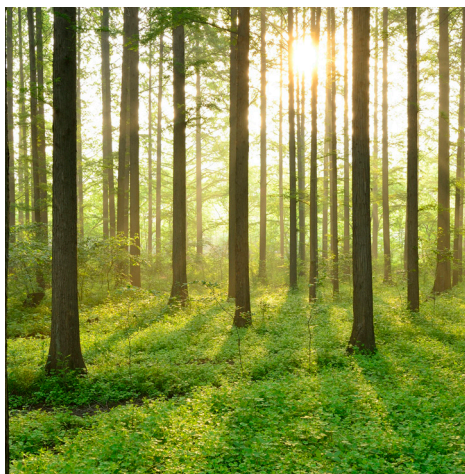


TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL EFTER HELTRÄDSUTTAG PÅ FASTMARK

RAPPORT 2016:326



MILJÖRIKTIG
ANVÄNDNING
AV ASKOR



Tillväxteffekter av asktillförsel efter helträdsuttag på fastmark

**ULF SIKSTRÖM
LARS HÖGBOM
STAFFAN JACOBSON**

ISBN 978-91-7673-326-4 | © ENERGIFORSK mars 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-202 Tillväxteffekter av asktillförsel efter helträdsuttag på fastmark (Energimyndighetens projektnummer 39173-1) inom programmet Miljöriktig användning av askor som bedrivs av Energiforsk. Programmet startade inom ramen för Värmeforsks forskningsprogram och ingår liksom all övrig forskningsverksamhet inom Värmeforsk numera i Energiforsk.

Projektet har studerat tillväxten i nyplanterad granskog efter slutavverkning med helträdsuttag och asktillförsel, effekter av asktillförsel både i samband med plantering och i den tidigare generationen skog. Projektet har även studerat tillväxteffekten av aska i gallringsskog på bördig skogsmark.

Projektet har genomförts av Skogforsk med Ulf Sikström som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Anette Hälldahl, Vattenfall

Magnus Lindén, Södra

Jonas Vestun, Jämtkraft.

Stockholm december 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Tillväxteffekter av asktillförsel i granskog efter grot-uttag har studerats både i nyplanteringar och i en gallringsskog. Föryngringsförsöken är nyetablerade och det är för tidigt att dra långtgående slutsatser av de testade åtgärderna (grot-uttag och asktillförsel). Försöket i gallringsskog visade att tillväxten kan öka efter asktillförsel på bördig skogsmark.

Helträdsskörd, dvs. uttag av stamved och grot (grenar, barr och toppar) är en storskalig skoglig åtgärd i Sverige, och askåterföring kan komma att bli det. Några frågor som kan ställas är om grot-uttag kan göras på ett uthålligt sätt, exv. från mark- och skogsproduktionssynpunkt, och om askåterföring är nödvändig. Skogsstyrelsen rekommenderar askåterföring, men i dagsläget är arealen helträdsavverkning betydligt större än den med askåterföring.

För att öka kunskapen om hur granföryngringar påverkas efter grot-uttag och askåterföring har ett nytt fältförsök (Galven) anlagts och två försök (Granliden och Guvarp) har följts upp i en nu komplett försöksserie. Försöken ligger i norra, mellersta och södra Sverige i en klimat- och markbördighetsgradient, vilket tillsammans med dokumenterade anläggningsdata talar för goda förutsättningar att kunna detektera eventuella effekter av de testade behandlingarna och utvärdera hypoteserna (1) granens tillväxt minskar efter grot-uttag, (2) efter tillförsel av aska ökar tillväxten på bördig skogsmark, är oförändrad på medelproduktiv mark och minskar på lågproduktiv skogsmark, (3) en minskad tillväxt efter grot-uttag kompenseras av aska endast på bördig skogsmark.

Resultaten hittills avser den initiala plantetableringen (2–6 år). Beträffande granplantornas överlevnad var den hög (83–96 %) vid senaste inventeringen och i stort saknades påvisbara behandlingseffekter av grot-uttag och asktillförsel. Det gällde även effekter på tillväxt, med undantag för det sydligaste försöket på den bördigaste marken (Guvarp). De fem första åren var resultaten där i linje med de uppställda hypoteserna för bördig mark, dvs. att (1) grot-uttag gav lägre planthöjd (6–12 %) jämfört med skörd av endast stamved, (2) planthöjden var högre (7–10 %) där aska tillförts, och den (3) minskade tillväxten efter helträdsskörd tycktes kompenseras av asktillförslin. År sex fanns dock inga påvisbara skillnader. Samtliga försök, även Guvarp, kräver längre observationstid för att slutgiltigt kunna utvärdera hypoteserna och behandlingseffekter av praktisk betydelse.

I ett annat föryngringsförsök (Riddarhyttan) studerades effekter på den nya generationen planterad granskog där aska tillfördes den föregående trädgenerationen. Varken plantöverlevnad eller tillväxt påverkades under de tre första åren efter plantering.

I försöket Bala i gallringsskog (gran) på bördig mark ökade stamtillväxten efter asktillförsel (3 ton t.s. per ha krossaska) i enlighet med hypotes 2. Ökningen var ca 4 m³sk (skogskubikmeter) per ha och år, totalt ca 20 m³sk per ha under fem år. Förklaringen är mest troligt askans indirekta effekt på kvävetillgången i marken. Tillväxttökningens varaktighet är oklar varför försöket behöver följas under längre tid.

Summary

Growth responses of ash addition after removal of logging residues has been studied in Norway spruce, both in plantations and in a thinned stand. The regeneration trials are newly established and it is too early to draw far-reaching conclusions of the tested measures (slash removal and ash addition). The experiment in the thinned stand showed that growth can increase after ash addition at fertile sites.

Whole-tree harvesting, i.e. extraction of stem wood and forest residues (branches, needles and tops) is a large-scale forestry operation in Sweden and ash recycling may become it. Some questions that can be raised is whether removal of logging residues (slash) can be done in a sustainable manner, for example, from soil and forest production point of view, and if ash recycling is a necessary action. At the present, the area of ash recycling is significantly less than whole-tree harvesting.

To increase knowledge of how spruce regeneration is affected by slash removal and wood ash addition, a new field trial (Galven) was established and two existing trials (Granliden and Guvarp) was revisited. The trials were located in northern, middle and southern Sweden in a climatic and site-quality gradient, which along with the documented initial data indicate good potential to detect possible effects of the tested treatments and evaluate the hypotheses that, (1) the growth of Norway spruce decreases after removal of slash, (2) after ash addition increases growth at fertile sites, is unaffected at medium-productive sites and are reduced at low-productive sites, and (3) the reduced growth of slash removal is compensated for by ash on fertile sites only. In these regeneration trials, the survival of the Norway spruces was high (83–96%) at the last inspections 2–6 years after planting and detectable effects of slash removal and ash addition were mainly lacking. This was also valid for effects on growth, except for the southernmost trial on the most fertile site (Guvarp). These results, which were in line with the stated hypothesis of fertile sites, i.e. whole-tree harvest reduced plant height (6–12%) compared to stem harvest only, plant height was higher (7–10%) where ash was added, and the reduced growth after whole-tree harvesting seemed compensated by the ash over the first five years studied. However, after six years, there were no significant treatment effects. All trials, also Guvarp, require longer observation to conclusively evaluate the hypotheses and treatment effects of practical significance.

Effects on the new generation of planted Norway spruce, of ash applied in the previous tree generation, was studied in another regeneration trial (Riddarhyttan). Neither seedling survival nor growth was affected during the first three years after planting.

In a thinned Norway spruce stand on a fertile site (trial Bala), the stem growth increased after ash addition (3 tonnes DM per ha crushed ash) in accordance with hypothesis 2. The increase was about $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, totalling about 20 m^3 over the five years studied, most likely due to the ash indirectly affecting the nitrogen availability in the soil. The duration of the growth increase is unclear why the trial needs to be followed for a longer time.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Syfte och hypoteser	9
2	Material och metod	10
2.1	Försöksserie med tre föryngringsförsök	10
2.1.1	302 Galven	10
2.1.2	291 Guvarp och 301 Granliden	17
2.1.3	Provtagning och analys av humus	20
2.2	Försök 249 Riddarhyttan	20
2.3	Försök 290 bala	21
2.4	Tillväxtmätningar	23
2.4.1	Mätningar i plantförsöken	23
2.4.2	Mätningar i gallringsskogen	23
2.5	Barrprovtagning	23
2.6	Statistisk analys	24
3	Resultat	25
3.1	Överlevnad och tillväxt i försöksserien på hygge	25
3.2	Överlevnad och tillväxt på hygget i Riddarhyttan	29
3.3	Tillväxt i gallringsförsöket	29
3.4	Kol- och kväveförråd samt C/N i humus i Galven	30
3.5	Elementhalter i barr	31
4	Diskussion	34
4.1	Försöksanläggning	34
4.2	Tillväxteffekter av helträdsuttag och aska i granföryngring	34
4.3	Tillväxteffekt av aska i bördig granskog	36
5	Slutsatser	37
6	Förslag på fortsatt forskning	38
7	Erkännanden	39
8	Referenser	40

1 Inledning

Användningen av primära biobränslen som energikälla har ökat markant i Sverige de senaste decennierna. Helträdsskörd, dvs. uttag av stamved och grot (grenar, barr och toppar), är en storskalig skoglig åtgärd. Enligt Skogsstyrelsens undersökningar om "åtgärder i stor- och småskaligt skogsbruk" var grot-uttaget mest omfattande år 2011, nästan 100 000 ha, för att minska till ca 57 000 ha år 2015. Andelen areal med grot-uttag i gallring var då ca 25 %. Den andelen har legat på 10–25 % under de senaste ca 10 åren. Eftersom EU vill öka andelen förnybar energi till år 2020 kommer efterfrågan på biobränslen från skogen troligen att fortsätta vara hög. Skogsstyrelsen bedömer att nyttjandet av skogsbränsle kan och bör öka som en del i arbetet med att ersätta fossila bränslen (Bergqvist et al. 2016).

Lönsamheten för uttag av grot för energiproduktion är beroende av många faktorer. Förutom de direkta intäkterna och kostnaderna i samband med skörd och transport är det många andra poster som måste beaktas och värderas bl.a. potentiella tillväxtförändringar p.g.a. extra uttag av näringsämnen samt kostnaden för eventuell näringskompensation (exv. askåterföring) och dess effekter.

Några väsentliga frågor i sammanhanget är om uttaget av grot, kan göras på ett uthålligt sätt och om askåterföring är en nödvändig kompenserande åtgärd. Enligt allmänna råd i skogsvårdslagen och rekommendationer av Skogsstyrelsen (SKS) bör aska återföras till skogsmark där avverkningsrester tas ut i betydande omfattning (Skogsstyrelsen 2008). I Sverige (främst i Götaland) var det en långsam ökning av askåterföringen till skogsmark under 2000-talet och fram till 2011, ca 15 000 ha som mest, för att mer än halveras året efter (Bergqvist et al. 2016). Enligt författarna var de främsta skälen olämpliga väderförhållanden och att en stor mängd aska spreds på jordbruksmark istället. Sedan har en ökning åter skett till ca 11 000 ha år 2015 (Stefan Anderson, Skogsstyrelsen, pers. medd.). Vidare menar Skogsstyrelsen att arealen askåterföring bör öka med motivet att motverka den försurning som grot-uttag medför (Bergqvist et al. 2016).

Omfattningen av helträdsskörd och SKS's rekommendationer talar för att arealen askåterföring kommer att öka. Det praktiska skogsbruket är intresserat av att återföra askan till hyggen eftersom det kan förenkla spridningen. Att sprida askan tidsmässigt i nära anslutning till en helträdsskörd kan även ha pedagogiska fördelar.

Tillväxten i boreal och tempererad barrskog minskar oftast efter helträdsskörd jämfört med skörd av endast stamved (exv. Compton and Cole 1990, Proe et al. 1996, Egnell et al. 1998, Sterba 1988, Jacobson et al. 2000, Helmisaari et al. 2011, Thiffault et al. 2011, Jacobsson et al. 2016). De kortsiktiga tillväxteffekterna (5–10 år) efter tillförsel av aska till fastmark är sparsamt belysta och de långsiktiga effekterna (> ca 15 år) är inte alls utredda. Efter tillförsel av aska i barrskogsbestånd på mineraljord finns indikationer på att tillväxten kan minska på lågproduktiv skogsmark, att den är oförändrad på medelproduktiva ståndorter, medan tillväxten kan öka på bördig mark (Jacobson 2003, Saarsalmi et al. 2004, 2005, Jacobsson et al. 2014).

Om arealen askåterföring ska öka är det angeläget att öka kunskapen om askans effekter, bl.a. effekten på träd tillväxt, både på kort och på lång sikt. I detta sammanhang är långtidsförsök i fält en värdefull och nödvändig resurs. Vi bedömer att behovet av ytterligare data är stort, både fler försök och data på längre effektperioder i befintliga försök. Antalet fältförsök där effekterna av helträdsskörd och askåterföring studeras är relativt få i Sverige. För askåterföring gäller detta även internationellt. Som jämförelse kan nämnas de prognosfunktioner som finns framtagna för att uppskatta tillväxteffekten av kvävegödsling i svensk tall- och granskog. Dessa funktioner baseras på data från 230 försökslokaler (totalt 961 provytor) medan antalet försök med asktillförsel uppgår till mindre än 20. När det gäller försök med aska efter helträdsskörd i föryngringsfasen är bristen ännu större. Det finns bara några enskilda försök i landet och i norra Sverige finns endast ett nyanlagt föryngringsförsök (hösten 2013; Sikström et al. 2014) där tillförsel av aska studeras.

Vad vi känner till finns det ingen tidigare studie av effekter på den nya generationen skog av aska som tillförts i den föregående generationen skog, s.k. "eftereffekter". Det är väl känt att tillförsel av aska oftast påverkar markkemin genom att exv. pH, liksom mängden kalcium och magnesium, ökar i markens övre del (exv. Jacobson et al. 2004, Saarsalmi et al. 2006). Även kol- och kvävomsättningen kan påverkas (Rosenberg et al. 2010), men varaktigheten av dessa förändringar är inte klarlagd. Därför är det svårt att förutse effekter på den nya generationen skog efter slutavverkning av bestånd där aska tillförts och är således en angelägen fråga att studera.

I detta projekt har vi studerat effekter av, dels både helträdsskörd och tillförsel av aska på hygge, dels tillförsel av aska i ett försök i etablerad skog. Vi har anlagt ett nytt "systerförsök" till två befintliga försök (hyggesstudier) med liknande försöksupplägg för att få en gradient i klimat- och ståndortsförhållanden för att kunna utvärdera de uppställda hypoteserna (se 1.1). Dessa tre försök utgör en försöksserie med gemensam uppföljning. Dessutom har vi följt föryngringen under några år i ett försök där skogen avverkats och där aska tillfördes i den föregående skogsgenerationen 19 år före avverkningen. Slutligen har vi studerat tillväxteffekten av aska i ett försök i etablerad gallringsskog med gran.

1.1 SYFTE OCH HYPOTESER

Det långsiktiga målet med de försök som igår i projektet är: (i) att studera tillväxten i den nya generationen granskog som anläggs efter slutavverkning med helträdsuttag och asktillförsel, effekter av asktillförsel både i samband med plantering och i den tidigare generationen skog; (ii) att studera tillväxteffekten av aska i gallringsskog på bördig skogsmark.

Målet för detta projekt var att studera tillväxteffekter av aska genom att anlägga ett nytt fältförsök och registrera effekten på plantornas överlevnad och tillväxt 2–3 år både i det nya försöket och i de två försök som redan fanns anlagda i samma försöksserie [jmf (i) ovan]. Försöksserien lägger grunden för att testa hypoteserna att:

1. helträdsskörd ger 10 % lägre tillväxt jämfört med skörd av endast stamved,
2. efter tillförsel av aska ökar tillväxten på bördig skogsmark, tillväxten är oförändrad på medelproduktiv mark och tillväxten minskar på lågproduktiv skogsmark,
3. minskad tillväxt efter helträdsskörd kompenseras av aska på bördig skogsmark, men inte på medel- och lågproduktiv skogsmark.

Dessutom mättes överlevnad och tillväxt år 2–3 efter plantering i ett försök där asktillförseln utfördes 19 år före slutavverkning och plantering [jmf (i) ovan]. Slutligen mättes tillväxten fem år efter asktillförseln i gallringsskog med gran på bördig skogsmark [jmf (ii) ovan]. Studien i detta försök är ytterligare en test av hypotes 2 ovan.

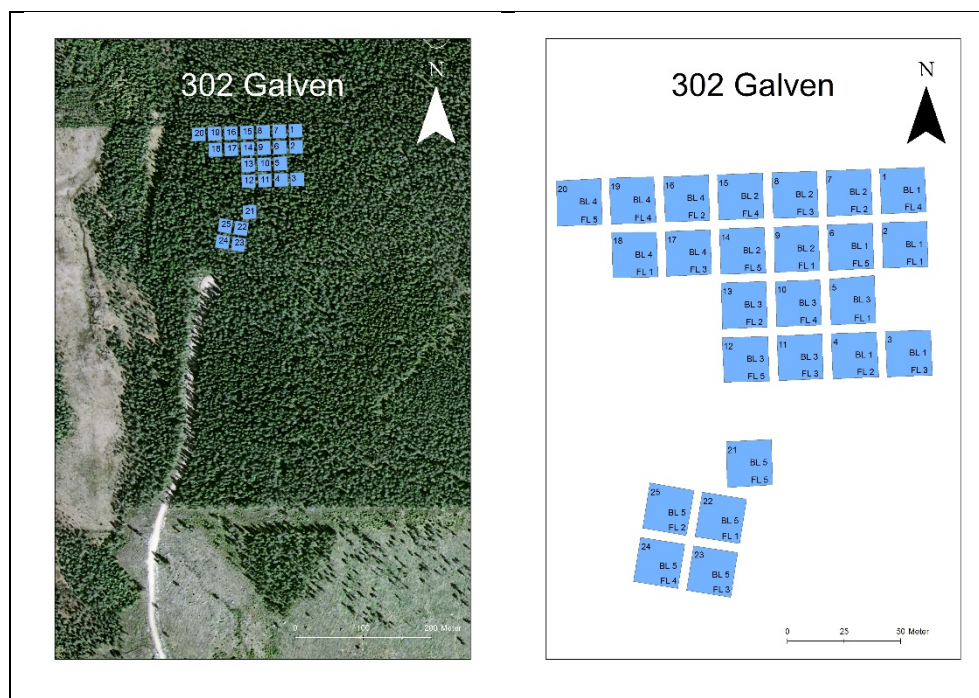
2 Material och metod

2.1 FÖRSÖKSSERIE MED TRE FÖRYNGRINGSFÖRSÖK

De tre fältförsöken 291 Guvarp, 301 Granliden och 302 Galven utgör en försöksserie där effekter på skogsproduktion av helträdsuttag och askåterföring testas. Försöken är anlagda på mark med olika bördighet och klimatläge (tabell 1). Alla försök är anlagda på hyggen efter avverkning av grandominerade bestånd. Försöken har en liknande försöksdesign och samma åtgärder är utförda i alla tre försök, d.v.s. grot-behandling (grön grot), markberedning (harvning), plantering av gran och askbehandling.

2.1.1 302 Galven

Försöket Galven anlades på ett hygge på Sveaskog AB:s marker ca 5 km V om Vallsta i Hälsingland (figur 1–2, tabell 1). Beståndet som avverkades i augusti 2014 var ett grandominerat bestånd (*Picea abies* L. Karst) med inslag av tall (*Pinus sylvestris* L.) och björk (*Betula sp.*). Försöket etablerades under perioden oktober 2013 – september 2014. Försöket är ett randomiserat blockförsök med fem block (upprepningar) och fem behandlingar (figur 1). En enskild provyta består av en bruttoyta på 20 m × 20 m (400 m²), som är indelad i en inre nettoyta på 15 m × 15 m (225 m²) och en ”kappa” på 5 m runt nettoytan.



Figur 1. Försöksdesign i 302 Galven. BL = Block och FL = Försöksled (Behandling).

Tabell 1. Försökens lokalisering och utförda åtgärder.

Variabel	301 Granliden	302 Galven	291 Guvarp	249 Riddarhyttan	290 Bala
Latitud	64°22'N	61°31'N	56°05'N	59°48'N	56°41'N
Longitud	19°50'O	16°14'O	13°26'O	15°30'O	13°06'O
Höjd över havet (m)	320	340	90	180	100
Årsmedeltemperatur (°C)					
Medeltemperatur	1,0 ^a	3,2 ^b	6,9 ^c	4,7 ^d	7,3 ^e
juli	14,4 ^a	14,9 ^b	15,8 ^c	–	16,2 ^e
december	-10,0 ^a	-6,6 ^b	0,2 ^c	–	0,2 ^e
Årsmedelnederbörd (mm)	562 ^a	556 ^b	831 ^c	723 ^d	796/1064 ^e
Åtgärder					
Anläggning (år-månad)	2013-10-- 2014-09	2014-09-- 2015-09	2011-04-- 2011-11	1994-10-- 1995-09	2010-08-- 2011-10
Avverkning (år-månad)	2013-08	2014-08	2011-02	2014-04	–
Grot-behandling (år-månad)	2013-10	2014-09	2011-04	–	–
Grot-mängd (ton t.s. ha ⁻¹)					
SOH ^f	28	43	55	–	–
SOH+ ^f	55	55	–	–	–
Markberedning (år-månad)	2013-11	2014-11	2011-05	2014-05	–
Plantering (år-månad)	2014-05	2015-05	2011-05	2014-05	–
Asktillförsel (år-månad)	2014-10	2015-09	2011-11	1995-09	2011-11
Askgiva (ton t.s. ha ⁻¹)	2,7	2,7	3,1	3,0; 6,0; 9,0	3,0
Asktyp	Självhårdad krossaska ^g	Självhårdad krossaska ^g	Självhårdad krossaska ^h	Självhårdad krossaska ⁱ	Självhårdad krossaska ^h
C/N i humus	38	32	24	31	26

^a Vid SMHIs station 14916 Hällnäs-Lund, som ligger ca 10 km SV försöket.^b Vid SMHIs station 11623 Röstebo, som ligger ca 12 km från försöket.^c Vid SMHIs station 6305 Ljungbyhed 0, som ligger ca 12 km från försöket.^d Vid SMHIs station 9549 Riddarhyttan, som ligger ca 2 km från försöket.^e Vid SMHIs station 6240 Halmstad 0, som ligger ca 16 km från försöket; Åheden ca 4 km från försöket.^{a-e} Alexandersson och Eggertsson-Karlström (2001).^f SOH = "stem-only-harvest", d.v.s. groten kvarlämnad; SOH+ = extra mängd kvarlämnad grot (se 2.1.1).^g Flygaska från Falu Energi & Vatten, Falun. Bränslet en blandning av grot, träddeklar, stamvedsflis och bark (Fredrik Engström, Falu Energi & Vatten AB, pers. medd.).^h Flygaska från Växjö Energi AB, Växjö. Bränslet en blandning av grot (ca 70 %) och ca 10 % vardera av spån, bark och torv. I grotflisen kan även en viss andel stamvedsflis ha ingått (Ragnhild Oskarsson, Växjö Energi AB, pers. medd.).ⁱ Aska från ASSI Kraftliner i Piteå. Bränslet i medeltal för eldningssäsongen var biobränsle 75 % (bark dominerade; även grot och spån från sågverk), 23 % olja och 2 % tallolja (Ring et al. 2006).

Följande behandlingar (försöksled) ingår:

1. slutavverkning med uttag av endast stamved (SOH),
2. slutavverkning med helträdsuttag, dvs. stamved, grenar, toppar och barr (WTH),
3. SOH + 3 ton (t.s.) självhårdad krossaska per ha (SOH+3KA),
4. WTH + 3 ton (t.s.) självhårdad krossaska per ha (WTH+3KA),
5. förhöjd lämnad grotmängd efter SOH-avverkning (SOH+); samma mängd som i SOH-ledet i 291 Guvarp.

Blockningen baserades på dominerande trädslag i det gamla beståndet (gran eller tall), förekomst av sumpmossor, humusmängd (FH-skiktet), markens lutning och provytornas närhet till varandra.

Grot-behandlingen på provytorna gjordes i slutet av september 2014 genom att groten (grön grot) togs bort från WTH-ytorna och lämnades kvar på SOH-ytorna. Mängden grot på SOH-ytorna var planerad till 41 ton t.s. ha⁻¹ i försöksled SOH och SOH+3KA (75 % av SOH-ledet i Guvarp) och utfallet blev 43 ton t.s. ha⁻¹ (p.g.a. faktisk uppmätt fukthalt). I SOH+ var den planerade givan 55 ton t.s. ha⁻¹ (100 % av SOH-ledet i Guvarp) och utfallet blev 58 ton t.s. ha⁻¹. Det var liknande grot-mängd som i det extra försöksledet SOH+ i försöken Galven och 301 Granliden, som i SOH-ledet i Guvarp (tabell 1). Vid grot-behandlingen i fält vägdes den mängd grot som skulle lämnas på en yta med en kranspetsmonterad våg (Intermercato XW 70BS) på skotaren (Figur 3). Groten bestod mest av gran-grot med viss inblandning av tall-grot (max ca 10 %) och den spreds ut relativt jämnt på ytorna.

Efter grot-behandlingen, i mitten av november 2014, markbereddes provytorna och zonerna mellan ytorna samt ett markberedningsslag utanför provytorna. Markberedningsmetoden var harvning och utfördes av en basmaskin (Tigercat 1075 B, årsmodell 2012) med en tvåradig harv av typen Bräcke T26 (årsmodell 2012). Avståndet mellan harvfårorna var ca 2 m.

I slutet av maj 2015 planterades granplantor på provytorna med två meters förband, motsvarande 2500 plantor ha⁻¹ (Figur 4). Även arealen mellan provytorna planterades. De plantor som sattes kom från Svenska skogsplantor (gran täckrot, stor plantage; härkomst SALEBY FP-66; Stambrev S06/073; Partinumner 7414-10801 BM; Odlingssystem Svepot Air 90 cm³). Plantorna behandlades i plantskolan med Merit Forest mot snytbagge. Plantorna sattes med planteringsrör och planterades i mineraljorden strax utanför "gångjärnet" i harvspåren där det var möjligt. Det var alltför lucker blandning av humus och mineraljord i den omvända tiltan för att plantera där. De plantor som planterades på provytorna hade höjden 30–40 cm (block 1–3) och 20–30 cm (block 4–5). Plantorna har årligen behandlats mot snytbagge och viltbetning.



**Figur 2. Försökslokalen 302 Galven i oktober 2014 efter avverkning (ovan) och efter markberedning (harvning) och plantering i maj 2015 (nedan).
Foto: Ulf Sikström.**



Figur 3. Grot-behandling av ytorna i försök 302 Galven i september 2014.
Foto: Ulf Sikström.



Figur 4. Planterad planta på provyta där groten lämnats kvar (vänster) och där den tagits bort (höger) i försök 302 Galven i augusti 2015. Foto: Ulf Sikström.

Aska (2,7 ton t.s. ha⁻¹) tillfördes för hand som en engångsdos i september 2015 (tabell 1). Vid spridningen delades bruttoytan in i mindre delytor för att få en jämn spridning av askan. Aska spreds på tio av provytorna (försöksled SOH+3KA och WTH+3KA). Askan som användes var en krossaska från Falu Energi & Vatten AB:s värmeverk i Falun. Askan kom från en panna där endast skogsbränsle eldas (tabell 1). Krossaskan tillverkades genom tillsats av vatten, varefter askan fick självhärda under några månader och därefter krossades den. Innan askan spreds i fält togs två generalprov, vilka i sin tur bestod av flera delprov, från det askparti som spreds i försöket. Proven analyserades kemiskt (tabell 2). Analyserna utfördes av ALS Scandinavia AB i Luleå. I de fall det finns rekommenderade lägsta och/eller högsta halter angivna för ett ämne i aska som ska spridas i skogsmark var dessa halter i den här använda askan i enlighet med rekommendationerna avseende näringsämnen, förutom att halten krom (Cr) och nickel (Ni) låg över rekommenderad högsta halt (Tabell 2). Askans pH_{H2O} var 11,8 (enligt SS-ISO 10390 efter uppslamning med vatten) i båda proven och den elektriska konduktiviteten 1560 respektive 1650 mS m⁻¹ (enligt SS-ISO 11265). Det var lägre konduktivitet än Skogsstyrelsens rekommendation på maximalt 2800 mS m⁻¹ (enligt SS-EN 27888) vid en askgiva på 2–3 ton t.s. ha⁻¹ (Skogsstyrelsen 2008).

Tabell 2. Halter av olika ämnen i de askor som spreds i försöken. Ej analyserat = n.a. Värden i fet kursiv stil avviker från SKS rekommendation.

Ämne ^a	301 Granliden	302 Galven	291 Guvarp	249 Riddar- hyttan	290 Bala	Rekommen- dation SKS ^b	
						Lägsta	Högsta
LOI ^c (%)	16,4	16,3	6,8	8,7	7,1		
[mg (g t.s.) ⁻¹]							
Ca	148	147	109	137	124	125	
Mg	16	16	14	14	14	15	
P	11	11	9	8	9	7	
K	48	44	36	64	38	30	
Na	9	8	11	108	10		
Mn	12	11	11	8	10		
S	22	17	15	109	15		
Si	268	172	241	56	229		
Al	23	21	35	19	34		
Fe	11	24	21	11	33		
[µg (g t.s.) ⁻¹]							
As	<3	6,3	5,36	9,3	3,92		30
B	–	–	212	304	219		
Cd	7,8	7,4	8,6	12	8,8		30
Co	5,5	93	10	15	10		
Cr	39	240	71	56	73		100
Cu	82	200	86	110	95		400
Hg	0,38	0,31	0,34	0,28	0,36		3
Mo	2,7	3,8	5,3	7,7	7,1		
Ni	19	140	27	110	27		70
Pb	52	110	68	110	70		300
Sn	2,3	2,4	2,9	n.a.	3,2		
Sr	530	470	700	n.a.	670		
V	16	16	44	77	44		70
W	<50	<50	<50	n.a.	<50		
Y	9,0	7,5	34	n.a.	34		
Zn	1720	1500	1200	3360	2070	500	7000
Zr	110	77	170	n.a.	140		

^aInnan den kemiska analysen torkades proverna vid 50 °C och sedan TS-korrigerades elementhalterna till 105 °C. As, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, S, Se, Sn och Zn analyserades efter uppslutning av torkade prover med HNO₃:HCl:HF (3:1:1) i mikrovågsugn. Övriga ämnen analyserades efter att 0,1 g av provet smälts tillsammans med 0,38 g LiBO₂, för att därefter lösa upp återstoden i HNO₃. Halterna bestämdes därefter med ICP-AES och ICP-MS.

^bRekommenderade lägsta och högsta halter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen 2008).

^cGlödförlusten (LOI) bestämdes vid 1 000 °C.



Figur 5. Försökslokalen 301 Granliden i oktober 2013 efter avverkning, men innan borttransport av grenar och toppar (GROT). Vid avverkningen samlades groten i högar, s.k. bränsleanpassad avverkning, för att underlätta uttransporten. Foto: Lars Högbom.

2.1.2 291 Guvarp och 301 Granliden

Granliden (Figur 5–6) har samma försöksdesign som Galven, så när som på grotmängden 27 ton t.s. ha⁻¹ i SOH-ledet. Skillnaderna i Guvarp är att det är 55 ton t.s. ha⁻¹ i SOH-ledet och att det inte finns något försöksled med förhöjd rismängd. Guvarp (Figur 7) planterades fem år och Granliden ett år före Galven. Tidpunkterna för åtgärderna samt tillförda grot- och askmängder framgår av tabell 1. Även i dessa försök har plantorna behandlats mot snytbagge (tre första tillväxtsångerna efter plantering) och viltbete. Försöksanläggningen av Guvarp finns beskriven i detalj i Sikström et al. (2012) och Granliden i Sikström et al. (2014).

Askan i Guvarp var en självhärddad krossaska (siktad; 10 mm sikt) från Växjö Energi AB:s värmeverk (tabell 1) och tillfördes för hand som en engångsdos i november 2011. Askans pH_{H2O} var 11,6 och den elektriska konduktiviteten 628 mS m⁻¹. Askans kemiska sammansättning framgår av tabell 2. Den uppfyllde i stort sett de minimi- och maximihalter som Skogsstyrelsen rekommenderar för askor som ska spridas i skogsmark (något lägre halter av Ca och Mg; Tabell 2). Askan i Granliden (Tabell 1–2) hade samma ursprung som den som spreds i Galven, men från ett parti producerat ett år tidigare. Denna askas pH_{H2O} var 12,2 (enligt SS-ISO 10390 efter uppslamning med vatten) i båda proven analyserade och den elektriska konduktiviteten 2020 respektive 1990 mS m⁻¹ (enligt SS-ISO 11265), d.v.s. lägre än Skogsstyrelsens rekommenderade maximihalt på 2800 mS m⁻¹ (Skogsstyrelsen 2008).



Figur 6. Försök 301 Granliden, markberedning i november 2013 (ovan) och plantering i maj 2014 (nedan). Foto: Göran Andersson (ovan) och Ulf Sikström (nedan).



Figur 7. Försökslokalen 291 Guvarp hösten 2013 och vid markberedningen i samband med försöksanläggningen våren 2011. Foto: Staffan Jacobson (infälld bild) och Ulf Sikström (övriga).

2.1.3 Provtagning och analys av humus

I Galven, i maj 2015, togs arealbestämda markprover från FH-skiktet för analys av kol (C) och kväve (N) i humuslagret (FH-skiktet). Syftet var dels att beskriva försökslokalen (C/N i humusen), dels för att dokumentera utgångsläget på provytorna för framtida uppföljningar. Inom en enskild provyta togs 16 stycken delprover med en stålcyllinder (diameter 5 cm) i ett systematiskt rutnät. Delproven slogs samman till ett generalprov per yta innan torkning och kemisk analys. Generalproverna sållades genom 5 mm såll, varvid rötter, kottar och stenar separerades och kastades. Alla prover vägdes före och efter sållning och färskvikterna noterades. Torrsubstansen beräknades efter torkning vid 105°C under 24 timmar. Därefter bestämdes den totala C- och N-halten (% av torrsubstansen) genom torrförbränning i en elementaranalysator (CNS 2000). Analyserna gjordes vid Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. Den totala mängden C (tot-C) och N (tot-N) per arealenhet beräknades liksom kvoten C/N (Tabell 1). Samma provtagning och analys har även gjorts i de två andra försöken (Sikström et al. 2011, Sikström et al. 2014).

2.2 FÖRSÖK 249 RIDDARHYTTAN

Försök 249 Riddarhyttan var ursprungligen anlagt i ett grandominerat barrskogsbestånd (Ring et al. 2006). År 1995 behandlades försöksytorna i den gamla skogen med olika askgivor, med enbart kväve och i vissa fall aska+kväve. De behandlingar som studerades i detta projekt var:

1. obehandlad kontroll,
2. 3 ton aska per ha,
3. 6 ton aska per ha,
4. 9 ton aska per ha,
5. 3 ton aska + 150 kg kväve per ha,
6. 150 kg kväve per ha.

Askarna var en självhårdad, krossad och siktad biobränsleaska (tabell 1–2). Varje behandling är upprepad på tre provytor. Askans kemiska innehåll överensstämde med de nivåer som anges av Skogsstyrelsens (2008) för alla variabler utom magnesium (Mg), nickel (Ni) och vanadin (V) (Tabell 2).

Försöksbeståndet helträdsavverkades (april 2014) och provytorna i de ovan nämnda försöksleden föryngrades våren 2014 (figur 8). Markberedning (fläckmarkberedning) utfördes manuellt med röjsåg med ett markberedningstillbehör (KoH Fräsen). Provytorna som var 20 m × 20 m (bruttoyta; nettoyta 14 m × 14 m) planterades i maj 2014 med två-åriga täckrotsplantor (Starpot 105; plantornas medelhöjd var ca 29 cm). Plantorna var Coniflex-behandlade mot snytbagge. Efter plantering skyddades plantorna årligen mot snytbagge och viltbetning.



Figur 8. Försökslokalen 249 Riddarhyttan efter avverkning (ovan) och plantering våren 2014 (bilderna nedan). Foto: Lars Högbom (ovan) och Michael Krook (nedan).

2.3 FÖRSÖK 290 BALA

Försöket 290 Bala anlades år 2011 på en bördig lokal med granskog i södra Halland (tabell 1, figur 9). I samband med försöksanläggningen gjordes en kontrollerad första gallring i beståndet (mars 2011; helträdsuttag). Gallringsstyrkan var samma på alla provytor inom ett block. Efter gallring höll det 25-åriga granbeståndet $156 \text{ m}^3\text{sk}^1$ per ha i genomsnitt för alla provytor och ett stamantal på 1600 per ha. C/N i humusen var 26 och ståndortindex uppskattades till G37 m (Sikström et al. 2012).

¹ m^3sk = skogskubikmeter; måttet innefattar trädens hela stamvolym ovanför normal stubbhöjd vilket innebär att såväl topp som bark räknas med



Figur 9. Beståndsbild efter gallringen i försök 290 Bala. Foto: Eva Ring.

Försöket är anlagt som ett randomiserat blockförsök med fem block (upprepningar) och fyra behandlingar. En enskild provyta består av en bruttoyta på 30 m × 30 m (900 m²), som är indelad i en inre nettoyta med radien 10 m (314 m²; där träden mäts) och en yttre zon ("kappa") runt nettoytan. Denna metodik används för att undvika kanteffekter från obehandlad areal utanför provytan. Följande behandlingar studerades:

1. obehandlad kontroll (KONT),
2. 3,04 ton (t.s.) självhårdad krossaska per ha (3KA),
3. 150 kg N per ha (150N),
4. 3,04 ton (t.s.) självhårdad krossaska per ha + 150 kg N per ha (3KA+150N).

Både kväve och aska tillfördes för hand som engångsdoser vid olika tillfällen. Kvävet tillfördes i augusti 2011 och askan i november 2011. Vid spridningen delades bruttoytan in i mindre delytor för att få en jämn spridning av produkterna. Kvävet tillfördes i form av kalkammonsalpeter (Skog-CAN). Detta gödselmedel innehåller 26–28 % N (NH₄NO₃) och 18–20 % kalciumkarbonat (kalksten) eller magnesiumhaltig kalciumkarbonat [dolomitkalksten; Ca(Mg)CO₃], d.v.s. en variant av ammoniumnitrat där kalksten tillsatts. Askan var en krossaska från Växjö Energi AB:s värmeverk i Växjö (tabell 1) och dess kemiska sammansättning framgår av tabell 2. Samtliga elementhalter som Skogsstyrelsen (2008) ger rekommendationer för överensstämde med rekommendationerna.

2.4 TILLVÄXTMÄTNINGAR

2.4.1 Mätningar i plantförsöken

I det nyanlagda försöket Galven mättes plantornas höjd efter plantering (tumstock, cm). Under projektperioden (2014–2016) registrerades plantornas överlevnad och höjdtillväxten mättes årligen (tumstock, cm) på alla levande plantor inom nettoprovytan i de tre försöken i försöksserien (Granliden, Galven och Guvarp). Eventuella skador på plantorna registrerades också.

I Riddarhyttan, åren 2015–2016, gjordes registreringar inom nettoprovytan av plantöverlevnad, planttillväxt och eventuella skador.

Överlevnaden beräknades som andelen levande plantor i förhållande till de utplanterade. Plantornas årliga totala höjd beräknades som ett medeltal per provyta. I dessa beräkningar ingick de plantor som klassades som fullt vitala och som hade ett intakt toppskott när höjdtillväxten mättes vid respektive tidpunkt.

2.4.2 Mätningar i gallringsskogen

I Bala utfördes alla mätningar av tillväxt på träden inom nettoprovytan i centrum av bruttoprovytan. Alla träd på nettoytan med en diameter >5 cm i brösthöjd (1,3 m över marken) numrerades permanent vid försöksanläggningen. Före behandling korsklavades (diametermätning av stammen i brösthöjd i två riktningar) och höjdmättes samtliga dessa träd (hösten 2011). Vid tillväxtrevisionen hösten 2016 upprepades mätningarna. Trädens stamvolym beräknades med Näslunds (1947) funktioner. Funktionerna är framtagna för att uppskatta ett stående träds volym med hjälp av trädets uppmätta diameter och höjd.

2.5 BARRPROVTAGNING

I tre av försöken togs barrprover (årsbarr, C0) för analys av halter av vissa makro- och mikronäringsämnen med syftet att detektera eventuella behandlingseffekter på plantornas näringsstatus. Årsbarr från 2015 samlades in i Guvarp i januari 2016. I Granliden och Riddarhyttan provtogs årsbarr bildade 2016, vilket gjordes i slutet av oktober respektive i början av november 2016.

Barren samlades in från åtta–tolv plantor inom nettoytan på en provyta (Guvarp och Riddarhyttan). I Granliden togs barren från 12 plantor per provyta i plantraden närmast utanför nettoytan p.g.a. att årets viltskyddsbehandling hade utförts på plantorna på nettoytan (applicering av viltskyddsmedel på plantornas övre del). Årsskott klipptes från andra grenvarvet räknat uppifrån. Barren från plantorna på en provyta slogs samman till ett generalprov per provyta. Generalproven torkades i 70 °C, maldes och blandades väl före kemisk analys. C- och N-halten (% av torrsubstansen) bestämdes genom torrförbränning i en elementaranalysator (CNS 2000). Övriga ämnen, fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), Mg, svavel (S), mangan (Mn), koppar (Cu), järn (Fe), zink (Zn), bor (B) och aluminium (Al) analyserades med ICP efter våtuppslutning med salpetersyra (HNO₃). Analyserna gjordes vid Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala.

2.6 STATISTISK ANALYS

I syfte att utröna om det fanns några behandlingseffekter i de fyra föryngringsförsöken analyserades data med tvåvägs variansanalys (ANOVA). De variabler som analyserades var plantornas överlevnad och planthöjd i samtliga försök. I Galven analyserades även data på totalkol (tot-C), totalkväve (tot-N) och kvoten mellan tot-C och tot-N (C/N) i markens humusskikt (FH-skiktet). Elementhalter i årsbarr analyserades för data från Guvarp, Granliden och Riddarhyttan. Block och behandling var ingående faktorer i den statistiska modellen. Vid utvärderingen av tillväxtvariablerna testades plantornas höjd vid anläggning (plantering) som kovariat i den statistiska modellen, för att korrigera för eventuella skillnader mellan olika försöksled innan behandling. Kovariaten inkluderades i modellen om $p < 0,20$. Om en behandlingseffekt kunde påvisas ($p < 0,05$) testades eventuella skillnader mellan de olika behandlingarna med Tukey's test för multipla jämförelser. Även i detta fall betraktades en skillnad som statistiskt säkerställd om $p < 0,05$. I de tre försöken i försöksserien (Granliden, Galven och Guvarp) testades dessutom några kontraster där olika försöksled med liknande behandlingar slogs ihop, nämligen "helträdseffekten" (båda behandlingarna med SOH jämfördes med båda WTH) och "askeffekten" [båda behandlingarna med aska (3KA) mot de två SOH och WTH utan aska]. I dessa fall användes LSD-test ("The least significant difference method") för parvis jämförelse.

Även tillväxten av stamvolym under den uppmätta femårsperioden i gallringsförsöket (Bala) analyserades med samma statistiska metod och modell som ovan. I detta fall testades grundyta och volym före behandling samt stamantal som kovariater.

Beräkningsprogrammet SAS version 9.4 procedur GLM användes för alla statistiska analyser (<http://support.sas.com>).

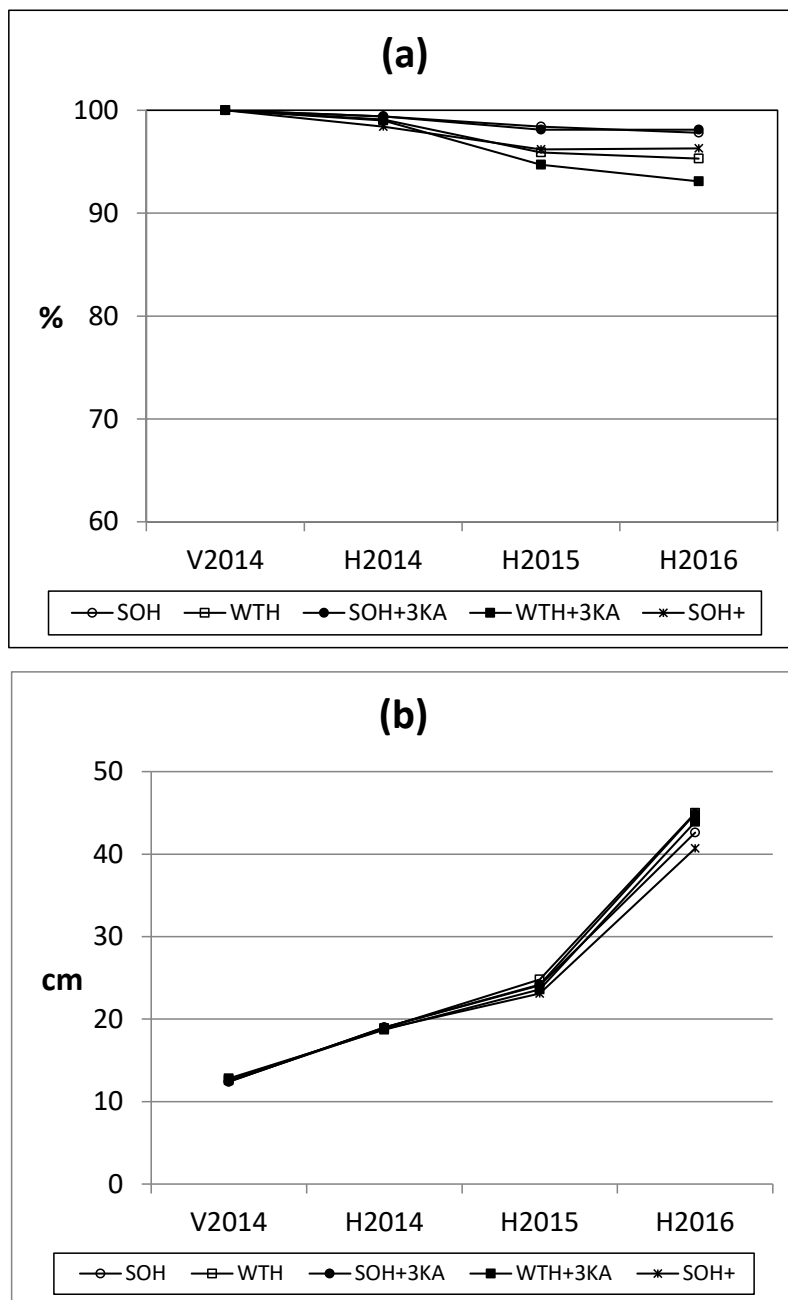
3 Resultat

3.1 ÖVERLEVNAD OCH TILLVÄXT I FÖRSÖKSSERIEN PÅ HYGGE

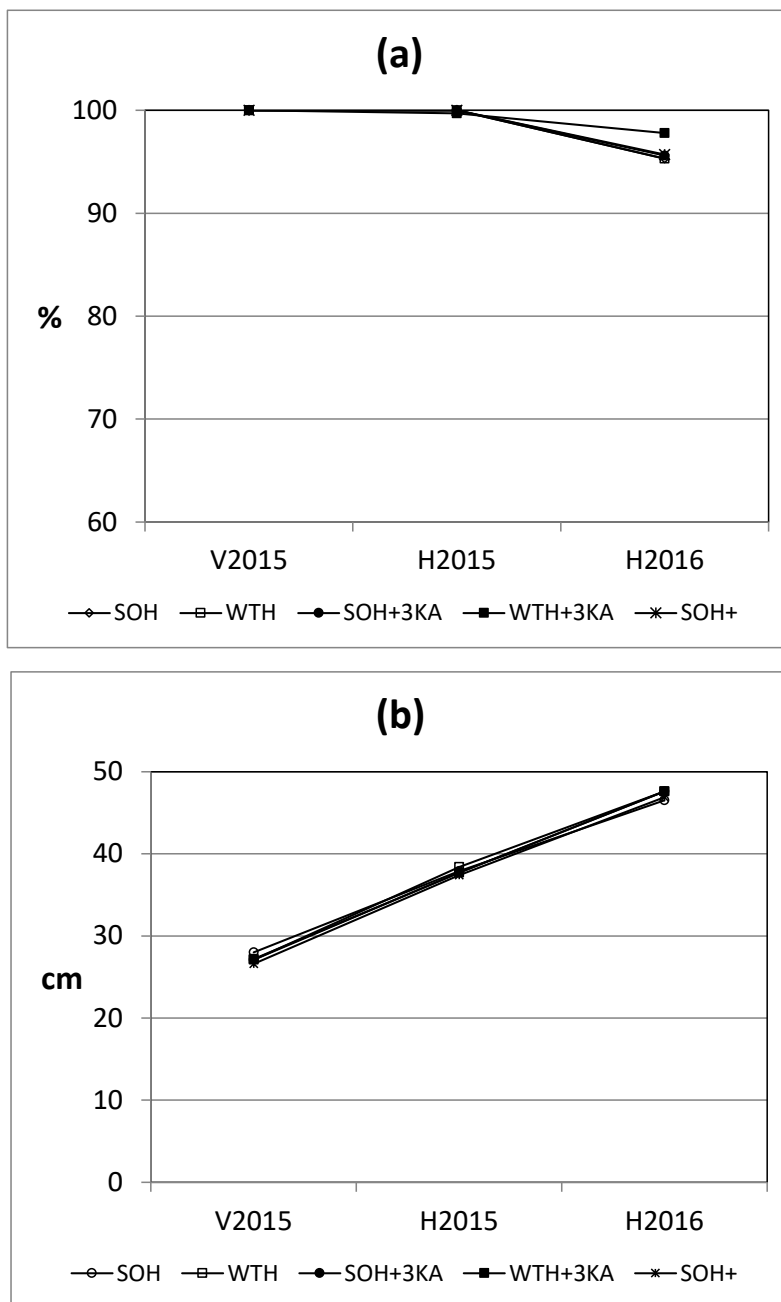
I Granliden var överlevnaden 96 % i medeltal för samtliga behandlingar tre växtsäsonger efter planering (Figur 10a). Det året (hösten 2016) var det en statistiskt signifikant högre överlevnad efter stamvedsavverkning än efter helträdsavverkning, + 4 procentenheter. Höstarna innan, 2014 och 2015, var överlevnaden 99 % respektive 97 % och då fanns det inga påvisbara behandlingseffekter. Beträffande granplantornas höjd fanns det inga signifikanta skillnader mellan behandlingarna. I medeltal för alla behandlingar var plantorna 43 cm vid sista mätningen hösten 2016 (Figur 10b).

I Galven fanns inga påvisbara skillnader för varken överlevnad eller höjd efter två tillväxtsäsonger. Vid senaste mätningen hösten 2016 var överlevnaden 96 % och plantornas höjd 46 cm i medeltal för samtliga behandlingar (figur 11).

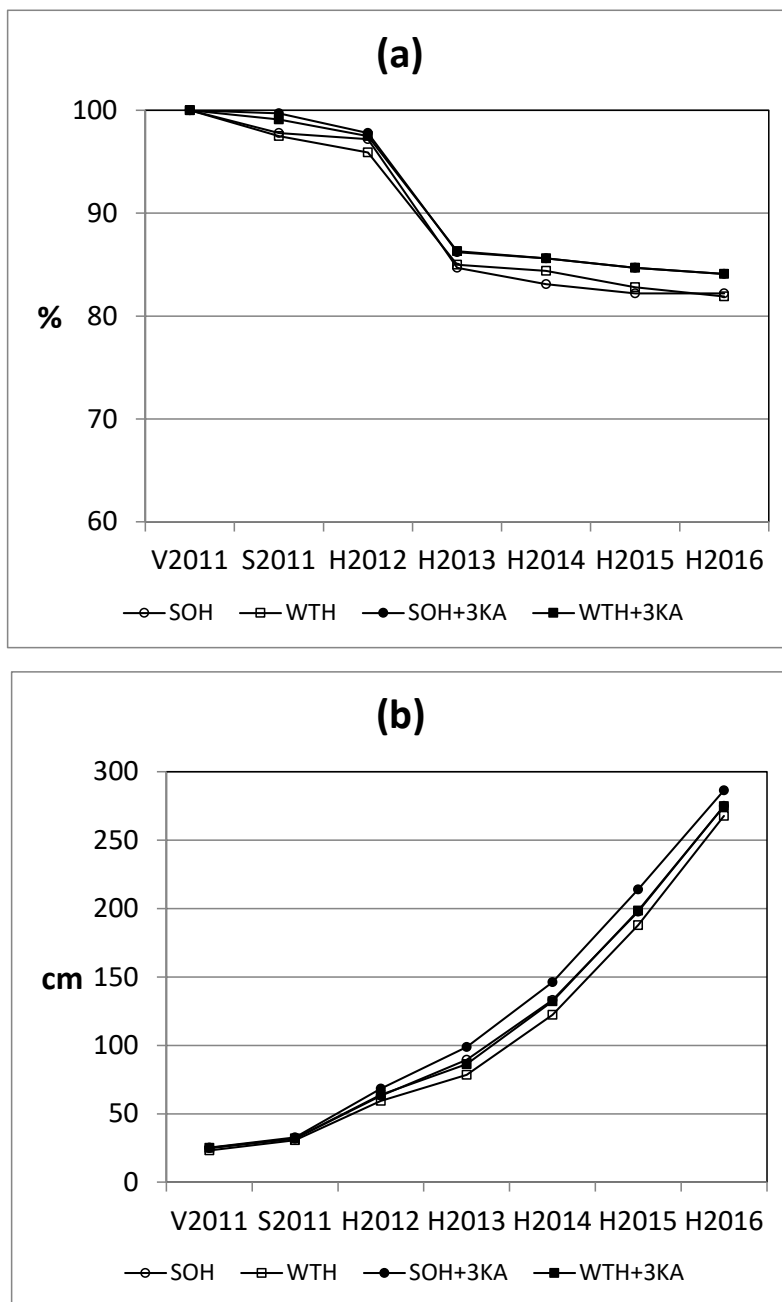
I Guvarp var det ingen statistiskt påvisbar skillnad i överlevnad mellan de olika behandlingarna under de studerade sex tillväxtsäsongerna efter planering (Figur 12a). De två första åren överlevde 97–98 % av plantorna, för att sedan minska till nivån 83–86 % de kommande fyra åren. Vid sista mätningen hösten 2016 fanns det ingen statistiskt påvisbar skillnad i medelhöjd mellan de fyra behandlingarna (Figur 12b). Däremot under de fyra åren innan (2012–2015) var planthöjden signifikant högre i försökledet SOH+3KA än i WTH (9–26 cm; 14–25 %; $p \leq 0,050$). Under dessa år var det även en signifikant "helträdseffekt" och en "askeffekt". I de försöksled där groten tagits bort (WTH och WTH+3KA) var medelhöjden 4–13 cm (6–12 %) lägre än där groten lämnats kvar (SOH och SOH+3KA). Där aska tillförts (SOH+3KA och WTH+3KA) var medelhöjden 5–13 cm (7–10 %) högre än där aska inte tillförts (SOH och WTH).



Figur 10. Granplantornas överlevnad (a; alla plantor) och medelhöjd (b; vitala, plantor med intakt topskott) i medeltal för behandlingarna (n = 5) under åren 2014–2016 i försök 301 Granliden. Försöket planterades i maj 2014 (V2014). Mätningar gjordes höstarna 2014 – 2016 (H2014 – H2016). Förklaring till behandlingarna: SOH = slutavverkning med uttag av endast stamved; WTH = slutavverkning med helträdsuttag, dvs. stamved, grenar, toppar och barr; SOH+3KA = SOH + 2,7 ton (t.s.) självhårdad krossaska ha⁻¹; WTH+3KA = WTH + 2,7 ton (t.s.) självhårdad krossaska ha⁻¹; SOH+ = förhöjd lämnad grotmängd efter SOH-avverkning (se 2.1.1.1).



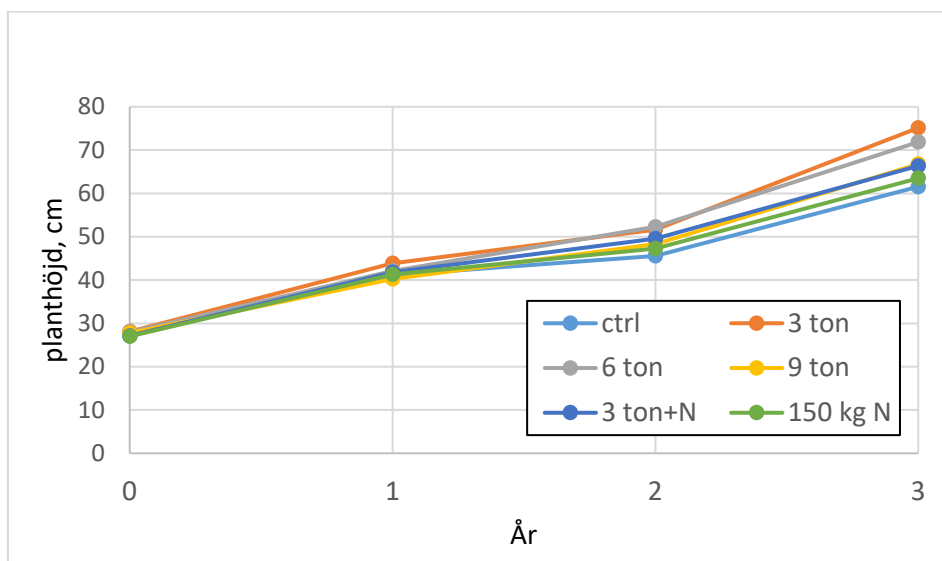
Figur 11. Granplantornas överlevnad (a; alla plantor) och medelhöjd (b; vitala, plantor med intakt topskott) i medeltal för behandlingarna (n = 5) under åren 2015–2016 i försök 302 Galven. Försöket planterades i maj 2015 (V2015). Mätningar gjordes höstarna 2015 (H2015) och 2016 (H2016). Se figur 10 för förklaring av behandlingarna.



Figur 12. Granplantornas överlevnad (a; alla plantor) och medelhöjd (b; vitala, plantor med intakt topskott) under åren 2011–2016 i försök 191 Guvarp. Försöket planterades i maj 2011 (V2011). Mätningar gjordes årligen på höstarna 2011–2016 (H2011 – H2016). Se figur 10 för förklaring av behandlingarna. Askgiven i detta försök var 3,1 ton (t.s.) självhårdad krossaska ha⁻¹.

3.2 ÖVERLEVNAD OCH TILLVÄXT PÅ HYGGET I RIDDARHYTTAN

I Riddarhyttan var överlevnaden 95 % i genomsnitt för samtliga behandlingar tre växtsäsonger efter planering. Dock uppstod en del skador på plantorna under 2016 till följd av frost och rådjursbetning, framförallt på några ytor i block 3, vilket påverkat dessa plantors tillväxt. Den statistiska analysen påvisade inga behandlingseffekter, varken på plantornas överlevnad eller på deras höjd vid de tre mättilfällena. I figur 13 visas de oskadade plantornas höjdutveckling de tre första åren efter plantering.



Figur 13. Granplantornas höjdutveckling i 249 Riddarhyttan de tre första åren efter plantering. Endast oskadade plantor inkluderade (p-värde för faktorn försöksled var 0,79–0,99).

3.3 TILLVÄXT I GALLRINGSFÖRSÖKET

I Bala erhöles en statistiskt signifikant ($p < 0,05$) ökad volymtillväxt på totalt 19,5 m³sk per ha under de första fem åren efter tillförsel av 3 ton krossaska, motsvarande en ökning med 19 % (tabell 3). Även gödsling med 150 kg N per ha gav en signifikant tillväxtökning (13 m³sk per ha). Effekterna av dessa två behandlingar var inte signifikant skilda. Det kombinerade försöksledet (3 ton aska + 150 kg N per ha) gav en signifikant högre tillväxt jämfört med de renodlade försöksleden med aska eller N, totalt 34 m³sk per ha mer än obehandlad kontroll under den studerade 5-årsperioden (tabell 3).

Tabell 3. Årlig grundyte- och volymtillväxt de fem första åren efter behandling i försöket 290 Bala. Värden i samma kolumn markerade med olika bokstäver är signifikant ($p < 0,05$) skilda enligt Tukey's test för multipla jämförelser. Relativa värden i förhållande till kontroll (=100) anges inom parentes.

Försöksled	Grundytetillväxt ^a (m ² ha ⁻¹ år ⁻¹)		Volymtillväxt ^b (m ³ ha ⁻¹ år ⁻¹)	
Kontroll (KONT)	2,10 a	(100)	20,8 a	(100)
3 ton aska (3KA)	2,41 a	(115)	24,7 b	(119)
150 kg N (150N)	2,35 a	(112)	23,4 b	(113)
3 ton aska + 150 kg N (3KA+150N)	2,78 a	(133)	27,6 c	(133)

^ap-värde för behandling = 0,06.

^bp-värde för behandling = 0,01.

3.4 KOL- OCH KVÄVEFÖRRÅD SAMT C/N I HUMUS I GALVEN

Vid försöksanläggningen (före behandling) i Galven uppskattades totala kolförrådet i FH-skiktet (C-tot) till 19 670 kg ha⁻¹ i medeltal för alla 25 provytor i försöket. Medeltalen för de fem behandlingarna låg mellan 18 440 och 21 580 kg C ha⁻¹ (tabell 4). Sett till enskilda provytor var avvikelsen ≤ 33 % från blockmedeltalen. Totala kväveförrådet (N-tot) i samma markskikt uppskattades till 630 kg ha⁻¹ ($n = 25$). I detta fall var medeltalen för behandlingarna 580–740 kg N ha⁻¹ (tabell 4) och enskilda provytors avvikelse från blockmedeltalen ≤ 32 %. Slutligen kvoten mellan C-tot och N-tot (C/N) uppskattades till 31,7 i medeltal för de 25 provytorna. Medeltalen för de fyra behandlingarna var 30,0 – 32,2 (tabell 4) och enskilda provytors avvikelse ≤ 13 %. Inte för någon av dessa markvariabler kunde en statistiskt säkerställd skillnad påvisas mellan de olika försöksleden vid anläggningen av försöket Galven (tabell 4). Däremot var det signifikanta skillnader eller tendens till skillnader mellan blocken ($p = 0,002 - 0,095$). Både C-tot och N-tot var högre i block 2–4 än i block 1 och 5 (jmf figur 1; data visas inte). Värdena på C/N var högre i block 3 än i block 1, 4 och 5 samt högre i block 2 än i block 5 (jmf figur 1; data visas inte).

Tabell 4. Totala mängder kol (C-tot), kväve (N-tot) och C/N i humusen (FH-skiktet) i försök 302 Galven. Medeltal per försöksled (n = 5). Inte i något fall var försöksleden signifikant skilda ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden se figur 10.

Variabel	Försöksled					p-värde	
	SOH	WTH	SOH+ 3KA	WTH+ 3KA	SOH+	Block	Behand- ling
C-tot (kg ha ⁻¹)	18440 (100)	18580 (101)	20350 (110)	19400 (105)	21580 (117)	0,004	0,58
N-tot (kg ha ⁻¹)	580 (100)	590 (102)	660 (114)	600 (114)	740 (128)	0,002	0,36
C/N	32,2 (100)	31,8 (99)	31,7 (98)	32,7 (102)	30,0 (93)	0,002	0,46

3.5 ELEMENTHALTER I BARR

I granbarren (årsbarr) bildade 2015 i Guvarp fanns det signifikanta skillnader mellan enskilda behandlingar för halterna av N, K, Ca, Mn, Zn och Al (tabell 5). N-halten var lägre i WTH+3KA än i de två försöksleden utan aska (SOH och WTH). K-halten var högre i de båda ask-leden och i SOH jämfört med där groten plockats bort (WTH). I ask-leden var både Ca- och Zn-halten högre än i WTH, medan Mn-halten var lägre i ask-leden jämfört med där aska inte tillförts (SOH och WTH). Slutligen var det lägre Al-halt i SOH+3KA än i WTH (tabell 5).

För samma ämnen fanns även en "helträdseffekt" och/eller en "askeffekt" (tabell 5). N-halten var 0,05 mg (g t.s.)⁻¹ högre där groten lämnats kvar och den var 0,11 mg (g t.s.)⁻¹ lägre där aska tillförts (tabell 5). K-halten var högre både där groten lämnats kvar och där aska tillförts, +0,44 mg (g t.s.)⁻¹ respektive +0,78 mg (g t.s.)⁻¹, medan Al-halten var lägre i båda fallen. Ca- och Zn-halten ökade efter asktillförsel [0,99 mg (g t.s.)⁻¹ resp. 5,7 µg (g t.s.)⁻¹], medan Mn-halten minskade med 0,33 mg (g t.s.)⁻¹ (tabell 5).

I Granliden, i årsbarr bildade 2016, fanns det signifikanta skillnader mellan enskilda behandlingar för halterna av Ca, Mg och B (tabell 5). Det var i försöksleden där aska tillförts (SOH+3KA och/eller WTH+3KA) som halterna var högre än där aska inte tillförts (SOH, WTH och SOH+). För samma ämnen fanns även en "askeffekt" (tabell 5).

I granbarren från Riddarhyttan (årsbarr 2016) var N-halten signifikant högre i försöksledet där kväve tidigare tillförts (N) jämfört med tre av ask-leden (6T, 9T och 3T+N) (tabell 6). Dessutom påvisades skillnader i elementhalter för P, Ca, Zn och B. Samtliga dessa ämnen var högre i försöksledet där den högsta askgivan (9 ton per hektar) tidigare tillförts jämfört med där aska inte tillförts. För Ca och Zn var halterna högre även i försöksledet med 6 ton per hektar samt i ledet med kombinationen 3 ton aska och 150 kg N. För behandlingen med enbart 3 ton aska per hektar fanns inga påvisbara skillnader i elementhalter jämfört med obehandlad kontroll (tabell 6).

Tabell 5. Elementhalter i granbarr i försöken 301 Granliden (årsbarr 2016) och 291 Guvarp (årsbarr 2015). Medeltal per försöksled (n = 5). Olika bokstäver i samma rad anger statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden (SOH, WTH, SOH+3KA, WTH+3KA, SOH+) se figur 10.

Element	Försöksled					Kontraster	
	SOH	WTH	SOH+3KA	WTH+3KA	SOH+	"Helträds-effekt" ^{a,b}	"Ask-effekt" ^{b,c}
301 Granliden	[mg (g t.s.) ⁻¹]						
N	18,4	17,9	17,3	17,3	18,0	–	–
P	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	–	–
K	5,9	5,8	6,1	6,0	6,4	–	–
Ca	3,1 ab	3,1 a	3,7 ab	3,7 b	3,2 ab	–	0,58
Mg	0,54 a	0,58 ab	0,71 c	0,69 bc	0,59 ab	–	0,14
S	0,88	0,88	0,86	0,87	0,86	–	–
Mn	1,1	1,1	0,88	0,92	1,0	–	–
	[µg (g t.s.) ⁻¹]						
Fe	32	31	38	30	31	–	–
Al	120	122	98	96	108	–	–
Cu	2,8	2,8	2,8	2,7	2,9	–	–
Zn	70	69	77	80	69	–	–
B	5,9 a	4,5 a	10 b	9,4 b	4,6 a	–	4,5
291 Guvarp	[mg (g t.s.) ⁻¹]						
N	18,1 c	17,5 bc	17,0 ab	16,5 a	–	0,05	-0,11
P	2,1	2,1	2,2	2,4	–	–	–
K	6,2 b	5,5 a	6,8 b	6,6 b	–	0,44	0,78
Ca	4,0 ab	3,6 a	4,9 b	4,6 b	–	–	0,99
Mg	0,81	0,77	0,86	0,93	–	–	–
S	0,88	0,88	0,90	0,88	–	–	–
Mn	1,3 b	1,3 b	0,97 a	0,95 a	–	–	-0,33
	[µg (g t.s.) ⁻¹]						
Fe	51	52	45	51	–	–	–
Al	140 ab	160 b	110 a	140 ab	–	-25	-24
Cu	2,5	2,4	2,4	2,2	–	–	–
Zn	41 ab	34 a	44 b	43 b	–	–	5,7
B	13	16	14	16	–	–	–

^aBåda SOH-leden jämfört med båda WTH-leden.

^bSkillnad i halt redovisad för kontraster med $p < 0,05$.

^cBåda ask-leden jämfört med SOH och WTH utan aska.

Tabell 6. Elementhalter i granbarr i försök 249 Riddarhyttan (årsbarr 2016). Medeltal per försöksled (n = 5). Olika bokstäver i samma rad anger statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden (0, 3T, 6T, 9T, 3T+N, N) se figur 13.

Element	Försöksled					
	0	3T	6T	9T	3T+N	N
	[mg (g t.s.) ⁻¹]					
N	17,2 ab	16,0 ab	15,3 a	14,8 a	14,6 a	19,0 b
P	1,3 ab	1,3 ab	1,3 ab	1,5 b	1,2 a	1,2 a
K	5,2	5,4	5,8	5,7	5,6	5,1
Ca	3,1 a	2,9 a	4,2 bc	4,6 c	3,9 b	2,6 a
Mg	0,77	0,71	0,74	0,83	0,75	0,69
S	0,80	0,79	0,78	0,79	0,72	0,84
Mn	1,3	1,1	1,1	0,90	1,1	1,2
	[µg (g t.s.) ⁻¹]					
Fe	33	32	27	30	28	40
Al	100	107	92	100	94	117
Cu	3,1	2,8	2,9	2,8	2,6	3,0
Zn	50 a	47 a	79 bc	85 c	66 b	36 a
B	8,9 a	14 ab	14 ab	15 b	13 ab	9,8 ab

4 Diskussion

4.1 FÖRSÖKSANLÄGGNING

Ett mål med denna studie var att anlägga ett nytt försök i syfte att komplettera två tidigare försök till en komplett försöksserie. Utifrån anläggningsdata i det nya försöket (Galven), vid tidpunkten direkt efter plantering, är slutsatsen att provytorna inom blocken och medeltalen för behandlingarna visar på tillfredsställande jämförbarhet avseende markegenskaper (C-tot, N-tot, C/N i FH-skiktet) och föryngring (planthöjd vid anläggning). Det ger goda förutsättningar att kunna detektera eventuella effekter av de testade behandlingarna vid kommande uppföljningar. Samma slutsats drogs även för Guvarp och Granliden direkt efter etableringen av dessa försök (Sikström et al. 2012, Sikström et al. 2014).

Ett mål med etableringen av hela försöksserien var att anlägga försöken på marker med olika bördighet, en förutsättning för att kunna utvärdera de uppställda hypoteserna (se 1.1). Det målet kan anses vara uppfyllt och bekräftat bl.a. av de uppskattade CN-kvoterna i markens FH-skikt i försöken (C/N = 24, 32 och 38; Tabell 1). Kvoten ger en indikation på markens bördighet – låg kvot högproduktiv skogsmark och hög kvot lågproduktiv mark.

4.2 TILLVÄXTEFFEKTER AV HELTRÄDSUTTAG OCH ASKA I GRANFÖRYNGRING

Beträffande utvärderingen av de uppställda hypoteserna (se 1.1) har föryngringsförsöken ännu för kort observationsperiod efter anläggning och behandling för att detektera och påtala eventuella behandlingseffekter av praktisk betydelse för de testade åtgärderna. Det gäller särskilt försöken Galven, Granliden och Riddarhyttan (2–3 år), men även Guvarp (6 år).

Överlevnaden hittills i föryngringsförsöken kan generellt anses vara hög. I tre av försöken låg den på 95–96 % vid den senaste inventeringen. I Guvarp var den något lägre efter sex tillväxtsånger, 83 %. Den enda statistiskt påvisbara effekten var hösten 2016 i Granliden, 4 procentenheter högre överlevnad där groten lämnats kvar. Det är en relativt liten skillnad som det är för tidigt att dra långtgående slutsatser om.

I de tre försöken i försöksserien där en relativt kraftfull markberedning (harvning) utfördes, samt att asktillförseln gjordes efter första tillväxtsången, talar för att några stora skillnader i plantors överlevnad och tillväxt p.g.a. de testade behandlingarna inte är att förvänta de inledande tillväxtsångerna. I samtliga försöksled i försöken gav markberedningen en tillfredsställande och likvärdig planteringsmiljö, möjligen med undantag för de ytor i Galven med störst lutning och där grot lämnats kvar (SOH-leden och SOH+). På dessa ytor hade riset en tendens att "falla tillbaka" i det ena harvspåret (det övre i sluttningen) vid markberedningen. Detta var något som påtalades av plantörerna i samband med planteringen. Hittills tycks det inte ha påverkat etableringen av granplantorna.

Det är viktigt att påtala betydelsen av regelbunden skötsel och uppföljning av dylika föryngringsförsök. För att kunna avgöra om exv. eventuella tillväxtskillnader beror på de testade behandlingarna eller av andra orsaker är det viktigt att regelbundet följa upp och skydda plantorna mot exv. snytbagge och viltbete, vilket är gjort i dessa försök. Det är nödvändigt att ha bra kontroll på plantornas utveckling (överlevnad, tillväxt och skador), särskilt till dess plantorna är väl etablerade och sannolikheten för överlevnad hög. Detta kan ta från ca 4–5 år i södra Sverige upp till 20–25 år i kärva klimatlägen i norra Sverige (Elfving 1992 i Hallsby 2013; Hansson och Karlman 1997). Det är viktigt att veta om eventuella avgångar av plantor kan kopplas till de testade behandlingarna eller om det är olika typer av skador/skadegörare (exv. frost, snytbagge och viltbete) som orsakar plantdöd eller skador på plantorna, vilka inte nödvändigtvis behöver vara behandlingsrelaterade. Tidiga skillnader i överlevnad och tillväxt ger också konsekvenser/skillnader för tillväxt och totalt biomassaförråd på provytorna på lång sikt, vilket kan försvåra tolkningen av behandlingseffekter om inte den initiala plantutvecklingen finns dokumenterad. Därför är de utförda åtgärderna och mätningarna inom ramen för detta projekt en nödvändig del av denna typ av experimentella fältförsök och en förutsättning för att på längre sikt kunna utvärdera hypoteserna.

Resultaten i Guvarp, två–fem vegetationsperioder efter helträdsuttag respektive en–fyra tillväxtsåsonger efter asktillförsel, låg i linje med de uppställda hypoteserna för bördig mark, dvs. att (1) helträdsskörd gav lägre planthöjd (6–12 %) jämfört med skörd av endast stamved, (2) planthöjden var högre (7–10 %) där aska tillförts, och att (3) den minskade tillväxten efter helträdsskörd tycktes kompenseras av askan under denna period. Enligt den senaste mätningen efter sex tillväxtsåsonger (hösten 2016) var det liknande små höjdskillnader i medeltal (ca 10 cm), mellan försöksled med och utan grot-uttag samt med och utan asktillförsel (figur 12). Dessa skillnader var dock inte längre statistiskt påvisbara, vilket kan tala för tillfälliga tillväxteffekter av behandlingarna. I enlighet med tidigare resonemang är det viktigt att påpeka att de redovisade resultaten endast avser den initiala plantetableringen och att försöket behöver följas under längre tid för att mer fullständigt kunna utvärdera de uppställda hypoteserna. Beträffande ”helträdseffekten” rapporterar Jacobson et al. (2016) en större tillväxtförlust än i Guvarp. De redovisar en tillväxtminskning motsvarande ett till två år tillväxt under en period på tio år för planterade granplantor efter helträdsuttag vid slutavverkning. Studien bygger på två fältförsök, med liknande försöksdesign och behandling, på marktyper med liknande, eller möjligen något lägre, bördighet än i Guvarp.

De statistiskt påvisbara ökningarna av elementhalter (K, Ca och Zn) i barren i Guvarp (årsbarr 2015) var relaterade till försöksleden med aska, alla är ämnen som tillförs med askan. Även Mn tillförs med askan, så den detekterade lägre Mn-halten i barren i ask-leden beror mest troligt på en minskad tillgänglighet av Mn för plantorna p.g.a. askans höga pH. Sett till de absoluta halterna för elementen ovan var det inga som visade tydlig brist, om halterna relateras till föreslagna gränsvärden för brist som finns för lite större träd (> 2–3 m höga) (jmf Brække m.fl. 1998). Därför är det inte troligt att plantornas tillväxt påverkats. N-halterna i barren låg på nivåer som är lite mer svårtolkade och kan ha haft viss betydelse för

tillväxten. Ingen tydlig brist och i några försöksled i paritet med eller något lägre än föreslagna optimala N-halter för maximal tillväxt (jmf Brække m.fl. 1998).

I de två övriga försöken (Galven och Granliden) i försökserien fanns inga som helst påvisbara tillväxtförändringar av behandlingarna. I Granliden där barrprov togs (årsbarr 2016) var det liknade haltförändringar i ask-leden som i Guvarp, högre Ca-, Mg- och B-halter än i försöksleden utan aska. Inte heller i detta försök är det troligt att tillväxten påverkats av dessa haltförändringar (jmf Brække m.fl. 1998).

Även i Riddarhyttan fanns det inga påvisbara tillväxteffekter ("eftereffekter") på den nya generationen planterade granar av den tidigare asktillförseln i den gamla skogen. Inte heller den tidigare tillförseln av 150 kg N per hektar påverkade granplantorna. Det sista är i överensstämmelse med tidigare erfarenheter av "eftereffekter" av N-tillförsel i den tidigare generationen skog, för planterade tall- och granplantor (Sikström 2001, Johansson et al. 2013). Trots en högre N-halt i barren i N-ledet i Riddarhyttan, jämfört med försöksleden där aska tillförts (3 ton per hektar undantaget), var det inga skillnader i tillväxt. Inte heller de högre halterna av P, Ca, Zn och B i ask-leden med högsta givan (9 ton per ha) tycktes påverka tillväxten.

4.3 TILLVÄXTEFFEKT AV ASKA I BÖRDIG GRANSKOG

Resultaten från Bala visar tydligt att asktillförsel kan leda till ökad stamtillväxt på bördiga marker, vilket är i enlighet med hypotes 2 och tidigare erfarenheter (Jacobson 2003, Saarsalmi et al. 2004, 2005, Jacobsson et al. 2014). I detta försök ökade den löpande tillväxten med nästan 4 m³sk per ha och år, totalt ca 20 m³sk per ha under den studerade 5-årsperioden. En viktig fråga för framtiden är att utvärdera varaktigheten av denna effekt på tillväxten.

Det är anmärkningsvärt att man på den mycket bördiga marken i Bala fick en erfarenhetsmässigt fullgod tillväxteffekt av tillfört N, motsvarande en praktisk skogsmarksgödsling. Försöksmarken var klassad till ståndortsindex G37 m, vilket är högt över rekommenderad övre gräns (G30 m) för traditionell N-gödsling (Jacobson et al. 2005). Denna N-effekt i försöket ger stöd åt hypotesen att tillförseln av aska kan påverka tillgången på oorganiskt N i marken, och att tillväxteffekten i det rena askledet därigenom är en indirekt N-effekt. I Bala erhöles även en additiv effekt på volymtillväxten i den kombinerade behandlingen med aska+N. Huruvida även denna tillväxtökning är en ren N-effekt är svårt att uttala sig om. På denna bördiga mark är det möjligt att något annat näringsämne, exempelvis fosfor (P), kan bli begränsande för tillväxten, speciellt i samband med en N-gödsling. Så här i efterhand kan man konstatera att det hade varit mycket intressant att studera tillväxteffekterna i ett försöksled med dubbla N-givan (300 kg N ha⁻¹).

5 Slutsatser

Projektet har möjliggjort slutförandet av anläggningen av en försöksserie med tre försök och årlig uppföljning av försöken i serien där effekter av grot-uttag och asktillförsel studeras på tre lokaler i norra, mellersta och södra Sverige i en klimat- och bördighetsgradient. Gradienten tillsammans med dokumenterade anläggningsdata från försöken ger goda förutsättningar att kunna detektera eventuella effekter av de testade behandlingarna och utvärdera uppställda hypoteser. I försöket (Guvarp) på den sydligaste och bördigaste lokalen låg resultaten i linje med de uppställda hypoteserna för bördig mark upp till fem år efter plantering, d.v.s. att (1) grot-uttag gav något lägre planthöjd jämfört med skörd av endast stamved, (2) höjden var något högre där aska tillförts och, (3) den minskade tillväxten efter grot-uttag tycktes kompenseras av asktillförsl. Skillnaderna var dock små (upp till ca 1 dm) och vid den senaste mätningen efter sex år fanns det inga statistiskt påvisbara skillnader i medelhöjd mellan behandlingarna. Samtliga försök, även Guvarp, kräver längre observationstid (hittills 2–6 år) för att mer fullständigt utvärdera hypoteserna och behandlingseffekter av praktisk betydelse.

Varken överlevnad eller tillväxt för granplantor påverkades under de tre första åren efter plantering i ett försök där aska tillfördes i den föregående generationen äldre skog 19 år innan den avverkades. Även här krävs längre observationstid.

Ett försök i gallringsskog (gran) visade att asktillförsel kan öka stamtillväxten på bördig skogsmark, mest troligt som en indirekt effekt av askans påverkan på kvävetillgången i marken. Tillväxtökningens varaktighet behöver följas under längre tid.

6 Förslag på fortsatt forskning

Samtliga fyra föryngringsförsök i denna studie har korta observationstider hittills (2–6 år) och det krävs väsentligt längre effektperioder för att kunna utvärdera uppställda hypoteser och utforma praktiska rekommendationer utifrån försöksresultaten. Med tanke på detta är det viktigt med en fortsatt kontinuerlig uppföljning av försöken. Det finns även behov av att anlägga nya liknande försök, eftersom det finns förhållandevis få försök i Sverige, och även internationellt, där effekter av asktillförsel testas. Försöket där granföryngringen studeras efter tidigare askåterföring i det gamla beståndet är, vad vi känner till, unikt i världen.

I försöksserien med föryngringsförsök har fokus hittills varit på skogsproduktion. Försöken är anlagda som parcellförsök med provytor med obehandlad kontroll och olika behandlingar randomiserade inom block. Det gör att andra typer av studier än tillväxt är fullt möjliga. En viktig fråga är påverkan på marken, exv. effekten av aska på markens organiska material. Tillsammans med tidigare studier antyder resultaten från Bala att tillväxteffekten av aska är en indirekt N-effekt. Det tyder på en ökad omsättning av organiskt material och därmed ökad avgång av koldioxid (CO₂), vilket är av intresse från växthusgas- och klimatperspektiv, d.v.s. betydelsen för GWP ("Global Warming Potential") i en budget för växthusgaser. I försöken i försöksserien finns utgångsläget för mängden organiskt material, C och N dokumenterat. Det gäller även för Bala där dessa data togs fram i ett annat projekt.

Andra möjliga studier i försöken är effekter på markvegetation, vilken förutom förändringar i artsammansättning och täckningsgrader, även kan ge olika konkurrenseffekter gentemot skogsföryngringen.

Hur asktillförsel påverkar markkemi och markvattenkemi är andra viktiga forskningsfrågor. Ett huvudmotiv som anges för askåterföring är grot-uttagets försurande effekt på mark och markvatten samt i förlängningen kanske även på avrinnande vatten.

I Bala finns förekomsten av rotröta i trädstammarna dokumenterad på provytorerna innan behandling (annat projekt). Eftersom det finns teorier om att högre pH i marken gynnar rotröten är det av intresse att följa upp rötans utveckling där aska tillförts i förhållande till obehandlad kontroll. En viktig fråga är om den registrerade ökade stamtillväxten "motverkas" av ökad rötförekomst.

7 Erkännanden

Energiforsks Askprogram har finansierat merparten av projektet och Skogforsks ramprogram har också bidragit med finansiella medel. Tack till markägarna Sveaskog AB (Galven, Riddarhyttan, Bala), Bergvik Skog AB (Bala), Holmen Skog AB (Granliden) och Gustavsborgs Säteri AB (Guvarp) för att de upplåter sin mark till försöken. Även ett tack till Sveaskogs tjänstemän Mikael Hjärpsgård och Erik Nyberg samt Henrik Nilsson Öst, Vallsta skogsmaskiner, som alla varit till hjälp vid anläggningen av Galven. Även ett tack till Fredrik Engström, Falu Energi & Vatten, som tillhandahöll aska till Galven. Tack till våra medarbetare på Skogforsk Göran Andersson, Mikael Krook, Hagos Lundström, Marie Lundström, Tomas Sandström samt Elias, Agnes och Ingrid Sikström som på ett förtjänstfullt sätt utfört merparten av fältarbetet.

8 Referenser

- Alexandersson H. och Eggertsson-Karlström C. 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961–1990. Referensnormaler – utgåva 2. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Meteorologi nr 99, 71 s., 2001. ISSN 0283-7730.
- Bergquist J., Edlund S., Fries C., Gunnarsson S., Hazell P., Karlsson L., Lomander A., Näslund B.-Å., Rosell S., Stendahl J. 2016. Kunskapsplattform för skogsproduktion – Tillståndet i skogen, problem och tänkbara insatser och åtgärder. Skogsstyrelsen, Meddelande 1. 180 s.
- Brække F.H., Salih N. Ingerslev M. 1998. Nutrient status of stands – needle analyses. In: Andersson F., Brække F.H., Hallbäcken L. (eds.) Nutrition and growth of Norway spruce forests in a Nordic climatic and deposition gradient. Nordic Council of Ministers, Tema Nord Forestry 1998:556, p. 152–192. Copenhagen. ISBN 92-893-0228-3.
- Compton J. & Cole D.W. 1990. Impact of harvest intensity on growth and nutrition of second rotation Douglas-fir. In: W.J. Dyck and C.A. Mees (Eds.) Long term field trial to assess environmental impacts of harvesting, Proceedings IEA/BE Workshop, pp. 151–162.
- Egnell G., Nohrstedt H.-Ö., Weslien J., Westling O. & Örlander G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1/1988. Skogsstyrelsens förlag. Jönköping. 170 p.
- Hallsby G. 2013. Plantering av barrträd. Skogsskötselserien nr. 3. 59 s. Skogsstyrelsen.
<http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/Skogsskotselserien/PDF/Plantering%20av%20barrtr%c3%a4d%20130130%20-%20f%c3%b6r%20publicering.pdf>
- Hansson P. and Karlman M. 1997. Survival, height and health status of 20-year-old *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* after different scarification treatments in a harsh boreal climate. Scandinavian Journal of Forest Research 12: 340–350.
- Helmisaari, H.-S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P. and 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.
- Jacobson S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils – effects on stem growth and needle nutrient concentrations. Silva Fennica 37(4): 437–450.
- 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, 41–51.
- Jacobson S., Högbom L., Ring E. & Nohrstedt, H.-Ö. 2004. Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. Water Air Soil Pollution 158: 113–125.
- Jacobson S., Pettersson F., Högbom L. & Sikström, U. 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. 54 s. ISBN 91-975958-0-2.

- Jacobson S, Högbom L., Ring E. & Nohrstedt H.-Ö. 2016. The distribution of logging residues and its impact on seedling establishment and early plant growth in two Norway spruce stands. *Scandinavian Journal Forest Research* <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2016.1194456>
- Jacobson S., Lundström H., Nordlund S., Sikström U. and Pettersson F. 2014. Is tree growth in boreal coniferous stands on mineral soils affected by the addition of wood ash? *Scandinavian Journal Forest of Research* 29: 675–685.
- Johansson K., Ring E. and Högbom L. 2013. Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* 47 no. 4 article id 1016. 18 p.
- Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd – tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 36: 1–81. Stockholm.
- Proe M.F., Cameron A.D., Dutch J. & Christodoulou X.C. 1996. The effect of whole-tree harvesting on the growth of second rotation Sitka spruce. *Forestry* 69: 389–401.
- Ring E., Jacobson S. & Nohrstedt H.-Ö. 2006. Soil-solution chemistry in a coniferous stand after adding wood ash and nitrogen. *Canadian Journal Forest Research* 36: 153–163.
- Rosenberg O., Persson T., Högbom L. & Jacobson S. 2010. Effects of wood-ash application on potential carbon and nitrogen mineralisation in forest soils with contrasting C:N ratios. *Forest Ecology and Management* 260: 511–518.
- Saarsalmi A., Mälikönen E. & Kukkola M. 2004. Effects of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scandinavian Journal Forest Research* 19: 217–233.
- Saarsalmi A., Derome J. & Levula, T. 2005. Effects of wood ash fertilisation on stand growth, soil, water and needle chemistry, and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idea* L.). *Forestry Studies* 42: 13–33.
- Sikström U. 2001. Effects of pre-harvest soil acidification, liming and N fertilization on the survival, growth and needle element concentrations of *Picea abies* L. Karst. seedlings. *Plant and Soil* 231: 255–266.
- Sikström U. & Högbom L. 2011. Askåterföring till hygge och gallringsskog efter skogsbränsleuttag – kompletterande mätningar i två nya fältförsök. Slutrapport till Energimyndigheten, Projektnummer 34556-1, 2011-08-03. 12 s.
- Sikström U., Högbom L., Jacobson S & Ring E. 2014. Helträdsskörd och askåterföring – Hur påverkas granens tillväxt i norra Sverige? Slutrapport till Energimyndigheten, Projektnummer 38174-1, 2014-12-18. 13 s.
- Sikström U., Högbom L., Jacobson S., Lundström H. & Ring E. 2012. Askåterföring efter skogsbränsleuttag på bördig skogsmark i södra Sverige – anläggning av två fältförsök. Värmeforsk Service AB, Arbetsrapport A:27. 23 s. ISSN 1653–1248.
- Skogsstyrelsen 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Skogsstyrelsen, Meddelande 2-2008. 22 s. Skogsstyrelsens förlag. Jönköping.
- Sterba H. 1988. Increment losses by full-tree harvesting in Norway spruce (*Picea abies*). *For. Ecol. Manage.* 24: 283–292.

Thiffault E., Hannam K.D., Paré D., Titus B.D., Hazlett P.W., Maynard D.G. & Brais S. 2011. Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests — A review. *Environmental Review* 19: 278–309.

TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL EFTER HELTRÄDSUTTAG PÅ FASTMARK

Det här projektet har studerat hur asktillförsel påverkar planterade granplantor på föryngringsytor där avverkning gjorts med helträdsuttag, det vill säga såväl stammar som grenar och toppar har tagits ut ur skogen. Inte i något av de tre försöken fanns påvisbara skillnader för plantornas överlevnad och tillväxt vid senaste mätningarna efter 2–6 år, varken av helträdsuttag eller asktillförsel. Betydligt längre observationstid krävs för att kunna ge praktiska rekommendationer.

Varken överlevnad eller tillväxt för granplantor påverkades under de tre första åren efter plantering i ett försök där aska tillfördes i den föregående generationen äldre skog 19 år innan den avverkades. Även här behövs längre observationstid.

Ett försök i gallringsskog visade att asktillförsel kan öka stamtillväxten på bördig skogsmark, mest troligt som en indirekt effekt av askans påverkan på kvävetillgången i marken. Tillväxtökningens varaktighet behöver följas under längre tid.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk