

ASKTILLFÖRSEL I ÄLDRE DIKADE TORVMARKSSKOGRAR

RAPPORT 2016:226



MILJÖRIKTIG
ANVÄNDNING
AV ASKOR



Asktillförsel i äldre dikade torvmarksskogar

Wood Ash Fertilization in Old Drained Peatland Forests

Påverkan på grundvattenkemi och barrens näringshalter

Effects on Groundwater Chemistry and Needle nutrient contents

TORD MAGNUSSON OCH BJÖRN HÅNELL

ISBN 978-91-7673-226-7 | © 2015 ENERGIFORSK

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-207 Uppföljning av försök med asktillförsel i äldre dikade torvmarksskogar (Energimyndighetens projektnummer 39191-1) 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.

Denna rapport redovisar effekter av askgödsling på grundvattnet och på barrens näringsstatus, tre år efter askgödsling av fem äldre dikade och skogbevuxna torvmarker i Norrland.

Projektet har haft en referensgrupp bestående av Jonas Vestun, Jämtkraft och Magnus Lindén, Södra.

Stockholm februari 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

Eventuell framtida asktillförsel till torvmarker kommer att gälla de arealer av äldre dikad torvmark som numera nyttjas för normalt skogsbruk. Det skogliga huvudmotivet för sådan asktillförsel är att upprätthålla eller t.o.m. öka dessa markers skogsproduktionsförmåga, efter att mineralnäringsämnen bortförts med biomassan i det avverkade beståndet.

Tidigare svenska och finska erfarenheter av askans effekter på skogsproduktionen är mestadels starkt positiva. Undersökningar av askgödslingens miljöeffekter, såsom exempelvis vattenkvalitet och klimatpåverkan, har hittills inte gett anledning till tveksamhet inför åtgärden. Det finns dock ett behov av att bekräfta dessa erfarenheter.

Denna rapport redovisar effekter av askgödsling på grundvattnet och på barrens näringsstatus, tre år efter askgödsling av fem äldre dikade och skogbevuxna torvmarker i Norrland. Arbetet ingår i ett större projekt, som även innefattar en senare uppmätning av trädbeståndets tillväxt.

Försöksserien omfattar fem torvmarksområden, från Delsbo (Hälsingland) i söder till Burträsk (Västerbotten) i norr. Alla försökslokaler har måttligt djup torv (min. ca 0,5 – ca 1,5 m). Försöken innefattar behandlingarna 0 (kontroll), 5 och 10 ton granulerad aska/ha och varje behandling är upprepad på 2 – 6 olika provytor per försökslokal.

Asktillförseln hade efter 3 år ganska svaga generaliserbara effekter på grundvattnets innehåll av ämnen. Halterna av kalium och sulfatsvavel höjdes, jämfört med kontroll. Ammoniumkväve uppvisade sänkta halter på de flesta försökslokalerna. Askgödslingen gav ingen mätbar påverkan på pH eller beräknad alkalinitet. Den hade likaledes inga effekter på utlakning av nitrat eller fosfat, eller på vattnets halt av organiskt material (TOC). Grundvattnets innehåll av metylkvicksilver tycktes inte heller påverkas.

Asktillförseln förbättrade barrens näringsstatus avseende kalium och fosfor, samt även högre halter av svavel och mikronäringsämnena bor och kisel. Halterna av magnesium minskade något, medan kväve- och kalciumhalterna och övriga analyserade ämnen inte påverkades.

Resultaten beträffande asktillförselns effekter på utlakning av näringsämnen och effekter på beståndets näringsstatus överensstämmer väl med publicerade sammanfattande arbeten av Piirainen et al. (2013) respektive Huotari et al. (2015). Även om effekterna i sina detaljer givetvis varierar något mellan olika torvmarkstyper, geografiska områden, klimat m m, så pekar våra resultat entydigt mot att huvuddragen i tidigare erfarenheter gäller för stora delar av Sverige och för äldre dikade torvmarksskogar. Dessutom, den särskilda studien av metylkvicksilver visade inga signifikanta effekter på halterna av metylkvicksilver i ytligt grundvatten, 3 år efter tillförsel av 5 eller 10 ton aska per hektar.

Summary

Future ash fertilization of forested peat soils in Sweden, if implemented, will concern only areas of long time drained and forested peatlands, which are presently managed for forestry. The main motive for such ash fertilization would be to maintain or even enhance soil fertility, after the inevitable export of mineral nutrients with the harvested biomass.

Earlier Swedish and Finnish experiences of the effects of wood ash on soil productivity on peat lands, are mostly strongly positive. Investigations of the environmental effects, for example water quality and net effects on climate forcing gases, have so far not indicated reasons to refrain from this silvicultural measure. There is, however, still a need for further confirmation of these conclusions.

Here, we report the effects of ash fertilization on the groundwater and on the nutrient status of pine (*Pinus Silvestris* (L.)) needles, three years after ash treatment, on five old-drained and forested peatlands in Northern Sweden. The work is part of a larger project, including a subsequent survey of the tree production. The series of trial areas comprises five sites, spread from lat. 62° N to 64.5° N. All sites have moderately deep peat (minimum 0.5 m to ca 1.5 m). The trials includes the treatments 0 (control), 5 and 10 tonnes of granulated wood ash per hectare and each treatment is repeated 2 – 6 times on each site.

The ash treatment had only weak general effects on ground water quality after three years. The concentration of potassium and sulphate increased, compared to control. Ammonium nitrogen, on the contrary, showed decreased concentrations on most of the sites. The ash treatment did not affect pH or calculated alkalinity. Likewise, it did not affect leaching of nitrate, phosphate, or the total concentration of organic carbon (TOC) in the water. The groundwater concentration of methyl mercury appeared not to be affected.

The ash treatment improved tree nutrition. Needle concentrations of phosphorus, potassium, sulphur, boron and silicon increased. The contents of magnesium decreased somewhat. Calcium and nitrogen, and some other minor elements, were not affected.

These results regarding ash effects on ground water quality and tree nutrition agree well with earlier findings, according to reviews by e.g. Piirainen et al. (2013) and Huotari et al. (2015). Of course, the detailed effects may vary with peatland type, climate, geographic location etc., but our results confirm that the main features of earlier findings are valid for large parts of Sweden and for old-drained peat land forests. Additionally, in the specific study of possible ash effects on methyl mercury in the groundwater, no significant effects were found.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte	9
2	Material och metoder	11
2.1	Försökslokaler	11
2.2	Provtagning	12
2.2.1	Vattenprovtagning	12
2.2.2	Barrprovtagning	13
2.3	Analysmetoder	13
2.3.1	Vattenanalyser	13
2.3.2	Barranalyser	13
2.4	Statistisk bearbetning	14
3	Resultat	15
3.1	Vattenanalyser	15
3.2	Barranalyser	18
3.2.1	Barrvikter	18
3.2.2	Näringshalter i barren	18
4	Diskussion	22
4.1	Grundvatten	22
4.2	Barrens näringshalter	23
4.3	Slutsatser	24
5	Litteratur	25
6	Bilagor	27

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Redan tidigt under 1900-talet blev det klarlagt att växtproduktion på torvmarker ofta begränsas av tillgången på vissa mineralnäringsämnen, och att skörden av växtbiomassa från dikade torvmarker kan medföra akuta bristsymptom och produktionsminskning (exv. Booberg och Bauman, 1922). I skogliga sammanhang prövades gödsling med vedaska, både i enstaka vetenskapliga experimentella försök och i mer "halvpraktisk" skala ute i skogsbruket (Malmström, 1935).

Askgödsling/askåterföring som skogsskötselåtgärd på torvmarker blev dock nästan inte alls tillämpat i det praktiska skogsbruket under huvuddelen av 1900-talet. Först under 1980-talet återkom asktillförsel som en skogligt intressant åtgärd – med de dubbla motiven att motverka framtida negativa produktionseffekter av ett allt intensivare biomassa-utnyttjande, samt att motverka mark- och vattenförsurning. Storskalig framställning av bioenergi vid förbränningsanläggningar, har bidragit till det ökade intresset för att tillvarata restprodukten aska.

Framtida asktillförsel till torvmarker kommer att gälla de arealer av äldre dikad torvmark som numera nyttjas för normalt skogsbruk (Hånell, 2004). Det skogliga huvudmotivet för sådan asktillförsel är att upprätthålla eller t.o.m. öka dessa markers skogsproduktionsförmåga, efter att mineralnäringsämnen bortförts med biomassan i det avverkade beståndet.

Befintlig kunskap om askans produktionsmässiga effekter bygger i hög grad på gamla (1900-talets första hälft) svenska försök efter nydikning och beskogning av tidigare opåverkade våtmarker, samt från finska studier (Malmström, 1952; Silfverberg och Huikari, 1985; Silfverberg, 1996). Men svenska studier av asktillförsel till äldre dikad torvmark där en generation skog redan producerats, dvs. den typ av marker som är aktuella för framtida asktillförsel till torvmarker, är få (Sikström, 2009).

Forskning, inriktad mot asktillförselns eventuella negativa miljöeffekter, har inte kunnat påvisa ökad utlakning av kväve eller tungmetaller, eller ökad emission av klimatpåverkande gaser (Magnusson & Hånell, 2000; Sikström m fl, 2009; Ernfors m fl, 2010; Klemmedtsson m fl 2010; Sikström m fl, 2010; Ring m fl 2011; Ring m fl, 2012; Sikström m fl, 2012). En annan aktuell miljöfråga med skoglig anknytning – utlakning av metylkvicksilver till ytvattensystemen – har över huvud taget inte studerats i sammanhanget asktillförsel till torvmarker.

Askans eftersträlvade positiva effekt på vattenmiljön – att motverka försurning i vattendragen – har utvärderats i en studie som sammanställt publicerade och opublicerade data från asknings- och kalkningsförsök (Johansson, 2014). Resultaten visar att ask-/kalktillförsel ofta medför en ökad syraneutraliseringsförmåga (ANC) i avrinnande ytvatten.

1.2 SYFTE

Det övergripande syftet med projektet är att ta fram kunskap om hur stor tillväxtökningen kan bli genom askgödsling i medelålders och äldre skog på torvmarker med gamla diken, samt om detta kan åstadkommas utan negativa konsekvenser för vattenekosystemen. Resultaten utgör viktiga underlag för ställningstagandet till åtgärden återföring/tillförsel av aska till skog på torvmark.

Etappmål:

1. *Etapp 1. Etablering av experimentella försök på flera lokaler i norra Sverige. (2009 – 2011)*
2. *Etapp 2. Fältstudier av kortsiktiga effekter på utströmmande grundvatten från försöksytorna, samt effekter på trädens näringsstatus. (Föreliggande delrapport!)*
 - Bestämma och statistiskt utvärdera skillnader mellan kontroller och behandlade ytor beträffande halter av i) pH (och alkalinitet), ii) övergödande näringsämnen (N, P), iii) DOC, samt iv) metylkvicksilver, i utströmmande grundvatten.
 - Bestämma barrhalter av makronäringsämnen och statistiskt utvärdera förändringar gentemot kontrolltytor, liksom halternas koppling till askgiva.
3. *Revision av stående trädbiomassa och 5-år tillväxt, inkl studier av gallringens betydelse för askgödslingens tillväxteffekter. (2016-2017)*

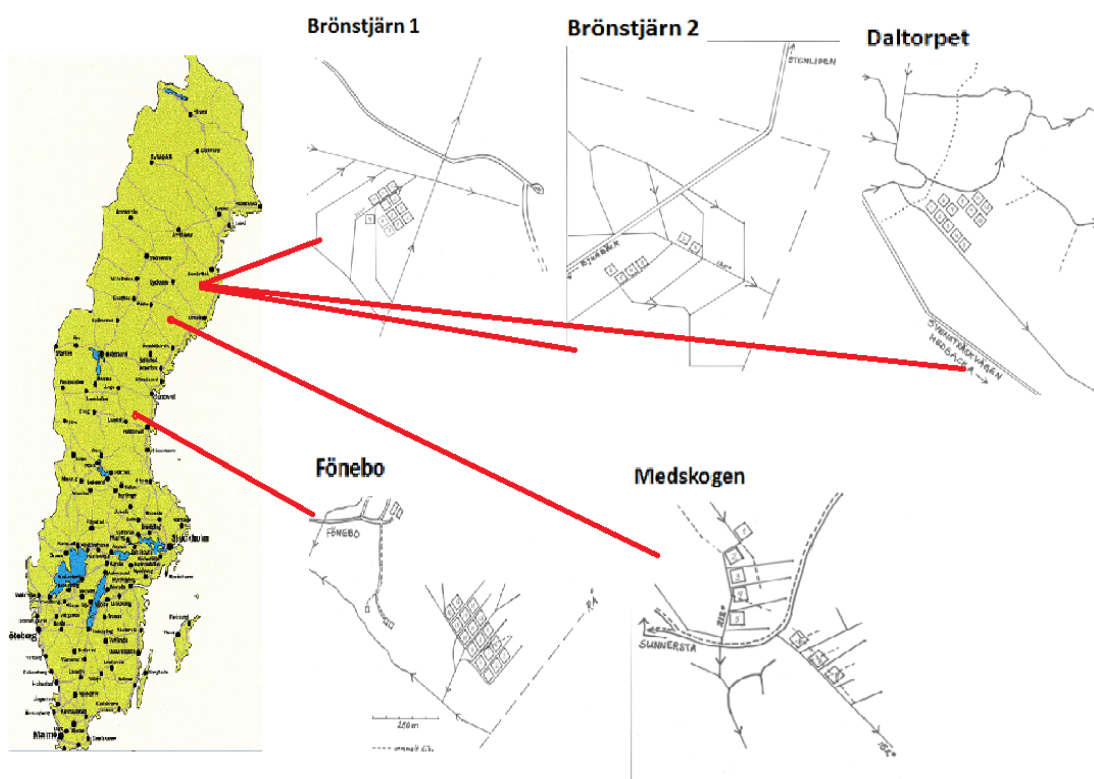
Miljöeffekt-studierna i etapp 2 är motiverade av följande frågeställningar (vilka i sin tur är baserade på såväl empiri som teoretisk kunskap om markprocesser):

- Askans effekter på avrinningsvattnets pH? Basiska ämnen tillförs med askan, vilket höjer markens pH och basmättnadsgrad. Detta borde, teoretiskt, avspeglas i högre pH och alkalinitet i avrinningsvattnet.
- Askans effekter på övergödning av vattensystemen? Nitrifikation gynnas av pH-höjning i marken – och därmed ökar risken för uttransport av den lättutlakade nitraten. Likaså farhågan för utlakning av fosfat från askan. Oftast är P ett bristämne för vegetationen på torvmark, men å andra sidan är den organiska jordens bindningskapacitet för tillförd fosfat mycket låg, särskilt i näringsfattiga, djupa typer vilka har låga halter av järn- och aluminiumoxider.
- Askans effekter på avrinningsvattnets halt av löst organiskt material? Halten DOC i vattnet påverkas av flera saker, men – allt annat lika – så finns det en koppling mellan ökat pH och ökad DOC inom en del av pH-skalan (ca 3 – 7). Därav farhågan att askan skulle kunna orsaka mer DOC i avrinningsvattnet.
- Askans effekter på uttransporten av metylkvicksilver? Det finns inga teoretiskt baserade skäl för att asktillförsel på ett direkt sätt ska orsaka vare sig större eller mindre utlakning av MeHg. Men då utlakning av MeHg är en så viktig miljöfråga behöver askans effekter undersökas.

2 Material och metoder

2.1 FÖRSÖKSLOKALER

Försöksserien omfattar fem torvmarksområden, från Delsbo (Hälsingland) i söder till Burträsk (Västerbotten) i norr (Magnusson och Hånell, 2011). Markvärd är Holmen Skog AB. Alla försökslokaler har måttligt djup torv (min. ca 0,5 – ca 1,5 m). Vid provvyrtornas utläggning var kravet >0,5 m torvdjup inom alla delar av ytan, vilket testades med sticksond. Försöken innefattar behandlingarna 0, 5 och 10 ton granulerad aska/ha och varje försöksled är upprepat 2 – 6 gånger per försökslokal (6-18 provvyrtor per lokal). Behandlingsvyrtornas storlek är 30 x 30 m, eller 30 x 40 m. (Beskrivning av försökslokalerna ges i Bilaga 1)



Figur 1. Geografisk placering av de fem försökslokalerna: Brönstjärn , Burträsk (B1); Brönstjärn 2, Burträsk (B2); Daltorpet, Burträsk (D); Medskogen, Solberg (M); Fönebo, Delsbo (F). (Figur från Tjernlund 2015).

Figure 1. Geographic location of the five trial areas: Brönstjärn , Burträsk (B1); Brönstjärn 2, Burträsk (B2); Daltorpet, Burträsk (D); Medskogen, Solberg (M); Fönebo, Delsbo (F). (Figure adopted from Tjernlund 2015).

Den spridda askan är en trum-granulerad flygaska, huvudsakligen från CFB-pannor från trädränsle med 30 % torvinblandning (Ecolan T-4000) från FA Forest Oy, Finland. Spridningen skedde med helikopter (Airlift AB, Hudiksvall) och utfördes i november 2011.

Tabell 1. Askans egenskaper och sammansättning.

Table 1. Chemical characteristics of the applied wood ash.

Allmänt			Spårämnen		
Glödförlust (Org C)	% av TS	12.1	Arsenik, As	mg/kg TS	14
pH (mätt i H ₂ O)	pH-enh.	12.34	Bor, B	mg/kg TS	130
Kalkeffekt	% av CaO	22	Bly, Pb	mg/kg TS	67
Makroelement			Kadmium, Cd	mg/kg TS	8.3
			Kobolt, Co	mg/kg TS	14
Aluminium, Al	% av TS	2.9	Krom, Cr	mg/kg TS	104
Kalcium, Ca	% av TS	17	Koppar, Cu	mg/kg TS	85
Järn, Fe	% av TS	2.5	Kviksilver, Hg	mg/kg TS	0.2
Kalium, K	% av TS	3.3	Molybden, Mo	mg/kg TS	6.9
Magnesium, Mg	% av TS	1.9	Nickel, Ni	mg/kg TS	53
Mangan, Mn	% av TS	0.77	Tenn, Sn	mg/kg TS	2.9
Natrium, Na	% av TS	1.5	Vanadin, V	mg/kg TS	46
Fosfor, P	% av TS	0.97	Zink, Zn	mg/kg TS	1640
Svavel, S	% av TS	1.4			
Kisel, Si	% av TS	15			

2.2 PROVTAGNING

2.2.1 Vattenprovtagning

Provtagning av grundvatten gjordes under perioden 1 – 12 september 2014. Från försökslokalen Brönstjärn 1 (B1), Burträsk, provtogs tre (av fyra) block; från Brönstjärn 2 (B2), Burträsk, togs bägge befintliga block; från Daltorpet, Burträsk, togs två (av fyra) block; från Medskogen (M) Solberg, togs samtliga tre block; från Fönebo (F), Delsbo, provtogs tre (av 6) block.

Efter en mycket torr sommarperiod hade under perioden 18 – 25 augusti ca 40-50 mm nederbörd fallit på samtliga försökslokaler, enligt uppgifter från SMHI:s närmast liggande mätstation. Tillfälliga grundvattenbrunnar togs upp med jordborr, vars borrhuvud hade diametern 7,5 cm. Brunnens djup anpassades till grundvattennivån, eftersom avsikten var att ta prov av det senast bildade (ytliga) grundvattnet. I genomsnitt togs brunnshålet upp till ca 0,7 m djup. Brunnens placering på provytan avgjordes av i) provytans allmänna lutning och ii) huruvida provytan gränsade till ett dike. På ytor med tydlig lutning togs brunnen upp i den lägsta delen av ytan (ofta nära ett avvattnande dike). På några ytor med obetydlig marklutning, och utan angränsande tegdike, togs brunnen upp i mitten av 30 x 30 m ytan.

Brunnen lämnades för inflöde av grundvatten upp till grundvattenytans jämviktsläge. Detta tog upp till 24 timmar (nästa dag). Vattenproven sögs upp via en PTFE slang, kopplad till en provflaska. Undertrycket i provflaskan skapades med en manuell evakueringspump. Slangen nedre del fästes vid en ribba, i ett läge som förhindrade att slangens öppning kom för nära hålets botten. Hela slangsystemet sköljdes med jonfritt vatten mellan varje grundvattenbrunn. Vattenprov för analys av metylkvicksilver togs separat, i syradiskade glasflaskor. Övriga vattenprov togs i rena PE flaskor.

Vattenflaskorna förvarades i kylväska (ca 0 – 5 °C) under arbetsdagen i fält, varefter de frystes in. Inför efterföljande analys på laboratorium, tinades vattenproven i kylskåp och den klarnade vätskan dekanterades försiktigt (utan filtrering) till nya rena provflaskor.

2.2.2 Barrprovtagning

All barrprovtagning gjordes på tall, eftersom detta trädslag fanns representerat på samtliga provytor. Barrprov togs från alla provytor på samtliga fem försökslokaler. Årsskott från övre delen av kronan, i sektorn SV – SO, klipptes med en stångsekatör (förlängningsbar upp till 14 m). Ett stickprov av 10-15 dubbelbarr togs från 10 slumpmässigt utvalda tallar på varje provytas nettoyta. I flera fall fanns inte så många härskande/medhärskande tallar. Då togs i första hand från tallar just utanför nettoytan och i andra hand barr från flera olika skott på varje tall.

Efter torkning av barren (70 °C; 3 dygn) togs exakt 100 dubbelbarr ut från varje prov, för invägning, och "100-barrsvikten" för ytan noterades. Därefter maldes hela provet i kulkvarn.

2.3 ANALYSMETODER

2.3.1 Vattenanalyser

Följande ämnen har analyserats i grundvattnet: pH, TOC (organiskt kol), ammoniumkväve (NH_4^+), nitratkväve (NO_3^-), fosfatfosfor (PO_4^{3-}), oorganiska kationerna natrium (Na^+), kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), kalcium (Ca^{2+}), aluminium (Al^{3+}), oorganiska anjonerna fluorid (F^-), klorid (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), samt metylkvicksilver (MeHg). Samtliga analyser förutom bestämning av MeHg utfördes av laboratoriet vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU. pH bestämdes på ett Mettler – Toledo instrument med en Mettler-Toledo Inlab kombinationselektrod. TOC bestämdes på ett Shimadzu TOC-V instrument. NH_4 , NO_3 och PO_4 bestämdes med en Omniprocess Autoanalyser AA3 Spectrofotometer. Övriga anjoner på ett Dionex ICS90 instrument med AS-DV autosampler och en AS22 Dionex kolonn.

MeHg i grundvattnet vid analyserades av ALS Scandinavia i Luleå enligt en egen variant (MEHG-V) av en etablerad metod, innefattande isotoputspädning, extraktion och etylering, följt av bestämning på GC-ICP-MS.

ANC (Acid Neutralizing Capacity) beräknades som skillnaden mellan summa icke-sura kationer ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$) och summa konservativa anjoner utom fluorid ($\text{Cl} + \text{NO}_3 + \text{SO}_4$).

Rapporterings-/detektionsgränser för analysvariabler: TOC = ca 0,5 mg/L; NH_4 , NO_3 och PO_4 = <10 ng/L; Na = 0,01 mg/L; K = 0,02 mg/L; Mg = 0,001 mg/L; Ca = 0,02 mg/L; Al = 0,001 mg/L; F = 0,2 mg/L; Cl = 0,2 mg/L; SO_4 = 0,1 mg/L; NO_3 = 0,01 mg/L; Hgtot = 2 ng/L; MeHg = 0,03 ng/L.

2.3.2 Barranalyser

Barren analyserades med avseende på följande variabler: 100-barrvikt (100 dubbelbarr); Totalt innehåll av makronäringsämnena Kväve (N), fosfor (P), kalium (K), Kalcium (Ca) magnesium (Mg) och svavel (S), aluminium (Al), mikronäringsämnena bor (B), järn (Fe), koppar (Cu), mangan (Mn), natrium (Na), kisel (Si) och zink (Zn). N och P bestämdes efter Kjeldal-uppslutning i 8 % svavelsyra, med en Omniprocess

Autoanalyser AA3 Spectrofotometer. Övriga grundämnen bestämdes efter uppslutning i koncentrerad HNO_3 , med ett Spectro Ciros Vision ICP-OES instrument.

2.4 STATISTISK BEARBETNING

Skillnader mellan försöksled/askgivor (0, 5 eller 10 t/ha), för såväl grundvatten- som barranalyser, testades med variansanalys (Anova) med flera förklarande faktorer. Förutom försöksled (FLED), ingick försökslokal (LOKAL) och block (BLOCK) i förklaringsmodellen. Den Anova-modell som ska förklara variationen för effektvariabeln "Y" ser konceptuellt ut som följer:

$$\text{Modell} = \text{konstant} + \text{FLED} + \text{LOKAL} + \text{LOKAL} * \text{FLED} + \text{LOKAL}(\text{BLOCK})$$

Interaktionsfaktorn $\text{LOKAL} * \text{FLED}$ finns med för att förklara den variation i effektvariabeln som hänger ihop med att en viss behandling kan få olika effekter på olika lokaler. Faktorn $\text{LOKAL}(\text{BLOCK})$ finns med för att förklara den variation i effektvariabeln som hänger ihop med att en viss behandling kan få olika effekt på olika delområden inom en försökslokal (BLOCK sägs vara "nästlat" i LOKAL).

I några fall gjordes en-vägs variansanalyser, för en viss lokal och en viss effektvariabel, med syfte att utreda om askbehandlingen hade signifikanta effekter på effektvariabeln på just den lokalen.

Vid de statistiska testerna av skillnader mellan behandlingarna (0, 5 resp 10 t/ha) för variabeln MeHg, åsattes metylkvicksilverhalter under rapporteringsgränsen istället sina rådata-värden (erhållna från laboratoriet). Korrigeringen gjordes för 8 utav 38 värden. Dessa värden ger bättre estimat av "sanna" värden, jämfört med att sätta alla värden under rapporteringsgränsen till ett och samma värde.

Sammanställningar av mätdata gjordes i EXCEL 2010 och den statistiska bearbetningen gjordes i statistikprogrammet SYSTAT 13.1

3 Resultat

3.1 VATTENANALYSER

Askgödslingen hade mycket svaga effekter på grundvattnet, 3 år efter askans spridning (Tabell 2). De enda säkerställda effekterna var på vattnets innehåll av ammonium (NH_4), sulfat (SO_4) och kalium (K).

Ytor med såväl 5 ton som 10 ton aska per hektar hade signifikant lägre ammoniumhalter än kontrollytorna ($p = 0,039$ resp. $p = 0,025$). Variationen mellan olika lokaler var dock stor, och minskad NH_4 -halt med ökad givagällde ej lokalen Medskogen (M) i Ångermanland och inte heller den näringsrikaste, sydliga försökslokalen i Fönebo (F), Delsbo, Hälsingland (fig. 2a).

Sulfathalten ökade däremot med ökad askgiva ($10 \text{ t} > 0 \text{ t}$; $p = 0,042$). Även för detta ämne var variationen mellan lokaler stor, och den sammantaget signifikanta effekten gällde inte för alla lokaler (fig. 2b).

Tabell 2. Medelvärden och medelfel för samtliga grundvattenanalyser, per försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. "ANC" avser beräknad Acid Neutralizing Capacity. (N = 12-13)

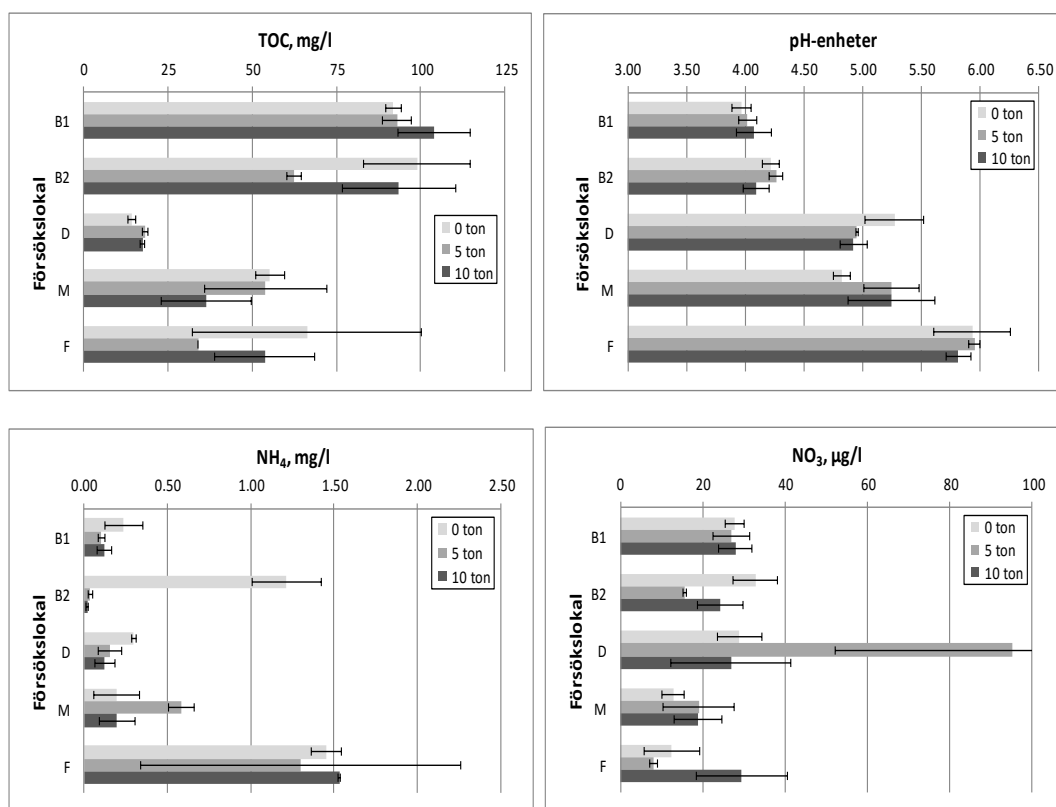
Table 2. Mean and mean error for analyzed groundwater variables, by treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. "ANC" denotes the calculated Acid Neutralizing Capacity. (N = 12-13).

	Kontroll, 0 ton/ha		Askgiva 5 ton/ha		Askgiva 10 ton/ha	
	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel
TOC, mg/l	66.71	11.74	54.19	8.73	62.49	11.70
pH	4.86	0.23	4.93	0.22	4.81	0.23
ANC, $\mu\text{mol}_\text{c}/\text{l}$	265	54	257	36	236	21
$\text{Al}^{\text{n+}}$, mg/l	1.24	0.27	1.16	0.20	1.29	0.22
Ca^{2+} , mg/l	3.52	0.63	3.14	0.41	2.73	0.30
K^+ , mg/l	0.46	0.13	0.78	0.30	1.17	0.17
Mg^{2+} , mg/l	0.91	0.18	0.81	0.12	0.72	0.09
Na^+ , mg/l	1.14	0.31	1.35	0.18	1.55	0.15
Cl^- , mg/l	1.37	0.39	1.27	0.27	1.40	0.31
F^- , mg/l	0.23	0.05	0.17	0.04	0.21	0.04
N-NH_4^+ , mg/l	0.67	0.17	0.49	0.15	0.36	0.16
N-NO_3^- , $\mu\text{g}/\text{l}$	21.79	3.29	29.54	11.03	25.15	3.98
P-PO_4^{3-} , $\mu\text{g}/\text{l}$	11.08	4.42	18.35	11.99	6.39	0.86
S-SO_4^{2-} , mg/l	0.38	0.21	0.45	0.22	0.80	0.32
MeHg, ng/l	0.09	0.02	0.09	0.02	0.11	0.02

Kaliumhalterna var också signifikant högre ($p = 0,048$) i grundvattnet på ytor med 10 ton aska, jämfört med kontrollytorna ($p = 0,048$). Detta mönster var generellt för alla lokaler (Tabell 2; fig. 2b). Natrium uppvisade på flertalet försökslokaler ett mönster som liknade det för kalium, dvs. tendens till ökad halt med ökad askgiva, men stor spridning och en avvikande lokal gjorde att skillnader mellan behandlingar inte alls var signifikant (Tabell 2; Bilaga 2).

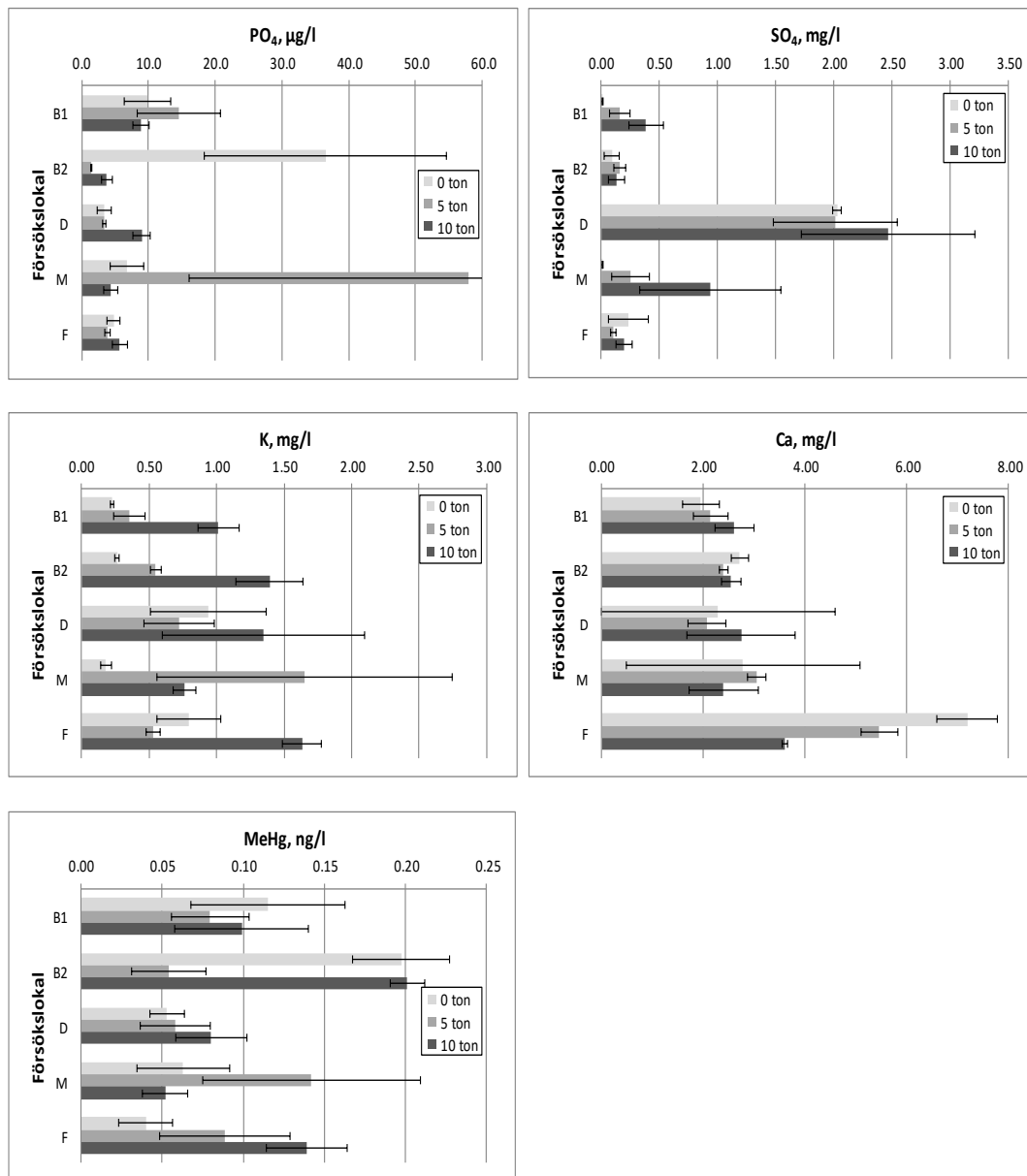
För alla ovanstående resultatvariabler fanns enstaka extremvärden (outliers) som starkt påverkade medelvärden och medelfel (se figs. 2a-2b). Dessa har inte uteslutits, men statistiska tester av skillnader mellan askdoser gjordes även utan dessa extremvärden. I samtliga fall erhöles då större säkerhet (lägre p-värde) för de skillnader som redovisas ovan.

Halten löst organiskt material och pH varierade starkt mellan försöksområden, men mycket lite, eller slumpmässigt, mellan försöksleden (fig. 2a). Nitrat (fig. 2a) och fosfat (fig. 2b) uppvisade inga tendenser till behandlingsskillnader på någon av lokalerna (oavsett om enstaka förekommande extremvärden inkluderades eller ej). Detsamma gällde kalcium, men bara för fyra av de fem försökslokalerna (Fig. 2). På den sydligaste lokalen Fönebo (F), fanns en stark tendens (nästan signifikant; $p = 0,06$) till ökad Ca-halt med ökad askgiva. Magnesium följde helt samma mönster som kalciumhalterna (Tabell 2; Bilaga 2)



Figur 2a. Organiskt material, pH, ammonium (NH_4) och nitrat (NO_3) i grundvatten, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. Felstaplar visar medelvärdes medelfel. (N = 2-3)

Figure 2a. Organic carbon, pH, ammonium (NH_4) and nitrate (NO_3) in groundwater, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. Error bars indicate the error of the mean. (N = 2-3).



Figur 2b. Fosfat (PO₄), sulfat (SO₄), kalium (K), kalcium (Ca) och metylkvicksilver (MeHg) i grundvatten, per lokal och försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. Felstaplar visar medelvärdeets medelfel. (N = 2-3).

Figure 2b. Phosphate (PO₄), sulphate (SO₄), potassium (K), calcium (Ca) and methyl mercury (MeHg) in groundwater, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. Error bars indicate the error of the mean. (N = 2-3).

Halterna av metylkvicksilver var i storleksordningen 0,5 – 1 ng L⁻¹ (fig. 2b). Det fanns inga systematiska skillnader mellan askgivorna, sammantaget och för flertalet enskilda försökslokaler. Dock avvek försöksområdet F i Delsbo Hälsingland. Där fanns en tendens till ökande MeHg med ökad giva, men skillnaderna mellan 10 ton och kontroll var inte signifikanta (p = 0,08).

3.2 BARRANALYSER

3.2.1 Barrvikter

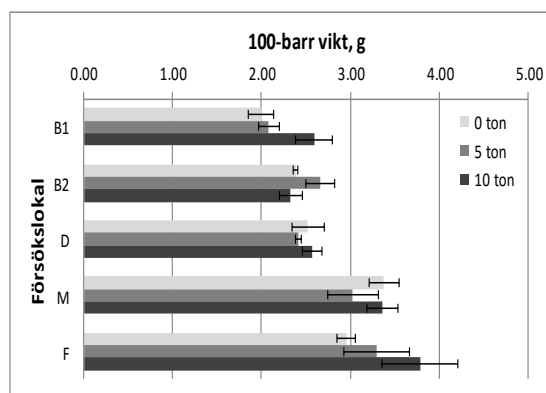
Årsbarren på vissa träd, på askbehandlade ytor, var tydligt större och hade en klarare grön färg. Detta var dock inte genomgående fallet, utan variationen mellan trädindivider tycktes större än variationen mellan behandlingsytor.

Medelvikten för 100 dubbelbarr ökade för ökad askgiva, men spridningen var så stor att skillnaderna inte var statistiskt signifikanta (Tabell 3). På två av försökslokalerna (B1 och F) var skillnaderna mellan kontroll och 10 ton nästan signifikant ($p = 0,056$ resp. $p = 0,088$), medan de tre andra lokalerna inte uppvisade någon tendens till behandlingseffekt (fig. 3).

Tabell 3. Medelvärden och medelfel för torrvikten av 100 dubbelbarr från tall, per försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. (N = 19).

Table 3. Mean and mean error for the dry weight of 100 double pine needles, by treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. (N = 19).

	Kontroll, 0 ton/ha		Askgiva 5 ton/ha		Askgiva 10 ton/ha	
	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel
100-vikt, g	2.67	0.12	2.72	0.16	3.06	0.19



Figur 3. Medelvärden och medelfel för torrvikten av 100 dubbelbarr från tall, per lokal och försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. (N = 2-6)

Table 3. Mean and mean error for the dry weight of 100 double pine needles, by site and treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. (N = 2-6).

3.2.2 Näringshalter i barren

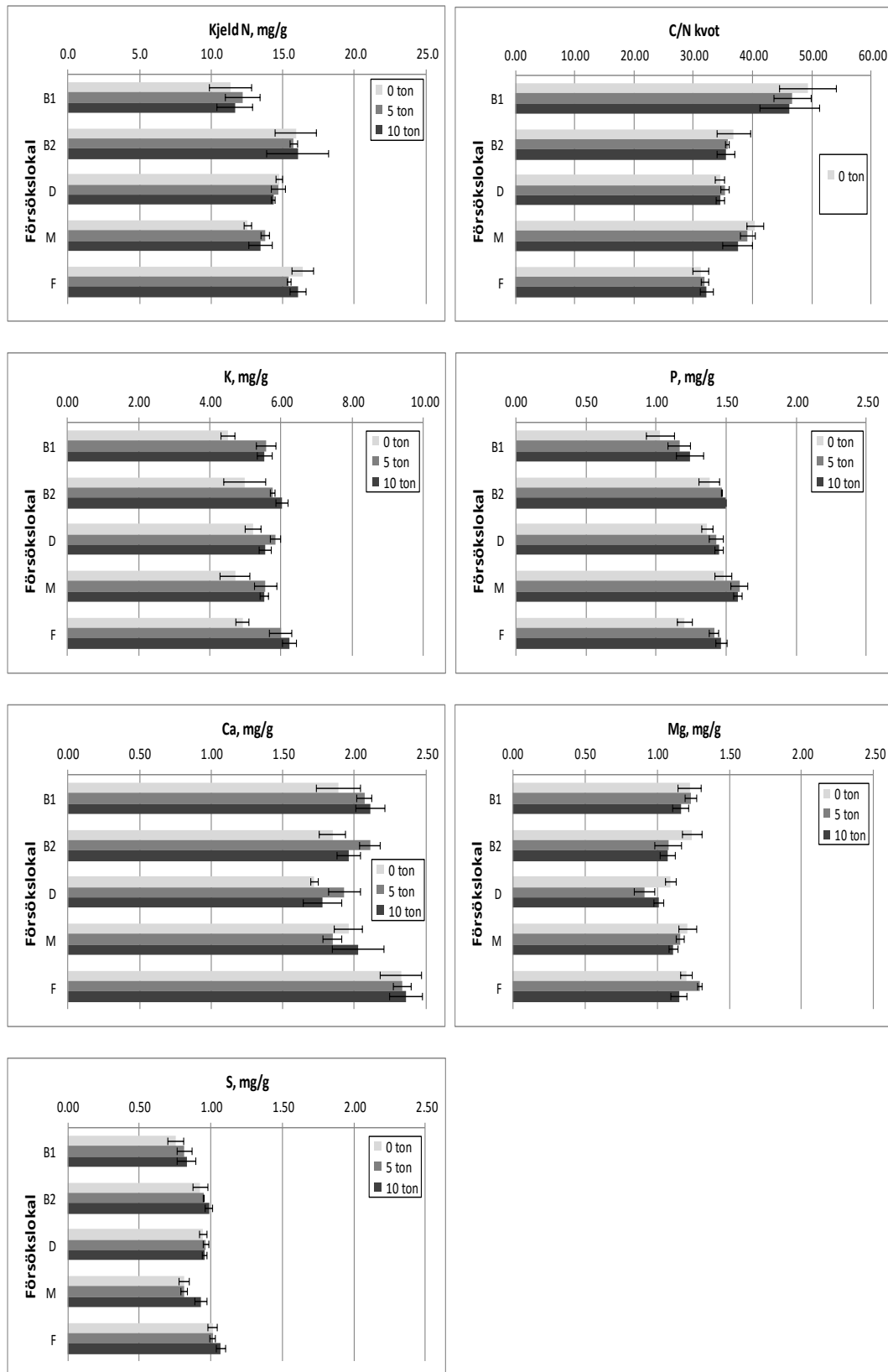
Flera makronäringsämnen i barren påverkades av askgödslingen (Tabell 4; fig 4a). Totalhalten av fosfor var signifikant högre efter tillförsel av såväl 5 som 10 ton/ha ($p = 0,001$ resp. $p = <0,000$). Kalium halterna höjdes också markant ($p = <0,000$ och $p = <0,000$, för 50 resp. 10 ton/ha). Även svavelhalterna höjdes, men denna effekt var statistiskt signifikant endast för givan 10 ton ($p = 0,018$). Effekten på magnesium var den omvända; tillförsel av 10 ton aska medförde en liten men signifikant sänkning av totalhalter ($p = 0,014$). Av makronäringsämnena var det alltså bara kväve och kalcium som inte uppvisade förändrade barrhalter efter asktillförseln. Effekterna av askgödslingen var likartade på alla försökslokaler (fig. 4a).

Även bland mikronäringsämnen hade askan effekter (tabell 4; fig 4b). Mest markant påverkades halterna av bor. De var ca 50 % högre på ytor som tillförts 5 eller 10 ton aska ($p = <0,000$ resp. $p = <0,000$). En försökslokal, Daltorpet (D) avvek dock från detta mönster, möjligen för att borhalterna redan var tillfredsställande på kontrollytorna (fig. 4b). Mikronäringsämnet kisel uppvisade också signifikanta förhöjningar av barrens totalhalter, för både 5 ton och 10 ton aska ($p = 0,010$ resp. $p = 0,002$).

Tabell 4. Medelvärden och medelfel för ämnesinnehållet i tallbarr, per försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. (N = 19)

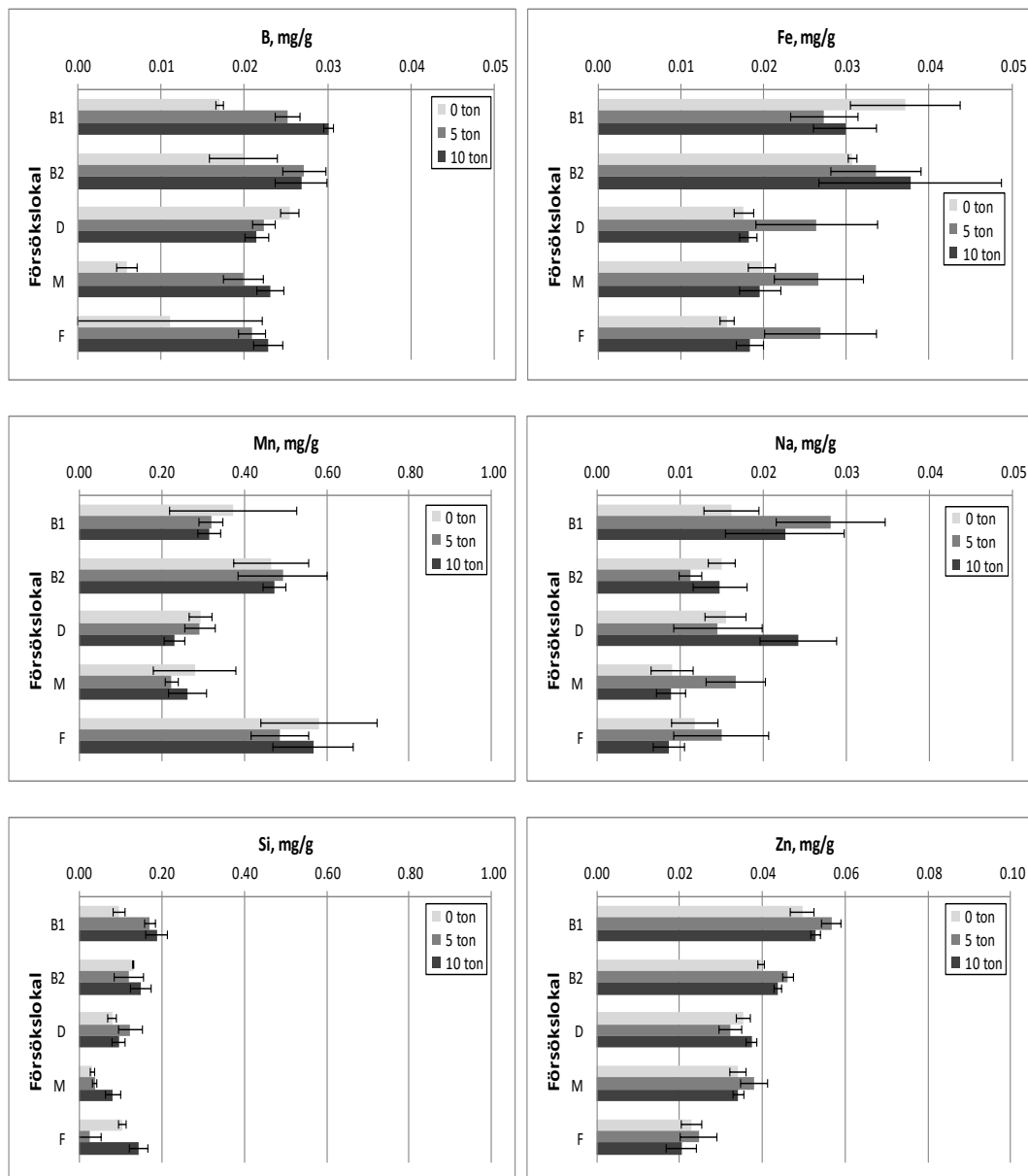
Table 4. Mean and mean error for the elemental concentrations in pine needles, by treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. (N = 19).

	Kontroll, 0 ton/ha		Askgiva 5 ton/ha		Askgiva 10 ton/ha	
	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel	Medelvärde	medelfel
N _{kjeld} , mg/g	14.3	0.6	14.3	0.4	14.4	0.5
P _{tot} , mg/g	1.26	0.05	1.40	0.04	1.44	0.03
K _{tot} , mg/g	4.87	0.12	5.77	0.12	5.81	0.11
Ca _{tot} , mg/g	2.00	0.08	2.08	0.05	2.09	0.07
Mg _{tot} , mg/g	1.19	0.03	1.15	0.04	1.11	0.03
S _{tot} , mg/g	0.90	0.03	0.94	0.02	0.96	0.03
B _{tot} , mg/g	0.015	0.002	0.023	0.001	0.025	0.001
Fe _{tot} , mg/g	0.023	0.002	0.028	0.003	0.023	0.002
Mn _{tot} , mg/g	0.417	0.036	0.363	0.033	0.386	0.045
Na _{tot} , mg/g	0.013	0.001	0.018	0.003	0.016	0.002
Si _{tot} , mg/g	0.090	0.008	0.132	0.013	0.134	0.013
Zn _{tot} , mg/g	0.035	0.002	0.038	0.003	0.035	0.003
C/N kvot	37.8	1.9	37.6	1.5	36.9	1.6



Figur 4a. Totalhalter av kväve (Kjeldahl), kalium, fosfor, kalcium, magnesium och svavel, samt C/N kvot i tallbarr, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. Felstaplar visar medelvärdeets medelfel. (N = 2-6).

Figure 4a. Total contents of nitrogen (Kjeldahl), potassium, phosphorus, calcium, magnesium, sulphur, and the C/N quotient, in pine needles, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. Error bars indicate the error of the mean. (N = 2-6).



Figur 4b. Totalhalter av mikronäringsämnena bor, järn, mangan, natrium, kisel och zink i tallbarr, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. Felstaplar visar medelvärdeets medelfel. (N = 2-6).

Figure 4b. Total contents of the micro nutrients boron, iron, manganese, sodium, silicon and zink in pine needles, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. Error bars indicate the error of the mean. (N = 2-6).

4 Diskussion

4.1 GRUNDVATTEN

Askstillförseln höjde inte grundvattnets pH, jämfört med kontrolltyterna. Inte heller vattnets beräknade ANC var högre. Vid mätningar i avrinnande dikesvatten har ofta en ökning av pH och ANC konstaterats – men inte alltid (Johansson 2014; Piirainen, 2013). Det kan finnas flera orsaker till att den teoretiska basverkande effekten inte kunnat påvisas i föreliggande studie:

1) I denna studie är det grundvatten och inte dikesvatten som provtagits. Dikesvattnet utgör en blandning av avrinnande grundvatten och ytligt avrinnande (nära markytan) vatten. Det senare har sannolikt påverkats starkt av askan men inte "filtrerats" och buffrats av jordens jonbytesmekanismer lika effektivt som den andel av vattnet som rör sig vertikalt ner till grundvattenytan. Det omättade torvskiktet ovan grundvattenytan har en total katjonbyteskapacitet som flerfaldigt överstiger basverkan i 10 ton aska/ha. Det är således möjligt att provtagning under en nederbördsrikare period, med högre grundvattenyta och eventuellt t o m ytavrinning direkt ner i diken, skulle ha visat mätbar pH-höjning och motsvarande större utlakning av baskatjoner (ökad ANC) .

2) Askor med hög andel lättlösliga salter orsakar ofta en initial pH-sänkning i markvattnet genom att salterna löses upp och genom jonbyte ger upphov till s k utbytesaciditet. Askans (kvantitativt större) basverkan är däremot utspridd över längre tidsperiod p g a långsammare upplösning av dessa föreningar, och är starkt beroende av askans hårdningsgrad. Askans basverkan på avrinnande vatten kan alltså vara "maskerad" av den initiala salteffekten. Förhöjd sulfathalt (se nedan) i grundvattnet kan ge visst stöd för en sådan tolkning.

Grundvattnets halter av kalium och sulfat var signifikant förhöjda vid 10 tons askgiva per hektar. Askan medförde däremot inte högre halter av övergödande ämnen, såsom nitrat och fosfat, i grundvattnet. Detsamma gällde TOC. Dessa resultat följer i sina huvuddrag väl tidigare erfarenheter (Nieminen et al., 2005; Piirainen, 2013; Ring et al., 2011; m. fl.).

Halterna av ammoniumkväve i grundvatten från asktytor var signifikant lägre än från kontrolltytor, på flera av försöksområdena. Detta kan, teoretisk, vara kopplat till förbättrad näringsstatus, tillväxt, och därmed ökad assimilation av ammonium från jorden. Det kan alternativt vara kopplat till en något högre aktivitet hos markens nitrifikationsbakterier, medförande större konkurrens om mineraliserat ammonium.

Det fanns ingen generell påverkan av askstillförsel på grundvattnets halter av metylkvicksilver. På den sydligast belägna och bördigaste försökslokalen (F), fanns dock en antydning ($p = 0,08$) till högre MeHg halter vid 10 ton askgiva. Tolkningen kompliceras något av att denna försökslokal vid provtagningstillfället hade gallrats, varvid det uppstått vissa markskador i de rislagda körspåren på flera ytor. Det är känt att körskador ofta leder till ökad nettometylering av kvicksilver. Därför råder det en viss osäkerhet beträffande den observerade tendensen till högre halter MeHg, dvs. huruvida den snarare kan ha sin grund i att det råkat vara mer omfattande körskador på 10-tons ytorna, än att vara kopplad till askgödslingen.

Grundvattenytan vid provtagningstillfället, början av september, låg på större djup än normalt vid denna årstid, trots att samtliga försökslokaler fått 40-50 mm nederbörd under perioden 1-2 veckor före provtagningen. Infiltration av nederbörd och nybildning av grundvatten på de behandlade ytorna har varit liten under föregående sommarperiod. Eftersom samtliga försökslokaler är kärr, dvs i princip hydrologiska utströmningsområden, påverkas grundvattnets sammansättning även av sakta

stigande grundvatten från underliggande mineraljord. Därmed kan man anta att den kemiska "signalen" från askbehandling på en provytas markyta blir allt svagare i det översta grundvattnet ju längre en torrperiod varar. I några fall, på två av lokalerna (D och F), låg grundvattenytan på vissa ytor nära kontakten med mineraljorden. Flera sådana ytor uteslöts och samma behandling i block med högre grundvattenyta provtogs istället. Sammantaget är bedömningen att det provtagna grundvattnet även på dessa försökslokaler bör visa de kemiska förändringar av markvattnet som asktillförseln på markytan har orsakat.

4.2 BARRENS NÄRINGSHALTER

Enligt tabellvärdena för tallbarrs mineralnäringshalter (Braekke, 1994) låg kontrolltyornas halter inom klassen "Optimalt" för alla analyserade ämnen utom kväve (N), kalium(K), fosfor (P) och mikronäringsämnet järn (Fe). Halterna för N, P och K klassades som "Brist", medan järnhalterna föll i klassen "Underoptimalt". (Klassindelning; Optimalt; Underoptimalt; Brist; Stark brist)

Barrens innehåll av flera näringsämnen påverkades positivt av asktillförseln. I denna studie ökade halterna av makronäringsämnena kalium, fosfor, svavel, samt mikronäringsämnena bor och kisel. Ökningen av kalium och bor överensstämmer med flertalet tidigare torvmarksstudier av askgödslingens effekter på barrens näringsstatus (Ferm et al., 1992; Moilanen et al., 2005). Kalium är ofta underoptimalt eller bristämne på torvmarker, och är liksom bor bundet i lättlösliga föreningar i askan. Även svavel är lättlösligt i askan, i form av sulfatsalter (Steenari et al., 1998; Nieminen et al., 2005). Det avspeglas ibland, såsom i denna studie, som ett förhöjt upptag i träden.

Fosfor, tillsammans med kalium, är det näringsämne som oftast är kritiskt lågt och tillväxtbegränsande på torvmarker. Fosforföreningarna i askan är dock mer svårslösliga och därför blir ofta höjningen av barrens halter långsammare och mer gradvisa Huotari et al. (2015) uppger att kalium halterna normalt höjs inom 1-2 år, medan det dröjer 3-4 år innan effekten av askans fosfor slår igenom. Det kan till och med vara så att fosforhalterna sjunker något inledningsvis, vilket kan tolkas som en "utspädnings effekt", tillväxten av blad/barrbiomassa är initialt snabbare än ökningen av det tillgängliga fosforförrådet (exv. Tamm, 1951). I föreliggande studie kunde en signifikant höjning av barrens fosforhalter påvisas efter tre år, vilket stämmer väl med resultat från bl a Ferm et al. (1992) och Moilanen et al. (2005).

Magnesiumhalterna i barren var signifikant något lägre på asktyterna. Denna lilla haltsänkning skedde dock från en nivå som med mycket god marginal låg inom det optimala intervallet, varför den inte kan ha några negativa effekter.

Barrens kvävehalter påverkades inte av asktillförseln. Detta är i linje med tidigare erfarenheter, vilka växlar mellan förhöjda, oförändrade eller något lägre kvävehalter efter askgödsling (Silfverberg och Huikari, 1985; Moilanen et al., 2002; Huotari et al., 2015). Askan tillför inte något kväve alls. I den mån askgödsling medför högre kvävehalter i barren är det därför en indirekt effekt, beroende på ökad mikrobiell omsättning av torvens befintliga, organiskt bundna, kväveförråd (Perkiömäki och Fritze, 2002; Rosenberg et al., 2010; Saarsalmi et al., 2012). Detta går inte snabbt, utan är en långsiktig process.

4.3 SLUTSATSER

Askstillförseln hade efter 3 år ganska svaga generaliserbara effekter på grundvattnets innehåll av ämnen. Halterna av kalium och sulfatsvavel höjdes, jämfört med kontroll. Ammoniumkväve uppvisade sänkta halter på de flesta försökslokalerna. Askgödslingen gav ingen mätbar påverkan på pH eller beräknad alkalinitet. Den hade likaledes inga effekter på utlakning av nitrat eller fosfat, eller på vattnets halt av organiskt material. Grundvattnets innehåll av metylkvicksilver tycktes inte heller påverkas.

Askstillförseln ledde till förbättring av barrens näringsstatus avseende kalium och fosfor, samt även högre halter av svavel och mikronäringsämnena bor och kisel. Halterna av magnesium minskade något, medan kvävehalterna och övriga analyserade ämnen inte påverkades.

Resultaten beträffande askstillförselns effekter på utlakning av näringsämnen och effekter på beståndets näringsstatus överensstämmer väl med publicerade sammanfattande arbeten av Piirainen et al. (2013) respektive Huotari et al. (2015). Även om effekterna i sina detaljer givetvis varierar något mellan olika torvmarkstyper, geografiska områden, klimat m m, så pekar våra resultat entydigt mot att huvuddragen i tidigare erfarenheter gäller för stora delar av Sverige och för äldre dikade torvmarksskogar. Dessutom, den särskilda studien av metylkvicksilver visade inga signifikanta effekter på halterna av metylkvicksilver i ytligt grundvatten, 3 år efter tillförsel av 5 eller 10 ton aska per hektar.

5 Litteratur

- Booberg G & Bauman A, 1922. Vägledning i Praktisk Mosskultur. Svenska mosskulturföreningen.
- Braekke F H, 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringsselementer i gran- og furunåler. NISK. Aktuellt fra Skogforsk Nr 15 -94, 11 p.
- Clapham W M, Zibilske L M, 1992. Wood ash as liming amendment. Cmm. Soil Sci. Plant Anal., 23, pp. 1209-1227.
- Ernfors M., Sikström U, Nilsson M. & Klemetsson L, 2010. Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor peatland forests. Science of the total environment 408, pp. 4580-4590.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M., Issakainen, J., 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a scots pine afforestation in central Finland. Plant Soil 147, pp. 305–316.
- Huotari N, Tillman-Sutela E, Moilanen M och Laiho R, 2015. Recycling of ash – For the good of the environment? Forest Ecology and Management 348, pp.226-240
- Hånell B, 2004. Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige. Miljöriktig användning av askor. Värmeforsk Q4-213.
- Johansson M, 2014. Askåterföring på skogsmark – en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel. Examensarbeten, nr. 2014:4.
- Klemetsson L, Ernfors M, Björk R G, Weslien P & Rütting T, 2010. Reduction of greenhouse gas emissions by wood ash application to a *Picea abies* (L.) Karst. forest on a drained organic soil. European Journal of Soil Science 61, pp. 734-744.
- Magnusson T & Hånell B, 2000. Aska för beskogning av torvtäcker. Påverkan på växtnäringsförhållanden, tungmetallhalter och vattenkvalitet. ramprogram Askåterföring. Energimyndigheten, ER 18:2000.
- Magnusson T & Hånell B, 2011. Produktionseffekter av askgödsling i äldre dikade torvmarksskogar. Projektrapport Q9-720.
- Malmström C, 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Comm. Inst. For. Fenn. 40:17.
- Malmström C, 1935. Om näringsförhållandenas betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt häfte 28 N:r 6.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hokkanen, T.J., 2002. Effects of wood-ash on the growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. For. Ecol. Manage. 171, 321–338.
- 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, pp. 2734–2742.
- Nieminen, M., Piirainen, S., Moilanen, M., 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: field studies in Finnish forest soils. Scand. J. For. Res. 20, pp. 146–153.

- Perkiömäki, J., Fritze, H., 2002. Short and long-termed effects of wood ash on the boreal forest microbial community. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1343–1353.
- Piirainen S, Domisch T, Moilanen M, och Nieminen M, 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287, pp.53-66.
- Ring E, von Brömssen C, Losjö K & Sikström U, 2011. Water chemistry following wood-ash application to a Scots pine stand on a drained peatland in Sweden. Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian Agricultural University, Tartu, Estonia, *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 2011, 54, pp 54-70.
- Rosenberg, O., Persson, T., Högbom, L., Jacobson, S., 2010. Effects of wood-ash application on potential carbon and nitrogen mineralisation at two forest sites with different tree species, climate and N status. *For. Ecol. Manage.* 260, 511–518.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M., Saramäki, J., 2012. 30-year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *For. Ecol. Manage.* 278, 63–70.
- Sikström U, Björk R G, Ring E, Ernfors M, Jacobsson S & Nilsson M, 2009a. Tillförsel av aska i skog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, flöden av växthusgaser, torvegenskaper, markvegetation och grundvattenkemi. Miljöriktig användning av askor. Värmeforsk Q6-608, Q6-666, Q6-671.
- Sikström U, Klemetsson L, Björk R G, Ring E, Ernfors M, Jacobsson S & Nilsson M, 2009b. Tillförsel av aska i skog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, avgång av växthusgaser, torvegenskaper, markvegetation och grundvattenkemi. Värmeforsk, Rapport 1109. 64 s. ISSN1653-1248.
- Sikström U, Björk R G. & Klemetsson L 2012. Wood ash application reduced global warming potential over the five years after application in two drained peatland forests in Sweden. *Proceedings of The International Peat Congress, Stockholm, Sweden, 3-8 June 2012.*
- Silfverberg K, 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. The Finnish Forest Research Institute, Research papers 558. (Dissertation)
- Silfverberg K & Huikari O, 1985. Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia For.* 633. 25 pp.
- Steenari, B.-M., Marsic, N., Karlsson, L.G., Tomsic, A., Lindqvist, O., 1998. Long-term leaching of stabilized wood ash. *Scand. J. Forest Res. Suppl.* 2, pp. 3–16.
- Tamm C O, 1951. Chemical composition of birch leaves from drained mire, both fertilized with wood ash and unfertilized. *Svensk Botanisk Tidskr.* 45, pp. 309-319.
- Tjernlund J, 2015. Groundwater chemistry on deep peat lands three years after ash fertilization. Examensarbete I Markvetenskap, 2015:15. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU.

6 Bilagor

Bilaga 1

Projekt Q9-720. Produktionseffekter av askgödsling i äldre dikade torvmarksskogar

Bilaga 1. Beståndsdata och försöksbehandling per försökslokal

Kommentar: Beståndsdata nedan kommer från Holmens beståndsregister och är mycket osäkra. Inmättningsdata från de etablerade försöksparcellerna är ännu inte sammanställda, förutom uppgifter på grundytor och trädslagssammansättning i Delsbo-försöket.

Lokal 1. Norsjö distrikt, Burträsk, Daltorpet bestånd 717076-1019, 0923.

Torvmarkstyp: Sannolikt ursprungligen Blåbär-fräkentyp till Lågörttyp; kompletteringsdikad.

Utdrag från beståndsreg.: Å=ca 80 år, TGL= ca 604000, ca 700 st/ha, D_{gv} = ca 25-30, H_{gv} =ca 20, GY= ca 20, Vol= ca 200 m³sk
12 ytor 30 x 30 m (20 x 20 nettoyta) → tot 0,48 Ha (netto).

Blockindelning: Block 1 = Yta 2,3,4; Bl 2 = 6,7,8; Bl 3 = 9,11,12; Bl 4 = 1,5,10 (baserat på torvdjup)

Försöksled:	0 (kontroll):	Yta 2, 5, 7, 12
	5 ton/ha:	Yta 4, 8, 10, 11
	10 ton/ha:	Yta 1, 3, 6, 9

Lokal 2. Norsjö distrikt, Burträsk, Brönstjärn1, bestånd 718075-4080 (och 4078)

Torvmarkstyp: Sannolikt ursprungligen Lågstarttyp; kompletteringsdikad.

Utdrag från beståndsreg.: Å= ca 85 år, TGL=100000, 1100 st/ha, D_{gv} =16, H_{gv} =11, GY=17, Vol= 94 m³sk/ha
12 ytor 30 x 30 (netto 20x20) → tot 0,48 Ha (netto).

Blockindelning: Block 1 = Yta 1,2,3; Bl 2 = 4,5,6; Bl 3 = 7,8,9; Bl 4 = 10,11,12

Försöksled:	0 (kontroll):	Yta 3, 6, 8, 11
	5 ton/ha:	Yta 2, 4, 7, 10
	10 ton/ha:	Yta 1, 5, 9, 12

Lokal 3. Norsjö distr, Burträsk, Brönstjärn2 bestånd 718075-4882 (+ 4882.1)

Torvmarkstyp: Sannolikt ursprungligen Lågstarttyp till Blåbär-fräkentyp; kompletteringsdikad.

Utdrag från beståndsreg.: Å= ca 64 år, TGL=901000, 725 st/ha, D_{gv} =24, H_{gv} =17, GY=24, Vol=191 m³sk/ha
6 ytor 30 x 30 (netto 20x20) → tot 0,24 Ha (netto).

Blockindelning: Block 1 = Yta 1,2,5; Bl 2 = 3,4,6 (baserat på bestånd/GY)

Försöksled:	0 (kontroll):	Yta 2, 3
	5 ton/ha:	Yta 4, 5
	10 ton/ha:	Yta 1, 6

Lokal 4. Bredbyns distrikt, Solberg, Medskogen bestånd 706062-5735 och 5933.

Torvmarkstyp: Sannolikt ursprungligen Lågstarttyp till Blåbär-fräkentyp; kompletteringsdikad.

Utdrag från beståndsreg.: Å=ca 70 år, TGL=354025, 1350 st/ha, $D_{gv}=17$, $H_{gv}=13$, GY=24, Vol=150 m³sk/ha

9 ytor 30 x 30 (netto 20x20) → tot 0,36 Ha (netto).

Blockindelning: Block 1 = Yta 1,2,3; Bl 2 = 4,5,6; Bl 3 = 7,8,9 (baserat på bestånd/GY, Trsl)

Försöksled:	0 (kontroll):	Yta 2, 6, 9
	5 ton/ha:	Yta 1, 5, 7
	10 ton/ha:	Yta 3, 4, 8

Lokal 5. Delsbo distrikt, Norrbo, Fönebo Fännsmyran 686059-6323.

Torvmarkstyp: Sannolikt ursprungligen Blåbär-fräkentyp; kompletteringsdikad.

Utdrag från beståndsreg.: Å=ca 70 år, TGL=470152,1300 st/ha, $D_{gv}=20$, $H_{gv}=17$, GY=30, Vol=235 m³sk/ha

17 ytor 30 x 40 m (20 x 30 nettoyta) → tot 1,02 Ha (netto).

Slutlig blockindelning: Block 1 = Yta 1, 2, 3; Bl 2 = 5, 6; Bl 3 = 4, 7, 8; Bl 4 = 9, 11, 12; Bl 5 = 10, 13, 14; Bl 6 = 15, 16, 17 (baserat på GY och Trsl)

Hela försöket, samtliga 17 parceller, ska gallras:

Gallring till ca 30 m²: Block 1, 2 och 6

Gallring till ca 22 m²: Block 3, 4 och 5

Försöksled:	0 (kontroll):	Yta 2, 5, 7, 11, 13, 16
	5 ton/ha:	Yta 1, -, 4, 9, 14, 15
	10 ton/ha:	Yta 3, 6, 8, 10, 12, 17

Bilaga 2

Bilaga 2. Medelvärden och medelfel för samtliga analysparametrar i grundvatten, per försökslokal och försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. "ANC" avser beräknad Acid Neutralizing Capacity. (N = 2-3).

App. 2. Mean and mean error for all analyzed groundwater variables, by site and treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. "ANC" denotes the calculated Acid Neutralizing Capacity. (N = 12-13).

Lokal	Askgiva	TOC	pH	ANC	Al ⁺⁺⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	F ⁻	Cl ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	S-SO ₄ ²⁻	MeHg
		mg/l	pH-enh.	μmol/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l	mg/l	ng/l
Medelvärde	B1 0 ton	92	3.97	152	1.44	1.95	0.23	0.48	0.51	0.09	0.43	0.24	28	9.9	0.01	0.12
Medelfel	B1 0 ton	2	0.08	21	0.20	0.35	0.01	0.09	0.15	0.02	0.04	0.11	2	3.4	0.01	0.05
Medelvärde	B1 5 ton	93	4.02	175	2.19	2.14	0.35	0.49	0.84	0.10	0.50	0.10	27	14.5	0.16	0.08
Medelfel	B1 5 ton	4	0.08	28	0.26	0.34	0.11	0.08	0.17	0.01	0.11	0.02	4	6.3	0.09	0.02
Medelvärde	B1 10 ton	104	4.08	245	2.22	2.61	1.01	0.61	1.59	0.11	0.78	0.12	28	8.9	0.38	0.10
Medelfel	B1 10 ton	11	0.15	21	0.15	0.38	0.15	0.08	0.24	0.02	0.14	0.04	4	1.2	0.15	0.04
Medelvärde	B2 0 ton	99	4.22	166	1.31	2.71	0.26	0.78	0.85	0.09	2.67	1.22	33	36.5	0.09	0.20
Medelfel	B2 0 ton	16	0.07	15	0.28	0.17	0.01	0.06	0.42	0.01	1.61	0.21	5	18.1	0.06	0.03
Medelvärde	B2 5 ton	62	4.27	182	0.94	2.39	0.55	0.78	1.24	0.09	2.33	0.04	16	1.5	0.16	0.05
Medelfel	B2 5 ton	2	0.06	14	0.05	0.09	0.04	0.08	0.14	0.02	1.09	0.01	0	0.1	0.05	0.02
Medelvärde	B2 10 ton	94	4.10	222	1.02	2.55	1.39	0.81	1.25	0.08	2.08	0.02	24	3.8	0.13	0.20
Medelfel	B2 10 ton	17	0.11	10	0.01	0.19	0.25	0.17	0.18	0.01	1.19	0.01	6	0.8	0.07	0.01
Medelvärde	D 0 ton	14	5.28	137	0.73	2.29	0.94	0.37	1.39	0.10	1.76	0.30	29	3.3	2.03	0.05
Medelfel	D 0 ton	1	0.25	34	0.01	0.59	0.43	0.03	0.09	0.02	0.58	0.01	5	1.0	0.04	0.01
Medelvärde	D 5 ton	18	4.96	132	1.29	2.07	0.72	0.43	1.43	0.08	1.55	0.15	95	3.4	2.01	0.06
Medelfel	D 5 ton	1	0.01	11	0.22	0.38	0.26	0.07	0.17	0.01	0.63	0.07	43	0.2	0.53	0.02
Medelvärde	D 10 ton	17	4.93	182	1.70	2.74	1.35	0.57	1.62	0.14	1.94	0.13	27	9.0	2.47	0.08
Medelfel	D 10 ton	1	0.12	60	0.40	1.06	0.75	0.25	0.23	0.07	0.95	0.06	15	1.3	0.75	0.02
Medelvärde	M 0 ton	55	4.82	212	0.90	2.78	0.18	0.74	0.52	0.32	0.50	0.19	13	6.7	0.01	0.06
Medelfel	M 0 ton	4	0.07	22	0.07	0.31	0.04	0.07	0.05	0.04	0.06	0.14	3	2.5	0.00	0.03
Medelvärde	M 5 ton	54	5.25	282	0.70	3.05	1.65	0.74	1.32	0.33	0.89	0.58	19	57.9	0.25	0.14
Medelfel	M 5 ton	18	0.24	43	0.22	0.18	1.09	0.10	0.38	0.08	0.13	0.08	9	41.7	0.16	0.07
Medelvärde	M 10 ton	36	5.25	215	0.49	2.39	0.76	0.71	1.59	0.35	1.16	0.20	19	4.3	0.94	0.05
Medelfel	M 10 ton	13	0.37	43	0.20	0.68	0.08	0.24	0.42	0.06	0.22	0.11	6	1.1	0.61	0.01
Medelvärde	F 0 ton	66	5.94	584	1.66	7.19	0.79	1.98	2.43	0.47	2.07	1.46	13	4.8	0.24	0.04
Medelfel	F 0 ton	34	0.33	72	1.01	0.79	0.24	0.16	0.86	0.05	0.49	0.09	7	1.0	0.17	0.02
Medelvärde	F 5 ton	34	5.96	446	0.64	5.46	0.53	1.48	1.91	0.22	1.53	1.30	8	3.9	0.10	0.09
Medelfel	F 5 ton	5	0.05	34	0.19	0.36	0.05	0.14	0.43	0.05	0.16	0.14	1	0.4	0.02	0.04
Medelvärde	F 10 ton	54	5.82	325	0.95	3.60	1.63	0.93	1.68	0.34	1.47	1.53	29	5.7	0.20	0.14
Medelfel	F 10 ton	15	0.11	1	0.19	0.05	0.14	0.05	0.26	0.04	0.03	0.01	11	1.2	0.07	0.02

Bilaga 3. Medelvärden och medelfel för analysparametrar i tallbarr, per försökslokal och försöksled, 3 år efter askgivor om 0, 5 eller 10 ton/ha. (N = 2-8).

App. 3. Mean and mean error for elemental composition of pine needles, by site and treatment, 3 years after ash treatments of 0, 5 or 10 tonnes/ha. (N = 2-8).

	Lokal	Askgiva	N	B	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	C/N kvot
		ton/ha	% av ts	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	
Medelvärde	B1	0 ton	1.14	0.02	1.89	0.04	4.51	1.23	0.37	0.02	1.03	0.75	0.10	0.05	49.3
<i>Medelfel</i>	<i>B1</i>	<i>0 ton</i>	0.15	0.00	0.15	0.01	0.19	0.08	0.04	0.00	0.10	0.06	0.01	0.00	4.8
Medelvärde	B1	5 ton	1.22	0.03	2.07	0.03	5.58	1.24	0.32	0.03	1.17	0.81	0.17	0.06	46.7
<i>Medelfel</i>	<i>B1</i>	<i>5 ton</i>	0.12	0.00	0.05	0.00	0.28	0.04	0.03	0.01	0.08	0.05	0.01	0.00	3.1
Medelvärde	B1	10 ton	1.17	0.03	2.11	0.03	5.53	1.16	0.32	0.02	1.24	0.83	0.19	0.05	46.2
<i>Medelfel</i>	<i>B1</i>	<i>10 ton</i>	0.12	0.00	0.10	0.00	0.21	0.06	0.03	0.01	0.10	0.07	0.03	0.00	5.0
Medelvärde	B2	0 ton	1.59	0.02	1.85	0.03	4.98	1.24	0.46	0.02	1.38	0.93	0.13	0.04	36.8
<i>Medelfel</i>	<i>B2</i>	<i>0 ton</i>	0.14	0.00	0.09	0.00	0.59	0.07	0.14	0.00	0.07	0.05	0.00	0.00	2.8
Medelvärde	B2	5 ton	1.58	0.03	2.11	0.03	5.77	1.08	0.49	0.01	1.47	0.95	0.12	0.05	35.8
<i>Medelfel</i>	<i>B2</i>	<i>5 ton</i>	0.03	0.00	0.07	0.01	0.07	0.09	0.11	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.3
Medelvärde	B2	10 ton	1.60	0.03	1.96	0.04	6.02	1.07	0.47	0.01	1.50	0.99	0.15	0.04	35.5
<i>Medelfel</i>	<i>B2</i>	<i>10 ton</i>	0.22	0.00	0.08	0.01	0.18	0.05	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	1.5
Medelvärde	D	0 ton	1.48	0.03	1.72	0.02	5.22	1.09	0.29	0.02	1.36	0.95	0.08	0.04	34.5
<i>Medelfel</i>	<i>D</i>	<i>0 ton</i>	0.02	0.00	0.03	0.00	0.22	0.04	0.03	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00	0.8
Medelvärde	D	5 ton	1.47	0.02	1.93	0.03	5.84	0.91	0.29	0.01	1.43	0.96	0.12	0.03	35.3
<i>Medelfel</i>	<i>D</i>	<i>5 ton</i>	0.05	0.00	0.11	0.01	0.15	0.07	0.04	0.01	0.05	0.02	0.03	0.00	0.7
Medelvärde	D	10 ton	1.43	0.02	1.78	0.02	5.56	1.01	0.23	0.02	1.45	0.96	0.10	0.04	34.6
<i>Medelfel</i>	<i>D</i>	<i>10 ton</i>	0.01	0.00	0.14	0.00	0.18	0.03	0.03	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.7
Medelvärde	M	0 ton	1.26	0.01	1.96	0.02	4.71	1.21	0.28	0.01	1.48	0.81	0.04	0.03	40.4
<i>Medelfel</i>	<i>M</i>	<i>0 ton</i>	0.03	0.00	0.10	0.00	0.43	0.06	0.05	0.00	0.06	0.04	0.01	0.00	1.4
Medelvärde	M	5 ton	1.38	0.02	1.85	0.03	5.56	1.16	0.22	0.02	1.59	0.90	0.06	0.04	39.2
<i>Medelfel</i>	<i>M</i>	<i>5 ton</i>	0.03	0.00	0.07	0.01	0.31	0.03	0.02	0.00	0.06	0.02	0.01	0.00	1.3
Medelvärde	M	10 ton	1.35	0.02	2.03	0.02	5.54	1.11	0.26	0.01	1.58	0.93	0.08	0.03	37.5
<i>Medelfel</i>	<i>M</i>	<i>10 ton</i>	0.08	0.00	0.18	0.00	0.12	0.03	0.05	0.00	0.03	0.04	0.02	0.00	2.5
Medelvärde	F	0 ton	1.64	0.01	2.33	0.02	4.92	1.20	0.58	0.01	1.20	1.01	0.10	0.02	31.3
<i>Medelfel</i>	<i>F</i>	<i>0 ton</i>	0.08	0.00	0.14	0.00	0.18	0.04	0.04	0.00	0.05	0.03	0.01	0.00	1.4
Medelvärde	F	5 ton	1.54	0.02	2.34	0.03	5.99	1.29	0.49	0.01	1.41	1.05	0.15	0.02	31.9
<i>Medelfel</i>	<i>F</i>	<i>5 ton</i>	0.01	0.00	0.06	0.01	0.32	0.02	0.07	0.01	0.03	0.02	0.03	0.00	0.6
Medelvärde	F	10 ton	1.61	0.02	2.36	0.02	6.24	1.15	0.57	0.01	1.46	1.07	0.14	0.02	32.2
<i>Medelfel</i>	<i>F</i>	<i>10 ton</i>	0.05	0.00	0.11	0.00	0.20	0.06	0.10	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	1.1

ASKTILLFÖRSEL I ÄLDRE DIKADE TORVMARKSSKOGAR

Denna rapport redovisar effekter av askgödsling på grundvattnet och på barrens näringsstatus, tre år efter askgödsling av fem äldre dikade och skogbevuxna torvmarker i Norrland.

Asktillförseln hade efter tre år ganska svaga generaliserbara effekter på grundvattnets innehåll av ämnen. Asktillförseln förbättrade barrens näringsstatus avseende kalium och fosfor, samt även högre halter av svavel och mikronäringsämnen bor och kisel. Halterna av magnesium minskade något, medan kväve- och kalciumhalterna och övriga analyserade ämnen inte påverkades.

Ett nytt steg i energiforskningen

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



Energiforsk