

TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL EFTER HELTRÄDS- UTTAG PÅ FASTMARK – UPPFÖLJNING 2018–2020

RAPPORT 2020:718



Tillväxteffekter av asktillförsel efter helträdsuttag på fastmark – Uppföljning 2018–2020

ULF SIKSTRÖM OCH LARS HÖGBOM

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt 2017-102 "Tillväxteffekter av asktillförsel efter helträdsuttag på fastmark" (Energimyndighetens projektnummer 41975-2) inom Askprogrammet som bedrivs av Energiforsk. Askprogrammet verkar för att kunskap tas fram för att stimulera användningar av askor så att ingen eller ringa risk för hälsa och miljö på kort eller lång sikt föreligger.

Detta är ett uppföljningsarbete som studerat tillväxten i granskog fyra till tio år efter plantering i tre försök. Före plantering slutavverkades den gamla skogen och provytor anlades med eller utan helträdsuttag. I försöken ingår även asktillförsel på vissa ytor.

Projektet har genomförts av Skogforsk med Ulf Sikström som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:
Stefan Anderson, Skogsstyrelsen
Henrik Holmberg, Södra
Stefan Mattsson, Sveaskog.

Stockholm december 2020

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Tillväxteffekter av asktillförsel i planterad granskog efter grot-uttag har studerats i tre försök. I det äldsta försöket fanns en påvisbar tillväxtminskning av grot-uttaget tio år efter plantering. Effekten av askan var inte entydig, men tenderade att öka tillväxten. Det är ännu för tidigt att slutgiltigt utvärdera de testade åtgärderna (grot-uttag och asktillförsel), särskilt i de två andra försöken med effektperioder på sex–sju år efter behandling.

Helträddsskörd, 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 tre fältförsök i en försöksserie (Granliden, Galven och Guvarp) följts avseende granarnas överlevnad och tillväxt. Försöken ligger i norra, mellersta och södra Sverige i en klimat- och markbördighetsgradient. Följande hypoteser testas; (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 i denna rapport avser uppföljningar utförda under åren 2018–2020 motsvarande fyra till tio år efter försöksanläggning och behandling. Beträffande granarnas överlevnad var den relativt hög i Guvarp (83 %) och hög i Granliden (95 %) och Galven (93 %) vid senaste inventeringen och det saknades påvisbara behandlingseffekter av grot-uttag och asktillförsel. Det var heller inga påvisbara effekter för höjdtillväxten i det yngsta försöket i Mellansverige (Galven) upp till sex år efter plantering. I det näst äldsta försöket i norra Sverige (Granliden) fanns en påvisbar "askeffekt" med minskad höjdtillväxt på knappt 20 % de två sista åren (2019 och 2020), fem och sex år efter det att aska [3 ton (t.s.) per hektar] tillfördes.

I det äldsta försöket i syd (Guvarp) fanns en påvisbar tillväxtminskning på cirka 25 % under en tioårsperiod där groten skördats jämfört med där den lämnats kvar. Resultaten för askåterföringen i Guvarp var inte entydiga, men tyder på en tendens till tillväxtökning av de 3 ton (t.s.) aska per hektar som tillfördes.

Samtliga försök kräver längre observationstid för att slutgiltigt kunna utvärdera hypoteserna och behandlingseffekter av praktisk betydelse. I Guvarp minst cirka 10 år till och i Granliden och Galven i storleksordningen minst 15–20 år.

Summary

Growth responses of wood ash addition in planted spruce forest after removal of logging residues have been studied in three field experiments. In the oldest experiment, there was a detectable growth-reduction of the removal of residues ten years after planting. The effect of the ash was not unambiguous but tended to increase growth. It is still too early to definitively evaluate the tested measures (extraction of residues and ash addition), especially in the two other trials with effect periods of six to seven years after treatment.

Whole-tree harvesting, i.e. extraction of stem wood and logging 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 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 removal of logging residues and wood ash addition, three field trials in a trial series (Granliden, Galven and Guvarp), have been monitored regarding the spruce's survival and growth. The trials were established in northern, central and southern Sweden in a climate and soil-quality gradient. The following hypotheses are tested; (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.

The results in this report refer to inventories performed during the years 2018–2020, corresponding to four to ten years after trial installation and treatment. Regarding the survival of the spruces, it was relatively high in Guvarp (83%) and high in Granliden (95%) and Galven (93%) at the last inventory and there was no detectable treatment effects of extraction of residues and ash addition. Also, there were no detectable effects for the height growth in the youngest trial in Central Sweden (Galven) up to six years after planting. In the second oldest experiment in northern Sweden (Granliden), there was a demonstrable "ash effect" with reduced height growth of almost 20% in the last two years monitored (2019 and 2020), five and six years after ash [3 tonnes (d.w.) per hectare] had been added.

In the oldest trial in the south (Guvarp), there was a detectable growth reduction of about 25% during a ten-year period where the residues were extracted compared to where it was left. The results for the ash recycling in Guvarp were not unambiguous but indicate a tendency for growth to increase by the 3 tonnes (d.w) of ash per hectare that was added.

All experiments, including Guvarp, require longer observation to conclusively evaluate the hypotheses and treatment effects of practical significance. In Guvarp about 10 additional years and in Granliden and Galven in the order of 15–20 years.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Syfte och hypoteser	8
2	Material och metod	9
2.1	De tre försöken	9
2.2	Överlevnad och Tillväxtmätningar	15
2.3	Barrprovtagning	15
2.4	Statistisk analys	15
3	Resultat	17
3.1	Överlevnad	17
3.2	Tillväxt	18
3.3	Elementhalter i barr	20
4	Diskussion	24
4.1	Grotuttag	24
4.2	Asktilförsel	25
4.3	Elementhalter i barr	26
4.4	Några praktiska aspekter	26
5	Slutsatser	28
6	Förslag på fortsatt forskning	29
7	Erkännanden	30
8	Referenser	31

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 bedömning baserad på undersökningar om "åtgärder i stor- och småskaligt skogsbruk" var grot-uttaget mest omfattande år 2011, nästan 100 000 ha, för att minska till ca 60 000–65 000 ha åren 2015–2016. De senaste åren (2018–2019) tyder på en ökning från den nivån av det faktiska uttaget baserat på data som visar en ökning av den anmälda arealen för grot-uttag. Andelen areal med grot-uttag i gallring, av den totala arealen med uttag, har legat på 15–25 % under de senaste ca 10 åren. Skogsstyrelsen bedömer att nyttjandet av skogsbränsle kan och bör öka som en del i arbetet med att ersätta fossila bränslen (Bergqvist et al. 2016).

En väsentlig fråga 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 2019). 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). Sedan har en ökning åter skett till ca 12 000 ha de senaste åren (2017–2019) (Stefan Anderson, Skogsstyrelsen, pers. medd.).

Beträffande ytterligare introduktion om helträdsskörd och askåterföring samt tidigare kända tillväxteffekter av åtgärderna se Sikström et al. (2016) och referenser där.

Långtidsförsök i fält är en nödvändig forskningsmetod för att öka kunskapen om effekter, exv. om tillväxt, av de studerade åtgärderna helträdsskörd och askåterföring. 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. När det gäller försök med aska efter helträdsskörd i förnygringsfasen är bristen ännu större. Det finns bara några enstaka försök i landet och i norra Sverige finns endast de två förnygringsförsök som ingår i denna studie där tillförsel av aska studeras.

I detta projekt har vi studerat effekter av både helträdsskörd och tillförsel av aska i planterad granskog. Det är gjort i tre försök med liknande försöksupplägg etablerade i 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. I det här projektet har vi mätt tillväxten i försöken under perioden 2018–2020.

1.1 SYFTE OCH HYPOTESER

Det långsiktiga målet med de försök som igår i projektet är att studera tillväxten i den nya generationen granskog som anläggs efter slutavverkning med helträdsuttag och asktillförsel i samband med plantering.

Målet för detta projekt var att registrera effekten på plantornas överlevnad och tillväxt fyra till tio år efter plantering och behandling i tre försök i en försöksserie. I försöksserien testas 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 samlades barrprover in i de tre försöken för analys av vissa elementhalter för att detektera eventuella skillnader i granplantornas näringsstatus på grund av de testade behandlingarna.

2 Material och metod

2.1 DE TRE FÖRSÖKEN

De tre fältförsöken 301 Granliden (Västerbotten), 302 Galven (Hälsningland) och 291 Guvarp (Skåne) utgör en försöksserie där effekter på skogsproduktion av helträdsuttag och askåterföring testas (Figur 1). 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.

Försöken är randomiserade blockförsök med fem block (upprepningar) och fyra (Guvarp; försökled 1–4) eller fem behandlingar (Granliden och Galven; försökled 1–5). En enskild provyta består av en bruttoyta på 20 m × 20 m (400 m²), som är indelad i en inre nettoyta på 16 m × 16 m (256 m²) och en "kappa" på 4 m runt nettoytan.

Följande behandlingar (försöksled) ingår:

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

Försöksled 1, 2 och 3 kan anses ha mest praktisk relevans och är åtgärder som tillämpas i dagens praktiska skogsbruk (se sektion 1). Försöksled 3 togs med för att få en fullständig två-faktoriell försöksdesign, för att kunna testa alla kombinationer av de två behandlingarna (grot-uttag och aska). Försöksled 5 kan ses som en "gröngödsling" med grot och ger även en gradient i grot-mängd (Försöksled 2, 1 och 5) i de två nordliga försöken (se nedan och tabell 1). Detta är en intressant fråga att studera av mer principiellt intresse. Det gäller även jämförelsen av försöksled 1 i Guvarp och försöksled 5 i Galven och Granliden som alla har samma kvarlämnad grotmängd. Det ger möjligheten att studera effekter av samma grot-mängd i den gradient i klimat- och ståndortsförhållanden som de tre försökslokalerna är anlagda för att representera.

Granliden har samma försöksdesign som Galven, så när som på grot-mängden 28 ton t.s. per hektar i GROTKVAR-ledet medan Galven har 43 ton t.s. per hektar (Tabell 1). Båda försöken har även försöksledet med förhöjd rismängd (55 ton t.s. ha⁻¹). Skillnaderna i Guvarp är att det är 55 ton t.s. per hektar i GROTKVAR-ledet och att det därför inte finns något försöksled med förhöjd rismängd. Guvarp planterades tre år och Granliden ett år före Galven. Tidpunkterna för åtgärderna samt lämnade grotmängder och tillförda askmängder framgår av Tabell 1. Försöksanläggningen av Guvarp finns beskriven i detalj i Sikström et al. (2012, 2016), Granliden i Sikström et al. (2014, 2016) och av Galven i Sikström et al. (2016).

Tabell 1. Försökens lokalisering och utförda åtgärder (från Sikström et al. 2016).

Variabel	301 Granliden	302 Galven	291 Guvarp
Latitud	64°22'N	61°31'N	56°05'N
Longitud	19°50'O	16°14'O	13°26'O
Höjd över havet (m)	320	340	90
Årsmedeltemperatur (°C)			
Medeltemperatur	1,0 ^a	3,2 ^b	6,9 ^c
juli	14,4 ^a	14,9 ^b	15,8 ^c
december	-10,0 ^a	-6,6 ^b	0,2 ^c
Årsmedelnederbörd (mm)	562 ^a	556 ^b	831 ^c
Ståndortsindex (H ₁₀₀ , m)	G22	G26	G34
Bonitet (m ³ sk ha ⁻¹)	4,3–4,9	7,0–7,5	12,6
C/N i humus	38	32	24
Åtgärder			
Anläggning (år-månad)	2013-10-- 2014-09	2014-09-- 2015-09	2011-04-- 2011-11
Avverkning (år-månad)	2013-08	2014-08	2011-02
Grot-behandling (år-månad)	2013-10	2014-09	2011-04
Grot-mängd (ton t.s. ha ⁻¹)			
GROTKVAR ^d	28	43	55
GROTKVAR+ ^d	55	55	–
Markberedning (år-månad)	2013-11	2014-11	2011-05
Plantering (år-månad)	2014-05	2015-05	2011-05
Asktilförsel (år-månad)	2014-10	2015-09	2011-11
Askgiva (ton t.s. ha ⁻¹)	2,7	2,7	3,1
Asktyp	Självhärdad krossaska ^e	Självhärdad krossaska ^e	Självhärdad krossaska ^f

^a Vid SMHIs station 14916 Hällnäs-Lund, som ligger ca 10 km SV försöket.

^b Vid SMHIs station 11623 Röstebö, som ligger ca 12 km från försöket.

^c Vid SMHIs station 6305 Ljungbyhed 0, som ligger ca 12 km från försöket.

^{a-c} Alexandersson och Eggertsson-Karlström (2001).

^d GROTKVAR = "stem-only-harvest", d.v.s. groten kvarlämnad; GROTKVAR+ = extra mängd kvarlämnad grot (se 2.1.1).

^e Flygaska från Falu Energi & Vatten, Falun. Bränslet en blandning av grot, träddelar, stamvedsflis och bark (Fredrik Engström, Falu Energi & Vatten AB, pers. medd.).

^f 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.).





Figur 1. Försök 301 Granliden hösten 2019 (föregående sida, ovan; Foto: Stefan Andersson), 302 Galven hösten 2020 (föregående sida, nedan; Foto: Michael Krook) och 291 Guvarp hösten 2019 (denna sida; Foto: Michael Krook).

Grot-behandlingen på provytorna i försöken gjordes genom att groten (grön grot) togs bort från GROTTUT-ytorna och lämnades kvar på GROTKVAR-ytorna, jämnt spridd över ytorna. Mängden grot på GROTKVAR-ytorna framgår av Tabell 1.

Efter grot-behandlingen markbereddes provytorna. Markberedningsmetoden var harvning i samtliga försök. Avståndet mellan harvfårorna var ca 2 m.

Därefter planterades granplantor på provytorna med två meters förband, motsvarande 2500 plantor ha⁻¹. Plantorna behandlades i plantskolan mot snytbagge och planterades med planteringsrör. Plantorna behandlades sedan ytterligare under två år mot snytbagge och årligen mot viltbetning tills de växt upp till "rådjursfri" höjd (görs fortfarande i Galven och Granliden).

Slutligen spreds aska för hand i försöken. Askan i Guvarp var en självhårdad 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 (2019) rekommenderar för askor som ska spridas i skogsmark (något lägre halter av Ca och Mg; Tabell 2).

Askan i Granliden och Galven (Tabell 1–2) hade samma ursprung, men var från partier producerade två olika år. Det var 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. Askan i Granliden hade pH_{H2O} på 12,2 (enligt SS-ISO 10390 efter uppslamning med vatten) och den elektriska konduktiviteten var 2020 respektive 1990 mS m⁻¹ (enligt SS-ISO 11265; två prov analyserade), d.v.s. lägre än Skogsstyrelsens rekommenderade maximihalt på 2800 mS m⁻¹ (Skogsstyrelsen 2019). Övriga analyserade element hade halter i enlighet med samma rekommendationer (Tabell 2).

I Galven var askans pH_{H2O} 11,8 (enligt SS-ISO 10390 efter uppslamning med vatten) i två prov tagna 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 2019). 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).

Tabell 2. Halter av olika ämnen i de askor som spreds i försöken. Ej analyserat = e.a. Värden i fet kursiv stil avviker från SKS rekommendation (från Sikström et al. 2016).

Ämne ^a	301 Granliden	302 Galven	291 Guvarp	Rekommen- dation SKS ^b	
				Lägsta	Högsta
LOI ^c (%)	16,4	16,3	6,8		
[mg (g t.s.) ⁻¹]					
Ca	148	147	109	125	
Mg	16	16	14	15	
P	11	11	9	7	
K	48	44	36	30	
Na	9	8	11		
Mn	12	11	11		
S	22	17	15		
Si	268	172	241		
Al	23	21	35		
Fe	11	24	21		
[µg (g t.s.) ⁻¹]					
As	<3	6,3	5,36		30
B	e.a.	e.a.	212		800
Cd	7,8	7,4	8,6		30
Co	5,5	93	10		
Cr	39	240	71		200
Cu	82	200	86		400
Hg	0,38	0,31	0,34		3
Mo	2,7	3,8	5,3		
Ni	19	140	27		70
Pb	52	110	68		300
Sn	2,3	2,4	2,9		
Sr	530	470	700		
V	16	16	44		70
W	<50	<50	<50		
Y	9,0	7,5	34		
Zn	1720	1500	1200	500	7000
Zr	110	77	170		

^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 2019).

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

2.2 ÖVERLEVNAD OCH TILLVÄXTMÄTNINGAR

I Granliden och Galven registrerades plantornas överlevnad och plantornas årliga höjdtillväxt mättes höstarna 2018, 2019 och 2020 (tumstock, cm). Plantornas totala höjd hösten 2020 beräknades sedan med hjälp av tidigare utförda mätningar (se Sikström et al. 2016, Sikström et al. 2017). Eventuella skador på plantorna registrerades också.

I Guvarp mättes alla levande granarnas totala höjd och diametern i brösthöjd (1,3 m över marken; mm) hösten 2020. Granar <3m höjdmättes med stångmätare och de som var ≥3 m mättes med Vertex höjdmätare. Därefter beräknades stamvolymen med hjälp av funktioner utarbetade av Andersson (1954; granar <50 mm) och Näslund (1947; granar ≥50 mm).

Överlevnaden beräknades som andelen levande plantor i förhållande till de utplanterade. Plantornas årliga höjdtillväxt och totala höjden 2020 beräknades som ett medeltal per provyta. För Granliden och Galven redovisas aritmetisk medelhöjd och för Guvarp grundtevägd. För Guvarp beräknades även medelstamvolymen ($\text{dm}^3 \text{ stam}^{-1}$). I beräkningarna av dessa olika variabler för tillväxt ingick de plantor som klassades som fullt vitala och som hade ett intakt toppskott när höjdtillväxten och totalhöjd mättes vid respektive inventering (alla inventeringar sedan plantering). Dessutom beräknades totala stamvolymen för samtliga levande granar på provytorna hösten 2020 i Guvarp, uttryckt som skogskubikmeter per hektar ($\text{m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$).

2.3 BARRPROVTAGNING

I de tre försöken togs barrprover (årsbarr, C0) för analys av halter av vissa makro- och mikronäringsämnen med syftet att detektera eventuella behandlingseffekter på plantornas näringsstatus. Årsbarr bildade år 2019 samlades in i Guvarp i november 2019, i Granliden och Galven i oktober 2019.

Barren samlades in från åtta–tolv plantor inom nettoytan på en provyta. 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 av vissa elementhalter. N-halten (andel av torrsubstansen) bestämdes genom torrförbränning i en elementaranalysator (CNS 2000). Övriga ämnen, fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), svavel (S), mangan (Mn), koppar (Cu), järn (Fe), zink (Zn), bor (B) och aluminium (Al) analyserades med ICP efter våtuppslutning med salpetersyra (HNO_3). Analyserna gjordes vid Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala.

2.4 STATISTISK ANALYS

I syfte att utröna om det fanns några behandlingseffekter i de tre försöken analyserades data med tvåvägs variansanalys (ANOVA). De variabler som analyserades var granarnas överlevnad (alla försök), årliga höjdtillväxten 2018–2020 (Galven och Granliden), höjdtillväxten 2018–2020 (Galven), total trädhöjd

hösten 2020 (alla försök) samt stamvolym i Guvarp. Elementhalter i årsbarr bildade 2019 analyserades i alla försök.

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 $p < 0,15$. 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 $p < 0,05$. Dessutom testades några kontraster där olika försöksled med liknande behandlingar slogs ihop, nämligen "groteffekten" (båda behandlingarna med GROTUT jämfördes med båda GROTKVAR) och "askeffekten" [båda behandlingarna med aska (3KA) mot de två GROTKVAR och GROTUT utan aska]. I dessa fall användes LSD-test ("The least significant difference method") för parvis jämförelse.

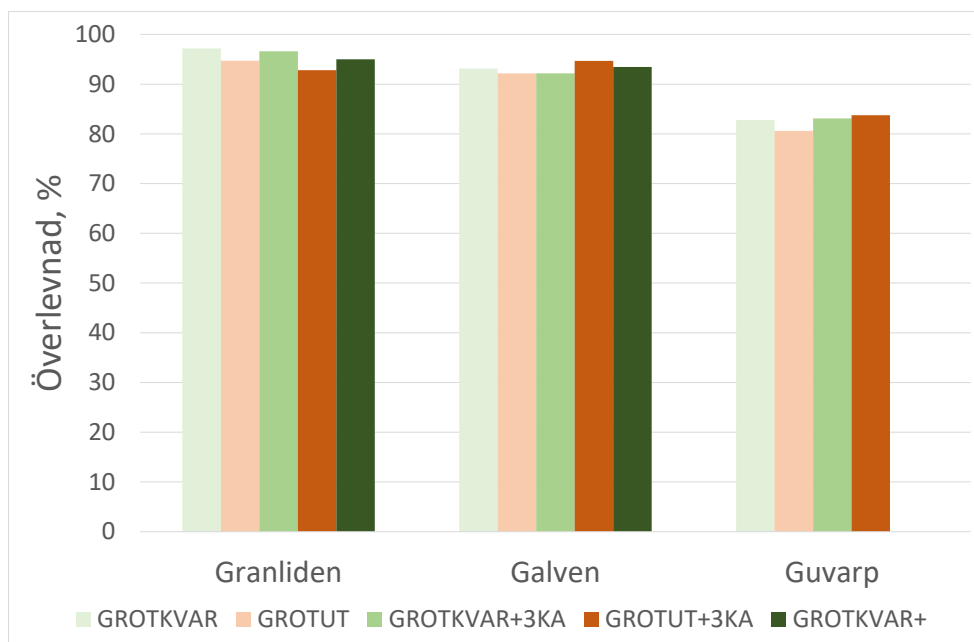
Statistikprogrammet SAS version 9.4 procedur GLM användes för alla statistiska analyser (<http://support.sas.com>).

3 Resultat

3.1 ÖVERLEVNAD

Hösten 2020 var överlevnaden i Granliden 95 % i medeltal för samtliga behandlingar sju växtsäsonger efter planering och behandling (Figur 2). I Galven var den 93 % efter sex växtsäsonger och 83 % i Guvarp efter tio säsonger. Vid senaste inventeringarna hösten 2020 fanns det inga statistiskt påvisbara skillnader för överlevnaden i något av försöken.

Höstarna 2018 och 2019 var överlevnaden i Granliden och Guvarp i stort sett densamma som 2020. Det var endast skillnader på enstaka tiondels procentenheter för enskilda medeltal för de fem behandlingarna i respektive försök.



Figur 2. Granarnas överlevnad i medeltal för behandlingarna (n = 5) hösten 2020, sju tillväxtsäsonger efter planering och behandling i försök Granliden, sex säsonger i Galven och efter tio säsonger i Guvarp. Inga värden inom försök är statistiskt signifikant skilda på nivån $p < 0,05$. Förklaring till behandlingarna: GROTKVAR = slutavverkning med uttag av endast stamved; GROTKUT = slutavverkning med helträdsuttag, dvs. stamved, grenar, toppar och barr; GROTKVAR+3KA = GROTKVAR + ca 3 ton (t.s.) självhårdad krossaska ha^{-1} ; GROTKUT+3KA = GROTKUT + ca 3 ton (t.s.) självhårdad krossaska ha^{-1} ; GROTKVAR+ = förhöjd lämnad grotmängd efter GROTKVAR-avverkning (se 2.1).

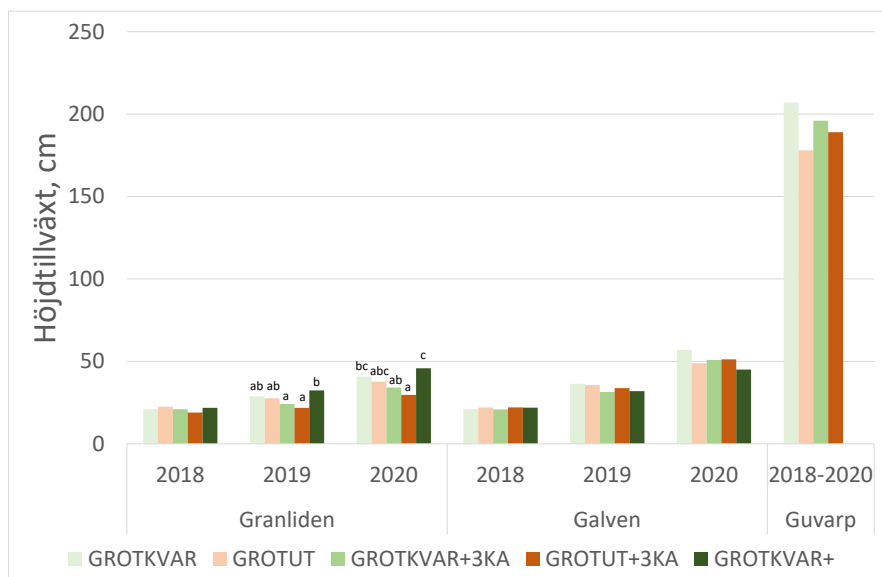
3.2 TILLVÄXT

I Granliden var det ingen skillnad mellan behandlingarna i höjdtillväxt 2018 (Figur 3). Däremot 2019 var det en signifikant lägre höjdtillväxt i behandlingarna med aska. Den var 22 cm i både GROTKVAR+3KA och GROTUT+3KA jämfört med 32 cm för den förhöjda grot-mängden (GROTKVAR+). Även 2020 var höjdtillväxten lägre i båda ask-leden (GROTKVAR+3KA, 34 cm; GROTUT+3KA, 30 cm) jämfört med den förhöjda rismängden (GROTKVAR+, 46 cm). Då hade även GROTUT+3KA lägre tillväxt (30 cm) än där groten lämnats kvar (GROTKVAR), med höjdtillväxten 41 cm. År 2019 och 2020 fanns en generell "askeffekt" med minskad tillväxt på 5 cm (-18 %) respektive 7 cm (-19 %). Beträffande granplantornas totala höjd hösten 2020 fanns det inte någon påvisar skillnad mellan behandlingarna, sju tillväxtsåsonger efter grot-uttag och plantering (sex efter asktillförseln) i Granliden (Figur 4). I medeltal (aritmetisk) för alla behandlingar var granarna då 148 cm höga. Inte heller höstarna 2018 och 2019 fanns någon skillnad i total höjd.

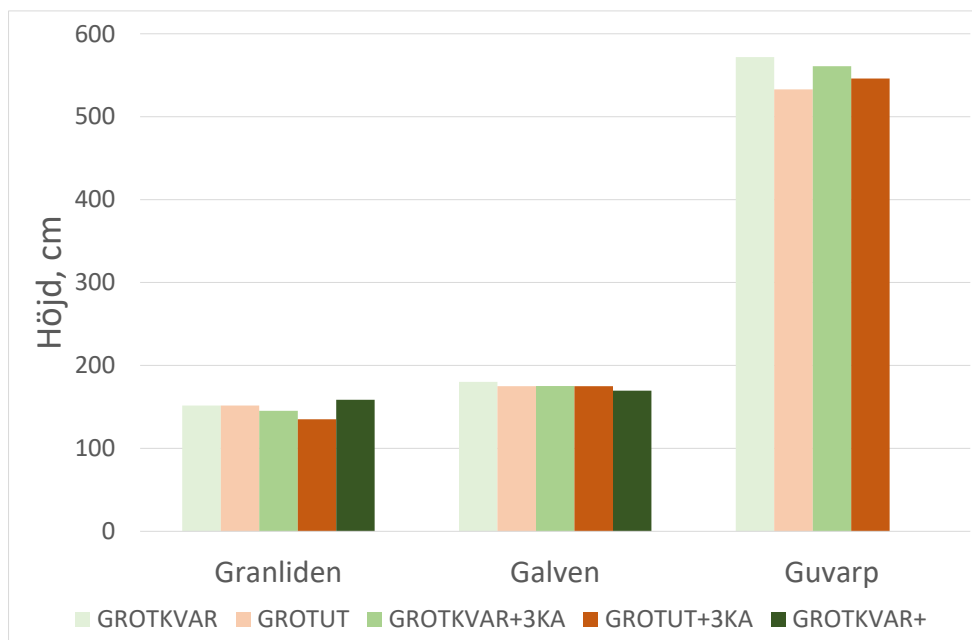
I Galven var det inte någon skillnad mellan behandlingarna på granarnas totala höjd vid senaste mätningen (hösten 2020) sex tillväxtsåsonger efter plantering (Figur 4). Då var medelhöjden (aritmetisk) för samtliga behandlingar 175 cm. Det var heller ingen skillnad för höjden höstarna 2018 och 2019 samt för den årliga tillväxten 2018–2020 (Figur 3).

Även i Guvarp, som löpt längst (10 tillväxtsåsonger), var det inte någon statistiskt påvisbar skillnad mellan behandlingarna för granarnas medelhöjd (grundtyevägd) hösten 2020 (Figur 4). Men, det var en tendens ($p = 0,10$) till 7 % lägre medelhöjd där groten skördats (GROTUT) jämfört med där den lämnats kvar (GROTKVAR). Medelhöjden för alla behandlingar var 553 cm. Under perioden 2018–2020 fanns en tendens ($p = 0,078$) till lägre höjdtillväxt (-14 %) i GROTUT än i GROTKVAR (Figur 3).

Tio år efter plantering (hösten 2020) var medelstammen i Guvarp (vitala träd med intakta toppskott) signifikant mindre efter grotuttag (GROTUT) jämfört med behandlingarna där groten lämnats kvar (-28 % jmf GROTKVAR; -27 % jmf GROTKVAR+3KA) (Figur 5). Dessutom tenderade ($p = 0,12$) medelstammen i GROTUT att vara mindre (-14 %) än där groten skördats och aska återförts (GROTUT+3A). Det var även en tendens ($p = 0,088$) att medelstammens volym var mindre för kombinationen grotuttag och asktillförsel (GROTUT+3KA) än där groten lämnats kvar och aska tillförts (GROTKVAR+3KA). Det var en signifikant "groteffekt" på $-3,7 \text{ dm}^3$ (-21 %) för medelstamvolymen, men ingen tydlig "askeffekt" ($p = 0,16$). Dessa resultat baseras på följande stamantal per hektar i medeltal för de olika behandlingarna; 1430 för GROTKVAR, 1490 för GROTUT, 1580 för GROTKVAR+3KA och 1610 GROTKVAR+3KA.



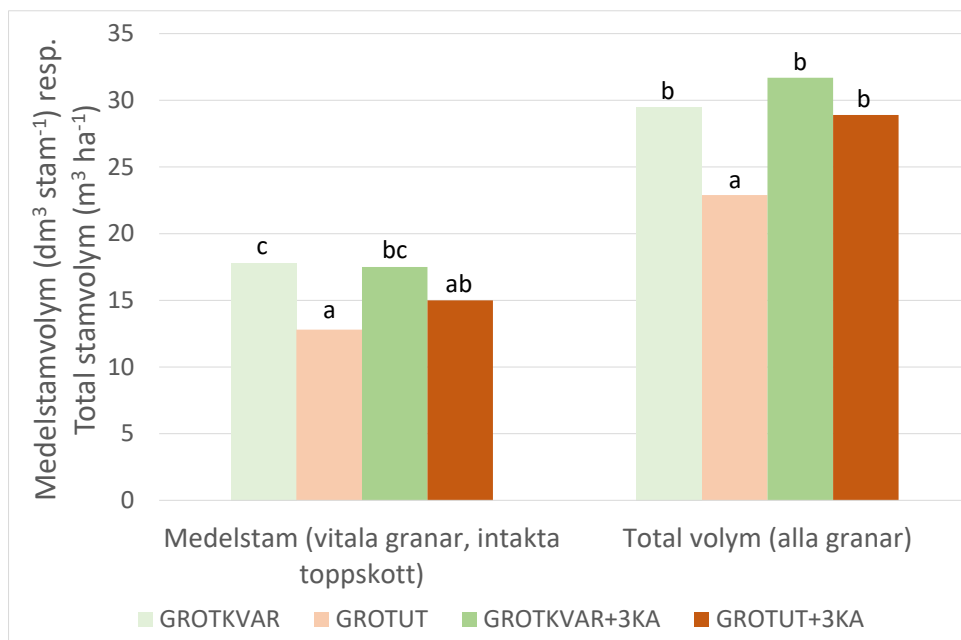
Figur 3. Granplantornas höjdtillväxt för vitala plantor med intakta toppskott i medeltal för behandlingarna (n = 5) under åren 2018–2020 i försöken Granliden, Galven och Guvarp. Olika bokstäver på staplarna inom ett försök och enskilt år anger statistiskt signifikant skilda värden mellan behandlingarna (p < 0,05). Se Figur 2 för förklaring av behandlingarna.



Figur 4. Granplantornas totala höjd för vitala plantor med intakta toppskott i medeltal för behandlingarna (n = 5) hösten 2020 i försöken Granliden (aritmetisk), Galven (aritmetisk) och Guvarp (grundyttevägd). Inga värden inom försök är statistiskt signifikant skilda på nivån p < 0,05. Se Figur 2 för förklaring av behandlingarna.

För alla träd på provytorna medräknade i analysen i Guvarp, uttryck som total stamvolym per hektar tio år efter plantering, var volymen signifikant lägre på

GROTUT-ytorna jämfört med alla de övriga försöksleden (-22 % jmf GROTKVAR; -28 % jmf GROTKVAR+3KA; -21 % jmf GROTUT+3KA) (Figur 5). För denna variabel fanns också en "groteffekt" på -4,7 m³sk per hektar (-15 %) och även en "askeffekt" på 4,1 m³sk per hektar (+16 %). När alla träd togs med var det 2070, 2020, 2080 och 2090 stammar per hektar i medeltal för respektive behandling GROTKVAR, GROTUT, GROTKVAR+3KA och GROTKVAR+3KA.



Figur 5. Granarnas medelstamvolym (vitala träd med intakta toppskott) och total stamvolym på provytorna (alla träd) i medeltal för behandlingarna (n = 5) hösten 2020 i försök Guvarp. Olika bokstäver på staplarna inom ett försök och enskilt år anger statistiskt signifikant skilda värden (p < 0,05). Se Figur 2 för förklaring av behandlingarna.

3.3 ELEMENTHALTER I BARR

I Granliden, för årsbarr bildade 2019, fanns det signifikanta skillnader mellan enskilda behandlingar för halterna av N, P, Mg, S, Al och B (tabell 3). Lägsta N-halten fanns i behandlingen med helträdsuttag och askåterföring (GROTUT+3KA) och högsta N-halten i den med förhöjd rismängd (GROTKVAR+). För N fanns dessutom en generell "groteffekt" (minskad halt) och en "askeffekt" (minskad halt). Även för P och S fanns en "groteffekt" (minskad halt). "Askeffekter" påvisades också för Mg och B (ökning) och för Al (minskning) (Tabell 3).

Påvisade behandlingseffekter i 2019 års granbarr i Galven fanns för P, Mn och B (Tabell 4). Bland annat fanns en "groteffekt" för P (minskad halt) och B (ökad halt) samt en "askeffekt" för Mn (minskad halt). Det var även en tendens (p = 0,062) till lägre N-halt i GROTUT jämfört med GROTKVAR och en tendens (p = 0,062) till en generell "groteffekt" (minskad N-halt).

I årsbarren bildade 2019 i Guvarp fanns det signifikanta skillnader mellan enskilda behandlingar för halterna av N, P, Mn, Al, Zn och B (Tabell 5). En "groteffekt" med lägre halter fanns för N, Mn och Zn, och högre för Al och B. "Askeffekter" fanns för P (ökad halt), och för Mn och Al (minskade halter) (tabell 5).

Tabell 3. Elementhalter i granbarr i försök 301 Granliden (årsbarr 2019). Medeltal per försöksled (n = 5). Olika bokstäver i samma rad anger statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden (GROTKVAR, GROTUT, GROTKVAR+3KA, GROTUT+3KA, GROTKVAR+) se Figur 2.

Element	Försöksled					Kontraster	
	GROT-KVAR	GROT-UT	GROT-KVAR+3KA	GROT-UT+3KA	GROT-KVAR+	"Grot-effekt" ^{a,b}	"Ask-effekt" ^{b,c}
	[mg (g t.s.) ⁻¹]						
N	15,2abc	14,0 ab	14,2 ab	13,2 a	16,8 c	-0,11	-0,09
P	2,0 ab	1,8 a	2,1 b	2,0 ab	2,1 b	-0,17	–
K	6,8	6,8	7,3	7,1	6,8	–	–
Ca	5,5	5,7	6,0	5,7	6,0	–	–
Mg	0,86 a	0,87 a	1,0 b	0,95 ab	0,88 a	–	0,12
S	1,0 b	0,87 ab	0,90 ab	0,84 a	0,99 ab	-0,10	–
Mn	1,2	1,2	1,1	0,97	1,3	–	–
	[µg (g t.s.) ⁻¹]						
Fe	39	37	40	39	41	–	–
Al	135 ab	145 b	107 a	108 a	121 ab	–	-32
Cu	2,5	2,1	2,6	2,1	2,8	–	–
Zn	95	95	110	100	96	–	–
B	9,4 a	8,4 a	12 b	12 b	11 ab	–	3,1

^aBåda GROTUT-leden jämfört med båda GROTKVAR-leden.

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

^cBåda ask-leden jämfört med GROTKVAR och GROTUT utan aska.

Tabell 4. Elementhalter i granbarr i försök 302 Galven (årsbarr 2019). Medeltal per försöksled (n = 5). Olika bokstäver i samma rad anger statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden (GROTKVAR, GROTUT, GROTKVAR+3KA, GROTUT+3KA, GROTKVAR+) se Figur 2.

Element	Försöksled					Kontraster	
	GROT-KVAR	GROT-UT	GROT-KVAR+3KA	GROT-UT+3KA	GROT-KVAR+	"Grot-effekt" ^{a,b}	"Ask-effekt" ^{b,c}
	[mg (g t.s.) ⁻¹]						
N	15,7	13,7	14,4	13,0	14,5	–	–
P	2,2 b	1,8 a	2,3 b	1,9 ab	2,0 ab	-0,38	
K	5,8	5,8	6,3	5,8	5,9	–	–
Ca	7,0	6,0	6,5	6,8	6,4	–	–
Mg	1,0	0,99	1,0	1,1	0,97	–	–
S	1,0	0,95	1,0	0,96	0,96	–	–
Mn	2,3 b	1,9 ab	1,5 a	1,5 a	1,8 ab	–	-0,56
	[µg (g t.s.) ⁻¹]						
Fe	45	42	43	43	44	–	–
Al	114	133	107	119	110	–	–
Cu	3,9	3,6	3,6	4,2	3,6	–	–
Zn	65	61	68	63	70	–	–
B	14 ab	16 ab	13 a	17 b	16 ab	2.8	–

^aBåda GROTUT-leden jämfört med båda GROTKVAR-leden.

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

^cBåda ask-leden jämfört med GROTKVAR och GROTUT utan aska.

Tabell 5. Elementhalter i granbarr i försök 291 Guvarp (årsbarr 2019). Medeltal per försöksled (n = 5). Olika bokstäver i samma rad anger statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$). För förklaring av försöksleden (GROTKVAR, GROTUT, GROTKVAR+3KA, GROTUT+3KA) se Figur 2.

Element	Försöksled				Kontraster	
	GROT-KVAR	GROT-UT	GROT-KVAR+3KA	GROT-UT+3KA	"Grot-effekt" ^{a,b}	"Ask-effekt" ^{b,c}
	[mg (g t.s.) ⁻¹]					
N	14,9 ab	13,7 a	15,5 b	14,2 ab	-1,2	–
P	1,7 b	1,7 b	2,1 a	1,8 ab	–	0,29
K	6,3	6,3	6,7	5,8	–	–
Ca	6,3	5,7	7,1	6,3	–	–
Mg	1,5	1,3	1,5	1,5	–	–
S	1,1	0,99	1,0	1,0	–	–
Mn	2,6 b	2,0 a	1,9 a	1,6 a	-0,46	-0,58
	[µg (g t.s.) ⁻¹]					
Fe	52	45	49	46	–	–
Al	159 ab	173 b	137 a	159 ab	18	-18
Cu	2,7	2,4	3,0	2,9	–	–
Zn	57 b	39 a	61 b	50 ab	-14	–
B	14 a	20 b	14 a	20 b	5,9	–

^aBåda GROTUT-leden jämfört med båda GROTKVAR-leden.

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

^cBåda ask-leden jämfört med GROTKVAR och GROTUT utan aska.

4 Diskussion

4.1 GROTTUTTAG

I försöket Guvarp som löpt längst påvisades en tillväxtnedsättning av grotutttaget jämfört med när groten lämnades kvar. Tio år efter plantering var stamvolymen cirka 25 % mindre på grund av grotuttaget. Således kan hypotes 1 inte förkastas beträffande tillväxteffektens riktning (minskning; se 1.1). Minskningens relativa storlek var större än hypotesens antagna -10 %, men hypotesen saknar tidsangivelse. Varaktigheten för tillväxtminskning i Guvarp är fortfarande oklar och kan endast utredas genom fortsatta mätningar i försöket. Således är det ännu för tidigt att slutgiltigt utvärdera hypotesen eftersom den totala storleken på tillväxtminskningen inte är känd. För detta krävs längre observationstid.

Liknande resultat för granföryngringar redovisas av Jacobson et al. (2016) från två försök med liknande försöksupplägg och mängd grotutttag på bördig skogsmark i södra och mellersta Sverige. De fann tillväxtminskningar på cirka 50 % (stamtillväxt) under den studerade tioårsperioden, motsvarade ca ett års tillväxtförlust i dessa försök. I dessa försök [Turbo och Singeshult; medelhöjder (grundyttevägd) ca 4 m] i Jacobsson et al. (2016) var stamvolym 15 och 10 m³sk per hektar och tillväxten år 11 cirka 8 respektive 5 m³sk per hektar där groten skördats. I Guvarp saknas data på årlig stamtillväxt. Med utgångspunkt från den totala stamvedsvolymen i Guvarp (Figur 5) var volymen knappt 7 m³sk per hektar lägre i försökledet där groten skördats jämfört med där den lämnats kvar efter de tio tillväxtsångerna. Jämfört med Turbo och Singeshult var både stamvolymen per arealenhet och boniteten högre i Guvarp. Beståndet i Guvarp är i en tillväxtfas med ökande årlig tillväxt, och med antagandet om en något högre tillväxt år 11 i Guvarp än i Turbo, torde tillväxtförlusten i Guvarp motsvara mindre än ett år enligt denna grova uppskattning.

Även för Granliden och Galven är det ännu för tidigt att utvärdera hypotes 1 på grund av alltför kort observationstid (6–7 år). I en studie i ett fältförsök lokaliserat i närheten av Granliden, på en något mindre bördig skogsmark än i Granliden, fann Egnell (2011) minskad höjdtillväxt 8–12 år efter grot-uttag och plantering. Granarnas höjdtillväxt i Granliden har ännu inte påverkats efter grot-uttaget, men med tanke på Egnells (2011) resultat är det mycket viktigt att följa försöket med årliga mätningar den kommande tioårsperioden. Notera att Egnells (2011) resultat bygger på mätningar i ett fältförsök som jämförts med en förväntad simulerad årlig höjdtillväxt enligt prognosfunktioner (Elfving 1982). Kommande data från både Granliden och Galven utgör viktiga källor för att validera resultaten i Egnell (2011) med uppmätta jämförande experimentella data (GROTUT vs. GROTKVAR).

Den mest troliga förklaringen till tillväxtnedsättning efter grotutttag, jämfört med att lämna kvar groten, är minskad tillgång på och upptag av växttillgängligt kväve (exv. Jacobsson et al. 2000, Egnell 2011, Thiffault et al. 2011). I Guvarp var N-halten i granarnas årsbarr (bildade 2019) lägre i försöksledet där groten skördats (GROTUT) än där den lämnats kvar (GROTKVAR) (Tabell 5). Det fanns även en "groteffekt" med minskad N-halt. Lägre N-halter efter grotutttag har redovisats i andra studier efter liknande effektperiod som i Guvarp (exv. Egnell 2011), men inte

alltid (exv. Jacobsson et al. 2016). Halter ska ses som ett indikativt mått på näringsstatus hos träd och dess inverkan på tillväxt. Det finns förslagna gränsvärden och intervall för halter på näringsämnen i årsbarr hos tall (*Pinus sylvestris* L.) och gran relaterade till tillväxt sammanställda av Brække och Salih (2002). N-halterna i de flesta försöksled i Guvarp ligger i intervallet 12–15 mg (g t.s.)⁻¹, vilket enligt värdena i Brække och Salih (2002) indikerar N-brist som kan vara tillväxtbegränsande.

4.2 ASKTILLFÖRSEL

Tidigare erfarenheter visar att asktillförsel tenderar till eller ger ökad stamtillväxt på bördig skogsmark (Jacobson 2003, Westling et al. 2004, Sikström et al. 2009, Jacobsson et al. 2014, Sikström et al. 2016). I Guvarp var resultaten inte entydiga avseende tillväxteffekten av asktillförseln (Figur 5). Resultaten var olika beroende på om alla levande granar på provytorna inkluderades i analysen eller om endast de granar som inte haft en registrerad skada med förmodad menlig inverkan på höjdtillväxten (de årliga toppskotten) togs med. När samtliga granar inkluderades var stamvolymen på arealbasis (m³sk per hektar) likvärdig i försöksledet där grot skördats och aska tillförts (GROTUT+3KA) som där groten lämnats kvar (GROTKVAR). Det talar för att både hypotes 2 och 3 (se 1.1) inte kan förkastas eftersom askan, enligt dessa data, gett en tillväxtökning på denna bördiga skogsmark (jmf hypotes 2) och att asktillförseln kompenserat för tillväxtförlusten av grotuttaget (jmf hypotes 3). Det fanns även en ”askeffekt” (tillväxtökning) med liknande storleksordning som ”groteffekten” (tillväxtminskning) för detta urval av granar på ytorna. Däremot när granar som hade registrerade skador på toppskotten togs bort i analysen kunde ingen tydlig tillväxteffekt av askan påvisas för de enskilda försöksleden, uttryckt som medelstamvolym (dm³ stam⁻¹). Men, det var en tendens till högre tillväxt där groten skördats och aska tillförts (GROTUT+3KA) jämfört med grotskörd utan asktillförsel (GROTUT). Däremot var det en tydlig ”groteffekt” (tillväxtminskning) i paritet med den när alla granar räknades med. Detta skulle tala för att hypotes 2 och 3 bör förkastas, eftersom askan, för detta urval av data, inte gett någon tydlig tillväxtökning på denna bördiga skogsmark och därmed, i alla fall inte full ut, kompenserat tillväxtminskningen av grotuttaget.

Skador på plantorna har registrerats årligen i försöken. Det är viktigt att veta om eventuella avgångar av plantor och tillväxten för granarna kan relateras till de testade behandlingarna eller om det är olika typer av skador/skadegörare (exv. frost, snytbagge och viltbete) som mer slumpmässigt orsakar plantdöd eller tillväxtnedsättningar på plantorna, skador som inte nödvändigtvis behöver vara behandlingsrelaterade. Tidiga skillnader i överlevnad och tillväxt kan ge skillnader för tillväxt och totalt biomassa-förråd på provytorna på lång sikt. För Guvarp torde urvalet med ”oskadade” granar ge det mest pålitliga resultatet för tillväxteffekterna. Men, det finns en viss osäkerhet om vad en skada på ett toppskott, eller om ett toppskott dött och en sidogren tar över och formar toppen, i tidiga år betyder för den långsiktiga höjdtutvecklingen.

Asktillförseln hade ingen påvisbar effekt på N-halten i årsbarr i Guvarp och i medeltal var de liknande i försöksleden GROTKVAR och GROTUT+3KA (Tabell

5). Däremot fanns det en "askeffekt" för P-halten (ökning). Men, relaterat till föreslagna gränsvärden och intervall ligger halterna i de försökled som inte fått aska i övre delen av intervallet för pre-optimala P-halter på 1.5–1.8 mg per gram (t.s.) barr som Brække och Salih (2002) redovisar. Det talar för att P-halterna i dessa försöksled mest troligt inte är tillväxtbegränsande för granarna i Guvarp och att den ökade P-halt av askan förmodligen inte påverkat tillväxten.

Oavsett osäkerheten om askans påverkan på tillväxten i Guvarp är det ännu för tidigt att fullständigt utvärdera hypoteserna 2 och 3. För hypotes 2 får framtida mätningar utvisa om det går att få bättre klarhet om en eventuell tillväxteffekt av askan samt dess varaktighet och totala storlek. Förutom det inte entydiga resultatet för tillväxteffekten av askan är utvärderingen av hypotes 3 även beroende av varaktigheten för och den totala tillväxtminskningen av grotuttaget. För detta krävs fortsatta mätningar som tidigare påtalats för hypotes 1.

De minskningar för höjdtillväxten som påvisades de två senaste åren i Granliden var relaterade till asktillförseln. I årsbarren från 2019 var det en "askeffekt" som gav lägre N-halter och försöksledet med grotuttag och askåterföring (GROTUT+3KA) hade den lägsta N-halten av alla försöksled (Tabell 3). Halten låg i nedre intervallet för N-brist (Brække och Salih 2002). Tillväxtminskningen av askan i Granliden ligger i linje med förväntad tillväxtrespons av aska på lågproduktiv skogsmark enligt hypotes 2. Men för detta försök, liksom för Galven, är det ännu alltför tidigt att utvärdera både hypotes 2 och 3.

4.3 ELEMENTHALTER I BARR

Förutom de behandlingseffekter för N- och P-halterna i årsbarren som diskuterats ovan (4.1 och 4.2) påvisades behandlingseffekter av grot- och askbehandlingarna för flera andra analyserade elementhalter (Tabell 3–5). Det är dock högst osannolikt att dessa haltförändringar påverkat granarnas tillväxt i något av de tre försöken. Det beror på att halterna ligger något över eller mycket över de halter som anses vara optimala och därmed inte tillväxtbegränsande (Brække och Salih 2002).

4.4 NÅGRA PRAKTISKA ASPEKTER

Överlevnaden i försöken visar på en potential att sträva efter vid plantering av gran i praktiskt skogsbruk, särskilt i Granliden och Galven. Det ska dock poängteras att skogsvårdsinsatserna i försöken torde ha varit mer intensiva än de vanligtvis är i praktisk drift. I försöken gjordes en relativt kraftfull markberedning (harvning), som i huvudsak gav goda resultat även där grot lämnats kvar, även i försöksleden med den största grotmängden (se Sikström et al. 2016). Även planteringen kan antas vara något mer noggrant utförd vid försöksanläggningen, med större tidsåtgång, i exakt inmätt förband. Plantorna har dessutom behandlats mot snytbaggangrepp i samband med plantering och även de två följande tillväxtsåsongerna, vilket förmodligen är mer intensivt än i praktisk drift. Dessutom har granarnas toppar årligen behandlats med viltskyddsmedel, och det görs fortsättningsvis i Granliden och Galven, tills granarna når "rådjurfri" höjd.

Det faktum att markberedningen gav en tillfredställande och likvärdig planteringsmiljö i samtliga försöksled i försöken kan från försökssynpunkt ha bidragit till att "jämna ut" förhållandena för de planterade granarnas etablering och tidiga tillväxt. Detta kan möjligen ha "maskerat" eller senarelagt möjliga behandlingseffekter av grot- och askbehandlingarna.

Som tidigare påtalats (2.1) har försökleden med endast skörd av stamved (GROTKVAR), helträdsavverkning (GROTUT) samt helträdsavverkning och askåterföring (GROTUT+3KA) mest praktisk relevans för tillämpning i dagens skogsbruk. Det är också därför diskussionen ovan fokuserat på jämförelser av dessa försöksled. Sammanfattningsvis har grotuttaget i Guvarp hittills resulterat i en tillväxtminskning, troligen motsvarande mindre än ett års tillväxt, under den tioåriga försöksperioden. Beträffande asktillförseln [ca 3 ton aska (t.s.) per hektar] efter grotuttaget i samma försök var tillväxteffekten inte entydig, men med en tendens till tillväxtökning som möjligen delvis kompenserat för tillväxtnedsättningen av grotuttaget. Men, som tidigare konstaterats, har de tre försöken i denna studie, även Guvarp, ännu för korta observationsperioder för att fullständigt detektera behandlingseffekter, utvärdera uppställda hypoteser (se 1.1) och påtala eventuella behandlingseffekter av praktisk betydelse för de testade åtgärderna.

Slutligen, förutom tillväxteffekter av grotuttag och eventuell asktillförsel efter ett sådant uttag finns det andra aspekter att beakta vid beslut om att genomföra dessa åtgärder. Några exempel är andra miljöeffekter som påverkan på syra-bas statusen i marken och på avrinnande vatten samt påverkan på omsättningen av organiskt material i marken. Andra exempel är olika konsekvenser för de olika behandlingsalternativen för mängden körning i bestånden och för skogsvårdsåtgärderna efter avverkning. Dessutom bör en ekonomisk värdering av de olika alternativ komma ifråga. Se vidare avsnitt 6.

5 Slutsatser

I ett av de tre studerade försöken, Guvarp med den bördigaste marken i Skåne, har grotuttaget hittills resulterat i en cirka 25-procentig tillväxtminskning (stamtillväxt) för de planterade granarna. Det motsvarar troligen mindre än ett års tillväxt under den tioåriga försöksperioden. Beträffande asktillförseln, på ca 3 ton aska (t.s.) per hektar, efter grotuttaget i samma försök var tillväxteffekten inte entydig. Men, det fanns en tendens till tillväxtökning som möjligen delvis kompenserat för tillväxtnedläggningen av grotuttaget.

I det näst äldsta försöket, Granliden med den mest lågproduktiva marken i Västerbotten, påvisades en minskad höjdtillväxt med ca 20 % de två senaste åren. Det var 5–6 tillväxtsånger efter tillförseln av aska. I Galven, med den medelproduktiva marken i Hälsingland, har ännu inga behandlingseffekter påvisats på granarnas tillväxt varken av grotuttaget eller av asktillförseln. Det försöket har löpt i sex tillväxtsånger.

Samtliga försök, även Guvarp, har ännu för korta observationsperioder (hittills 6–10 år) för att fullständigt detektera behandlingseffekter, utvärdera uppställda hypoteser (se 1.1) och påtala eventuella behandlingseffekter av praktisk betydelse för de testade åtgärderna.

6 Förslag på fortsatt forskning

Samtliga tre försök i denna studie har för korta observationstider (6–10 år) 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. I Guvarp minst cirka 10 år till, förslagsvis vart femte år. I Granliden och Galven i storleksordningen minst 15–20 år till. De kommande 5–10 åren är det viktigt med fortsatt årliga mätningar av höjdtillväxten i dessa försök för att sedan, beroende på resultaten, glesa ut mätintervallen. Det är även viktigt att på sikt mäta granarnas diametrar för att kunna jämföra stamvolymens utveckling även i Granliden och Galven. Provytorna i de tre försöken är dimensionerade för att kunna följas åtminstone fram till den första gallringen. Slutligen finns det även behov av att anlägga nya liknande försök, eftersom det finns förhållandevis få försök i Sverige, och även internationellt, särskilt där effekter av asktillförsel testas.

I försöksserien med föryngringsförsök har fokus hittills varit på skogsproduktion. Försöken är anlagda som parcellförsök med provytor med 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. Tidigare studier tyder på att tillväxteffekten av aska är en indirekt N-effekt (se exv. Sikström et al. 2016). Det i sin tur tyder på en ökad omsättning av organiskt material och därmed ökad avgång av koldioxid (CO_2), 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 som redovisas i denna rapport finns utgångsläget för mängden organiskt material, C och N dokumenterat.

Andra möjliga studier i försöken är effekter på markvegetation, som förändringar i artsammansättning och täckningsgrader.

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.

Det finns teorier om att högre pH i marken gynnar rotröta i trädstammarna och därför är det av intresse att följa upp rötans utveckling där aska tillförts i förhållande till obehandlad kontroll. En viktig fråga är om en möjlig ökad stamtillväxt på bördig skogsmark "motverkas" av ökad rötförekomst.

Den totala kolbalansen av grot-uttag bör belysas från ett LCA perspektiv. Men även andra effekter av grot-uttag (effekter på mark och vatten) bör utvärderas i en total analys.

7 Erkännanden

Energimyndigheten har finansierat merparten av projektet och Energiforsks Askprogram har också bidragit med finansiella medel. Tack till markägarna Holmen Skog AB (Granliden), Sveaskog AB (Galven) och Gustavsborgs Säteri AB (Guvarp) för att de upplåter sin mark till försöken. Tack också till våra medarbetare på Skogforsk Göran Andersson, Mikael Krook, Hagos Lundström, Tobias Nestander och Ingrid Sikström som på ett förtjänstfullt sätt utfört merparten av fältarbetet. Även ett tack till Henrik Holmberg, Södra Skog, Stefan Anderson, Skogsstyrelsen och Stefan Mattsson, Sveaskog, som ingått i den referensgrupp som Energiforsk tillsatte. De har följt projektet och deltagit i diskussioner och gett synpunkter vid framtagandet av denna slutrapport.

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.
- Andersson S.-O. 1954. Funktioner och tabeller för kubering av småträd. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Band 44, No. 12. 29 p.
- 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. 2002. Reliability of foliar analyses of Norway spruce stands in a Nordic gradient. *Silva Fennica* 36: 489–504.
- 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: 148–153.
- Elfving B. 1982. Hugin's unskogstaxering 1976-1979. Swedish University of Agricultural Sciences, Projekt HUGIN, rapport nr 27.
- 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., 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.
- 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.
- Sikström U., Högbom L. & Jacobson S. 2016. Tillväxteffekter av asktillförsel efter helträdsuttag. Energiforsk, Rapport 2016: 326. 42 s.
- Sikström U., Högbom L. & Jacobson S. 2017. Granars överlevnad och tillväxt efter helträdsuttag och askåterföring. Slutrapport till Energimyndigheten, Projektnummer P-41975-1, 2017-12-22. 21 s.
- Sikström U., Högbom L., Jacobson S & Ring E. 2014. Helträdesskörd 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 skogsbränsleutttag på bördig skogsmark i södra Sverige – anläggning av två fältförsök. Värmeforsk Service AB, Arbetsrapport A:27. 23 s. ISSN 1653–1248.
- Sikström U., Jacobson S., Johansson U., Kukkola M., Saarsalmi A. & Holt Hansen K. 2009. Långtidseffekter på skogsproduktion efter askåterföring och kalkning – Preliminära resultat från en pilotstudie. Värmeforsk Service AB, Orienteringsrapport 1107. 22 s. ISSN 1653–1248.
- Skogsstyrelsen 2019. Regler och rekommendationer för skogsbränsleutttag och kompensationsåtgärder. Skogsstyrelsen, Rapport 2019/14. 32 s. Skogsstyrelsens förlag. Jönköping.
- 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.
- Westling O., Örlander G. & Andersson I. 2004. Effekter av askåterföring till granplanteringar med ristäkt. IVL Rapport B1552. 47 s.

TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL EFTER HELTRÄDSUTTAG PÅ FASTMARK – UPPFÖLJNING 2018–2020

Här har forskarna studerat hur asktillförsel påverkar planterade granar på förnygringsytor där avverkning gjorts med helträdsuttag. Det betyder att såväl stammar som grenar och toppar har tagits ut ur skogen.

I två försök i norra och mellersta Sverige har det bara gått 6 till 7 år efter plantering och det syns ingen effekt av grot-uttaget. I det äldsta försöket på en bördig skogsmark i södra Sverige gav uttaget av grot minskad tillväxt under tio år efter plantering, jämfört med mark där groten lämnats kvar.

Resultaten visar ingen entydig effekt av asktillförseln, men tillväxten tenderade att öka. Det krävs längre observationstid för att utvärdera om askan kan kompensera för tillväxtminskningen av uttaget och innan praktiska rekommendationer kan utformas.

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