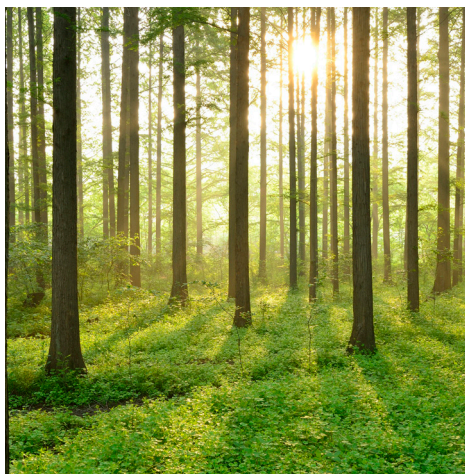


TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL PÅ SKOGSMARK MED VARIERANDE BÖRDIGHET

RAPPORT 2016:328



MILJÖRIKTIG ANVÄNDING
AV ASKOR



Tillväxteffekter av asktillförsel på skogsmark med varierande bördighet

**STAFFAN JACOBSON
FOLKE PETTERSSON
ULF SIKSTRÖM**

ISBN 978-91-7673-328-8 | © 2016 ENERGIFORSK

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-223 Tillväxt effekter av asktillförsel på skogsmark med varierande bördighet (Energimyndighetens projektnummer 40182 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 hur träd tillväxten påverkas av asktillförsel på elva olika marktyper.

Projektet har genomförts av Skogforsk med Staffan Jacobson som projektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Per Hazell, Skogsstyrelsen,
Niklas Hansson, Vattenfall,
Jonas Vestun, Jämtkraft,
Hans Winsa, Sveaskog.

Stockholm december 2016

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Idag är rekommendationen att askåterföring bör ske på marker där avverkningsrester tas ut i betydande omfattning någon gång under omloppstiden. Resultaten från denna studie indikerar att tillförsel av de näringsämnen som finns i askan inte har någon nämnvärd påverkan på trädens tillväxt på de flesta typer av fastmarksjordar i Sverige. På torvmark däremot finns det en stor potential att öka skogsproduktionen genom att tillföra aska.

Biobränslen från skogen är redan idag en viktig del av den svenska energiförsörjningen. Ett ökat uttag av biomassa, exv. i form av grenar och toppar (GROT), innebär också ett ökat uttag av näringsämnen från skogen jämfört med ett uttag av endast stamved. För att kompensera för det ökade näringsuttaget är rekommendationen att vedaska bör återföras till skogsmarken för att motverka markförurning och eventuella framtida näringsbrister för att därigenom säkerställa en långsiktigt uthållig produktionsförmåga i våra skogar.

En serie om tio försök anlades under perioden 1995–2011 i svenska tall- och granbestånd på fastmark, samt ett försök på torvmark, i syfte att studera effekter på trädens tillväxt efter tillförsel av olika typer och doser av vedaska samt kombinationer av vedaska och kväve. Försöken är anlagda som parcellförsök med upprepningar i randomiserade block och de är geografiskt spridda över Sverige. Före behandling korsklavades och höjdmättes samtliga träd inom en nettoprovyta, vanligtvis med 10 m radie. Vid återkommande revision upprepades dessa mätningar och tillväxten beräknades.

Resultaten från de enskilda försöken visade att tillförsel av aska på fastmark i de flesta fall inte resulterade i tydliga förändringar av trädens stamtillväxt. I försöket på den bördigaste ståndorten påvisades dock ökad tillväxt och det fanns en tendens till minskad tillväxt på den minst produktiva försökslokalen. Enligt linjära regressionsanalyser fanns det signifikanta ($p < 0,05$) samband mellan de relativa tillväxteffekterna av asktillförsel och de två testade beskrivande ståndortsfaktorerna (C/N i humuslagret och bonitet). Positiva tillväxteffekter erhöles också i de försöksled där kväve tillförts, i renodlad form eller tillsammans med aska.

I försöket med tallskog på torvmark påvisades påtagliga tillväxteffekter av tillförd aska. Baserat på tidigare erfarenhet görs bedömningen att den uppmätta tillväxtresponser kan ha en lång varaktighet, sannolikt flera decennier. Således finns det en potential att öka skogsproduktionen med asktillförsel på dränerad torvmark där kväve inte är primärt tillväxtbegränsande.

För att mer säkra slutsatser om askans eventuella effekter på trädens tillväxt på skoglig fastmark ska kunna dras måste både försöksmaterialet, och i många fall observationsperiodens längd, utökas. Detta gäller även för torvmark i Sverige där nya försök krävs om ambitionen är att ta fram prognosfunktioner för tillväxtrespons av asktillförsel på dränerad torvmark.

Summary

After the harvesting of forest residues, it is recommended that wood ash should be returned to the forest. The results from this study indicates that, on most mineral soils, the addition of wood ash has no or a very small effect on tree growth. However, adding the wood ash on organic soils have a big potential in increasing forest production.

The increased use of biofuels derived from forests, especially harvesting logging residues, increases nutrient export and soil acidification. The increased removal of biomass and nutrients often involves a reduction in forest growth, most probably resulting from a decrease in plant-available nitrogen (N). The use of forest fuels is also generating great quantities of wood ash. A common understanding is that this ash should be spread in forests to counteract soil acidification and potential future nutrient deficiencies, and thus help sustain long-term forest productivity.

A series of ten field experiments was established in Sweden in 1995-2011 on mineral soils, together with one experiment on organic soil, with the objective to study the effects on tree growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) after additions of wood ash of different origins and in different doses as well as combinations of both wood ash and nitrogen. The experiments were, with one exception, established as randomised block experiments with three to six replicates, and distributed among sites with a wide range of climatic conditions and site fertility classes. All growth measurements were typically performed in a circular area at the centre of each experimental plot, with a radius of 10 m. At the time of establishment, all trees were permanently numbered and measured for height and diameter. At the end of the study period (5–20 years), the measurements were repeated and the growth calculated.

At most sites on mineral soils, the stem growth responses to additions of wood ash only were insignificant. However, on the most fertile site, there was a significant growth increase after wood ash addition. On the least fertile site, there was a tendency of a growth decrease. According to regression analyses there were significant ($p < 0.05$) correlations between the relative growth effects after wood ash addition and the two tested site-descriptive variables (C/N in the organic layer and site quality class). Increased growth on mineral soil was also found when N was added, either alone or in combination with wood ash.

At the experimental site with Scots pine on organic soil the addition of wood ash substantially increased tree growth. Based on former knowledge it is likely that this growth response will have a long duration, most probably for several decades. Hence, there is a potential for increased tree growth of ash addition in forests on drained peatlands where plant-available N is not the primarily growth limiting nutrient.

In order to be able to draw more accurate conclusions regarding possible effects on tree growth on varying site types after wood ash additions, the amount of empirical data needs to be extended, both in terms of number of experiments and lengths of observation periods.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Beskrivning av forskningsområdet	10
1.3	Mål och målgrupp	11
2	Material och metoder	12
2.1	Lokalbeskrivning och försöksdesign	12
2.2	Tillväxtrevision	17
2.3	Statistisk bearbetning	17
3	Resultat	19
3.1	Fastmarksförsöken	19
3.1.1	Samband mellan tillväxteffekt och ståndortsfaktorer	19
3.2	Torvmarksförsöket	19
4	Diskussion	23
4.1	Fastmarksförsöken	23
4.2	Torvmarksförsöket	24
5	Slutsatser	26
6	Förslag till fortsatt forskningsarbete	27
7	Erkännanden	28
8	Litteraturreferenser	29

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

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 idag en vanligt förekommande skoglig åtgärd som utförs på mer än 50 % av arealen som årligen föryngringsavverkas i Sverige. Biobränslen, bl.a. i form av avverkningsrester (GROT, grenar och toppar), utgör redan nu en viktig del av den svenska energiförsörjningen. Ett ökat uttag av biomassa innebär också ett ökat uttag av näringsämnen från skogen jämfört med ett uttag av endast stamved. Dessa så kallade helträdsuttag, med uttag av avverkningsrester, leder därför oftast till framtida tillväxtförluster (e.g. Helmisaari m.fl. 2011, Thiffault m.fl. 2011, Jacobson m.fl. 2016). I syfte att motverka markförurning och framtida näringsbrister, för att därigenom säkerställa en långsiktigt uthållig produktionsförmåga i våra skogar, är Skogsstyrelsens rekommendation att vedaska bör återförs till skogsmarken efter GROT-uttag (Skogsstyrelsen, 2008). Ett tidigare angivet skogligt sektorsmål angav att på sikt ska den areal som erhåller aska vara minst lika stor som den där GROT skördas.

Huvudsyftet med att återföra aska till skoglig fastmark¹ anses vara att motverka en långsiktig utarmning av markens näringsförråd (exv. Skogsstyrelsen 2008) och inte att åstadkomma en ökning av skogstillväxten på kort sikt. Tillförsel av aska till såväl fast- som torvmark² kan dock påverka skogsproduktionen. Hittills redovisade data visar att tillväxteffekten efter askåterföring på fastmark oftast är relativt liten och inte statistiskt påvisbar i enskilda försök (Jacobson 2001, Jacobson 2003, Jacobson m.fl. 2014, Saarsalmi m.fl. 2004, 2005). Tillgängliga resultat antyder att det på kort sikt finns en tendens till ökad tillväxt (0–10 %) på bördiga fastmarker och oförändrad eller något minskad tillväxt (0–10 %) på intermediära och svaga fastmarker, efter tillförsel av såväl lös som stabiliserad aska (Jacobson 2003). Den mest sannolika förklaringen till båda dessa tillväxtförändringar är förändrad tillgång på växttillgängligt kväve (N) (Persson m.fl. 1991). En minskad tillväxt kan dock motverkas med kväve (N)-tillförsel (Jacobson 2000, 2001).

Kvoten mellan kol och kväve (C/N) i humusen har föreslagits som ett mått för att bedöma om en pH-höjning i marken kommer att medföra en ökad eller minskad nettomineralisering av N. Tillförsel av kalk påverkar N-omsättningen i marken (Persson m.fl. 1989, Arnold m.fl. 1994, Huber m.fl. 2006). Enligt en grov tumregel, baserad på erfarenheter från skogskalkningsförsök, sker en ökad nettomineralisering efter tillförsel av ett pH-höjande medel om C/N i humusen är lägre än 30 (Persson 1988; Persson & Wirén 1996). En ökad skogsproduktion kan således troligen förväntas på fastmarker med C/N <30 (de bördiga fastmarkerna) och en minskning på fastmarkerna med C/N >30 (de svaga fastmarkerna). Podsolen är Sveriges helt dominerande jordmånstyp. Man kan därför anta att huvuddelen av en eventuell asktillförsel kommer att ske på denna jordmånstyp. Enligt data från det andra omdrevet i Ståndortskarteringen har ca 75 % av landets

¹ Fastmark; mineraljord eller håll inom 30 cm:s djup från markytan.

² Torvmark; det organiska materialets (torvens) tjocklek överstiger 30 cm.

podsoler en C/N i humusen på över 30 (Jacobson 1997). Om en eventuell asktillförsel fördelar sig jämnt över landet är det därför rimligt att anta att huvuddelen av den areal som kommer att behandlas kommer att få en något minskad skogstillväxt. Detta blir än mer uttalat för norrländska förhållanden.

I några försök har man studerat asktillförsel i kombination med N-gödsling. Enbart N-gödsling ger oftast en ökad trädstillväxt på fastmark (Pettersson 1994a, Jacobson 2001). Frågan är om en kombinerad tillförsel av aska och N påverkar tillväxteffekten av kvävet. Det finns exempel på att samtidig spridning av aska och N gett en sämre tillväxteffekt än enbart N (Pettersson 1990, Jacobson 2003). I ett försök blev tillväxtökningen större om askan tillfördes ett halvår efter N-gödslingen, jämfört med om askan tillfördes samtidigt med N (Jacobson 2003). En trolig förklaring till en reducerad tillväxteffekt vid samtidig spridning är att askan orsakat en förlust av N genom ammoniakavgång. Vid högt pH kan ammonium-N i gödselmedlet omvandlas till ammoniak. Men, det finns även exempel på att N-gödslingen gett förväntad effekt vid samtidig tillförsel (Jacobson 2003, Jacobson m.fl. 2014). Det finns också data från ett finskt försök som har antytt att aska och N i kombination kan ge en något bättre tillväxteffekt än enbart N (Saarsalmi m.fl. 2006). Dessa varierande resultat visar på behovet av att bättre utreda frågan om effekten av tillförsel av både N och aska efter skogsbränsleuttag

På organogena jordar (torvmark) är det till skillnad från fastmark oftast inte N som är tillväxtbegränsande utan fosfor (P) och kalium (K) (se Sikström m.fl. 2006). Genom att nyttja aska från skogsbränslen (innehåller bl.a. P och K) finns det en potential att öka skogsproduktionen på torvmark. Ett flertal studier har visat att trädstillväxten som regel ökar efter tillförsel av aska på torvmark (Silfverberg 1996, Moilanen m.fl. 2005, Hökkä m.fl. 2012). Några förutsättningar är att torvmarken är tillfredsställande dränerad och att tillgången på växttillgängligt N är tillräcklig (Silfverberg 1996).

1.2 BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET

Om Skogsstyrelsens rekommendationer uppfylls kommer askåterföring till skogsmark att bli en omfattande åtgärd. Därför är det angeläget och nödvändigt att få ett bättre och mer heltäckande kunskapsunderlag om askåterföringens långsiktiga effekter på skogsproduktionen.

Försöksunderlaget till att fastställa den viktiga frågan kring askåterföringens eventuella effekter på trädens tillväxt måste fortfarande betecknas som mycket bristfälligt. Sedan mitten av 1990-talet och framåt har Skogforsk löpande anlagt nya försök som i viss mån har förbättrat underlaget. Dessa försök har fortlöpande reviderats och skall enligt planen revideras med fasta intervall. Inom ramen för detta projekt har elva utav dessa försök tillväxtreviderats under perioden 2014–2016. I fyra av dem ingick även försöksled med N-tillförsel, som enskild behandling och i kombination med aska. Resultat från dylika kombinerade behandlingar efterfrågas av skogsbruket, framförallt i norra Sverige.

1.3 MÅL OCH MÅLGRUPP

Målet med projektet är att ge askavvärmare och skogsbruket ett bättre underlag för att kunna bedöma effekterna av en askåterföring på trädens tillväxt i barrskog.

De hypoteser som testas, i enlighet med tidigare erfarenheter, är att tillförsel av aska på skoglig fastmark leder till (1) minskad stamtillväxt på lågproduktiv mark (hög C/N i humus), (2) oförändrad stamtillväxt på medelproduktiv mark, medan (3) stamtillväxten ökar på bördig skogsmark (låg C/N). Dessutom testas hypotesen att (4) tillväxteffekten av aska + N är mer uthållig än N enbart. Vidare testas hypotesen (5) att trädttillväxten ökar efter askttillförsel på dikad torvmark.



Figur 1. Försökslokalen 273 Anderstorp i september 2005.

2 Material och metoder

2.1 LOKALBESKRIVNING OCH FÖRSÖKSDESIGN

Under 1995 anlades och behandlades två tallförsök, 250 Riddarhyttan och 251 Älvsbyn (tabell 1). I försöket i Riddarhyttan testades tre olika doser av krossaska (3, 6 och 9 ton ha⁻¹) samt en pelleterad aska (3 ton ha⁻¹). I dessa försök finns även försöksled med enbart kväve (150 kg N ha⁻¹) samt kombinationen av aska+N. Utförlig beskrivning av dessa försök, använda askprodukter, samt tillväxtresultat efter fem år, återfinns i Jacobson & Gustafsson (2001), Ring m.fl. (2002) samt Jacobson m.fl. (2004, 2014).

Under 1999 anlades och behandlades ett tallförsök i Småland, 261 Skillingaryd (tabell 1). Provade askor (3 ton ha⁻¹) i detta försök är: i) valspelleterad aska från Frövi bruk, ii) krossaska från Frövi bruk samt iii) krossaska från Ljungby. I detta försök finns även försöksled med enbart kväve (150 kg N ha⁻¹) samt kombinerade aska+N-behandlingar. Försöken behandlades i augusti 1999. En allmän beskrivning av använda askor i dessa försök samt askornas lakningsegenskaper är redovisade av Lövgren m.fl. (2000).

Två granförsök anlades 1999 i södra Dalarna (262 Svartnäs) respektive Hälsingland (264 Öjung) (tabell 1). Provad aska i dessa försök var en valspelleterad aska (3 ton ha⁻¹) från Fors (Stora Enso). I försöket 262 Svartnäs finns även ett försöksled med kväve (150 kg N ha⁻¹). Försöken behandlades i juni 2000.

Plantförsöket 275 Ängsarvet anlades under 2003 på ett nyupptaget hygge (fröträdsställning), ca fem mil norr om Uppsala (tabell 1). Tillförd krossaska (3 ton ha⁻¹) koncentrerades till markberedda fåror (harv). Studerade tallplantor planterades i samband med försöksanläggning efter asktillförseln.

I samarbete med Mittuniversitetet anlades ett askförsök i en relativt bördig tallslutning strax utanför Bispgården i Jämtland (tabell 1). I detta försök spreds i september 2004 en krossaska (3 ton ha⁻¹) från sågverket Jämtlamell i Stugun.

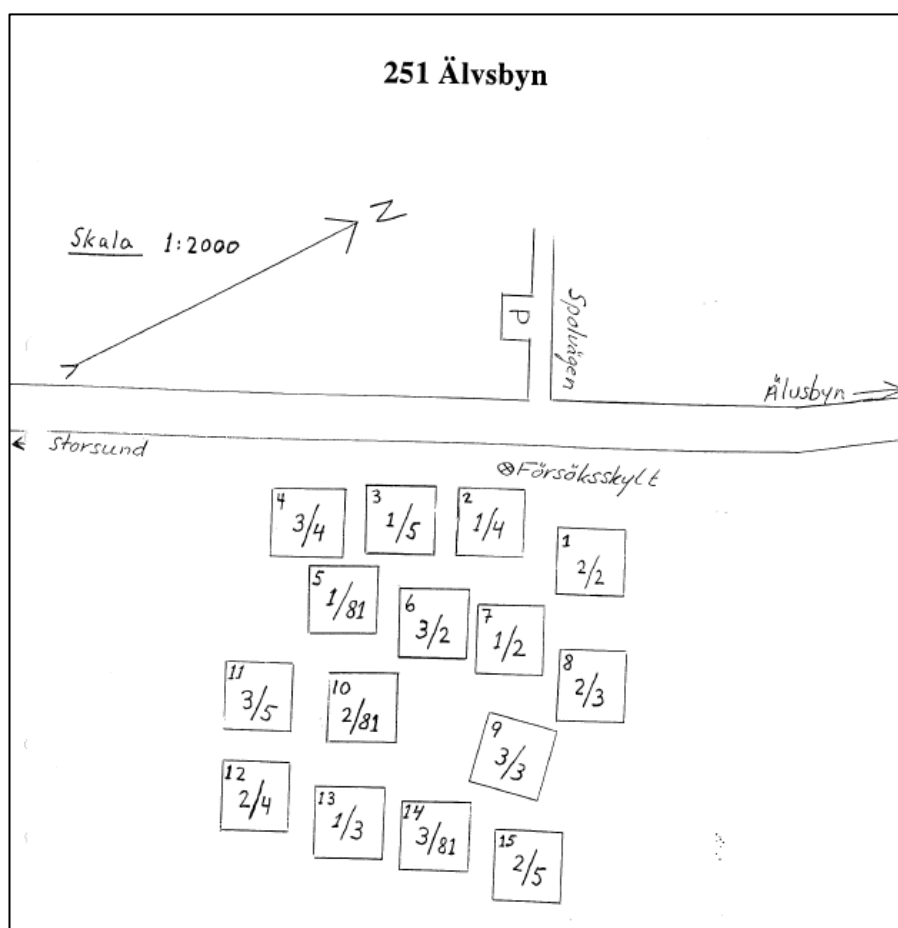
Under 2006 anlades två försök i Västernorrland. Försöket 280 Björna är förlagt till en bördig granslutning och 279 Skorped ligger i ett högproducerande contortabestånd (tabell 1). Askan (2,8 ton krossaska ha⁻¹) som spreds i början av augusti 2006, kommer från Ljungbyverket i Ljungby (Sydkraft Värme Syd AB).

Försöket 290 Bala anlades 2011 på en bördig granlokal i södra Halland (tabell 1). I samband med försöksanläggningen gjordes en kontrollerad första gallring i beståndet, med samma gallringsstyrkor på alla behandlingar inom ett block. Askan som användes var en krossaska från Växjö Energi AB:s värmeverk i Växjö. I försöket ingår även försöksled med enbart kväve (150 kg N ha⁻¹) samt kombinerade aska+N behandlingar. Kvävet tillfördes under augusti 2011 och askan i november samma år. För detaljerad beskrivning se Sikström m.fl. (2012).

Torvmarksförsöket 273 Anderstorp anlades 2003 på en lågproduktiv tallmosse av ristyp (tabell 1). Fältskiktet dominerades av blåbär, lingon och tuvull. Enligt markägaren gallrades och nydikades försöksområdet under slutet av 1980-talet. Cirka 1 m djupa diken grävdes med ett avstånd på 17–28 m mellan diken. I

försöket ingår fem olika behandlingar. Blockindelningen grundades på okulär bedömning av olika fältskiktsarter och deras täckning, ytornas belägenhet inom mossen samt trädens grundyta (1,3 m över marken) och antal på nettoytorna. I försöket testades två askdoser (3,3 respektive 6,6 ton ha⁻¹) både som krossaska och i en slags "granulerad" form. De två askprodukterna hade samma ursprung - Ljungbyverket i Ljungby (Sydkraft Värme Syd AB). För detaljerad beskrivning se Sikström m.fl. (2006, 2009, 2012).

Samtliga försök är anlagda som parcellförsök med upprepningar i randomiserade block, förutom försöket 275 Ängsarvet som är fullständigt randomiserat. Provytornas storlek är 30 m × 30 m (jmf. Figur 2), förutom i plantförsöket 275 Ängsarvet och i torvmarksförsöket 273 Anderstorp. I Ängsarvet består försöket av 10 m långa plantrader i harvspår. I Anderstorp är provytorna rektangulära och ligger på dikestegarna mellan två diken. Avståndet mellan två tegdiken varierade (17–28 m). För att erhålla en konstant provytestorlek (680 m²) så blev provytornas längd och form därför varierande.



Figur 2. Handritad försökskarta. Exempel på hur ett parcellförsök med upprepningar i randomiserade block kan se ut. Beteckningen x/y anger block (x) och behandling (y).

De i försöken använda askprodukternas innehåll av olika ämnen redovisas i tabell 2. Dessa värden kan jämföras med de av Skogsstyrelsen rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark (tabell 2). Kvävet tillfördes i form av kalkammonsalpeter (27,5 % N, 4 % Ca, 1 % Mg) i samtliga försök där sådana behandlingar ingick i försöksdesignen. Motivet till att granulera eller pelletera askorna är dels att få en mer långsam upplösning av produkten i skogen, men också att få en produkt som är enklare att hantera vid transport och spridning samt ge en bättre spridningsjämnhet. I de pellets som testades i försöket 250 Riddarhyttan tillsattes 8–10 % tallolja som bindemedel vid pelleteringen. Trots den höga halten oförbränt material i askan blev pelletsen relativt hårda och lätthanterliga samt tåliga mot väta. Vid tillverkningen av pelletsen från Frövi och Fors (se tabell 2) tillsattes inga bindemedel. Dessa produkter föll sönder vid hanteringen och var vid spridningstillfället snarlika krossaska vad gäller partikelstorlekar och hårdhet. Vid granuleringen av askgranulerna som testades i torvmarksförsöket 273 Anderstorp tillsattes ca 10 % lera.

Vid behandlingen delades varje provyta in i mindre delytor, inom vilka handspridning av askor respektive N-gödselmedel utfördes med noggrant uppvägd mängd och med stora krav på jämnhet i spridningen. Testade behandlingar i de olika försöken redovisas i tabell 4. Antalet upprepningar av varje behandling i respektive försök återfinns i tabell 1.

Tabell 1. Ståndorts- och beståndsdata vid tidpunkt för anläggning i de olika försöken

	Granförsök				Tallförsök						
	262 Svartnäs	264 Öjung	280 Björna	290 Bala	250 Riddarhyttan	251 Älvsbyn	261 Skillingaryd	275 Ängsarvet	276 Fanberget	279 Skorped	273 Anderstorp
Latitud	60° 57'	61° 40'	63° 62'	56° 41'	59° 48'	64° 12'	57° 23'	60° 22'	63° 35'	63° 45'	57° 15'
Longitud	16° 04'	15° 26'	18° 41'	13° 06'	15° 30'	19° 28'	13° 59'	17° 26'	16° 41'	17° 50'	13° 35'
Höjd över havet (m)	415	410	360	100	135	155	180	50	290	325	150
Ståndortsindex ¹ (H100, m)	G26	G26	G26	G37	T25	T21	T25	T25	T24	T31, C24 (H50)	ca T15
Bonitet ² (m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹)	7,0	7,0	6,3	14,6	6,3	4,7	6,3	6,3	5,2	8,7	2,7
Ålder, total (år)	25	25	25	25	50	60	40, 55	0	50	20	110
Stamantal (n ha ⁻¹)	2100	1800	2000	1600	1100	1050	1000	2500	1300	2200	800
Virkesförråd (m ³ sk ha ⁻¹)	40	65	60	156	170	160	150	-	160	100	110
Vegetationstyp	blåbär	blåbär- gräs	blåbär	utan fältskikt	blåbär	blåbär	blåbär	lingon	blåbär	blåbär	"ristyp"
C:N-kvot i humus/torv	30	32	28	26	32	44	32	31 *	36	35	34 / 42 ³
Jordart-textur	sa-mo morän	sa-mo morän	sa-mo morän	sa-mo morän	mellan- sand	sa-mo morän	mellan- sand	mellan-sand	mellan-sand	sa-mo morän	torv
Antal upprepningar (block)	5	4	6	5	3	3	4	14	6	5	4
Startår	2000	2000	2006	2012	1996	1996	2000	2003	2004	2006	2004
Effektperiod, antal år	15	15	10	5	20	20	15	13	10	10	13

¹ Ståndortsindex ger ett mått på markens produktionsförmåga. Anger den höjd i meter som de grävsta träden antas kunna uppnå vid 100 års ålder. För *Pinus contorta* (279 Skorped) anges ibland H50, dvs höjden vid 50 års ålder.

² En ståndorts naturgivna virkesproducerande förmåga uttryckt som m³sk per ha och år, och avser medeltillväxten vid dess kulmination för ett bestånd som anlagts och skötts så att högsta volymproduktion erhållits.

³ Första värdet 0–5 cm och andra värdet 20–30 cm ner i torven.

Tabell 2. De använda askprodukternas innehåll av olika ämnen. Analyserna utförda av SGAB Analys i Luleå.

Asktyp	Frövi- pellets	Frövi- kross	Ljungby- kross 1	Fors- pellets	Piteå- kross	Ortviken- pellets	Ljungby- kross 2	Stugun - kross	Ljungby – kross 3	Ljungby – kross 4	Ljungby – granul	Växjö Energi	Rekommendation SKS ^a
Försök	261	261	261	262, 264	250, 251	250	275	276	279, 280	273	273	290	
TS	91,9	77,6	84,8	73,6	73,7	86,1	63,0	51,0	62,6	63,0	72,0	73,4	
LOI	8,3	9,9	9,1	20,9	8,7	33,6	27,0	30,8	34,9	27,0	17,0	7,1	
% TS													
Si	18,7	18,3	18,5	11,7	5,6	9,4	11,0	9,7	5,8	11,0	19,4	22,9	
Al	8,3	7,9	8,1	8,7	1,9	3,1	2,1	3,0	2,3	2,1	3,8	3,4	
Ca	13,0	13,0	13,0	16,8	13,7	15,2	22,0	20,5	22,0	22,0	14,0	12,4	Min. 12,5
Fe	1,7	1,6	1,7	1,3	1,1	2,1	1,0	1,3	0,8	1,0	1,4	3,3	
K	3,1	2,8	2,9	1,7	6,4	3,5	2,3	3,1	3,4	2,3	2,7	3,8	Min. 3,0
Mg	1,4	1,4	1,4	0,9	1,4	1,4	2,4	1,6	2,5	2,4	1,6	1,4	Min. 1,5
Mn	0,5	0,5	0,5	0,4	0,8	1,0	0,8	1,2	1,1	0,8	0,5	1,0	
Na	1,5	1,5	1,5	1,0	10,8	1,1	0,8	0,6	0,6	0,8	1,4	1,0	
P	0,8	0,8	0,8	0,4	0,8	0,8	0,6	1,0	1,4	0,6	0,4	0,9	Min. 0,7
Ti	1,4	1,3	1,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	
mg/kg TS													
As	<48	<48	<48	19	9,3	15,2	<3	<3	<10	<3	<3	4	Max. 30
Cd	7	8	7	4	12	9	7	4	13	7	4	9	Max. 30
Co	14	16	15	18	15	21	7	6	7	7	7	10	Max. 14
Cr	154	209	182	78	56	54	71	40	69	71	100	73	Max. 100
Cu	71	68	69	188	108	104	82	64	81	82	56	95	Max. 400
Hg	0,13	0,15	<0,10	0,21	0,28	0,87	0,26	0,03	0,08	0,26	0,11	0,36	Max. 3
Mo	16,4	<6	<6	5,4	7,7	<6	<6	<6	<6	<6	<6	7,1	
Ni	78	100	89	42	114	39	20	24	19	20	16	27	Max. 70
Pb	56	63	59	96	108	70	59	9	21	59	40	67	Max. 300
V	67	57	62	41	76	37	22	19	18	22	30	44	Max. 70
Zn	1050	1160	1105	1057	3360	3990	950	831	1740	950	633	2070	Min. 500; Max. 7000

^a Skogsstyrelsens rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen, 2008).

2.2 TILLVÄXTREVISION

I parcellförsöken utfördes alla mätningar av tillväxt på träden inom en nettoyta, oftast i form av cirkelytor med radien 10,0 m (314 m²) i centrum av en provyta (bruttoyta). Denna metodik används för att undvika kanteffekter från obehandlad areal utanför provytan. I torvmarksförsöket 273 Anderstorp utfördes tillväxtmätningarna inom rektangulära nettoytor med en storlek av 400 m².

Alla träd på nettoytan med en diameter >5 cm i brösthöjd (1,3 m över marken) nummerades permanent vid försöksanläggning. Före behandling korsklavades (diametermätning i brösthöjd) och höjdmättes samtliga dessa träd. Vid återkommande tillväxtrevisioner upprepas dessa mätningar. Vid tidigare revisioner i fem av de ingående försöken (250 Riddarhyttan, 251 Älvsbyn, 261 Skillingaryd, 273 Anderstorp och 276 Fanberget) togs dessutom borrhävar från alla träd för mätning av årsringarnas tillväxt under mikroskop. Med hjälp av dessa mätningar kunde försökens tillväxt före behandling skattas. Dessa tidigare insamlade data nyttjades i den statistiska analysen (se nedan). Trädens stamvolym (m³sk³) beräknades med Näslunds (1947) funktioner med hjälp av uppmätt diameter och höjd.

Merparten av studerade försök har gallrats under observationsperioden (5–20 år). Vid gallring görs uttagsstyrkan lika stor i samtliga behandlingar inom ett block. I försöken 262 Svartnäs och 280 Björna har det även förekommit trädavgångar i form av snöbrott. För att jämföra ut virkesförråd och eventuella gallringsreaktioner gjordes därvid samma uttag i alla behandlingar inom block. Utgallrade volymer är inkluderade vid beräkningen av totala tillväxteffekter.

2.3 STATISTISK BEARBETNING

Resultaten bearbetades försöksvis statistiskt i en linjär modell med hjälp av statistik-paketet SAS/STAT, procedur GLM i SAS/STAT® software version 9.3 TS Level 1M3 (<http://www.sas.com>). Eventuella skillnader mellan ytor före behandling korrigerades för medelst kovariansanalys. Testade kovariat var; grundyta och volym före behandling, stamantal samt grundyte- och volymtillväxt fem år före behandling. Kovariaten inkluderades i modellerna om dess *p*-värde var <0,20.

Vid testen av skillnader mellan medeltalen för de olika blocken och behandlingarna nyttjades LSD-test (least significant difference). Tukey's test för multipla jämförelser användes i de fall försöken innehöll mer än två olika behandlingar.

Medelst regressionsanalys analyserades eventuella tillväxteffekter i fastmarksförsöken och deras samband mot markens C/N-kvot (humuslagret) samt ståndortens bördighet (uttryckt som bonitet⁴). I dessa analyser användes relativ

³ Skogskubikmeter, trädens hela stamvolym ovanför normal stubbhöjd inkl. topp och bark men exkl. grenar, stubbar och rötter.

⁴ En ståndorts naturgivna virkesproducerande förmåga uttryckt som m³sk per ha och år, och avser medeltillväxten vid dess kulmination för ett bestånd som anlagts och sköts så att högsta volymproduktion erhållits.

volymtillväxteffekt (tillväxt relativt obehandlad kontroll) som beroende variabel, ett värde per försökslokal. I försök med flera askbehandlingar användes medelvärdet från samtliga i försöket förekommande askbehandlingar.



Figur 3. Askspridning i tallförsöket 250 Riddarhyttan.

3 Resultat

3.1 FASTMARKSFÖRSÖKEN

Effekten av asktillförsel på trädens stamtillväxt var liten i merparten av försöken anlagda på fastmark. Statistiskt signifikanta ($p < 0,05$) effekter erhöles endast i det bördiga granförsöket 290 Bala (tabell 3). I detta försök ökade den årliga volymtillväxten med $3,9 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ under de först fem åren efter tillförsel av 3 ton krossaska, motsvarande en ökning med 19 %. I det minst produktiva beståndet i försöket 251 Älvsbyn fanns en tendens till minskad tillväxt ($0,6 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$; $p = 0,14$) i det askbehandlade försöksledet, vilket i detta försök motsvarade en tillväxtminskning med 13 %. I övriga försök fanns inga tydliga tendenser på tillväxteffekter åt något håll i studerade rena askbehandlingar. Resultaten för samtliga försök och samtliga behandlingar redovisas i tabell 3.

De mest markerade tillväxteffekterna i fastmarksförsöken erhöles i de försöksled där N tillförts, antingen som separat behandling eller i kombination med aska. Statistiskt signifikanta ($p < 0,05$) tillväxtökningar av enbart N erhöles i två försök (290 Bala, 250 Riddarhyttan) och av kombinationen aska+N i tre försök (290 Bala, 250 Riddarhyttan och 251 Älvsbyn) (tabell 3). I det högproduktiva granförsöket 290 Bala gav kombination aska+N dessutom en signifikant högre tillväxt jämfört med de renodlade försöksleden med aska eller N. I de tre ytterligare försök där denna jämförelse var möjlig, kunde inte någon skillnad påvisas i tillväxteffekt mellan renodlad N-tillförsel och kombinerad tillförsel av aska+N. Det fanns inte heller någon skillnad i tillväxteffekt mellan samtidig tillförsel av aska och kväve och tillförsel av de två produkterna vid skilda tillfällen (250 Riddarhyttan och 251 Älvsbyn, tabell 3).

3.1.1 Samband mellan tillväxteffekt och ståndortsfaktorer

Enligt de linjära regressionsanalyserna fanns det signifikanta ($p < 0,05$) samband mellan de relativa tillväxteffekterna av asktillförsel och de två testade beskrivande ståndortsfaktorerna (C/N i humus och bonitet; figur 5-6). Förklaringsgraderna (R^2) var till synes tillfredsställande (0,63 respektive 0,68). Om man i samma analys exkluderar de på bördighetsskalan mest extrema lokalerna (290 Bala och 251 Älvsbyn) sjunker förklaringsgraderna till 0,13 respektive 0,17, och sambanden är då heller ej signifikanta ($p > 0,30$). Den genomsnittliga relativa tillväxten efter asktillförsel i dessa återstående åtta försök skulle då bli 100 %.

3.2 TORVMARKSFÖRSÖKET

I medeltal för alla fyra försöksleden med aska var den årliga tillväxten av stamvolym $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (36 %) högre än i kontrollen under de 13 åren efter asktillförseln. Det motsvarade en total tillväxtökning på $20,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. För enskilda försöksled med aska var tillväxtökningen mellan $1,3$ och $1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (30–41 %; $16,9$ – $23,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Tabell 3). Samtliga redovisade skillnader ovan var statistiskt signifikanta ($p < 0,05$).

Den låga askgivan gav en tillväxtökning på $1,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (+32 %) och den höga givan en ökning på $1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (+41 %). Även dessa skillnader var statistiskt säkerställda ($p < 0,05$). Det fanns även en tendens till att tillväxtökningen var större för den höga givan än för den låga, $+0,43 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (+10 %; $p = 0,11$). Det var ingen påvisbar skillnad i volymtillväxt mellan de två testade askprodukterna (krossaska och "granulerad" aska).



Figur 4. Försöket 290 Bala, som gallrades i samband med försöksanläggning år 2011.

Tabell 3. Årlig volymtillväxt^a i absoluta (m³sk ha⁻¹) och relativa (procent av obehandlad kontroll; inom parentes) tal för de olika behandlingarna i de elva försöken. Värden i samma kolumn markerade med olika bokstäver är statistiskt signifikant ($p < 0,05$) skilda.

	Granförsök				Tallförsök						
	262 Svartnäs	264 Öjung	280 Björna	290 Bala	250 Riddarhyttan	251 Älvsbyn	261 Skillingaryd	275 Ängsarvet ^a	276 Fanberget	279 Skorped ^b	273 Anderstorp
<i>p</i> -värde, behandling	0,57	0,69	0,64	0,01	<0,01	0,02	0,07	0,29	0,30	0,60	0,002
Kontroll	6,1 (100)	9,7 (100)	7,5 (100)	20,8 a (100)	6,9 a (100)	4,8 ab (100)	6,4 (100)	1,7 (100)	8,0 (100)	11,7 (100)	4,4 a (100)
3 ton aska	6,0 (98)	10,1 (104)	7,7 (103)	24,7 b (119)	7,2 a (104)	4,2 a (87)	7,3 (113)	1,6 (95)	7,5 (91)	11,9 (102)	5,9 b (134)
3 ton aska ^c	-	-	-	-	7,0 a (102)	-	6,5 (101)	-	-	-	5,7 b (130)
6 ton aska	-	-	-	-	7,2 a (104)	-	-	-	-	-	6,2 b (141)
6 ton aska ^c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2 b (141)
9 ton aska	-	-	-	-	7,0 a (101)	-	-	-	-	-	-
150 kg N	6,9 (113)	-	-	23,4 b (113)	7,9 b (115)	5,6 ab (116)	7,4 (115)	-	-	-	-
3 ton aska +150 kg N ^d	-	-	-	-	8,4 b (122)	6,1 b (126)	7,7 (121)	-	-	-	-
3 ton aska +150 kg N ^e	-	-	-	27,6 c (133)	8,0 b (116)	6,1 b (126)	-	-	-	-	-
kontraster ^f	-	-	-	-	0,2 (103;0,83)	-	0,5 (107;0,32)	-	-	-	1,6 (136;0,002)

^a i försöket 275 Ängsarvet redovisas årlig volymtillväxt (dm³) per stam.

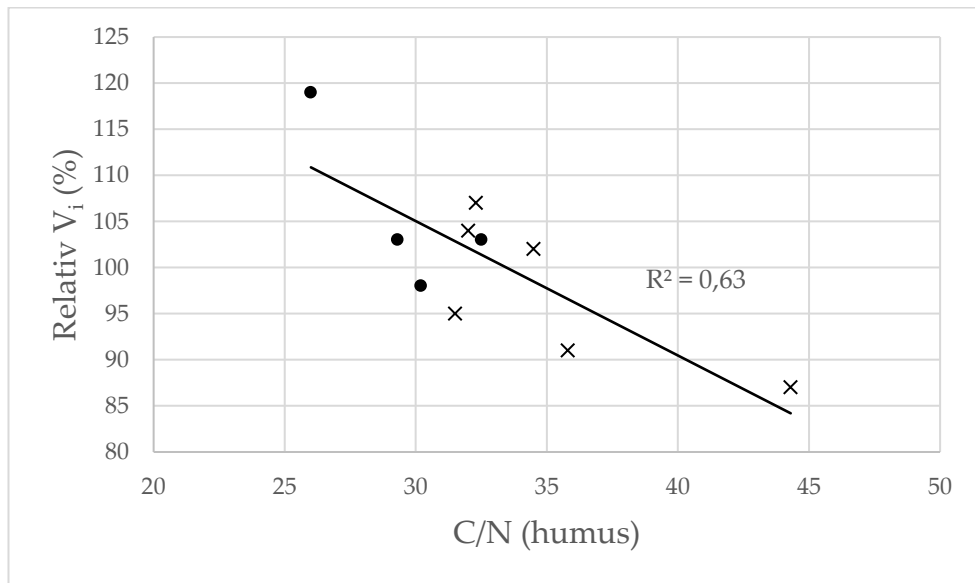
^b contortabestånd.

^c pelleterad aska; i försök 273 en slags "granulerad" aska (se Sikström m.fl. 2006).

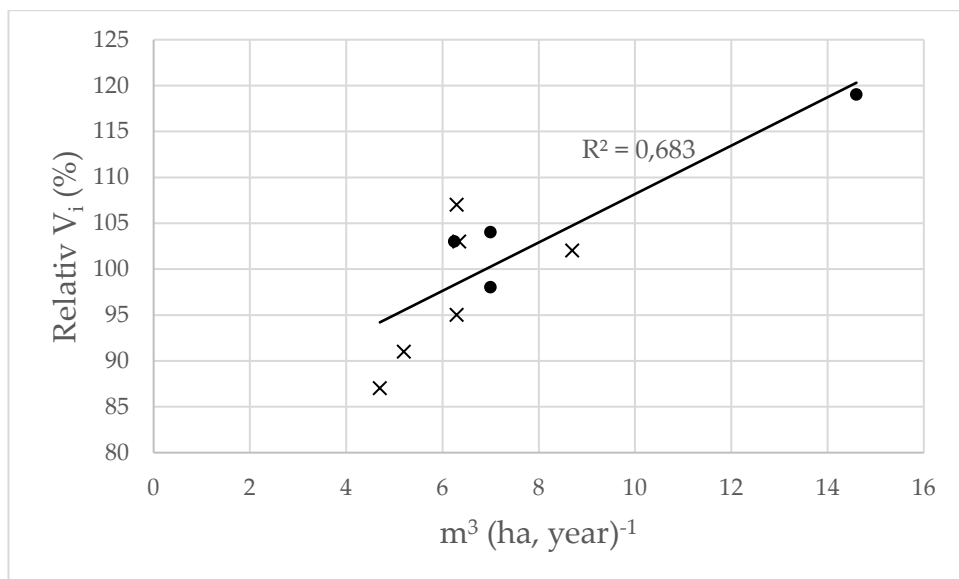
^d samtidig spridning.

^e askan spreds minst 1 månad efter kvävet.

^f alla askbehandlingar inom försöket jämfört med kontroll. Skillnad i volymtillväxt. Relativ effekt (%) samt *p*-värde inom parentes.



Figur 5. Samband mellan C/N i humusen och relativ effekt på volymtillväxten efter tillförsel av aska i de tio försöken på fastmark. X = tallförsök; • = granförsök.



Figur 6. Samband mellan bonitet och relativ effekt på volymtillväxten efter tillförsel av aska i de tio försöken på fastmark. X = tallförsök; • = granförsök.

4 Diskussion

4.1 FASTMARKSFÖRSÖKEN

Resultaten från de enskilda försöken visade att tillförsel av aska på fastmark i de flesta fall inte resulterade i tydliga förändringar av trädens stamtillväxt. Samtidigt visade resultaten på att asktillförsel kan leda till ökad stamtillväxt på bördiga marker och tendens till minskad tillväxt på mindre bördiga, kvävefattiga, ståndorter. Sammantaget var således dessa resultat i enlighet med de uppställda hypoteserna 1–3. I Bala ökade den löpande tillväxten med nästan 4 m³sk per år, och därmed ca 20 m³sk totalt under den studerade 5-årsperioden. En viktig fråga för framtiden är att utröna varaktigheten av dessa effekter på tillväxten i Bala. Den antydda tillväxtförlusten i det nordliga tallförsöket i Älvsbyn uppgick till 0,6 m³sk per år, vilket skulle kunna betyda en genererad tillväxtförlust om totalt 12 m³sk under de 20 år som gått efter tillförseln av aska. I detta sammanhang bör man ha i minne att små tillväxtförändringar uttryckta i relativa tal kan få stora effekter på möjliga avverkningsnivåer, regionalt och nationellt, om man skalar upp arealerna.

Det faktum att man på den mycket bördiga marken i Bala fick fullgoda effekter av tillfört N, motsvarande en praktisk skogsmarksgödsling, är anmärkningsvärt. Med ståndortsindex G37 ligger det högt över rekommenderad övre gräns (G30) för traditionell N-gödsling. Denna N-effekt i detta försök ger även stöd åt hypotesen att tillförseln av aska kan påverka tillgången på oorganiskt N, och att tillväxteffekten i de rena askleden därigenom är en indirekt N-effekt. I Bala erhöles även en additiv effekt på volymtillväxten i den kombinerade behandlingen med aska+N. Huruvida även detta är en ren N-effekt är svårt att uttala sig om. På denna bördiga mark är det fullt realistiskt att något annat näringsämne, exempelvis fosfor (P), kan bli begränsande för tillväxten, speciellt i samband med en N-gödsling. Vi har som ambition att framöver följa beståndets näringsstatus i de olika försöksleden, bland annat medelst barranalys. 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).

Försöksmaterialet för att utvärdera tillväxteffekter av asktillförsel är fortfarande litet och hittills studerade observationsperioder behöver utökas i flera av de befintliga försöken. Skillnader i askornas sammansättning och löslighet, askdos samt skillnader i observationsperiodens längd mellan de olika försöken försvårar tolkningen av resultaten. Detta oaktat, är tendenserna i detta material konsistenta med tidigare resultat från askförsök (Jacobson 2001, 2003, Jacobson m.fl. 2014, Saarsalmi m.fl. 2004, 2005) samt med erfarenheterna från kalkningsförsök (cf. Andersson m.fl. 1996, Sikström 2001, Sikström 2007). Trots det antropogena nedfallet tycks N fortfarande vara det primärt tillväxtbegränsade ämnet i våra svenska skogar på fastmark (Pettersson 1994a,b, Binkley & Högberg 2016). Askgödsling på bördigare mer N-rika ståndorter, såsom moder/mull-jordar, har troligen ökat nettomineraliseringen av N i markens översta horisonter, medan det på mer N-fattiga ståndorter mer sannolikt resulterat i en ökad N-immobilisering.

Sambandet mellan bonitet och relativa tillväxteffekt av aska under de första 5–20 åren i detta material var i överensstämmelse med tidigare analyser (Jacobson 1997,

2003, Jacobson m.fl. 2014). I överensstämmelse med Jacobson m.fl. (2014) påvisades i detta material liknande samband även mellan tillväxteffekt och C/N i humusen. Att göra linjära regressioner på små material kan ifrågasättas. Eliminering av en eller ett par observationer ger omedelbart utslag i form av mer osäkra samband, vilket var tydligt i denna studie. Man kan även ifrågasätta om sambanden överhuvudtaget skall göras linjära, speciellt om man beaktar att mer markerade tillväxteffekter endast noterats i ståndortsregistrets extrema ändrar. Jacobson m.fl. (2014) lanserade teorin att tillväxteffekterna har ett mer trappstegsliknande utseende, med ökad nettomineralisering av N respektive N-immobilisering i trappans ändrar samt en noll-respons däremellan. Resultaten från detta projekt stöder denna teori.

Tillväxtresultaten från försöken i Riddarhyttan, Älvsbyn och Skillingaryd avser hela observationsperiodens längd i denna studie (20, 20 respektive 15 år, tabell 3). I dessa försök var den relativa effekten av ren N-tillförsel större vid tidigare revisioner, utförda tio år efter behandling. Detta är ej förvånande då vi, enligt tidigare erfarenheter, vet att gödslingseffekten normalt ebbar ut efter 7-10 år (Pettersson 1994b).

Med undantag av resultaten i Bala, där askan i sig hade en positivt tillväxthöjande effekt, så fanns ej några tydliga positiva effekter av kombinerade behandlingar med aska+N jämfört med enbart N. Samtidigt kunde vi i detta material ej heller se några tydliga effekter till minskad N-effekt vid samtidig spridning av aska och kväve som antytts i tidigare studier (Pettersson 1990, Jacobson 2003). Risken för ammoniakbildning vid samtidig spridning av aska och N är dels mycket väderberoende, men sannolikt också till stor del beroende av tillförd askas löslighet och reaktivitet.

4.2 TORVMARKSFÖRSÖKET

Träd-tillväxten i torvmarksförsöket (273 Anderstorp) ökade påtagligt efter asktillförseln i enlighet med den uppställda hypotesen. Tillväxtökningar påvisades för de två testade doserna och för båda askprodukterna. Det finns endast några få redovisade tillväxtstudier med asktillförsel på torvmark från Sverige (exv. Sikström m.fl. 2010, Rütting m.fl. 2014), men desto fler från Finland (exv. Silfverberg 1996, Moilanen m.fl. 2004, 2005, 2015). Alla dessa studier visar som regel på påtagligt ökad tillväxt efter asktillförsel på torvmarker som inte primärt är begränsade på växttillgängligt N.

Hökkä m.fl. (2012) har utarbetat prognoser för uppskattning av tillväxtresponser efter tillförsel av P (35–45 kg ha⁻¹) och kalium (K; 60–80 kg ha⁻¹) i form av aska eller PK-gödselmedel i tallskog på dikad torvmark i Finland (51 försök). De redovisar tillväxtökningar på 1,0–2,0 m³ (ha, år)⁻¹ under en period på åtminstone 35 år. I Anderstorp var tillväxtökningen i samma storleksordning under den här redovisade 13-åriga observationsperioden. I försöket var näringstillförseln med de låga askgivorna 14–21 kg ha⁻¹ P och 76–89 kg ha⁻¹ K och således de dubbla med den höga givan. Vid denna typ av asktillförsel är det viktigt att hålla koll på tillförd mängd näring, främst i form av P och K, snarare än den totala askmängden, eftersom näringsinnehållet i askan kan variera en hel del.

En mätning i Anderstorp efter åtta år visade att det tog ca två år innan tillväxten ökade och fyra år innan den nådde den nivå som den legat på de senaste tio åren (Rütting m.fl. 2014). I försöksledet med den låga givan ($3,3 \text{ ton ha}^{-1}$) gick förloppet något långsammare och den uppnådda tillväxtnivån var något lägre än för den höga givan ($6,6 \text{ ton ha}^{-1}$), vilket avspeglade sig i en tendens till doseffekt vid den senaste mätningen (tabell 4). Baserat på prognoserna av Hökkä m.fl. (2012) kan de uppnådda tillväxtnivåerna i Anderstorp förväntas hålla i sig under lång tid framöver.

Beträffande de två testade askprodukterna gav de inga skillnader i tillväxtrespons (tabell 3). Den testade "granulerade" askan, med en tillsats av ca 10% lera, var ett mindre lyckat försök till granulering eftersom resultatet blev att granulerna föll sönder under transport och askan klumpade ihop sig, vilket gjorde den svår att sprida jämnt (se Sikström m.fl. 2006). I dagsläget i Sverige är det främst krossaska som tycks vara ett realistiskt praktiskt användbart alternativ. Enligt finska studier är askgödsling många gånger en lönsam skogsskötselåtgärd på torvmark (Väätäinen m.fl. 2011, Moilanen m.fl. 2015)

5 Slutsatser

I Sverige rekommenderar Skogsstyrelsen att askåterföring bör ske på marker där avverkningsrester tas ut i betydande omfattning någon gång under omloppstiden.

Resultaten från denna studie indikerar att tillförsel av de näringsämnen som finns i askan inte har någon nämnvärd påverkan på trädens tillväxt på de flesta fastmarkstyper i landet. På bördiga marker, antyder resultaten dock att en asktillförsel kan leda till en ökad nettomineralisering av N, och därmed, åtminstone på kort sikt, öka tillväxten och kompensera för de tillväxtförluster som normalt följer efter ett helträdsuttag. På mindre bördiga marker behöver man tillföra N för att kompensera för dessa tillväxtförluster. På mer uttalat N-fattiga marker finns en risk för minskad tillväxt efter asktillförsel. För dessa typer av marker har dock Skogsstyrelsen gjort undantag från den allmänna rekommendationen att återföra askan.

I försöket på torvmark påvisades påtaglig tillväxteffekt av tillförd aska. Baserat på tidigare erfarenhet görs bedömningen att den uppmätta tillväxtresponsen kan ha lång varaktighet, total under flera decennier. Således finns det en potential att öka skogsproduktionen med asktillförsel på dränerad torvmark där kväve inte är primärt tillväxtbegränsande.

6 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Om askåterföring till skogsmark blir en storskalig åtgärd behövs bättre och mer heltäckande kunskap om effekterna på träd tillväxt och andra miljöfaktorer. I Sverige, och även internationellt, finns det dock få fältförsök med aska på fastmark. Behovet av att utöka antalet fältförsök är därför stort. Sedan mitten av 1990-talet och framåt har Skogforsk löpande anlagt nya försök som i viss mån förbättrat underlaget, men det behövs fler försök för att kunna generalisera effekterna av askåterföring på exv. träd tillväxt. Det är viktigt att få en bättre täckning av empiriska försök över hela ståndortsregistret, dvs. på alla typer av marker. 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) (Pettersson 1994a) medan antalet försök med asktillförsel uppgår till mindre än 20. Det är även fortsättningsvis viktigt att befintliga försök sköts och vidmakthålls för att möjliggöra studier av eventuella mer långsiktiga effekter. Detta gäller också de få svenska askförsöken på torvmark. Även här finns behov av många nya försök om ambitionen är att ta fram prognosfunktioner för tillväxtrespons av asktillförsel på dränerad torvmark för svenska förhållanden, i enlighet med resonemanget ovan. En ökad tillväxt leder till en ökad inbindning av kol, vilket kan kompensera för eventuell avgång av växthusgaser från dikade torvmarker.

7 Erkännanden

Ett tack till Energiforsks forskningsprogram "Miljöriktig användning av askor" (Askprogrammet), som bidragit med merparten av finansieringen till detta projekt. Även ett tack till Michael Krook, Mikael Westerlund och Nils Jacobson (samtliga Skogforsk) och Jonas Person (Nennesmo) som på ett förtjänstfullt sätt utfört merparten av fältarbetet.

8 Litteraturreferenser

- Andersson F., Hallbäcken L. & Popovic B. 1996. Kalkning och trädttillväxt. I: Staaf H., Persson T. och Bertills U. (red) Skogsmarkskalkning – Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. Naturvårdsverket, Rapport 4559, s. 122–133. Stockholm.
- Arnold G., Van Beusichem M.L. & Van Diest A. 1994. Nitrogen mineralization and H⁺ transfer in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest stand affected by liming. *Plant and Soil* 161: 209–218.
- Binkley D. & Högborg P. 2016. Tamm Review: Revisiting the influence of nitrogen deposition on Swedish forests. *For. Ecol. Manage.* 368: 222–239.
- Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P. & Tveite B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: long-term impact on tree growth. *For Ecol Manage.* 261: 1919–1927.
- Huber C., Baier R., Göttlein A. & Wendelin W. 2006. Changes in soil, seepage water and needle chemistry between 1984 and 2004 after liming an N-saturated Norway spruce stand at the Högwald, Germany. *For. Ecol. Manage* 233: 11–20.
- Hökkä H., Repola J. & Moilanen M. 2012. Modelling volume growth response of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to N, P, and K fertilization in drained Peatland sites in Finland. *Can. J. For. Res.* 42: 1359–1370.
- Jacobson S. 1997. Ash fertilization can lead to growth losses. The Forestry Research Institute of Sweden, Resultat No. 23. Uppsala. 4 pp. (In Swedish with English summary.)
- Jacobson S., Kukkola M., Mätkönen E. & Tveite B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *For. Ecol. Manage.* 129: 41–51.
- Jacobson S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. Doctoral thesis. *Silvestria* 217, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. 34 pp.
- Jacobson S. & Gustafsson L. 2001. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic Appl. Ecol.* 2: 233–241.
- 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., 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 Pollut.* 158 (1): 113–125.
- Jacobson S., Lundström H., Nordlund S., Sikström U. & Pettersson F. 2014. Is tree growth in boreal coniferous stands on mineral soils affected by the addition of wood ash? *Scand. J. For. Res.* 29(7): 675–685.
- Jacobson S., Högbom L., Ring E. & Nohrstedt H.-Ö. 2016. The distribution of logging residues and its impact on seedling establishment and growth in two

- Norway spruce stands. *Scand. J. For. Res.*
<http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2016.1194456>.
- Lövgren L., Lundmark J.-E. & Jansson C. 2000. Kretsloppsanpassning av bioaskor. Utvärdering av ny teknik för pelletering av bioaska med avseende på dels driftsegenskaper, dels miljöeffekter i skogen av askåterföring. Rapport Etapp 1, Statens energimyndighet, projekt P11647-1.
- Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H & Issakainen J. 2005. Wood ash as a fertilizer on drained mires – growth and foliar nutrients of Scots pine. *Can. J. For. Res.* 35: 2734–2742.
- Näslund M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. *Medd. Statens Skogsforskningsinst.* 36: 3–36.
- Persson T. 1988. Effects of acidification and liming on soil biology. I: Andersson F. & Persson T. (red.). Liming as a measure to improve soil and tree condition in areas affected by air pollution. National Swedish Environmental Protection Board, Report 518: 53–71.
- Persson T., Wirén A. & Andersson S. 1991. Effects of liming on carbon and nitrogen mineralization in coniferous forests. *Water Air Soil Pollut.* 54: 351–364.
- Persson T., Lundkvist H., Wirén A., Hyvönen R. & Wessén B. 1989. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. *Water Air Soil Pollut.* 45: 77–96.
- Persson T. & Wirén A. 1996. Effekter av skogsmarkskalkning på kväveomsättningen. I: Staaf H., Persson T. & Bertills U. (red.) Skogsmarkskalkning. Naturvårdsverket, Rapport 4559. s. 70–91.
- Pettersson F. 1990. Kompensationsgödsling efter trädelsgallring. Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion Nr 2 1990/91. Uppsala. 4 s.
- Pettersson F. 1994a. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No. 3. Uppsala. 56 pp.
- Pettersson F. 1994b. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No. 4. Uppsala. 34 pp.
- Ring E., Jacobson S. & Nohrstedt H.-Ö. 2002. Massaindustrins barkaska åt skogen. Slutrapport till Energimyndigheten.
- Saarsalmi A., Mälkönen 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. *Scand. J. For. Res.* 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.

- Saarsalmi A., Kukkola M., Moilanen M. & Arola M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilisation on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *For. Ecol. Manage.* 235: 116–128.
- Sikström U. 2001. Growth and nutrition of coniferous forests on acidic mineral soils – status and effects of liming and fertilization. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 182. 54 p. plus 5 appendix.
- Sikström U. 2007. Stem growth of *Picea abies* in south western Sweden in the ten years following liming and addition of PK and N. *Water Air Soil Pollut. Focus* 7: 137–142.
- Sikström U., Ernfors M., Jacobson S., Klemetsson L., Nilsson M. & Ring E. 2006. Tillförsel av aska i tallskog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, avgång av växthusgaser och vattenkemi. Värmeforsk Service AB, Rapport 974. 39 s.
- Sikström U., Björk G. R., Ring E., Ernfors M., Jacobson S., Nilsson M. & Klemetsson L. 2009. Tillförsel av aska i skog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, flöden av växthusgaser, torvegenskaper, markvegetation och grundvattenkemi. Värmeforsk Rapport 1109. 64 s. ISSN 1653–1248
- Sikström U., Almqvist C. & Jansson G. 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* 44(3): 411–425.
- Sikström U., Björk G.R. & Klemetsson L. 2012. Tillförsel av aska i skog på dikad torvmark i södra Sverige – skogsproduktion och emission av växthusgaser. Värmeforsk, Arbetsrapport A:29. 16 s. ISSN 1653-1248.
- Sikström U., Högbom L., Jacobson S. & Ring, E. 2012. Askåterföring efter skogsbränsleuttag på bördig skogsmark i södra Sverige - Anläggning av två fältförsök. Värmeforsk Rapport A:27. 37 s. ISSN 1653-1248.
- Silfverberg K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Doctoral Thesis, The Finnish Forest Research Institute, Research papers 588, 27 p.
- Skogsstyrelsen. 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Skogsstyrelsen, Meddelande 2-2008. 22 s.
- 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. *Environ. Rev.* 19:278–309.
- Väätäinen K., Sirparanta E., Räisänen M. & Tahvanainen T., 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass Bioenergy* 35: 3335–3341.

TILLVÄXTEFFEKTER AV ASKTILLFÖRSEL PÅ SKOGSMARK MED VARIERANDE BÖRDIGHET

De här forskningsresultaten indikerar att tillförsel av de näringsämnen som finns i askan på de flesta typer av fastmark inte har någon nämnvärd påverkan på trädens tillväxt.

På bördiga marker däremot, antyder resultaten att en asktillförsel kan leda till en ökad nettomineralisering av kväve. Det betyder, åtminstone på kort sikt, att tillväxten ökar vilket kompenserar de tillväxtförluster som normalt följer efter ett helträdsuttag.

På mindre bördiga marker behöver man tillföra kväve för att kompensera för tillväxtförluster. På mer uttalat kvävefattiga marker finns en risk för en minskad tillväxt efter att aska har tillförts. Men för dessa typer av marker har Skogsstyrelsen gjort undantag från den allmänna rekommendationen att återföra askan.

Resultaten visar också att möjligheten att öka skogsproduktionen är stor genom att återföra aska på dränerad torvmark.

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