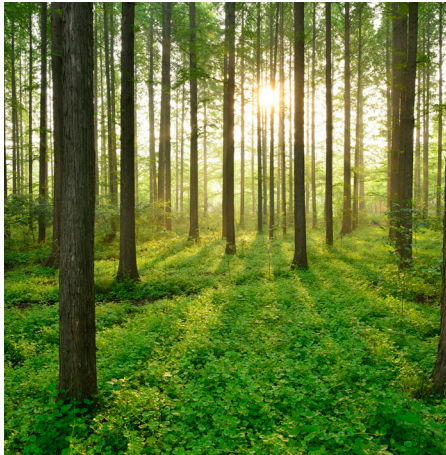


TRÄDPLANTORS UPPTAG AV KISEL FRÅN ASKA

RAPPORT 2023-984



ASKPROGRAMMET



Trädplantors upptag av kisel i aska

En pilotstudie i fält

MARIA GREGER OCH TOMMY LANDBERG

ISBN 978-91-7673-984-6 | © Energiforsk december 2024

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

Förord

Växter behöver kisel främst för att stärka cytoskelettet och för försvar mot yttre påverkan som tex. insektsangrepp. Askor innehåller växttillgängligt kisel som tas upp av trädplantor. Askåterföring kan alltså ge ett ökat motstånd mot snytbaggeangrepp.

Ett virkesuttag utan kiselåterföring är inte hållbart i längden då den växttillgängliga kiselhalten i marken minskar med virkesuttag. I ett hållbart skogsbruk behövs därför återförsel av bioaskor eftersom bioaskor innehåller höga halter av kisel.

Syftet med den här studien var att ta reda på 1) om kisel från härdad aska tas upp i nysatta granplantor i fält och 2) om det tas upp mer kisel från aska om den läggs ut i färsk form.

Studien har utförts av Maria Greger och Tommy Landberg i företaget PhytoEnvitech AB. Den här pilotstudien kan komma att mynna ut i en större fältstudie längre fram.

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

Sammanfattning

Askåterföring vid återplantering av skog skulle kunna bidra till åtgärderna mot snytbaggars eftersom askor innehåller växttillgängligt kisel, som tas upp av trädplantor och ger ökat motstånd mot snytbaggangrepp.

Kisel är det näst vanligaste ämnet i jorden, men det är bara en mycket liten andel kisel i jorden som är tillgängligt för växter eftersom det är hårt bundet i mineraler som vittrar mycket långsamt. Kisel tas upp av växten och när växten dör och bryts ner återgår kisel till jorden i form av växttillgängligt kisel, som kan tas upp av nya växter. Kisel ökar bl.a. biomassaproduktion, näringsupptagning och skyddet mot bl.a. snytbaggangrepp på barrträdsplantor. Virkesuttag utan kiseltillförsel blir därför inte hållbart i längden, eftersom virkesuttaget minskar markens växttillgängliga kiselhalt. Bioaskor innehåller höga halter av kisel och därför behöver ett hållbart skogsbruk återföring av bioaskor till skogen för att upprätthålla den växttillgängliga kiselhalten i marken. Vi har i en växthusstudie visat att kisel tas upp i barrträdsplantor från aska. I denna studie undersöker vi om kiselupptag från aska också sker under fältförhållanden.

Syftet med denna studie var att ta reda på 1) om kisel från härdad aska tas upp i nysatta granplantor i fält och 2) om det tas upp mer kisel från aska om den läggs ut i färsk form. Resultaten från denna studie jämförs med de från växthusstudien.

Härdad aska lades ut i ett nyplanterat (mars 2023) granföryngringsområde, på två platser, en dalsänka och en höjd. Varje plats hade 7 block i vilka aska lades ut runt 3 granplantor i mängder motsvarande 3 ton TS aska/ha. Dessutom lades samma dos av färsk aska runt 7 plantor på höjden. Utlägget skedde 26 maj och plantorna skördades 6 september. Plantorna analyserades på total och löst kiselhalt i rötter, barr, ved och bark. Aska och jord analyserades på total och växttillgänglig kiselhalt. Dessutom mättes biomassan och plantornas längd.

Resultaten visar att kisel tas upp från både härdad och färsk aska. Kisel ackumulerades i granplantornas alla delar, dvs. rot, ved, bark och barr. Både den totala och den lösta kiselhalten ökade i växten upp till 22%. Den färska askan ökade kiselhalten i veden något mer än den härdade askan och den färska askan innehöll 35% mer tillgängligt kisel än den härdade askan. Även om den totala kiselhalten i jorden efter askbehandling var lika som kontrollen så var jordens tillgängliga kiselhalt 35% högre för den askbehandlade jorden jämfört med kontrollen. En mindre andel kisel var därför bunden i den askbehandlade jorden jämfört med kontrollen. Askbehandlingen påverkade inte biomassaproduktionen. Dock minskade längdstillväxtökningen när askan tillsattes i färsk form. Även om det tidigare kiselupptaget från färsk aska i växthusförsöket gav betydligt högre kiselupptag i plantorna än i detta fältförsök så sker ett signifikant ökat upptag från härdad aska i fält. Slutsatsen blir att återförande av aska i skogen ökar den växttillgängliga kiselhalten i marken som i sin tur ökar kiselackumuleringen i skogsträdplantor och som på det sättet kan minska betningstrycket från snytbaggars. Askåterföringen bör göras både i plantskola och i fält för att få en maximal effekt på snytbaggangreppen och ett sådant fältförsök bör göras som ett nästa steg.

Nyckelord

Aska, gran, fältstudie, kisel, snytbagge

Summary

Ash recycling when replanting forests could contribute to the measures against pine weevils. Ashes contain plant-available silica that is taken up by plants, and forest trees need silicon, among other things, for growth and better resistance to weevil attacks.

Silicon is the second most abundant substance in the soil, but a very small percentage of silicon in the soil is available to plants, because it is tightly bound in minerals that weather very slowly. Silica is taken up by the plant and when the plant dies and degrades, silicon returns to the soil in the form of plant-available silicon, which is taken up by new plants. Therefore, disforestation without silicon supply is not sustainable in the long term, as it reduces the soil's plant-available silicon content. Bioashes contain high levels of silicon and therefore sustainable forestry needs the return of bioashes to the forest to maintain the plant-available silicon content in the soil. Silicon increases i.a. biomass production, nutrient absorption and the protection against, among other things pine weevils gnawing on conifer bark.

The aim of this study was to find out 1) if silicon from hardened bioashes is taken up in newly planted spruce seedlings in the field and 2) if more silicon is taken up from bioashes if it is laid out in fresh, unhardened form. The results from this study were compared with results from the greenhouse study.

Ash was laid out in a newly established (March 2023) spruce regeneration area in two locations, a valley and a height. Each site had 7 squares in which hardened bioashes was laid out around 3 spruce plants in amounts corresponding to 3 tons of DM ash/ha. In addition, the same dose of fresh bioashes was placed around 7 plants on the height. The supply took place on 26th of May and the plants were harvested on the 6th of September. The plants were analyzed for total and dissolved silicon content in roots, needles, wood and bark. Ash and soil were analyzed for total and plant-available silicon content. In addition, the biomass and the length of the plants were measured.

The results show that silicon is taken up from both hardened and fresh bioashes. Silicon accumulated in all parts of the spruce plants, i.e. root, wood, bark and needles. Both the total and the dissolved silicon content increased in the plant up to 22%. The fresh bioash increased the silicon content of the wood slightly more than the hardened bioash and the fresh bioash contained 35% more available silicon than the hardened bioash. Although the total silicon content of the soil after bioash treatment was similar to the control, the soil available silicon content was 35% higher for the bioash treated soil compared to the control. Lesser silicon was therefore bound in the ash-treated soil compared to the control. The ash treatment did not affect the biomass production. However, the increase in length growth was reduced when the bioash was added in fresh form. Even though the silicon uptake from fresh bioashes in the previous greenhouse experiment gave significantly higher silicon uptake in the plants than in this field experiment with hardened bioashes, there is a significantly increased silicon uptake from hardened bioash in the field. The conclusion is that recirculation of bioashes to the forest increases the plant-available silicon content in the soil, which in turn increases silicon accumulation in forest tree plants and which may thus reduce grazing pressure

from weevils. The ash treatment should be done both in the nursery and in the field to get a maximum effect on the grazing and such a field trial should be done as a next step.

Innehåll

1	Inledning	11
2	Material och metodik	12
2.1	Askor	12
2.2	Området	12
2.3	Försöket	12
2.4	Skörd	14
2.5	Analys av kisel	14
2.6	Statistik	15
3	Resultat	17
3.1	Kisel i aska och jord	17
3.2	Kiselupptag i Granplantor	18
3.3	Askans inverkan på biomassa	22
3.4	Inverkan på gnag	23
4	Diskussion	24
4.1	Tas kisel upp i granplantor från härdad aska i fält?	24
4.2	Hur skiljer sig kiselupptaget mellan härdad och färsk aska?	25
4.3	Var ackumuleras kisel i trädet och i vilken form?	25
4.4	Påverkas biomassan?	25
4.5	Påverkas betningen?	25
4.6	Slutsats	27
5	Tackord	28
6	Referenser	29
	Bilaga A:	31

1 Inledning

Näringsämnen, som träd har tagit upp från marken, följer med biomassan vid virkesuttag (Greger m.fl. 1998). Återförs inte näringsämnena till marken utarmas jorden på dessa ämnen med sämre trädttillväxt som följd. Ett ämne som minskar i marken vid virkesuttag är kisel (Struyf m.fl. 2010, Carey och Fulweiler 2012, Keller m.fl. 2012). Jordens innehåll och struktur bygger på kiseloxider i form av silikater. Dock är en stor del av kisel i dessa silikater inte tillgängliga för växter, eftersom de är hårt bundna i mineralet, som vittrar mycket långsamt. Vittrat kisel, i form av kiseltsyra, tas upp av växter och kislet ansamlas i cellväggar och i speciella epidermisceller på bladtytor i form av amorfa kiseloxider (Prychid m.fl. 2003). När växten dör och bryts ner återgår kislet till jorden i form av växttillgängligt kisel, som tas upp av nya växter (Keller m.fl. 2012). Detta kisel är majoriteten av det växttillgängliga kislet som finns i marken.

Växter behöver kisel främst för att stärka cytoskelettet och för försvar mot yttre påverkan som tex. insektsangrepp, växtsjukdomar, torka och hög salthalt i jorden (Epstein 2009, Liang m.fl. 2015, Rodrigues och Datnoff 2015, Alhousari och Greger 2018). Kisel minskar dessutom upptaget av giftiga metaller (Greger och Landberg 2015, Greger m.fl. 2016) och ökar näringsämnesupptaget i växter (Greger m.fl. 2018). Effekterna återfinns även på skogsträd som gran, tall och björk (Greger och Alhousari 2018, 2020). Kisel ökar trädens biomassa, fiberkvalité och torktolerans samt minskar angreppen av snytbaggar genom ökat biokemiskt försvar och kiselansamling i barken (Greger och Alhousari (2018, 2020), Alhousari och Greger (2019), Pettersson m. fl. (2022a, b)).

Ett virkesuttag utan kiselåterföring är inte hållbart i längden då den växttillgängliga kiselhalten i marken minskar med virkesuttag. I ett hållbart skogsbruk behövs därför återförsel av bioaskor eftersom bioaskor innehåller höga halter av kisel (Greger m.fl. 1998, Greger och Landberg 2022) och den växttillgängliga andelen kisel i askor är högre än i skogsjord (Greger och Landberg 2022). I vår tidigare undersökning i växthus (Greger och Landberg 2022) fann vi att färskaskdosor om 0,5-1 ton TS aska per ha är tillräcklig för att återföra den växttillgängliga kisel mängd som behövs för ett upptag i unga trädplantor. I det projekt vi nu redovisar har vi undersökt om vi finner samma effekter av härdad aska i fält i en nyplantering av gran.

Syftet med denna studie var att ta reda på

- Om kisel från härdad bioaska tas upp i nysatta granplantor i fält
- Om det tas upp mer kisel från bioaska om den läggs ut i färsk form

Resultaten från denna studie jämförs med de från växthusstudien (Greger och Landberg 2022).

2 Material och metodik

2.1 ASKOR

Härdad aska erhöles från Solör Bioenergi Vårgårda AB, Hjultorp och den färska askan erhöles från Högdalenverket, Stockholm Exergi AB. Askorna analyserades på innehåll av ämnen, pH m.m. (se Table 1). Analysen utfördes av ALS Scandinavia AB förutom pH och konduktivitet, som analyserades på vårt eget laboratorium.

2.2 OMRÅDET

Utlägget skedde på kalhygge där 1,5-åriga pluggplantor av gran (*Picea abies* täckrot medelstor premium Conniflex) hade etablerats tidigare under 2023 (mars månad). Plantorna är satta med en täthet på c:a 2000 plantor/ha i stråk med 2 – 3 m avstånd mellan plantorna. Dessa plantor var behandlade med Conniflex och levererade av Svenska Skogsplantor. Kund för sättning är HäradsSkog AB och markägare är Daga Björnlunda häradsallmänning. Hyggesområdet har objekts-ID S30076, DB Ramsås 501518, knappt 10 mil söder om Björnlunda, Gnesta (58°58'49.0"N 17°9'5.6"E). Objektets yta anges till 10,5 ha. På området valdes två platser ut för försöket. En plats var på en höjd (benämns Höjd) med möjlighet till bra avrinning, en annan i en svacka (benämns Sänka eller Dal) där vatten kunde ansamlas.



FIGUR 1. UTLÄGGSPLATSERNA. TILL VÄNSTER HÖJDEN I NORRA DELEN, TILL HÖGER DALSÄNKAN I SÖDRA DELEN AV OMRÅDET. FOTO: MARIA GREGER.

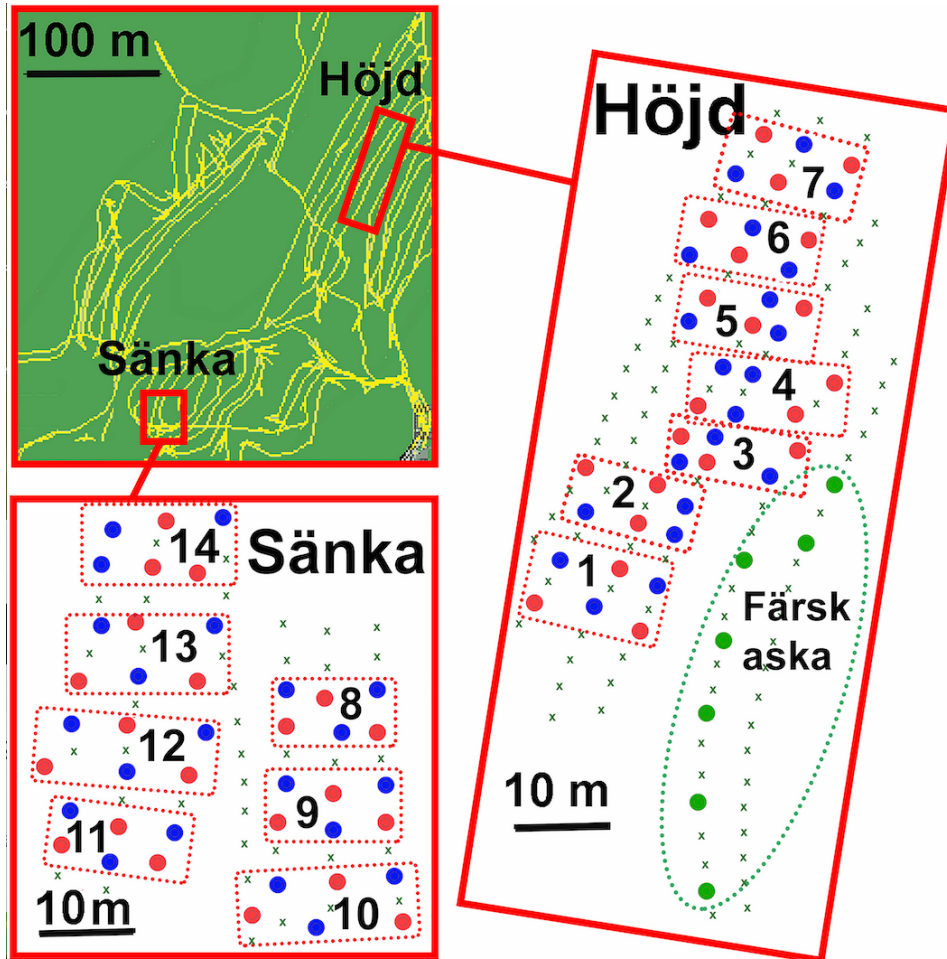
FIGURE 2. THE SITES. TO THE LEFT THE HEIGHT IN THE NORTHERN PART, TO THE RIGHT THE VALLEY IN THE SOUTHERN PART OF THE AREA. PHOTO: MARIA GREGER.

2.3 FÖRSÖKET

Askutlägget (se försöksupplägg, Figur 2) gjordes 26 maj med motsvarande 3 ton TS aska/Ha vid varje planta, på samma sätt som gjorts i det tidigare krukförsöket i växthus i föregående projekt (Greger och Landberg 2022). Tio g aska (vägd på plats) fördelades runt plantan i 10,5 cm radie (= 3,46 dm²) och krafsades ned 1 cm i jorden. Därefter tillsattes 3 dl vatten både till askbehandlade och kontroller. För vardera av de två platserna lades försöket med härdad aska ut i 7 upprepningar i randomiserad blockdesign (Figur 1). Varje block var 10 - 15 m². I varje block utsågs

3 replikat av kontrollplanter och 3 replikat av behandlade planter inom varje upprepning. Försöket med färsk aska lades ut på en av platserna, den på höjden, i 7 replikat.

Gnag av snytbaggar undersöktes vid 2 tillfällen (3:e Juli-2023 och vid avslut 6:e Sept.). Plantorna synades med stereolupp med avsikten att mäta den totala ytan på stammen som gnagts (mm² och %). Dock kunde inget gnag observeras.



FIGUR 2. FÖRSÖKSUPPLÄGG. DEN AKTUELLA YTAN MED TVÅ DELYTOR. PLANTOR ÄR PLANTERADE I GULMARKERADE STRÅK (GRÖN FIGUR). I DE TVÅ DELYTORNA, "HÖJD" OCH "SÄNKA", HAR TOTALT 91 PLANTOR SLUMPMÄSSIGT VALTS UT OCH FÖRDELATS I 7 + 7 + 1 BLOCK (MARKERADE I DETALFIGURER MED PRICKAD LINJE). PLANTOR HAR TILLFÖRTS HÄRDAD ASKA (RÖDA CIRKLAR) ELLER FÄRSK ASKA (GRÖNA CIRKLAR) ELLER INGENTING = KONTROLLER (BLÅ CIRKLAR). ENSKILDA GRANPLANTOR SOM EJ INGÅR I FÖRSÖKET ÄR MARKERADE MED "X".

FIGURE 1. EXPERIMENTAL SETUP. THE CURRENT SURFACE WITH TWO SMALLER SURFACES. PLANTS ARE PLANTED IN YELLOW MARKED STRIPS (GREEN FIGURE). IN THE TWO DETAILS, "HÖJD" AND "SÄNKA", A TOTAL OF 91 PLANTS HAVE BEEN RANDOMLY SELECTED AND DISTRIBUTED IN THE 7 + 7 + 1 BLOCKS (MARKED IN THE LOWER FIGURES WITH A DOTTED LINE). PLANTS SUPPLEMENTED WITH HARDENED ASH (RED CIRCLES) OR FRESH ASH (GREEN CIRCLES) OR NOTHING = CONTROLS (BLUE CIRCLES). INDIVIDUAL SPRUCE PLANTS NOT INCLUDED IN THE TRIAL ARE MARKED WITH AN "X".



FIGUR 3. TILL VÄNSTER BILD FRÅN DEN VÅTA MILJÖN I DALEN SOM GRANARNA VUXIT I. TILL HÖGER BILD FRÅN DEN TORRA MILJÖN PÅ HÖJDEN. BILDERNA ÄR TAGNA VID SKÖRDETILLFÄLLET. FOTO: MARIA GREGER.

FIGURE 3. TO THE LEFT IMAGE FROM THE WET ENVIRONMENT IN THE VALLEY IN WHICH THE SPRUCE PLANTS GREW. TO THE RIGHT IMAGE FROM THE DRY ENVIRONMENT AT THE HEIGHT. THE PICTURES WERE TAKEN AT THE TIME OF HARVEST. PHOTO: MARIA GREGER.

2.4 SKÖRD

Försöket avslutades den 6 september 2023. Behandlade plantor och kontrollplantor insamlades. Dessutom insamlades jordprover och rötter hos tre av de plantor som behandlats med härdad aska och hos en av de obehandlade plantorna. Jordprover togs 5-15 cm ner i jorden. Rötterna skakades av jorden och sköljdes i destillerat vatten innan analys.

Plantornas längder mättes och vägdes. Plantorna delades först upp i rot och skott. Skottet delades sedan upp i 3 sektioner; 1) den äldre nedre delen som belagts med Conniflex, 2) den övre äldre delen som ej täckts med Conniflex, 3) nytillväxt del, dvs den del som tillväxt under sommaren 2023. Dessa skottdelar delades i sin tur upp i stam och barr. Dessutom delades en 2 cm-lång stambit från den nytillväxta delen upp i ved och bark (avsedd för Si-analys av bark och ved). Provet togs 1 cm upp på den nytillväxta delen. Samtliga delar vägdes för färskvikt (FV) och torrmasa (TS) efter torkning 48 h i 105°C.

Conniflex skrapades av och analyserades dels på sand dels på limmedlet för total och löslig kisel.

2.5 ANALYS AV KISEL

Rot, bark, ved och barr analyserades på total och löst kiselhalt (se nedan). Askan och jorden analyserades på total kiselhalt och växttillgängligt kiselhalt.

Kiselfraktionerna analyserades med sekventiell extraktion enligt följande:

Löst kisel: Materialet våtförbrändes i 200°C (i slutna kärl med mikrovågsteknik Speedwave, Berghof, Tyskland) i en lösning med 30% H₂O₂/12 M HNO₃ (v:v, 2:5). Provet förbrändes i 15 min varvid provmaterialet blev helt upplöst och späddes sedan till 10 mL med H₂O. Därefter filtrerades proverna innan Si analyserades.

Total Si-fraktion: Materialet från steg 1 löstes upp i NaHCO_3 och värmdes 60 min i 95°C (Snyder 2001). Efter att de svalnat filtrerades proverna och Si analyserades sedan. I denna fraktion ingår även löst kisel.

Den växttillgängliga kiselfraktionen analyserades enligt Berthelsen et al. (2001). Luft-torkad aska eller jord (2g) mixades med 20 mL 0,01 M CaCl_2 och skakades 16 h i rumstemperatur. Efter filtrering och centrifugering ($1700 \times g$, 10 min) analyserades proverna på Si.

Kisel analyserades i samtliga fraktioner med AAS (atomabsorptionsspektrofotometri, med grafitugn; AAS-modell Agilent 240 Series AA, Agilent, USA). Standardadditionsteknik användes för att eliminera matriseffekter. Kiselstandard erhöles från FLUKA Analytics.

2.6 STATISTIK

Askprover sändes till ALS Scandinavia AB för analys. Varje insänt prov bestod i sin tur av ett generalprov som baserades på sex separata prover.

På vardera plats fanns 7 block. I dessa block togs 3 replikat av vardera askbehandlade plantor och 3 av kontrollplantor. Värdena för dessa replikat slogs sedan ihop till ett medelvärde för vardera ruta. Varje plats hade därför 7 replikat baserat på medelvärden av 3 replikat. För den färska askan samlades 7 replikat från en plats in.

För jämförelse av block samt av behandlingar gjordes en randomiserad blockdesign med ANOVA. Signifikanta skillnader vid $p \leq 0,05$ analyserades med Tukey's honest significant difference (HSD) test m. h. a. JMP 16.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

TABELL 1. ANLÄGGNINGAR FRÅN VILKA DE OLIKA FLYGASKORNA KOMMER SAMT KEMISK ANALYS AV BIOASKOR SOM ANVÄNTS I FÖRSÖKET. LOI = OFÖRBRÄNT.

TABLE. 1. PLANTS FROM WHICH THE DIFFERENT FLY ASH ORIGINATES AND CHEMICAL ANALYSIS OF BIO ASHES USED IN THE EXPERIMENT. LOI = LOSS OF IGNITION.

Anläggning	Solör Bioenergi Vårgårda AB, Hjultorp	Högdalenverket, Stockholm Exergi AB	Skogsstyrelsens rekommenderade halter (Drott et al. 2019)	
			Lägsta	Högsta
Form	Härdad	Färsk		
Bränsle	Biobränsle	Biobränsle		
Typ av panna	FB/CFB	CFB		
pH	10,7	11,4		
LOI (%)	6,3	7,4		
Torrsubstans (TS 105°C, %)	60,3	57,7		
% av TS				
SiO ₂	21,8	23,4		
Al ₂ O ₃	9,9	9,4		
CaO	22,8	24,6		
Fe ₂ O ₃	3,8	3,8		
K ₂ O	4,8	4,6		
MgO	2,5	3,8		
Na ₂ O	1,4	1,1		
P ₂ O ₅	1,3	1,6		
TiO ₂	0,5	0,5		
MnO ₂	1,1	1,1		
S:a oxider	66,6	66,8		
g kgTS ⁻¹				
Ca	162	176	125	
Mg	15	23	15	
K	20	19	30	
P	3	3,5	7	
Si	101	108		
mg kgTS ⁻¹				
As	7,8	5,4		30
Ba	210	228		
Cd	9,3	12,3		30
Co	3,5	3,4		
Cr	118	135		200
Cu	175	198		400
Hg	0,1	0,1		3
Ni	10,7	13,3		70
Pb	96	129		300
V	4,8	8,3		70
Zn	976	1216	500	7000

3 Resultat

3.1 KISEL I ASKA OCH JORD

De två askorna som användes skilde sig inte signifikant i pH eller i total kiselhalt (Tabell 2). Den färska askan hade något högre tillgänglig kiselhalt än den härdade askan (Tabell 2). Den tillgängliga halten var 0,34-0,38% av den totala kiselhalten.

TABELL 2. ASKANS PH SAMT TOTAL OCH TILLGÄNGLIG KISELHALT. $N_{PH}=3$, $N_{KISEL}=2$, $\pm SE$. OLIKA BOKSTÄVER BETYDER SIGNIFIKANT SKILLNAD.

TABLE 2. PH AND TOTAL AND AVAILABLE SILICON CONTENT OF THE ASHES. $N_{PH}=3$, $N_{SILICA}=2$, $\pm SE$. DIFFERENT LETTERS MEAN SIGNIFICANT DIFFERENCE.

Aska	pH	Kisel	
		Total halt, $g\ kg^{-1}$	Tillgänglig, $mg\ kg^{-1}$
Hjultorp, härdad	$10,4 \pm 0,15$	$9,75 \pm 0,29$	$33,4 \pm 1,14^a$
Högdalen, färsk	$11,0 \pm 0,22$	$10,83 \pm 0,07$	$41,6 \pm 1,34^b$

Jorden på de båda platserna skilde sig inte åt i pH, organisk halt eller lerhalt och asktillförseln påverkade inte heller dessa parametrar (Tabell 3). Däremot skilde det sig i vatten efter den långa regnperioden från mitten av juli till september. Dalen hade stående vatten (Figur 3) medan vattnet på höjden rann av. Således stod ett antal av granplantorna i dalen i vatten.

Den totala kiselhalten i jorden 5-15 cm under ytan påverkades inte av asktillförseln (Tabell 3). Däremot var den tillgängliga kiselhalten högre i jorden med den färska askan jämfört med den härdade askan. Den tillgängliga halten var 0,15 % av den totala kiselhalten i kontrolljorden och 0,2% i den askbehandlade jorden.

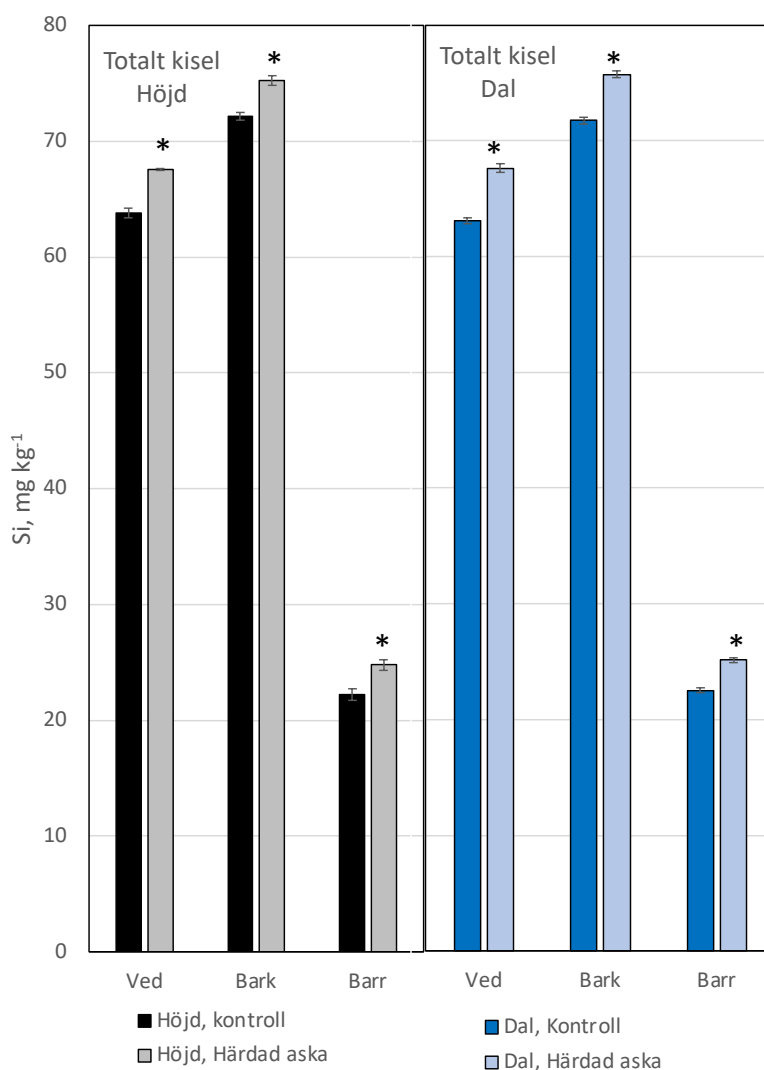
TABELL 3. JORDENS PH, ORGANISKA HALT, LERHALT SAMT TOTAL, LÖST OCH VÄXTTILLGÄNGLIG KISELHALT VID SLUTPROVTAGNING. $N_{KONTROLL}=2$, $N_{ASKBEHANDLING}=3$, $\pm SE$. OLIKA BOKSTÄVER BETYDER SIGNIFIKANT SKILLNAD.

TABLE 3. SOIL PH, ORGANIC CONTENT, CLAY CONTENT AND TOTAL, DISSOLVED AND PLANT-AVAILABLE SILICON CONTENT AT FINAL SAMPLING. $N_{CONTROL}=2$, $N_{ASH\ TREATMENT}=3$, $\pm SE$. DIFFERENT LETTERS MEAN SIGNIFICANT DIFFERENCE.

Plats och behandling	pH	Organisk halt, %	Lerhalt, %	Kisel	
				Total halt, $g\ kg^{-1}$	Tillgänglig, $mg\ kg^{-1}$
Höjd, kontroll	$6,4 \pm 0,01$	$9,2 \pm 0,9$	$3,5 \pm 0,5$	$18,28 \pm 0,31$	$27,1 \pm 0,4^a$
Höjd, härdad aska	$6,4 \pm 0,04$	$8,1 \pm 0,4$	$4,3 \pm 0,7$	$18,16 \pm 0,24$	$41,2 \pm 0,7^b$
Sänka, Kontroll	$6,1 \pm 0,04$	$9,0 \pm 1,5$	$4,0 \pm 1,0$	$18,30 \pm 0,03$	$26,1 \pm 2,0^a$
Sänka, härdad aska	$6,1 \pm 0,02$	$9,0 \pm 1,0$	$4,0 \pm 0,9$	$18,15 \pm 0,01$	$40,7 \pm 1,3^b$

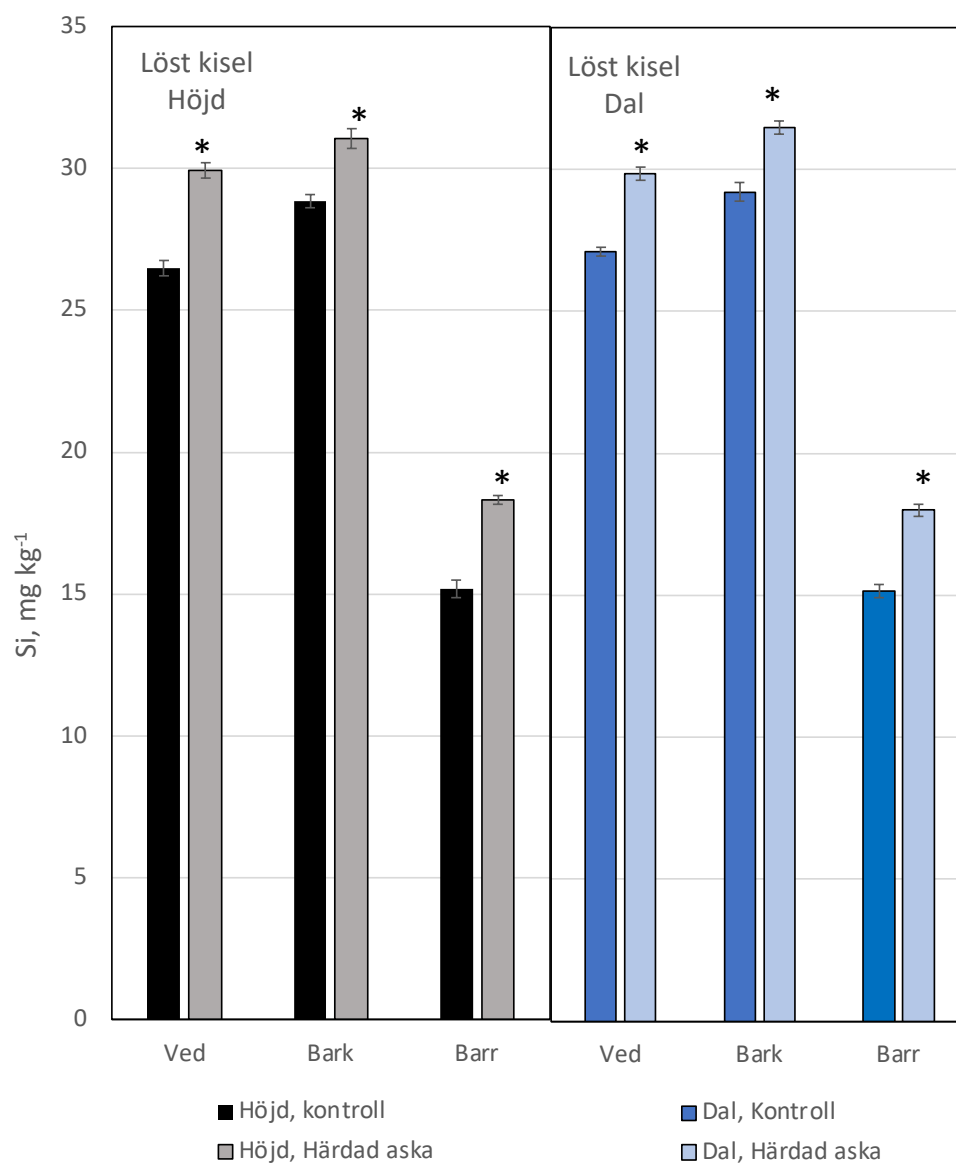
3.2 KISELUPPTAG I GRANPLANTOR

Koncentrationen av total och löst kisel i ved, bark och barr var högre i de plantor som behandlats med härdad aska än hos kontrollplantorna (Figur 4 och 5, Tabell 4). Samma resultat återfanns i plantor som odlats i sänkan och på höjden. Vare sig den totala eller den lösliga kiselhalten skilde sig åt mellan platserna. Samma tendens fanns i rötterna (Tabell 5).



FIGUR 4. TOTAL KISELHALT I VED, BARK OCH BARR I GRANPLANTOR MED RESP. UTAN ASKBEHANDLING. TILL VÄNSTER PLANTOR SOM VUXIT PÅ HÖJDEN OCH TILL HÖGER PLANTOR SOM VUXIT I DALEN. N=7, ± SE. *SIGNIFIKANT SKILT FROM KONTROLLEN.

FIGURE 4. TOTAL SILICON CONTENT IN WOOD, BARK AND NEEDLES IN SPRUCE PLANTS WITH OR WITHOUT ASH TREATMENT. ON THE LEFT, PLANTS THAT GREW ON THE HEIGHTS AND ON THE RIGHT, PLANTS THAT GREW IN THE VALLEY. N=7, ± SE. *SIGNIFICANTLY DIFFERENT FROM THE CONTROL.



FIGUR 5. LÖSLIG KISELHALT I VED, BARK OCH BARR I GRANPLANTOR MED RESP. UTAN ASKBEHANDLING. TILL VÄNSTER PLANTOR SOM VUXIT PÅ HÖJDEN OCH TILL HÖGER PLANTOR SOM VUXIT I DALEN. N=7, ± SE. *SIGNIFIKANT SKILJT FRÅN KONTROLLEN.

FIGURE 5. SOLUBLE SILICON CONTENT IN WOOD, BARK AND NEEDLES IN SPRUCE PLANTS WITH OR WITHOUT ASH TREATMENT. ON THE LEFT, PLANTS THAT GREW ON THE HEIGHTS AND ON THE RIGHT, PLANTS THAT GREW IN THE VALLEY. N=7, ± SE. *SIGNIFICANTLY DIFFERENT FROM THE CONTROL.

TABELL 4. RESULTAT FRÅN RANDOMISERAD BLOCKDESIGN AVSEENDE SKILLNAD MELLAN BLOCK RESPEKTIVE SKILLNAD MELLAN BEHANDLAT MED HÄRDAD ASKA OCH KONTROLLER. *P<0,05, **P<0,01, *P<0,001**

TABLE 4. RESULTS FROM THE ANOVA BLOCK TEST REGARDING THE DIFFERENCE BETWEEN BLOCKS AND THE DIFFERENCE BETWEEN TREATED WITH HARDENED ASH AND CONTROLS. *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

		Ved		Bark		Barr	
		Tot Si	Löst Si	Tot Si	Löst Si	Tot Si	Löst Si
Höjd	Behandling	***	***	***	***	***	***
Dalsänka	Behandling	***	***	***	***	***	***
Höjd	Block	*					
Dalsänka	Block						

TABELL 5. TOTAL OCH LÖSLIG KISELHALT I RÖTTER HOS PLANTOR SOM VUXIT PÅ HÖJDEN.

$N_{\text{KONTROLL}} = 1$, $N_{\text{ASKABEHANDLAD}} = 3$, $\pm SE$

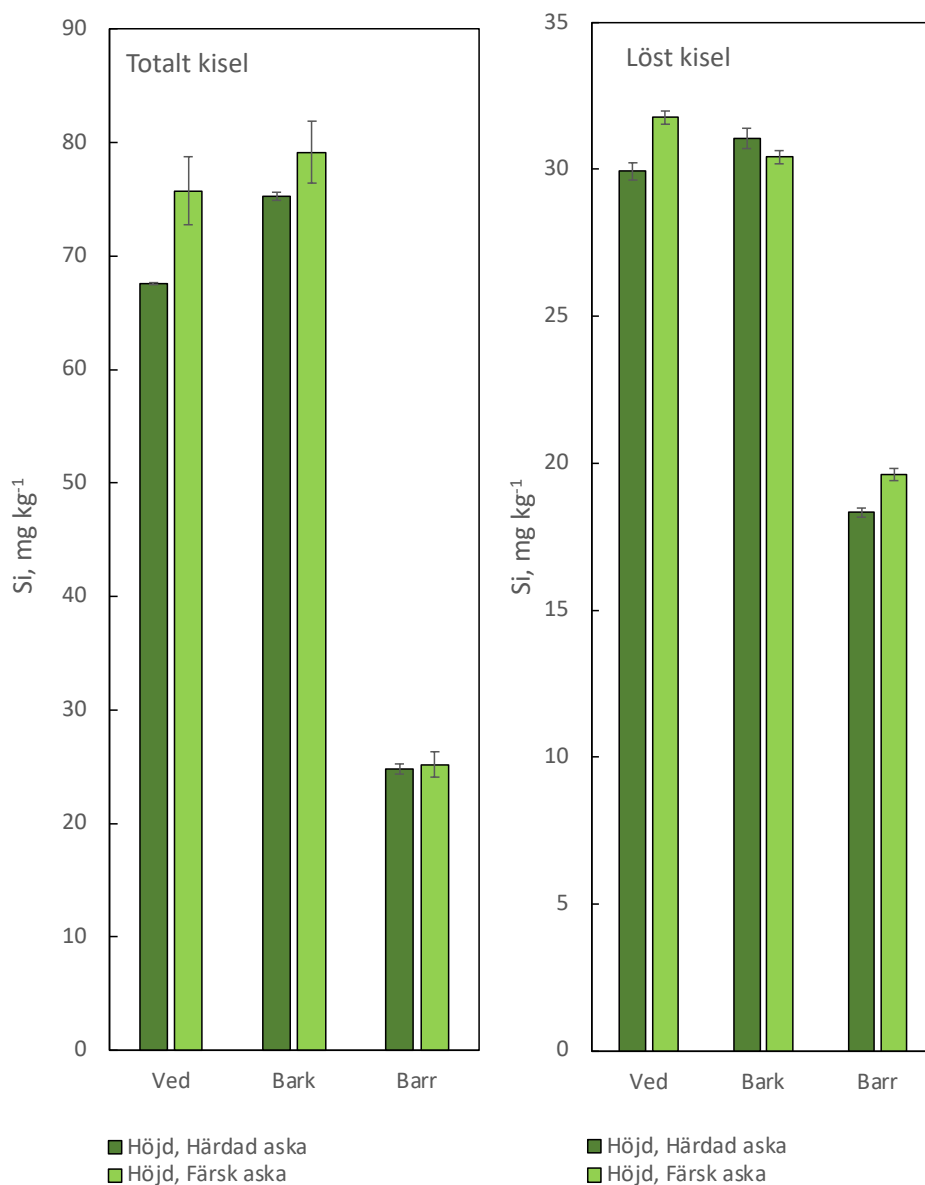
TABLE 5. TOTAL AND SOLUBLE SILICON CONTENT IN ROOTS OF PLANTS GROWN AT HIGHT. $N_{\text{CONTROL}} = 1$, $N_{\text{ASH TREATED}} = 3$, $\pm SE$

Behandling	Kisel	
	Total halt, g kg ⁻¹	Löslig halt, mg kg ⁻¹
Kontroll	31,4	20,0
Härdad aska	33,8 ± 0,85	23,3 ± 0,57

Andelen löst kisel per total kiselhalt är lägre i bark och ved än i barr och rötter (Tabell 6). Andelen löst kisel i barr är högre i askbehandlade plantor än i kontrollplantor, lika på båda platserna. Andelen löst kisel är högst i barr på plantor behandlade med färsk aska.

I plantor som behandlats med färsk aska fanns tendenser att den totala kiselhalten var högre i veden och i barken än hos den som behandlats med härdad aska (Figur 6). Enligt analys med randomiserad blockdesign var den totala halten kisel i veden signifikant högre med färsk aska än med härdad aska ($p<0,035$). Samma tendens till skillnad sågs för den lösliga kiselhalten i ved och barr. Kiselhalten är högst i bark > ved > rot > barr (Figur 6, Tabell 6).

Conniflex som har en sandkomponent innehåller kisel, 8,6%. Kiselhalten i Conniflex återfinns i sanden, som dock inte innehåller någon löslig kisel fraktion. Kisel finns inte i limmedlet.



FIGUR 6. TOTAL (VÄNSTER) OCH LÖSLIG (HÖGER) KISELHÅLT I VED, BARK OCH BARR I GRANPLANTOR SOM VUXIT PÅ HÖJDEN BEHANDLADE MED HÄRDAD RESP. FÄRSK ASKA. N=7, ± SE.

FIGURE 6. TOTAL (LEFT) AND SOLUBLE (RIGHT) SILICON CONTENT IN WOOD, BARK AND NEEDLES IN SPRUCE PLANTS GROWN AT HEIGHT TREATED WITH HARDENED OR FRESH ASH. N=7, ± SE.

TABELL 6. ANDELEN LÖST KISEL AV TOTAL KISELHALT I BARR, VED, BARK, RÖTTER PÅ PLANTOR SOM VUXIT I DAL RESPEKTIVE PÅ HÖJD OCH BEHANDLATS MED ASKA. N=7, ±SE. OLIKA BOKSTÄVER BETYDER SIGNIFIKANT SKILLNAD.

TABLE 6. THE PROPORTION OF DISSOLVED SILICON IN THE TOTAL SILICON CONTENT IN NEEDLES, WOOD, BARK, ROOTS OF PLANTS GROWN IN VALLEYS AND AT HEIGHTS AND TREATED WITH ASH. N=7, ±SE. DIFFERENT LETTERS MEAN SIGNIFICANT DIFFERENCE.

Behandling	Löst kisel/total kisel			
	Ved	Bark	Barr	Rötter
Höjd, kontroll	0,42 ± 0,005	0,40 ± 0,003	0,68 ± 0,014 ^a	0,64
Höjd, härdad aska	0,44 ± 0,005	0,41 ± 0,006	0,74 ± 0,017 ^{ab}	0,69 ± 0,01
Höjd, färsk aska	0,42 ± 0,010	0,33 ± 0,017	0,79 ± 0,067 ^b	
Dal, Kontroll	0,43 ± 0,003	0,41 ± 0,005	0,67 ± 0,010 ^a	
Dal, härdad aska	0,44 ± 0,004	0,42 ± 0,003	0,72 ± 0,011 ^{ab}	

3.3 ASKANS INVERKAN PÅ BIOMASSA

Askan gav ingen effekt på plantornas tillväxt uppmätt i vikt. Detta gäller både stamtillväxt och barr mängd (Tabell 7 och 8). Andelen tillväxt i vikt beräknad per total plantvikt påverkades inte heller. Förhållandet mellan bark och ved i stammen hade heller inte påverkats av asktillförseln (Tabell 9). Däremot fann vi att färsk aska signifikant minskade längdtillväxten hos nytillväxten med ca 33%. Denna signifikanta skillnad verifierades även med randomiserad blockdesignanalys.

TABELL 7. ASKBEHANDLINGENS INVERKAN PÅ STAMMENS BIOMASSAPRODUKTION, DVS. DEN DEL SOM VUXIT UNDER FÖRSÖKET, MÄTT SOM FÄRSKVIKT (FV) OCH TORRMASSA (TS). ÄVEN ANDELEN AV HELA SKOTTET SOM VAR TILLVÄXT UPPMÄTTES. N=7, ±SE.

TABLE 7. THE IMPACT OF THE ASH TREATMENT ON THE BIOMASS PRODUCTION OF THE STEM (WITHOUT NEEDLES), I.E. THE PART THAT GREW DURING THE EXPERIMENT, MEASURED AS FRESH WEIGHT (FV) AND DRY MASS (TS). THE PROPORTION OF THE ENTIRE SHOOT THAT WAS NEW GROWTH WAS ALSO MEASURED. N=7, ±SE.

Behandling	Stam, g			
	Nyttillväxt FV	Nyttillväxt, TS	Nyttillväxt/total vikt, FV	Nyttillväxt/total vikt, TS
Höjd, kontroll	1,40 ± 0,02	0,75 ± 0,01	0,28 ± 0,00	0,28 ± 0,00
Höjd, härdad aska	1,39 ± 0,09	0,77 ± 0,05	0,29 ± 0,01	0,28 ± 0,02
Höjd, färsk aska	1,53 ± 0,10	0,80 ± 0,04	0,27 ± 0,02	0,27 ± 0,02
Dal, Kontroll	1,37 ± 0,08	0,73 ± 0,04	0,27 ± 0,02	0,27 ± 0,02
Dal, härdad aska	1,44 ± 0,10	0,77 ± 0,05	0,28 ± 0,02	0,29 ± 0,01

TABELL 8. ASKBEHANDLINGENS INVERKAN PÅ BARRENS BIOMASSAPRODUKTION, DVS. DEN DEL SOM VUXIT UNDER FÖRSÖKET, MÄTT SOM FÄRSKVIKT (FV) OCH TORRMASSA (TS). ÄVEN ANDELEN AV HELA SKOTTET SOM VAR TILLVÄXT UPPMÄTTES. N=7, ±SE.

TABLE 8. THE IMPACT OF THE ASH TREATMENT ON THE BIOMASS PRODUCTION OF THE NEEDLES, I.E. THE PART THAT GREW DURING THE EXPERIMENT, MEASURED AS FRESH WEIGHT (FV) AND DRY MASS (TS). THE PROPORTION OF THE ENTIRE SHOOT THAT WAS NEW GROWTH WAS ALSO MEASURED. N=7, ±SE.

Behandling	Barr			
	Nyttillväxt FV	Nyttillväxt, TS	Nyttillväxt / total vikt, FV	Nyttillväxt / total vikt, TS
Höjd, kontroll	1,88 ± 0,08	0,47 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Höjd, härdad aska	1,90 ± 0,11	0,47 ± 0,03	0,27 ± 0,02	0,27 ± 0,02
Höjd, färsk aska	2,17 ± 0,21	0,56 ± 0,06	0,29 ± 0,02	0,29 ± 0,03
Dal, Kontroll	1,84 ± 0,12	0,49 ± 0,01	0,25 ± 0,02	0,25 ± 0,02
Dal, härdad aska	1,95 ± 0,15	0,49 ± 0,04	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,02

TABELL 9. ASKBEHANDLINGENS INVERKAN PÅ STAMMENS FÖRHÅLLANDE MELLAN BARK OCH VED, DEN NYA TILLVÄXTENS LÄNGD SAMT FÖRHÅLLET MELLAN DEN NYA TILLVÄXTENS LÄNGD OCH HELA SKOTTETS LÄNGD. N=7, ±SE.

TABLE 9. THE EFFECT OF THE ASH TREATMENT ON THE RATIO BETWEEN BARK AND WOOD OF THE STEM, THE LENGTH OF THE NEW GROWTH AND THE RATIO BETWEEN THE LENGTH OF THE NEW GROWTH AND THE LENGTH OF THE ENTIRE SHOOT. N=7, ±SE.

Behandling	Bark (g)/Ved (g)	Tillväxtlängd, cm	Tillväxt (cm)/hel stam (cm)
Höjd, kontroll	1,07 ± 0,03	6,13 ± 0,41 ^a	0,31 ± 0,01 ^a
Höjd, härdad aska	1,08 ± 0,02	6,62 ± 0,24 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
Höjd, färsk aska	1,04 ± 0,03	3,54 ± 0,40 ^b	0,19 ± 0,01 ^b
Dal, Kontroll	1,08 ± 0,02	6,63 ± 0,28 ^a	0,33 ± 0,01 ^a
Dal, härdad aska	1,06 ± 0,02	6,19 ± 0,13 ^a	0,31 ± 0,01 ^a

3.4 INVERKAN PÅ GNAG

Inga gnag kunde ses på någon av plantorna, vare sig de obehandlade eller de behandlade med aska (ej visat i figur). Resultaten var samma på de båda platserna och med färsk och härdad aska.

4 Diskussion

4.1 TAS KISEL UPP I GRANPLANTOR FRÅN HÄRDAD ASKA I FÄLT?

Detta fältförsök visar att kisel tas upp i trädplantor från aska som har tillförts jordytan med 3 ton TS/ha härdad aska (Figur 4-6), även om den totala halten kisel i jorden, 5-15 cm ner i marken där provet togs, inte skiljde sig nämnvärt mellan askbehandling och kontroll (Tabell 3). Orsaken är att den ytligt liggande askan har löst ut tillgänglig kisel, som har transporterats nedåt i jorden och ökat jordens tillgängliga halt med ca 63% (Tabell 3). Det betyder att djup nermyllning av askan inte behöver göras med syfte att den tillgängliga kiselfraktionen ska öka och att jordens pH inte ska öka p. g. a. askan (Tabell 3). Liknande effekter redovisades av Greger och Landberg (2015) i jordbruksmark, där kisel i olika former tillförts jordytan.

Det upptagna kislet ackumulerades och kiselhalten ökade i växtens alla delar med askåterföring (Figur 4, 5, Tabell 5). Den totala kiselhalten ökade i ved, bark och barr med 7, 5, och 11 % (Figur 4), den lösta fraktionen ökade mer än den totala kiselhalten; det lösta kislet ökar med 11, 8 och 20 % (Figur 4, 5). I våra försök, som tidigare gjorts på granplantor med samma asktillförsel, erhöles en ökning av kiselhalten med 5,5 ggr, dvs. 550% (Greger och Landberg 2022). Möjlig orsak till skillnaden mellan denna och vår tidigare studie i växthus gällande askans ökade kiselupptagning var att askan i vår tidigare studie myllades ner samt var en färsk, icke härdad, aska. Dessutom var jorden i den tidigare studien sand, som är mycket mer genomsläpplig än den jord som var i fältförsöket. Vidare vattnades växterna som stod i växthus dagligen, vilket inte var fallet i fältstudien, där miljön var torr de två första månaderna. I denna studie användes visserligen en annan aska än i tidigare rapport (Greger och Landberg 2022), men eftersom vi i det tidigare projektet fann att askorna inte skiljde sig åt gällande kisel så kan inte skillnaden bero på askorna. En möjlig orsak är en utspädningseffekt p. g. a. att plantorna växte under sommarsäsongen i fältstudien, men att de inte vuxit under växthusförsöket, som utfördes under senhösten.

Sammantaget vad som troligtvis händer kislet i askan i de två försöken.

I fältstudien med härdad aska: Under försökets två första månader var vädret torrt och det kisel som frisattes från askan var då försumbar. Därefter kom en regnperiod under den återstående 1,5 månaden. Under den tiden löstes kisel ur askan och transporterades genom jorden och delar av kislet bands upp till jordpartiklarna. Av det lösta kislet, som nådde rötterna 5-15 cm ner, togs en del upp i rötterna och transporterades vidare in i plantan för ackumulering. En biologisk utspädningseffekt p. g. a. tillväxt skedde här och därför var koncentrationen i växten liten.

I växthusstudien med färsk aska (Greger och Landberg 2022): Från försökets första dag löstes kisel ur askan och kislet transporterades ner genom sanden och mycket lite bands upp i sanden. Av det lösta kislet, som nådde rötterna 5-15 cm ner, togs det

mesta upp i rötterna och transporterades vidare in i plantan för ackumulering. Ingen biologisk utspädningseffekt p. g. a. tillväxt skedde här.

4.2 HUR SKILJER SIG KISELUPPTAGET MELLAN HÄRDAD OCH FÄRSK ASKA?

Kiselupptaget var större från färsk aska jämfört med härdad aska (Figur 6). Den största skillnaden återfanns i veden (Figur 6). Ökningen härrör inte från en högre kiselhalt i askan, eftersom askorna innehåller lika mycket kisel (Tabell 1 och 2). Istället beror det högre upptaget på den högre tillgängliga kiselfraktionen i den färska ohärdade askan, jämfört med den härdade askan (Tabell 2). Den totala kiselhalten i växten från färsk aska jämfört med härdad aska skiljer sig i ved, bark och barr med 12, 5, och 0 % och det lösta kislet ökar med 6, 0 och 7 % (Figur 6). I inget fall får vi en kiselökning i plantan (jämfört med kontrollen) som motsvarar de 5,5 ggr som vi fick i tidigare undersökning (Greger och Landberg 2022). Kisel tas alltså upp från både färsk och härdad aska när det tillförts jorden. Det betyder att även härdad aska vid askåterföring tillför kisel till plantorna.

4.3 VAR ACKUMULERAS KISEL I TRÄDET OCH I VILKEN FORM?

Kisel som askan tillförde ackumulerades i alla trädens delar, både i löst och bunden form (Figur 4-6). Det lösta kislet återfinns antagligen till största delen i växtens cellsaft medan den del som är bunden återfinns mest troligt i cellväggarna.

4.4 PÅVERKAS BIOMASSAN?

Biomassaproduktionen påverkades inte nämnvärt av tillförsel av härdad aska (Tabell 7-9). Endast den färska askan ökade något tillväxten mätt i vikt, dock inte signifikant. Längdtillväxten påverkades dock av färska aska och minskade med 40 % (Tabell 9). En icke signifikant ökning av biomassa mätt i gram (Tabell 7, 8) och en signifikant minskning av längden (Tabell 9) tyder på att växtens nya skott blivit kortare och tjockare. I våra tidigare studier har vi kunnat visa att kisel ökar cellväggstjockleken hos gran och tall (Greger och Alhousari 2018), vilket kan leda till kraftigare och kortare plantor.

4.5 PÅVERKAS BETNINGEN?

Om askans kisel påverkade snytbaggebetningen kunde inte undersökas i detta arbete. Orsaken var att vi inte fick tag i någon granplantering där man satt ut obehandlade granplantor. Plantorna hade inte heller hunnit växa tillräckligt

mycket under försommarfasen, då snytbaggarna är som mest aktiva, eftersom försommartorkan hämmat tillväxten. Hade tillväxt skett så hade det funnits nya områden på de Conniflexbehandlade plantorna där snytbaggarna kunnat beta.

I våra tidigare studier med silikater (Greger och Alhousari 2020) ger 40g löst kisel/kg i barken en signifikant minskning av snytbaggegnag. I växthusförsöket som föregick detta projekt (Greger och Landberg 2022) fann vi att redan vid 0,5 ton askgiva fick vi en kiselhalt i barken som övergick 40g löst kisel/kg i barken. I denna fältstudie landade halten på 32g löst kisel/kg i barken, en lägre siffra än tidigare undersökning, som mest troligt beror på en utspädningseffekt p. g. a. tillväxt samt ett annat jordmaterial (sand jmf med sandig jord med organisk halt) tidigare diskuterat i sektion 4.1. Det är högst troligt att kiselhalten ökar i barken när tillväxten stoppas upp och plantorna fortsätter att ta upp kisel (Pettersson m. fl. 2022).

4.6 MER KUNSKAP FRÅN FRAMTIDA FÄLTFÖRSÖK

Denna och tidigare studier (Greger & Alhousari 2018, Alhousari & Greger 2019, Greger & Alhousari 2020, Greger & Landberg 2022, Pettersson m fl 2022) visar på att både fröplantor och 1,5 åriga plantor av gran och tall tar upp och ackumulerar kisel från omgivningen, om det är växttillgängligt, oavsett om kisel tillsatts som silikat, aska eller nanopartiklar (Microsilica). Försöken visar att kisel i plantans bark kan minska snytbaggeangrepp på gran- och tallplantor. Av de tre kiseltyper som vi har använt fungerar dock Microsilica dåligt p.g.a. att det inte ackumuleras i barken på samma sätt som de övriga två. Det enda kiselmedlet som använts i storskaligt försök är Microsilica, och då tillsatt under uppodlingen av fröplantor (Pettersson m fl 2022). I storskaliga försök med askspridning har aldrig snytbaggeangreppen studerats.

Vidare har kiselmedlet tillsatts antingen under uppodling i plantskola (Pettersson m fl 2022) eller direkt till plantan på odlingsplatsen (denna studie). Det har visat sig att plantornas kiselhalt i skotten minskar om kisel tillförseln avslutas. Detta beror på en i växten utspädningseffekt vid tillväxt. Därför verkar det rimligt att fortsätta att tillföra kisel åtminstone två år efter plantering för att få bästa effekt mot snytbaggar.

Det behövs en uppföljning av försöken där ovanstående testas i större skala i skog där verkliga snytbaggeskador följs upp, på plantor som inte behandlats vare sig med kemiska medel, med vax eller med Conniflex. I en sådan studie tillförs härdad aska under uppodling av fröplantor, på plats vid utplantering samt under de efterföljande två åren. På så sätt kan plantan ackumulera maximalt med kisel under hela den känsliga perioden, då snytbaggeangrepp sker. Dessutom ges plantan goda förutsättningar för tillväxt och tolerans mot torka, vilket också är effekter av kisel. En sådan uppföljning skulle samtidigt fungera som en metodutveckling i askåterföring mot snytbaggeangrepp.

4.7 RESULTATENS VÄRDE FÖR SKOGSINDUSTRIN

Tillförsel av kisel via aska till skogsplantor ökar kiselupptag i plantan. Därmed ökar kiselanläggning i barken så att snytbaggangreppen minskar och fler plantor kommer att överleva efter utplantering. Tack vare kisel minskar den ekonomiska förlusten som årligen drabbar skogsbruket p.g.a. snytbaggens angrepp.

Kraftiga stormar har ökat de senare åren, med ökade stormskador på skogen och ökade angrepp av barkborrar (och snytbaggar) som följd. Faktorerna orsakar stora ekonomiska problem för skogsbruket. Genom att återföra aska och med det växttillgängligt kisel, som trädplantorna tar upp, ges plantan större stabilitet och styrka i form av tjockare cellväggar (Greger & Alhousari 2018). Dessutom ökar motståndskraften mot torka. Kisel främjar även produktion av biomassa. Eftersom kisel ökar växters motståndskraft mot insektsangrepp, svamp och växtsjukdomar (Alhousari & Greger 2018) så är det troligt att även granbarkborreangreppen skulle minska om plantorna får kisel. Detta är dock ännu inte undersökt.

4.8 SLUTSATS

Slutsatsen är att återförande av aska i skogen ökar den växttillgängliga kiselhalten i marken, som i sin tur ökar kiselackumuleringen i skogsträdplantorna. Eftersom kiselhalten i barken ökar så kan det påverka betningstrycket från snytbaggar. Både detta försök och det som Pettersson m fl (2022) gjort, visar på att skogsplantor bör ges kisel redan vid uppodling och ute i fält, för att uppnå hög kiselhalt i barken. Askåterföringen både i plantskola och i fält för att få en maximal effekt på snytbaggangreppen bör undersökas i fältförsök som ett nästa steg.

5 Tackord

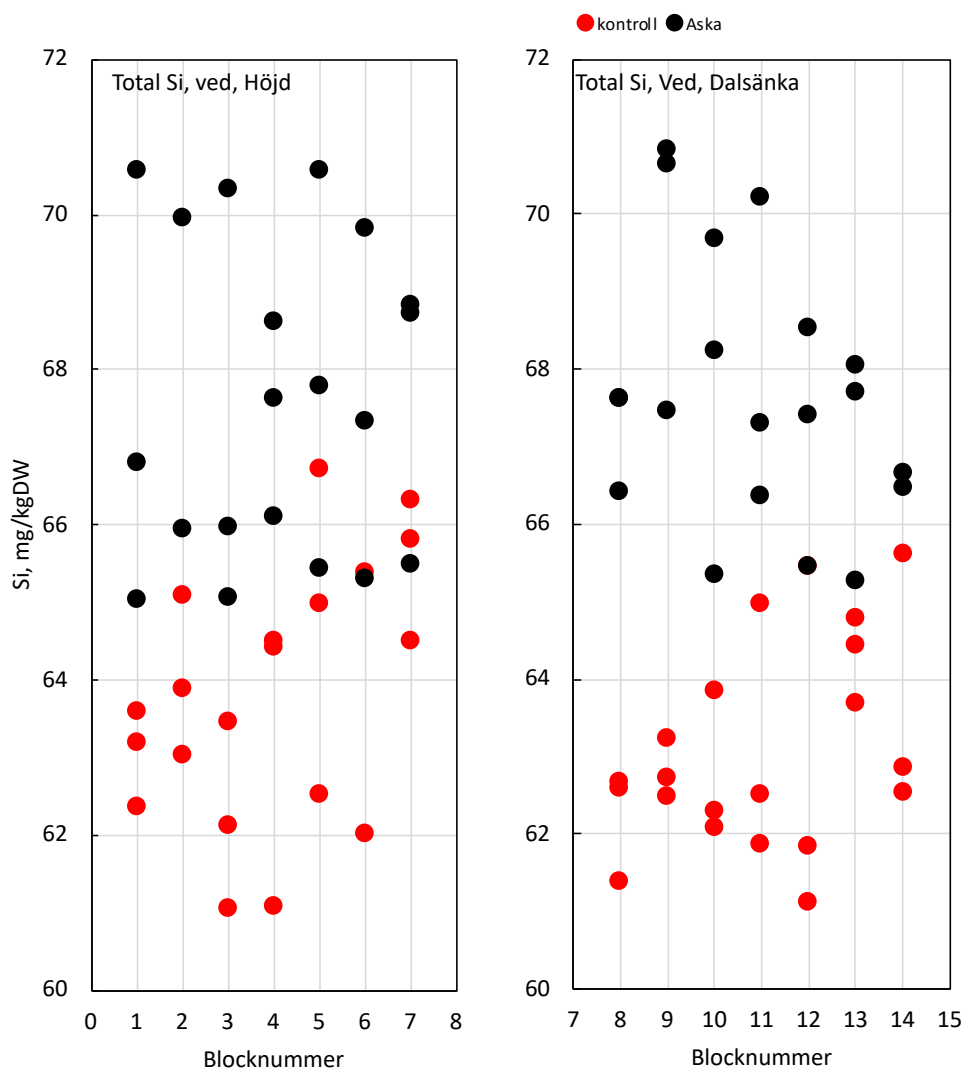
Denna studie har finansierats av Energiforsk AB. Vi tackar Daga Björnlunda häradsallmänning för att vi fått lägga ut försöket i deras marker. Tack också till Pasi Trollhjärta på Sveaskog, som hjälpt till att hitta lämpliga nyplanteringar, Stefan Andersson, Skogsstyrelsen, och Harald Svensson, Stockholm Exergi, för att ha förmedlat tillgång av aska. Vi tackar även referensgruppen i vilket har medverkat; Benjamin Forsmark och Henrik Holmberg från Södra skogsägarna, Stefan Anderson från Skogsstyrelsen, Harald Svensson från Stockholm Exergi och Anita Pettersson från Högskolan i Borås.

6 Referenser

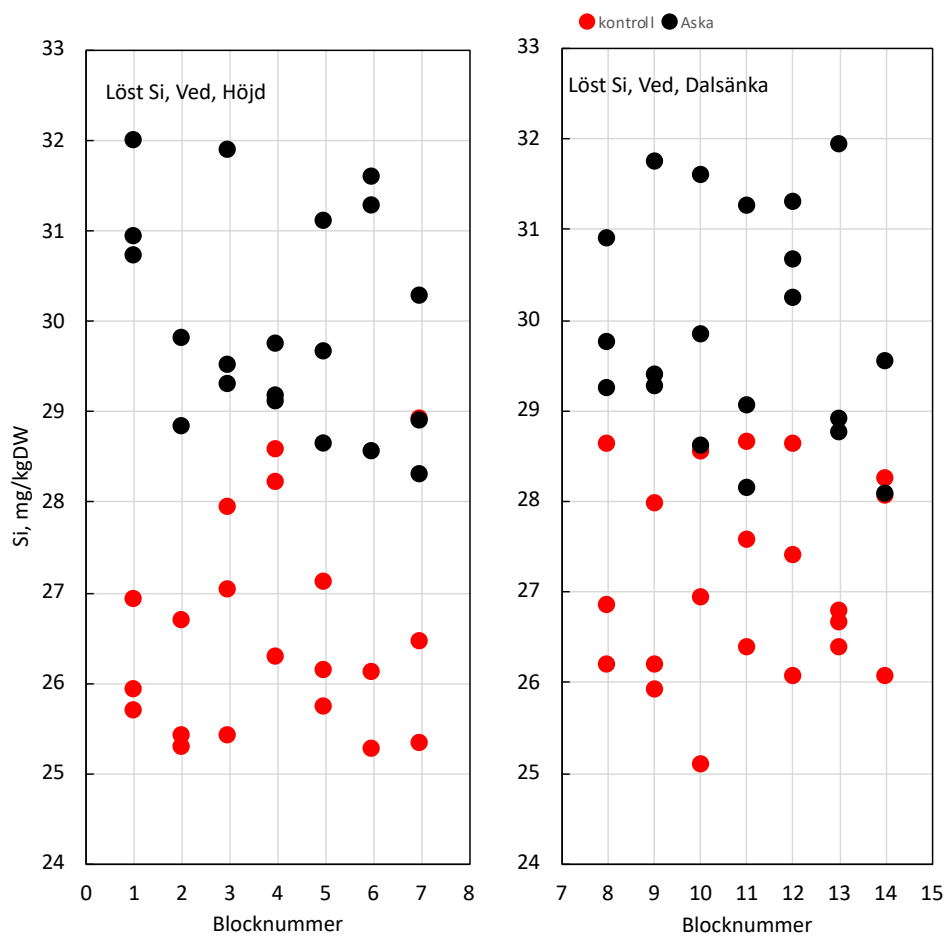
- Alhousari F & Greger M. 2018. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. — *Plants* 7: 33; doi:10.3390/plants7020033.
- Alhousari F. & Greger M. 2019. Influence of microsilica and slag on weevil grazing, fiber quality, drought resistance and fire retardation in coniferous trees as well as Si uptake. — *Rapport till Elkem*. 31pp
- Berthelsen S., Noble A.D. & Garside A.L. 2001. Silicon research down under: past, present and future. In: Datnoff L.E., Snyder G.H. and Korndörfer G.H. (eds), *Silicon Deposition in Higher Plants. Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, pp. 241–255.
- Carey J.C., & Fulweiler R.W. 2012. The terrestrial silica pump. — *PLoS One*, 7(12): e52932.
- Drott A., Anderson S. & Eriksson H. 2019. Regler och rekommendationer för skogsbränsleutttag och kompensationsåtgärder. — Rapport. Skogsstyrelsen 2019/14.
- Epstein E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. — *Annals of applied Biology*, 155(2): 155-160.
- Greger M., Ekvall L., Österås A.H., Pettersson W., Perttu K. & Aronsson P. 1998. Mixed waste products from pulp and paper industry used as fertilizers in forest. — Rapport 238 AFR., 66pp
- Greger M. & Landberg T. 2015. Silicon decreases cadmium and arsenic in field grown crops. — *Silicon* 11: 2371–2375.
- Greger M., Kabir A.H., Landberg T., Maity P.J. & Lindberg S. 2016. Silicate reduces cadmium uptake into cells of wheat. — *Environmental Pollution* 211: 90-97
- Greger M. Alhousari F. 2018. Kisels inverkan på trädens stamstruktur och cellulosa-fiberbildning. — *Rapport till Önnestiftelsen*. 7pp
- Greger M., Landberg T. & Vaculík M. 2018. Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. — *Plants*, 7: 41; doi:10.3390/plants7020041
- Greger M. & Alhousari F. 2020. Effekten av kisel på snytbaggennag på barrträd. En naturlig metod att förebygga insektsangrepp på skogsträd med kisel. — *Rapport till Stina Werners stiftelse* 12pp
- Greger M. & Landberg T. 2022. Kiselupptag i tall och gran från aska. — *Rapport till Energiforsk* 2022:904.
- Keller C., Guntzer F., Barboni D., Labreuche J., & Meunier J.D. 2012. Impact of agriculture on the Si biogeochemical cycle: input from phytolith studies. — *Comptes Rendus Geoscience*, 344(11-12): 739-746.

- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. 2015. *Silicon in Agriculture: From Theory to Practice*. Springer, Dordrecht/Heidelberg/New York/London
- Pettersson, M., Greger, M., Høst, E. Kløvstad, A.G. & Sundheim Fløstad, I. 2022a. Kan snutebiller stoppes med tilførsel av silika? — Norsk Skogsbruk.
- Pettersson M, Greger M. m. fl. 2022b. Tilførsel av (Amorf) silika fører til økt motstand mot snutebilleangrep og økning i biomasse for granplanter. — Rapport till Skogtiltaksfondet og Utviklingsfondet for skogsbruk 6pp
- Prychid C.J., Rudall P.J., & Gregory M. 2003. Systematics and biology of silica bodies in monocotyledons. — *The botanical review*, 69(4): 377-440.
- Rodrigues F.A. & Datnoff L.E. (Eds.). 2015. *Silicon and Plant Diseases*. Springer International Publishing AG. Cham, Switzerland
- Snyder G.H. 2001. Chapter 11 Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. In: *Silicon in Agriculture*, Eds: L.E. Datnoff, G.H. Snyder and G.H. Korndörfer (Eds). Studies in Plant Science Series Volume 8, 2001 Pages 185-196, Elsevier Science B.V.
- Struyf, E., Smis, A., Van Damme, S., Garnier, J., Govers, G., Van Wesemael, B., ... & Meire, P. 2010. Historical land use change has lowered terrestrial silica mobilization. — *Nature communications*, 1(1): 1-7.

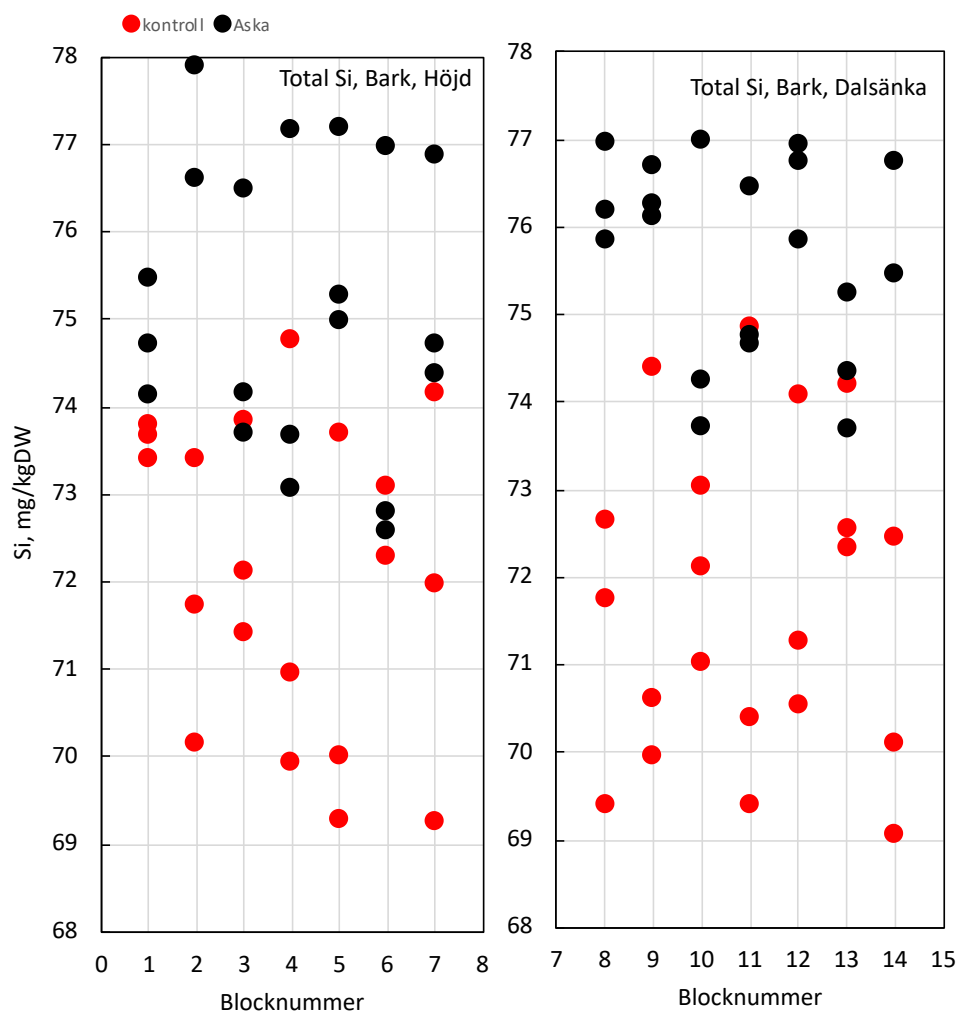
Bilaga A:



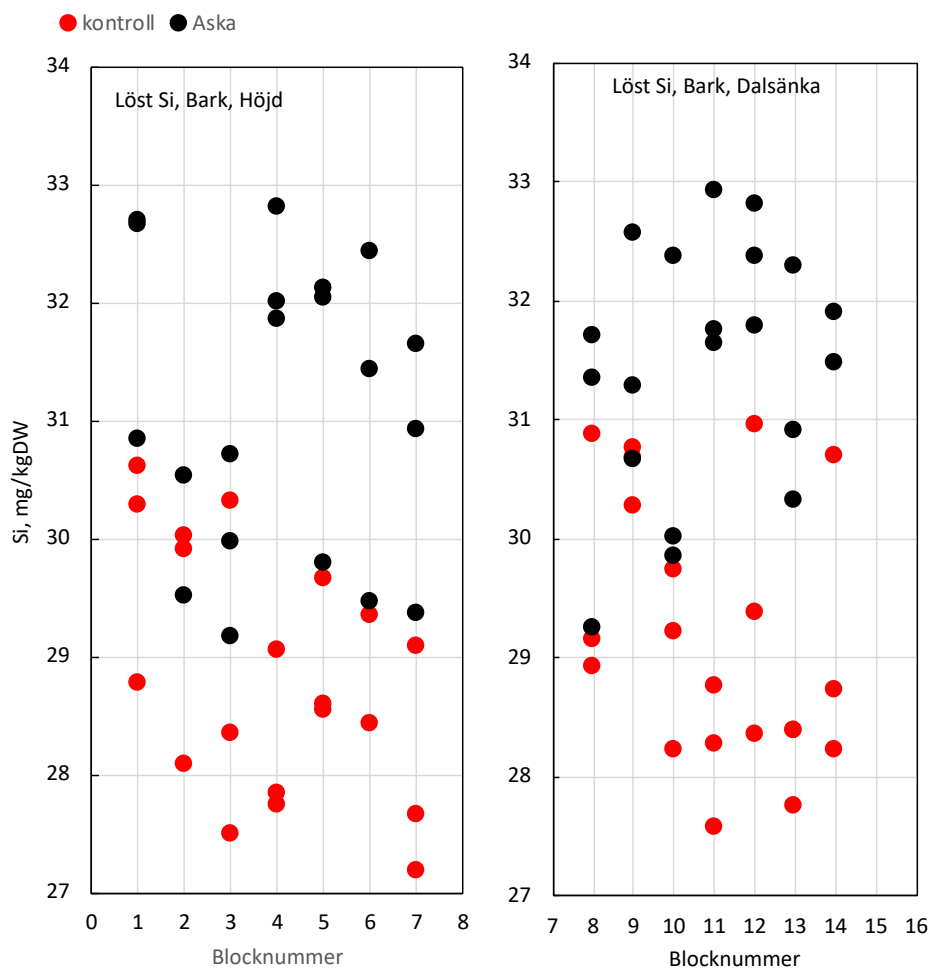
App. Figur 1. Total Si i ved i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



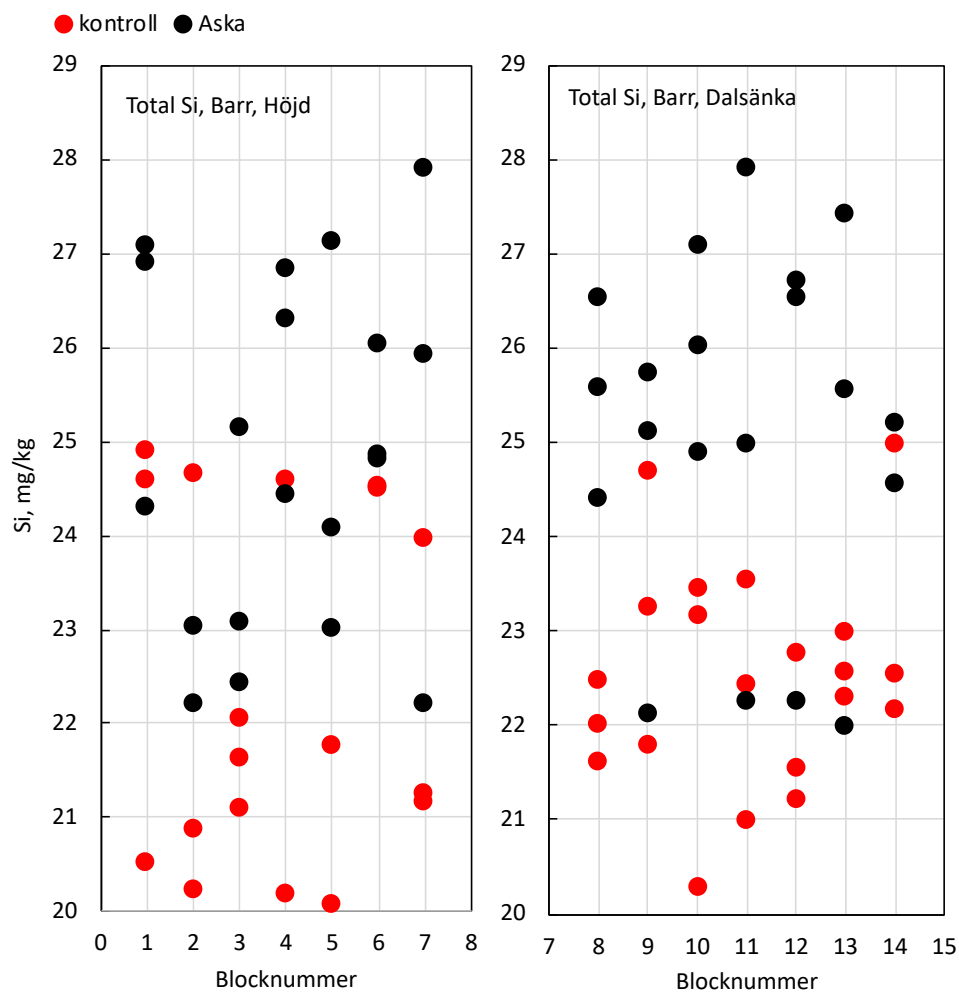
App. Figur 2. Löst Si i ved i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



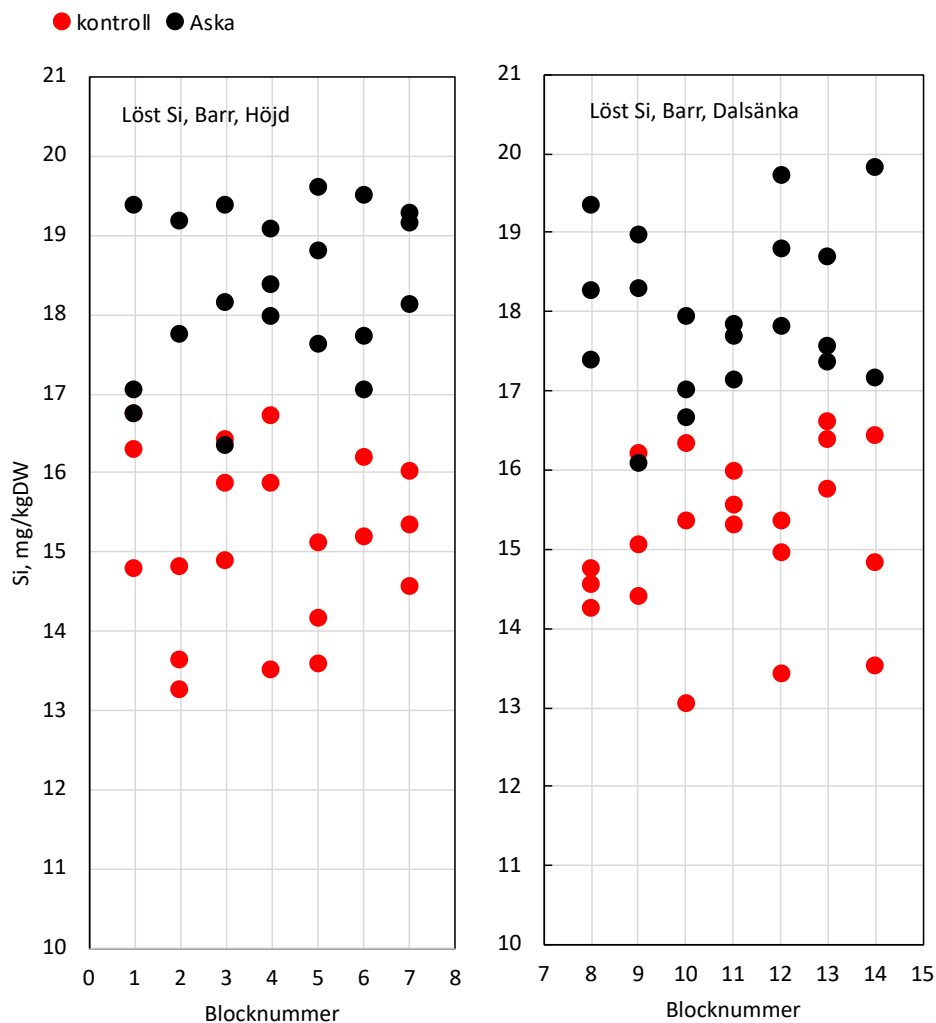
App. Figur 3. Total Si i bark i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



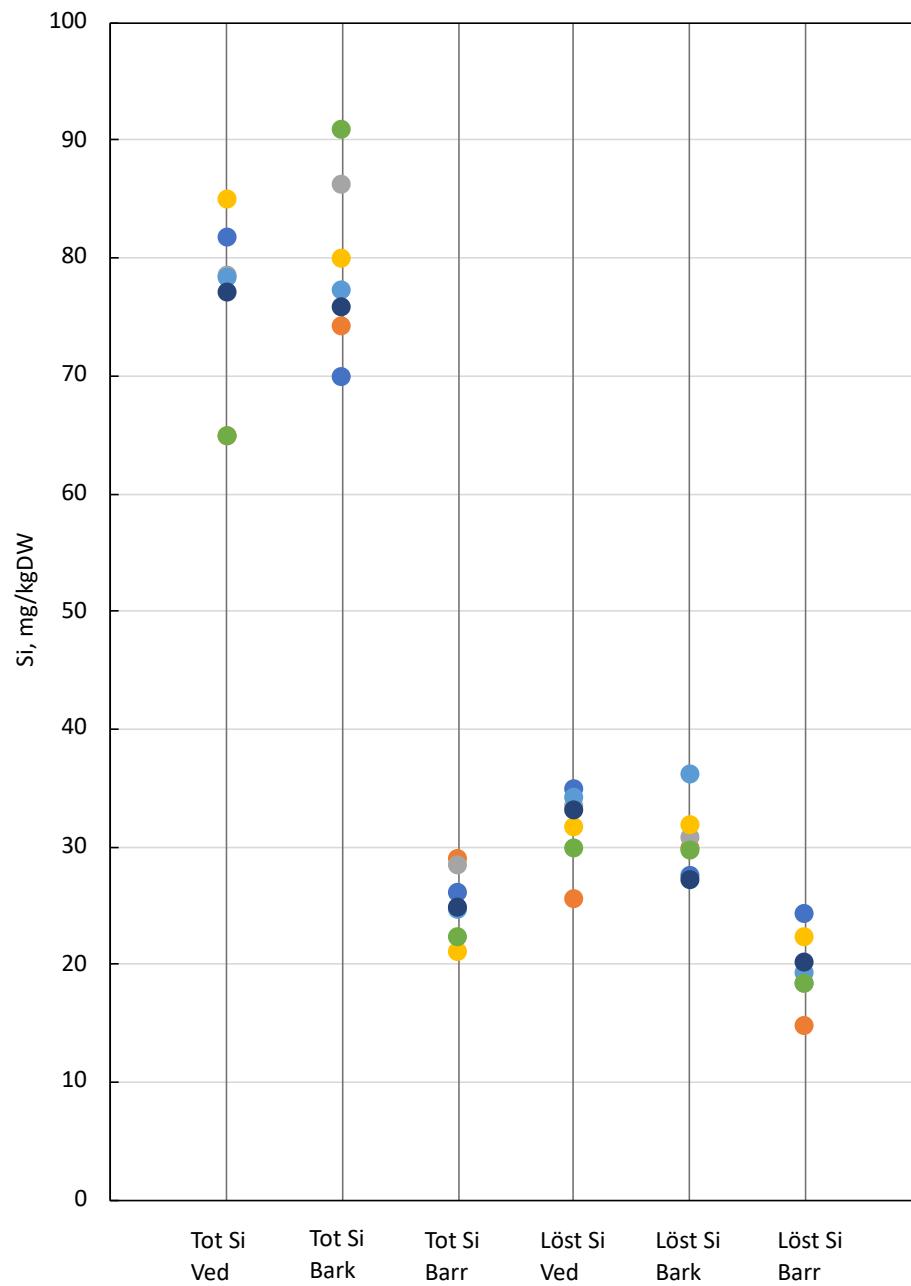
App. Figur 4. Löst Si i bark i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



App. Figur 5. Total Si i barr i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



App. Figur 6. Löst Si i barr i kontroller (rött) och behandlad med härdad aska (svart) visad för varje replikat inom vardera sju block på de två områdena; höjd (blocknummer 1-7) och dalsänka (blocknummer 8-14).



App. Figur 7. Total resp. löst kisel i ved, bark och barr i plantor behandlad med färsk aska visad för varje replikat.

TRÄDPLANTORSUPPTAG AV KISEL FRÅN ASKA

Den här studien visar att gran tar upp kisel från aska som tillförts med 3 ton TS/ha i en granföryngring i fält. Både härdad och färsk aska ökar plantornas kiselupptagning. Det är därför möjligt att med askåterföring återföra den tillgängliga kisel som tagits ut med avverkningen. Kisel kan minska snytbaggeangreppen hos utplanterade skogsplantor.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

