resultat från variansanalys på relativ differens. Som beroende variabel i modellen sattes relativ differens till följd av två olika behandlingar: konventionell röjning där all biomassa lämnats kvar (KR); gallring med helträdsuttag, där all avverkad biomassa tagits ut (HTU).

Table 3. Results from analysis of variance on relative difference. Dependent variable in the model is relative difference following two different treatments: Conventional clearing where all biomass is left on site (KR); Thinning with whole tree harvest where all harvested biomass is extracted (WTH).

1983-1990

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
Block	2	0,03789	0,01895	1,51	0,398
Behandling	1	0,00135	0,00135	0,11	0,774
Error	2	0,02506	0,01253		

1990-1996

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
Block	2	0,15757	0,07878	1,71	0,369
Behandling	1	0,03385	0,03385	0,74	0,482
Error	2	0,09209	0,04604		

1996-2002

Källa	DF	Adj SS	Adj MS	F	p
Block	2	0,009174	0,004587	0,49	0,67
Behandling	1	0,000355	0,000355	0,04	0,863
Error	2	0,01863	0,009315		

DISKUSSION

Volymproduktionen var lägre efter behandling med HTU (12,3 m³sk/ha/år) jämfört med KR (13,7 m³sk/ha/år) men tillväxtnedläggningen kunde inte statistiskt säkerställas vilket stämmer överens med Tveite & Hansen (2013). Detsamma gällde effekter på markens produktionsförmåga då volymtillväxten relaterades till förväntad volymtillväxt vid givet ståndortsindex. Även om resultatet visade på en skillnad i den relativa differensen mellan HTU och KR vid 1996 års revision kunde inga skillnader statistiskt säkerställas. Resultatet gav då inga belägg för vår hypotes om att HTU sänker tillväxten på kortsikt och vi kunde inte förkasta nollhypoteserna $H_0 = V_{HTU} = V_{KR}$ eller $H_0 = V_{devKR} = V_{devHTU}$. *Slutsatsen från detta enda försök blir då att helträdsuttag vid gallring i ung tallskog inte har några effekter på volymtillväxt eller markens produktionsförmåga.*

Tallen translokerar en större andel av kväve från barren innan de faller av än vad gran gör (Helmisaari 1992). Detta skulle kunna vara en anpassning till fattigare marker, vilket i sin tur gör att tallen är mindre känslig för eventuella näringsförluster i marken till följd av skogsbränsleuttag. Enligt Helmisaari m.fl., (2011) uppvisade gran större signifikant tillväxtnedläggning än vad tall gjorde och det beskrivs vidare hur tall också är mindre beroende av näringsrikt förnedfall. Kombinationen anpassning till fattigare marker och minskat behov av näringsrikt förnedfall kan göra att det är svårare att påvisa en tillväxtförlust hos tall jämfört med gran.

En anledning till att våra resultat inte visade på några signifikanta skillnader kan bero på att försöket bestod av endast tre upprepningar vilket ger stor tyngd till avvikande värden. Varför ett större dataunderlag krävs för att kunna säkerställa en bonitetssänkning. Försöksyta 5118 ingick i en försöksserie som anlagts för att studera effekter av skogsbränsleuttag i ung tallskog. Då samtliga försök i försöksserien analyserades kunde man påvisa en statistiskt säkerställd volymtillväxtförlust, till följd av HTU, på 4 % under hela studieperioden. Denna tillväxtförlust uppkom till största del under den första perioden (0-8 år) (Egnell & Ulvcróna 2015). Med vårt resultat är det problematiskt att avgöra om skillnaden för den observerade volymtillväxten är till följd av en sänkning av markens produktionsförmåga, skillnader i grundytta i initialt tillstånd eller andra slumpmässiga faktorer. I samtliga försök i de studier vi tagit upp har man gallrat och röjt motormanuellt samt tagit ut alla trädrester medan i en kommersiell HTU-gallring skulle en del rester vara kvar och i verkligheten skulle kanske tillväxtdifferenserna vara än mindre. Skillnader mellan praktisk verksamhet och experiment är viktigt att ha i åtanke då resultat från kontrollerade försök ska överföras till verkligheten.

Man kan fråga sig ifall Heureka är lämpligt att använda vid så korta intervall och tidsperioder som i denna studie. Felaktigheterna, om än små, ökar då man måste interpolera än om man kunde stega framåt i omloppstiden ett år i taget. En annan felkälla som under arbetets gång skapat problem har varit felaktigheter i det datamaterial som varit tillgängligt. Felsummerade volymer, årtal för revisioner etc. men detta har lösts genom omräkningar och kontakt med upphovsförfattarna. Den beräknade volymen per hektar 1983, med StandWise, för block 1 med

behandling konventionell röjning avvek kraftigt från den observerade volymen per hektar vid samma årtal, 10,3 respektive 5,9. Denna beräknade volym ligger till grund för beräknad volymtillväxt i första perioden (1983-1990), för samma yta, vilket i sin tur skulle kunna ha lett till en överskattning av volymtillväxten. En överskattning av volymtillväxten skulle då medföra en minskning av den relativa differensen och en minskad skillnad mellan behandlingarna i första perioden.

Andra effekter

Förutom relativt kortsiktiga tillväxteffekter efter HTU och den riskerade förlängda omloppstiden finns det en rad andra frågor att ta hänsyn till. Hur man ska undvika att skogsmarken utarmas på näringsämnen och buffringsförmåga mot försurning på lång sikt etc. Ett sätt är att lämna småkvist och barr, men det är svårt att skilja dessa delar från resten av trädet. Metoder för detta håller dock på att utvecklas (Iwarson, 2009). Alternativt kan man kompensera näringsuttaget genom askåterföring och gödsling (Helmisaari m.fl., 2011). Vid HTU krävs det mer maskinkörning i beståndet och risken för skador på det kvarvarande beståndet ökar. Man kan inte heller använda det skördade skogsbränslet för att köra på för att minska mark och rotskador. I en framtid där klimatet med stor sannolikhet kommer att bli varmare, kommer tjältiden i framförallt södra Sverige att minska. Vilket kan komma att innebära att mer skördat biomaterial måste användas för att undvika just körskador (Athanassiadis m.fl., 2009). Andra aspekter kan vara att HTU minskar mängden död ved vilket kan påverka vedlevande svampar och insekter. Dock minskar risken för insektshärdar av skadedjurstyp vid HTU jämfört med en sen röjning där relativt mycket yngelmateriale lämnas. Ytterligare en viktig aspekt att ta hänsyn till vid utglesnings-åtgärder i höga och stamrika bestånd (typiska konfliktbestånd) är att risken för vind- och snöskador ökar i det kvarvarande beståndet (Valinger & Fridman 2000).

Teknisk utveckling

Studier på de tekniska möjligheterna för uttag av träd med liten diameter (Bergström m.fl., 2012; Bergström och Di Fulvio, 2014) visar på att det krävs mer forskning och utveckling av ny teknik för skörd av biomassa i unga täta bestånd för att göra uttaget ekonomiskt försvarbart. Framsteg har gjorts för att öka produktiviteten och reducera kostnaderna, men ytterligare effektiviseringar ska vara möjliga. Tekniken torde i framtiden kunna tillåta ett uttag av ca 80 % av skogsbränslet på en enskild trakt mot dagens ca 60 % (Athanassiadis. m.fl., 2009). Eftersom efterfrågan på förnybara bränslen från skogen ökar är det nödvändigt att utveckla metoderna för gallring med skogsbränsleuttag i ungskogar, eftersom kostnaderna för avverkningar förväntas öka med lägre medeldiameter.

Idag finns det inga lagar eller regler som tydligt reglerar var och hur mycket biobränsle som får tas ut från skogen i beaktande av det extra näringsuttaget och risken för markförsurning och försurning av omgivande grund- och ytvatten. I en framtid där miljömedvetenheten ytterligare ökar kan man anta att detta tillsammans med den minskade kolinlagringen som kan bli resultatet av HTU kan komma att påverka synen på skogsbränsleuttag (Hellsten m.fl. 2010).

REFERENSER

- Akselsson, C., Fuhrman, F., Hagberg, L., Hellsten, S. 2010. Effekter av skogsbränsleuttag på näringsämnesbalanser som underlag för avvägning mellan miljömål. Svenska Miljöinstitutet, december 2010. Publikationsnummer B1880.
- Andersson, S.-O., 1954. Funktioner och tabeller för kubering av småträd. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, 44:12, 29 s.
- Athanassiadis, D. Lundström, A. Melin, Y. & Nordfjell, T. 2009. Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från förnygringsavverkningar i Sverige. Technical Report.
- 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 Volume 29, upplaga 8, s. 793-812.
- 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, 2012; 27: s. 474-480.
- Brandel, G., 1990. Volume Functions for Individual Trees; Scots Pine (*Pinus sylvestris*), Norway Spruce (*Picea abies*) and Birch (*Betula pendula* & *Betula pubescens*). Skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Sciences. Report 26, 183 s.
- Egnell, G. 2011. Is the productivity decline in Norway spruce following whole-tree harvesting in the final felling in boreal Sweden permanent or temporary? Forest Ecology and Management 261, s. 148–153.
- Egnell, G. & Leijon, B. 1997. Effects of different levels of biomass removal in thinning on short-term production of *pinus sylvestris* and *picea abies* stands. Scandinavian Journal of Forest Research, 12:1, s. 17-26.
- Egnell, G. Ulvcróna, K., 2015. Stand productivity following whole-tree harvesting in early thinning of Scots pine stands in Sweden. Forest Ecology and Management 340, s. 40–45.
- Europeiska parlamentet. Europa parlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG av den 23 april 2009 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?qid=1426584193411&uri=CELEX:02009L0028-20130701>. Hämtat 2015-03-13.

- Eurostat. Eurostat newsrelese 43/2015, hämtat 10 mars 2015.
- Fernandez-Lacruz R., Di Fulvio F., Athanassiadis D., Bergström D., Nordfjell T. 2015. Characteristics of thinned biomass-dense forests in Sweden and their locations in relation to industries (inskickat manuskript till Silva Fennica).
- Finér, L. & Palviainen, M. 2012. Estimation of nutrient removals in stem-only and whole-tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stands with generalized nutrient equations. *Eur J Forest Res*, 131 s. 945-964
- Foster, N-W. Krause, H.-H. Mahendrappa, M.-K. & Weetman, G-F 1986. Nutrient cycling and availability in forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol.66, s. 547-572.
- Fridman, J., Valinger, E. 2000. Träden avslöjar risken för vind- och snöskador, FaktaSkog nr 3.
- Hamalainen, J., Hetsch, S., Mantau, U., Prins, C. & Steierer, F. 2008. Implications of EU renewable energy policy for wood use in Europe. *Scandinavian Forest Economics*. upplaga: 42, s. 453-466.
- Helmisaari, H.-S. 1992. Nutrient retranslocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. *Tree physiology* 10, Heron publishing-Victoria, Canada, s. 45-58.
- Helmisaari, H-S., Holt Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P., Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261. 1919–1927.
- Holt Hanssen, K., Tveite, B. 2013. Whole-tree thinnings in stands of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*): Short- and long-term growth results. *Forest Ecology and Management* 298, s. 52–61.
- Hyvönen, R., Olsson, B.-A., Lundkvist, H & Staaf, H. 2000. Decomposition and nutrient release from *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. logging residues. *Forest Ecology and Management* 126, s.97-112.
- Iwarsson Wide, M. 2008. Knäckkvistning – en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. *Skogforsk* nummer 9.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and management* 129, s. 41-51.

Karlsson, K. 2003. Fältarbetsinstruktion för skogsfakultetens beståndsbehandlingsförsök. SLU, Uppsala.

Mälkönen, E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility.
Mälkönen, E. *Silva Fenn.* 10, s.157–164.

Mälkönen, E., Derome, J. & Kukkola, M. 1990. Effects of nitrogen inputs on forest ecosystems. Estimation based on long-term fertilization experiments. In *Acidification in Finland*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s.325–347

Nordfjell, T. Henningsson, M. Nilsson, P. & Wästerlund, I. 2008. Unutilized biomass resources in Swedish young dense forests. *Proceedings of the World Bioenergy Conference and Exhibition on Biomass for Energy*, Jönköping, Sweden, 27-29 Maj 2008, s. 323-325.

Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelande från Statens Skogsforskningsanstalt*. Nr. 29:1.

Regeringskansliet, <http://www.government.se/sb/d/8857>, hämtat 2015-03-27.

Regeringskansliet; Sveriges nationella reformprogram 2014.
http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/csr2014/nrp2014_sweden_sv.pdf , hämtat 2015-03-28.

Skogsstyrelsen, Pressmedelände april 2013
<http://www.skogsstyrelsen.se/Gemensamt/Nyheter/Okad-efterfragan-pa-biobransle/> , hämtat 2015-03-15.