

EFFEKTER AV ASKGÖDSLING I SKOGAR PÅ ÄLDRE DIKADE TORVMARKER

RAPPORT 2020:700



Effekter av askgödsling i skogar på äldre dikade torvmarker

Träd- och beståndstillväxt samt påverkan på grundvattenkemi och barrens näringshalter

Responses to Wood Ash Fertilization in Old Drained Peatland Forests

Tree and Stand growth and effects on Groundwater Chemistry and Needle nutrient contents

TORD MAGNUSSON OCH BJÖRN HÅNELL

ISBN 978-91-7673-700-2 | © Energiforsk december 2020

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

Förord

Det här är slutrapportering av projektet 2017-101 Effekter av askgödsling i skogar på dikade torvmarker (Energimyndighetens projektnummer 39191-2) inom Askprogrammet som drivs av Energiforsk. Programmet verkar för att kunskap tas fram för att stimulera användningar av askor så att ingen eller ringa risk för hälsa och miljö på kort eller lång sikt föreligger.

Projektet är en uppföljning av tidigare studier av asktillförsel i norrländska torvmarksskogar, och har här undersökt tillväxteffekterna efter sju år. Kontroll av avrinnande grundvatten är också utförd.

Arbetet har genomförts av SLU, Sveriges lantbruksuniversitet med Björn Hånell och Tord Magnusson som projektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Stefan Mattsson, Sveaskog och Stefan Anderson, Skogsstyrelsen.

Stockholm december 2020

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Författarnas förord

Forskningsprogrammet "Aska till äldre dikade torvmarker" växte fram som idéskiss redan i slutet av 1980-talet. Vid den tiden hade 1970-talets oljekris ökat trycket på behov av biomassa/bioenergi; effekter av den eskalerande försurningen av mark och vatten, kvävenedfall och sammanhängande näringsutlakning, hade satt miljöfrågorna i naturvårdens och samhällsdiskussionens fokus. Askstillförsel till redan dikade torvmarker framstod – med stöd av såväl teoretisk som empirisk kunskap – som en möjlig åtgärd för att få fortsatt uthållig skogsproduktion och samtidigt bidra till att motverka markförsurning och utlakning av övergödande näringsämnen till vattensystemen. 2009 fick vi så, genom anslag från Värmeforsk och Energimyndigheten, möjlighet att lägga ut en serie fältförsök i Norrland. Huvudfokus har varit på askgödslingens tillväxteffekter, men effekter på grundvattnet har också studerats.

Vi tackar för det uthålliga ekonomiska stöd vi fått från Värmeforsk, Energiforsk och Energimyndigheten. Detta gäller också Holmen skog AB som varit markvärd, samt även delfinansiär genom att bekosta och utföra gallring m m, vid försöksseriens anläggning.

Företaget Airlift Helicopter Sweden AB, Hudiksvall (kontaktperson: Ola Sterner), utförde spridningen av aska med helikopter. Arbetet innebar tekniskt utvecklingsarbete och andra insatser från företagets sida, utöver erhållen ersättning, vilket vi tackar för.

Flera personer inom Holmen Skog har bidragit till projektets genomförande, Vi vill särskilt nämna kontaktpersonerna Daniel Hägglund, Jan Sandström, Anders Tolblad, Tomas Oskarsson (Norsjö), Caroline Rothpfeffer (Bredbyn), samt Henrik Björkman och Vanja Curman (Delsbo). Vi vill även nämna Hans Winsa (Sveaskog), som i inledningsskedet sammanställde förslag på försökslokaler inom Sveaskogs markinnehav.

Enheten för skoglig fältforskning, SLU, genom Lars-Göran Nilsson (Vindelns försöksparker), Christer Karlsson och Helena Lundhammar (Siljansfors försökspark), har bistått vid både etablering av försökslokalerna och slutliga beståndsrevisioner.

Personal vid det gemensamma laboratoriet vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, har utfört en stor del av de kemiska barr- och vattenanalyserna. Tommy Mörling, vid samma institution, har upplåtit och gett instruktioner för analyser av borrhärdor på Windendro-systemet. Ann-Kathrin Persson, vid samma institution, har varit till ovärderlig hjälp när det gäller projektets administrativa hantering och ekonomisk redovisning.

Slutligen, vill vi även nämna de experter som ingått i projektets olika Referensgrupper och som bistått med värdefulla synpunkter:

Försöksetablering (2009-2011): Anna Lundborg (EM), Torbjörn Nilsson (SLU) och Ulf Sikström (Skogforsk).

Uppföljning delresultat (2014-2015): Jonas Vestun (Jämtkraft) och Magnus Lindén (Södra).

Slutinmätningar/slutredogörelse (2018-2020): Stefan Anderson (Skogsstyrelsen) och Stefan Mattsson (Sveaskog)

Vi riktar vårt varmaste tack till samtliga!

Björn Hånell

Tord Magnusson

Sammanfattning

Huvudsyftet med den studie som redovisas här är att ta fram kunskap om hur stor tillväxten i medelålders och äldre skog på torvmarker med gamla diken kan bli genom tillförsel av träaska, samt om tillväxtökningen kan åstadkommas utan negativa konsekvenser för vattenekosystemen. En eventuell framtida asktillförsel till torvmarker kommer att gälla just de arealer av beskogad, dikad torvmark som nu nyttjas för normalt skogsbruk. Det skogliga motivet för sådan asktillförsel är att upprätthålla eller t.o.m. öka dessa markers skogsproduktionsförmåga och kompensera för de mineralnäringsämnen som bortförs med biomassan i det avverkade beståndet.

Studien omfattar en serie försök utlagda på fem torvmarksområden, från Delsbo (Hälsingland) i söder till Burträsk (Västerbotten) i norr. Alla försökslokaler har måttligt mäktig torv (ca 0,5 – 1,5 m). Försöken innefattar behandlingarna 0 (kontroll), 5 och 10 ton granulerad aska per ha och varje behandling är upprepade på 2 – 6 olika provtyper per försökslokal.

Försöken etablerades 2011 (beståndsinmätning) och slutinventerades 2018. Efter tre år (2014) analyserades grundvattenprover och näringshalt i barr samt barrvikt från provträd av tall. Efter sju år (2018) gjordes förnyade analyser av grundvatten, inmätning av beståndstillväxten efter askgödslingen samt bestämningar av årsringsutvecklingen före och efter gödsling på borrhärdar från ca 300 härskande och medhärskande träd av tall, gran och björk.

Asktillförseln hade efter tre år inga säkerställda generaliserbara effekter på grundvattnets innehåll av ämnen. Denna slutsats inbegriper även vattnets innehåll av metylkvicksilver (mättes endast 2014). Efter sju år var grundvattnets halter av kalium och natrium signifikant förhöjda på ytor som fått 10 ton aska per hektar. Askgödslingen gav ingen mätbar påverkan på andra studerade effektvariabler, inkl. nitrat, fosfat, TOC, pH och beräknad alkalinitet (ANC).

Barrvikten ökade efter askgödslingen och viktskillnaden mellan försöksleden 10 t/ha och kontroll efter tre år var statistiskt säker. Även barrens näringsstatus var då signifikant förbättrad. Detta gällde framför allt bristämnena fosfor och kalium, men även svavel och mikronäringsämnena bor och kisel.

Beståndstillväxten sju år efter askgödslingen, uttryckt som m^3sk per ha och år eller som årlig procentuell tillväxtökning, var i båda fallen signifikant större såväl på ytor med 5 ton som på ytor med 10 ton aska per hektar, jämfört med kontrolytor. Genomsnittlig procentuell tillväxtökning i volym, för alla lokaler i försöksserien under den sjuåriga observationsperioden, var 30 % och 40 % för 5 respektive 10 ton aska per hektar. Motsvarande absoluta tillväxtökning var 1,5 respektive 2,3 m^3sk per ha och år. Askans effekter på trädstillväxten bekräftas av resultaten från borrhärdstudien vars skattningar av grundytans utveckling hos härskande och medhärskande träd gav större tillväxtvärden än värdena på beståndsnivå.

De här redovisade träd- och beståndstillväxteffekterna ligger på samma nivå som tidigare publicerats i svenska och finska studier av askgödsling på dikade djupa torvmarker. Detta gäller även i jämförelse med den huvuddel av äldre

studier som i motsats till vårt material avsett askgödsling på torvmark som *i)* dikats kort före askgödslingen och/eller *ii)* vid gödslingstillfället varit kalt eller burit glesa plant- eller ungskogsbestånd. Vår slutsats är följaktligen att gamla dikade torvmarksskogar är ungefär lika reaktionsbenägna som plant- och ungskogsbestånd, vilka askgödslats i nära samband med det primära dikningsingreppet.

Resultaten har klar tillämpning på skogens skötsel. Vår studie bekräftar att aska generellt ger positiva effekter på näringsstatus och tillväxt även i gamla bestånd på djupa torvmarker i Norrland, vilka sedan länge varit dikade och beskogade. Resultaten indikerar också att de skilda effekterna av skogsskötselåtgärderna askgödsling och gallring är additiva, vilket ger stöd för att askgödsling även kan rekommenderas i samband med gallring. De studerade bestånden bedöms vara tämligen representativa för slumpmässigt valda äldre bestånd på dikad djup torvmark i stora delar av Norrland, eftersom beståndsegenskaper – utöver kravet på någorlunda slutet, medelålder till äldre skog – inte beaktades vid urvalet av försökslokaler.

Vår bedömning är också att resultaten kan vara minst lika tillämpliga i Svealand och Götaland. Denna bedömning, som ger stöd och bekräftelse för de enstaka tillväxtresultat från Götaland som presenterats av Rütting m.fl. (2014), baserar vi på följande saksak:

- De redovisade resultaten gäller i första hand relativt djupa torvmarker (> ca 50 cm). I södra Sverige är en större andel av de djupa torvmarkerna dikade och beskogade, jämfört med norra Sverige.
- Det ackumulerade kvävenedfallet är mycket större i södra än i norra Sverige, vilket gör att makronäringsämnena fosfor och kalium kan vara än mer begränsande för tillväxt i dessa torvmarksekosystem, jämfört med norra Sverige.
- En större andel av skogbevuxna torvmarker i Svealand och Götaland har skördats en gång sedan ursprunglig dikning, och därmed förlorat mycket av sitt redan från början kritiskt låga förråd av P och K.

Summary

The main aim of this study is to expand our knowledge base on the growth increase following wood ash amendments to peatland forests, particularly mid-rotation and old forests drained long ago. The task includes the obvious question whether or not this increase can be achieved without negative consequences for the water ecosystems. Future ash fertilization of forested peat soils in Sweden, if implemented, will take place in the forested, drained peatlands now used in ordinary forestry. The rationale behind such ash amendment is to maintain, or even enhance, the forest growth capacity of these sites and compensate for the loss of mineral elements removed with the biomass of the harvested stand.

The study includes a series of trials laid out in five peatland areas, from the province of Hälsingland in mid Sweden to the province of Västerbotten in the northern part of the country. The peat cover is moderately thick in all trial areas (ca 0,5 – 1,5 m). The main treatments are amendments of 0, 5 and 10 tons of granulated wood ash per hectare and each of the three treatments is repeated in 2 – 6 sample plots per trial area.

The trials were established in 2011 and the final stand inventory was made in 2018. After 3 years (2014), ground water and nutrient status of pine (*Pinus Silvestris* (L.)) needles were analysed. Also, the weight of needles from sampled pine trees was determined. After 7 years (2018), ground water was sampled and analysed again and stand growth following ash amendments was determined. Additionally, the width of each annual ring was measured on increment borings from ca 300 dominant and co-dominant trees of Scots pine, Norway spruce and downy birch.

The ash treatment had no general effects on ground water quality after 3 years. This was true also for the concentration of methyl mercury (measured 2014 only). After 7 years the concentration of potassium (K) and sodium (Na) was significantly increased on plots treated with 10 tons of ash per ha. The ash treatment did not show measurable effects on other studied variables, including nitrate and phosphate concentrations, total organic carbon (TOC), pH and calculated acid neutralizing capacity (ANC).

Needle weight increased after ash treatment and the weight difference between treatments 10 t/ha and control (0 t/ha) after 3 years was significant. Also, the needle nutrient status was then significantly improved, particularly regarding phosphorus (P) and potassium (K), but also sulfur (S) and the micro nutrients boron (B) and silicon (Si).

Stand growth 7 years after ash treatment, expressed as $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ or as percental annual increment increase, were in both cases significantly greater on ash treated plots (5 t/ha and 10 t/ha) compared to control plots. Average volume growth increase over all five trial areas during the 7-year observation period, was 30% and 40% on the 5 t/ha and 10 t/ha plots, respectively. The corresponding growth increase in absolute terms were 1,5 and 2,3 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$. The ash effects on tree growth were confirmed by the analysis of the increment borings; the basal area

increment of dominant and co-dominant trees was larger than the basal area development on stand level.

The reported tree and stand growth increase effects agree well with earlier published results from Swedish and Finnish studies on ash fertilization of drained, deep peatlands. This holds true also when comparing with those ash experiments on peatlands that, in contrast to our study, *i*) have been drained shortly before fertilization and/or *ii*) were open or only sparsely forested at the date of the treatment. Our conclusion is that the growth reaction in old, drained peatland forests is similar to the reaction in younger stands that have been fertilized soon after drainage.

The results can be applied in practical forestry. Our study confirms that ash amendments have positive effects on nutrient status and growth also in old, and since long drained and forested, stands on deep peatlands in northern Sweden. Further, the results indicate that the separate effects of the silvicultural measures ash fertilization and thinning are additive. This suggests that ash fertilization also can be recommended at the time of thinning. The studied stands can be looked upon as fairly representative to randomly chosen old stands on drained deep peatlands in large parts of northern Sweden, particularly since stand quality – except from the requirements on relatively dense, midrotation to old forests – were not considered in the process of selecting trial areas.

Our study confirms that the effects of wood ash on site productivity and stand growth on peatlands are strongly positive. The observations on groundwater quality did not indicate reasons to refrain from this silvicultural measure.

We suggest that the results are relevant for peatland forestry not only in north Sweden, but also in mid and south Sweden (i.e. Svealand and Götaland). This view, which gives support to the few results on stand growth from Götaland presented by Rütting et al. (2014), is based on the following facts:

- The reported results originate from peatlands with a fairly thick peat cover (> 50 cm). In south Sweden, a larger proportion of sites with thick peat are drained and forested, compared to north Sweden.
- The accumulated nitrogen deposition is much greater in the southern parts of the country than in the north, and as a consequence the macronutrients phosphorus (P) and potassium (K) may limit growth more in the southern peatland ecosystems.
- A larger proportion of the peatland forests in mid and south Sweden have been harvested, compared to the peatland forests in the north, and thereby lost much of the already critically low stores of P and K.

Innehåll

1	Inledning	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Syfte	12
2	Material och metoder	14
2.1	Försöksetablering 2011	14
2.2	Effektstudier 2014	17
2.2.1	Barr	17
2.2.2	Grundvatten	17
2.3	Effektstudier 2018/2019	17
2.3.1	Beståndstillväxt	17
2.3.2	Åsringsutveckling	18
2.3.3	Grundvatten	19
2.4	Kemiska analyser	19
2.4.1	Analyser 2014	19
2.4.2	Analyser 2018/2019:	20
2.5	Statistisk bearbetning	20
3	Resultat	22
3.1	Effektstudier 2014 – efter 3 år	22
3.1.1	Barrvikt	22
3.1.2	Näringshalt i barr	22
3.1.3	Grundvatten 2014	23
3.2	Effektstudier 2018 - efter 7 år	24
3.2.1	Beståndstillväxt efter askgödsling	24
3.2.2	Åsringsutveckling före/efter askgödsling	26
3.2.3	Grundvatten 2018/2019	31
4	Diskussion	33
4.1	Askans effekter på barr och träd tillväxt	33
4.2	Askans effekter på avrinnande grundvatten	36
5	Litteratur	39
Bilaga 1:	Försökslokaler	43
Bilaga 2:	Näringsinnehåll i årsbarr	46
Bilaga 3:	Grundvattenkemi	47
Bilaga 4:	Tillväxt	49
Bilaga 5:	Periodkvot efter tillförsel	51
Bilaga 6:	Resultat av variansanalyser och hypotestester	54

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Askåterföring är ett naturligt steg i ett kretsloppstänkande. Återföring av restprodukter till produktionssystemet är självklart klokt, rent resursekonomiskt.

Särskilt när det gäller odling på organiska jordar, har denna insikt länge funnits i den experimentella produktionsforskningen. Genom studierna inom jordbruket klargjordes tidigt under 1900-talet att tillgången på vissa mineralnäringsämnen begränsar odling av växter på torvmarker och att skörden av växtbiomassa kan leda till akuta bristsymptom och produktionsminskning (Booberg och Bauman, 1922; Osvald, 1926, m.fl.). När det skogliga nyttjandet av torvmarker började, på 1850-talet genom dikning, gjordes det utan särskilda krav på växtplatsens näringsförhållanden. Ett noggrant val av marker med de bästa förutsättningarna för god skogsproduktion föregick inte dikningen. Längre, långt mer än ett halvt sekel, var den förhärskande uppfattningen att praktiskt taget all torvmark kunde bli produktiv skogsmark bara man dikade tillräckligt effektivt. Åsikten framfördes av ledande skogsmän, bl.a. Frans Kempe, som i anslutning till sin utgivna programförklaring om skogshushållningen i Norrland (Kempe, 1909) samma år påstod "... att så godt som all myr kan göras skogbärande". Ett par decennier senare påvisades mineralnäringsämnenas avgörande betydelse för skogsproduktion på torvmarker i en klassisk studie av Malmström (1935) via försök med vedaska, såväl experimentella som praktiska sådana ute i skogsbruket. Trots detta klargörande bedrevs det praktiska torvmarksskogsbruket i Sverige under huvuddelen av 1900-talet inte med högre intensitet än den primära regleringen av grundvattenytan, dvs. dikning. Skogsgödsling för att öka produktionen började tillämpas på 1960-talet, men nästan enbart på mineraljordar (fastmark) genom tillförsel av kvävenäring.

Under 1960-, 1970- och 1980-talen förordade skogsforskningen även gödsling på dikad torvmark med de två växtnäringsämnen som visats vara de produktionshöjande i trädbränsleaska, nämligen fosfor och kalium. En sammanställning av gjorda erfarenheter och rekommendationer för praktisk tillämpning utarbetades av Gödsel och Kalkindustriernas Samarbetsdelegation och redigerades av Hansson (1961, 1966). Torvmarksgödsling med rena PK-gödselmedel tillämpades i viss omfattning under 1970-talet, men gödsling i form av aska förekom inte i det praktiska skogsbruket. Jämfört med kvävegödsling, ansågs gödsling med trädbränsleaska logistiskt och lönsamhetsmässigt orealistiskt: de dikade torvmarkerna är geografiskt splittrade i skogslandskapet; produktion och distribution av askprodukter hade inte utvecklats; askans relativt låga innehåll av P och K (ca 1 - 2 % respektive 3 - 5 %), innebär att huvuddelen av spridd vikt är "barlast". Ett alltmer framträdande och avgörande skäl för denna tveksamhet inför så intensiv skogsskötsel på dikade torvmarker, var 1980-talets paradigmskifte från i första hand produktionsmål till formellt likställda produktions- och miljömål, i skogsbruket. Detta innebar i praktiken ett slags "moratorium" för produktionsinriktad torvmarksforskning i Sverige, framför allt beträffande ny skogsdikning,

men i viss mån även skötselriktad forskning om nyttjandet av redan dikade och för skogsbruk ianspråktaga torvmarker.

Forskningsprogrammet "Aska till äldre dikade torvmarker" växte fram som idéskiss redan i slutet av 1980-talet. Vid den tiden hade 1970-talets oljekris ökat trycket på behov av biomassa/bioenergi (stubbrytning; uttag av GROT) och den eskalerande förurningen av mark och vatten hade satt miljöfrågorna i naturvårdens och samhällsdiskussionens fokus ("Skogsdöden" m.fl.). Asktillförsel till dikade torvmarker framstod – med stöd av såväl teoretisk som empirisk kunskap – som en möjlig positiv åtgärd för att säkra uthållig skogsproduktion genom återställning av näringsbalans och samtidigt motverka förurning utan att ha kalkningens stundom negativa effekter.

Kännetecknande för de äldre skogliga askgödslingsförsöken utlagda på torvmarker i Norden är att praktiskt taget alla har lagts ut på kala myrar. En framtida asktillförsel till torvmarker kommer emellertid att gälla beskogad mark, dvs. sedan länge dikad torvmark som nu nyttjas för skogsbruk (Hånell och Magnusson, 2005; Hånell, 2009). Nuvarande kunskap om askans effekter på skogsproduktionen bygger mestadels på Malmströms studier (1935, 1952) och på finska studier (Ferm m.fl., 1992; Silfverberg och Huikari, 1985; Silfverberg och Hotanen, 1989; Silfverberg, 1996; Moilanen m.fl., 2002; Moilanen m.fl., 2005; Moilanen m.fl., 2010).

Sentida inhemska studier av asktillförsel till äldre dikad torvmark som nu är skogbevuxen och utgör en potential för framtida asktillförsel, är mycket få och utförda i södra Sverige (Sikström m.fl., 2009; Ernfors m.fl., 2010; Sikström m.fl., 2010). Underlaget för att bedöma potentialen för askgödsling på dikad och skogklädd torvmark i landet är således svagt och allra svagast ifråga om Norrland. Två tredjedelar av Sveriges torvmarksareal återfinns där. De dikade torvmarkerna i Sverige skiljer sig från de finska genom att de dränerades betydligt tidigare under 1900-talet och således utsatts för 50 - 100 års nedbrytning under syrgastillgång. Bristen på erfarenheter från askgödsling på torvmarker med uppvuxna och slutna bestånd på gamla dikningsområden medför därför betydande osäkerhet ifråga om gödslingens produktionseffekter.

Medan de undersökningar som inriktats på vedaskans effekter på skogsproduktionen klargjort att dessa mestadels varit starkt positiva, har studierna av askans miljöpåverkan visat att risken för oönskade effekter på miljön, i form av utlakning av kväve och tungmetaller och ökad emission av klimatpåverkande gaser, tycks vara tämligen liten (Magnusson och Hånell, 2000; Sikström m.fl., 2009; Ernfors m.fl., 2010; Klemetsson m.fl., 2010; Ring m.fl., 2011; Moilanen m.fl., 2012; Ring m.fl., 2012; Sikström m.fl., 2012). Det finns dock ett behov av att bekräfta dessa erfarenheter, och att inkludera en miljöfråga som över huvud taget inte studerats i samband med asktillförsel till torvmarker – utlakning av metylkvicksilver till vattensystemen.

1.2 SYFTE

Det övergripande syftet med det genomförda projektet är att ta fram kunskap om de generella effekterna av askgödsling i medelålders och äldre skog på djup

torvmark, dikad sedan lång tid tillbaka, som underlag för ställningstagandet till åtgärden återföring/tillförsel av aska till skog på torvmark. Det innebär specifikt att ange hur stor tillväxtökningen kan bli, samt utröna vilka konsekvenser sådan gödsling kan ha på vattenekosystemen.

Etappmål:

1. Etapp 1 (2010 - 2011). Etablering av experimentella försök på flera lokaler i norra Sverige.
2. Etapp 2 (2014 - 2015). Fältstudier av vattenkemin i grundvatten från försöksytorna och effekter på trädens näringsstatus, efter tre år.
3. Etapp 3 (2018 - 2019). Revision av stående trädbiomassa och sju års tillväxt, årsringsstudier för studier av tillväxtförlopp, samt upprepad provtagning och analys av grundvatten. Slutrapportering (föreliggande rapport).

2 Material och metoder

2.1 FÖRSÖKSETABLERING 2011

Försöksserien omfattar fem torvmarksområden, från Delsbo (Hälsingland) i söder till Burträsk (Västerbotten) i norr (Magnusson och Hånell, 2011). Försöken är av typen randomiserade blockförsök, men har olika antal block (upprepningar av varje behandling). Markvärd är Holmen Skog AB. Försökslokalerna har måttligt djup till djup torv (min. ca 0,5 – ca 1,5 m). Vid provytornas 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 - 17 provytor per lokal). Behandlingsytornas storlek är 30 x 30 m, eller 30 x 40 m (en försökslokal). Provytornas sk nettoyta, inom vilken gödslings effekter på beståndet mätts upp, är 20 x 20 m respektive 20 x 30 m. (Beskrivning av försökslokalerna ges i Bilaga 1).

Askgivorna om 10 ton per hektar medförde en tillförsel av 1700, 330, 97 och 190 kg/ha av respektive Ca (kalcium), K (kalium), P (fosfor) och Mg (magnesium). Den spridda askans kalkeffekt (efter fullständig upplösning) var ca 39 % av effekten i krossad kalksten (CaCO_3). Tio ton aska/ha motsvarade således ca fyra ton kalkstensmjöl/ha.

Inmätning av bestånden på försökslokalerna gjordes under september-oktober 2011 (Tabell 1). Inmätningarna utfördes av personal vid Enheten för skoglig fältforskning, SLU, och enligt standardiserade rutiner för långsiktiga försök (Anon., 2003; Karlsson et al., 2012.).

På den arealmässigt största försökslokalen (försök 1522 Fönebo, Delsbo, Hälsingland) utfördes beståndsutjämnande gallring i anslutning till försöks-etableringen. Grundytan i halva försöket (3 block) reglerades genom gallring till ca 30 m² per ha och andra halvan till 23 m² per ha, i de kvarvarande produktions-bestånden. Gallringsuttagen i de två försöksbehandlingarna, inkl. stickvägsuttag, var i medeltal 25 respektive 20 % av grundytan. Utförandet av den utjämnande gallringen i försök 1522, vilken snitslades ut vid inmätningen i oktober 2011, kunde dock inte utföras förrän ett år senare, 29 – 31 januari 2013. Orsaken var att stormen Dagmar, under julhelgen 2011, fällde så mycket skog i denna region, att Holmen Skog nödgades skjuta på gallringen i askgödslingsförsöket. Konsekvensen blev att de askgödslade parcellerna under första vegetationsperioden hade högre beståndstäthet än avsett. Vår bedömning är dock att detta har haft obetydlig inverkan på uppmätta tillväxteffekter (om något, så är det en liten underskattning av 7-årsperiodens tillväxt, eftersom 2012 års tillväxt på de bortgallrade träden inte inkluderats).

Tabell 1. Försökslokalernas koordinater och beståndens egenskaper 2011. Angivna medeldiameter och medelhöjd är grundtyevägda.

Table 1. Trial area coordinates and stand characteristics.

Lokal	Latitud	Longitud	Stamantal, ha ⁻¹	Trädslag andel tall, gran, björk	Bestånds- ålder, år	Medel- diam, cm	Medel- höjd, m	Grundtya, m ² ha ⁻¹	Volym, m ³ ha ⁻¹
1, 1518	64° 33' 43"	20° 28' 24"	577 ± 90	3,6,1	82	23,3 ± 3,6	19,5 ± 2,3	24,3 ± 5,4	227 ± 70
2, 1519	64° 40' 57"	20° 24' 46"	817 ± 122	1,0,0	85	13,2 ± 0,9	11,3 ± 1,4	11,1 ± 2,2	66 ± 17
3, 1520	64° 41' 20"	20° 25' 00"	608 ± 97	1,0,0	64	19,3 ± 1,4	16,6 ± 0,8	18,0 ± 2,5	142 ± 26
4, 1521	63° 42' 03"	17° 29' 42"	1139 ± 128	5,3,2	70	15,0 ± 0,9	14,0 ± 0,7	19,9 ± 2,0	135 ± 17
5, 1522	61° 55' 06"	16° 55' 06"	1075 ± 90	7,1,2	70	17,7 ± 1,5	17,4 ± 2,0	26,4 ± 3,9	222 ± 52

Askspridning skedde med helikopter (Airlift AB, Hudiksvall) och utfördes i november 2011. Den GPS-styrda spridningen baserades på exakt information om alla provytors hörnpunkter, uppmätta med ett Trimble R-8 fältnätningssystem. Den spridda askan är en trumgranulerad flygaska, huvudsakligen från CFB-pannor eldade med trädbränsle med 30 % torvinblandning (Ecolan T-4000), med ursprung från södra centrala Finland (FA Forest Oy /Ecolan Oy, Viitasaari/Tampere) (Tabell 2).

Eftersom askans spreds med oprövad teknik för etablering av försöksytor med askgödsling, gjordes kontroller av spridningsresultatet inom slumpvis valda provytor på flera försöksområden. Fångsthåvar (19 st) om vardera 0,5 x 0,5 m sattes ut längs två linjer från ytornas centrum och ut mot kanterna. Resultaten visade att spridningen inte uppfyllde normala krav på jämnhet för vetenskapliga gödslingsförsök. Variationen av askgödslingsgiva per fångsthåv inom provytan var mycket stor. Dessutom förekom viss spridning utanför bruttoyten. Orsaken var framför allt trädskronornas punktvisa markskydd och avlänkning utåt av fallande askpellets, men också brister i helikopterns GPS-baserade manövrering och spridningsaggregatets konstruktion. Varje yta hade dock fått rätt totalmängd askpellets, och felspridning utanför bruttoyten kantlinje påvisades aldrig mer än några meter ut i den 10 m breda buffertzonen mellan provytor med olika behandling. Dessutom sker alla mätningar av beståndets tillväxt enbart inom varje provytas nettoyta, vilket ger ytterligare 10 m säkerhetsmarginal mot oavsiktlig kontamination av intilliggande behandlingsyta. Slutbedömningen blev därför att spridningsresultatet var acceptabelt.



Figur 1. Försökslokalernas geografiska läge: 1. 1522 Fönebo, Delsbo; 2. 1521 Medskogen, Solberg; 3. 1519 Brönstjärn 1, Burträsk; 4. 1520 Brönstjärn 2, Burträsk; 5. 1518 Daltorpet, Burträsk.

Figure 1. Geographic location of the five trial areas in north Sweden.

Tabell 2. Askans egenskaper och sammansättning.

Table 2. Chemical characteristics of the applied wood ash.

Allmänt		Spårämnen	
		mg/kg TS	
Glödförlust (Org C), % av TS	12,1	Arsenik, As	14
pH (mätt i H ₂ O), pH-enh.	12,34	Bor, B	130
Kalkeffekt, % av CaO	22	Bly, Pb	67
Makroelement		Kadmium, Cd	8,3
		Kobolt, Co	14
		Krom, Cr	104
		Koppar, Cu	85
		Kviksilver, Hg	0,2
		Molybden, Mo	6,9
		Nickel, Ni	53
		Tenn, Sn	2,9
		Vanadin, V	46
		Zink, Zn	1640

2.2 EFFEKTSTUDIER 2014

2.2.1 Barr

Provtagning av barr gjordes under perioden 2 – 13 november 2014. All barr-provtagning gjordes på tall, eftersom detta trädslag fanns representerat på samtliga provytor. Årsskott från övre delen av kronan, i sektorn SV – SO, klipptes med en stångsekatör (förlängningsbar upp till 14 m). Ett stickprov om 10 - 15 dubbelbarr togs från 10 slumpmässigt utvalda härskande/medhärskande tallar på varje provyta.

Efter torkning av barren (70° C; 3 dygn) togs 100 dubbelbarr ut från varje prov, vägdes in, och "100-barrsvikten" för ytan noterades. Därefter finmalades hela provet i kulkvarn, inför kemisk analys.

2.2.2 Grundvatten

Provtagning av grundvatten gjordes under perioden 1 – 12 september 2014, 1 - 2 veckor efter den första grundvattenbildande regnperioden (> 40 mm regn), efter en mycket torr sommar. Grundvattennivåerna var dock fortfarande låga vid provtagningsstillfället, varför godtagbara vattenprov inte kunde tas från vissa block, på flera lokaler. (När grundvattennivån låg under ytornas torvlager (dvs. i underliggande mineraljord) underkändes vattenproven med motivet att sådant vatten mycket väl kunde ha ett annat huvudsakligt ursprung än från den behandlade ytan.) Godkända vattenprov erhöles från 38 av totalt 56 provytor.

Grundvattenprov för standardanalyser togs och behandlades på samma sätt som 2018 (se nedan, 2.3.3). Vattenprov för analys av metylkvicksilver (enbart 2014) togs separat, i syradiskade glasflaskor.

2.3 EFFEKTSTUDIER 2018/2019

2.3.1 Beståndstillväxt

Försöksbestånden inventerades hösten 2011 och hösten 2018. Datainsamlingen gjordes enligt den fältarbetsinstruktion som utarbetats för skogsfakultetens vid SLU beståndsbehandlingsförsök (Anon., 2003), i kombination med det datasystem som nu är i bruk för de skogliga fältförsöken (Karlsson m.fl., 2012).

Brösthöjdsdiametern på samtliga träd (≥ 6 cm) mättes för varje trädslag i millimeter via korsklavning. Därefter utsågs trädslagsvis vartannat av de tio grövsta träden och därtill 10 - 15 systematiskt utvalda träd på varje provyta till provträd. På provträden mättes trädhöjd, grön krongränshöjd och barktjocklek så att varje enskilt träds stamvolym kunde skattas med en tillämplig volymfunktion. I fältdatasystemet används provträdens volym för att med den s.k. massalinjemetoden skatta volymen på de träd som bara diametern mätts på. Skattningen bygger på att det föreligger ett nära nog linjärt samband (massalinen) mellan ett träds brösthöjdsdiameter i kvadrat och dess stamvolym. Volymskattningen görs separat för skilda trädslag och diameterklassvis (2 cm klassvidd) varvid det eventuella felet i linjäritet blir försumbart.

Beståndens årliga löpande tillväxt i grundyta och volym beräknades som skillnaden i total grundyta resp. total volym mellan 2018 och 2011, dividerad med observationsperiodens längd (sju år), således:

$$GY_{tillv}, m^2/ha/år = (GY_{2018} - GY_{2011})/7$$

$$VOL_{tillv}, m^3/ha/år = (VOL_{2018} - VOL_{2011})/7$$

Beståndens genomsnittliga årliga tillväxtprocent under perioden beräknades genom att dividera den beräknade absoluta tillväxten med stående grundyta resp. volym 2011.

Genom att relatera den absoluta tillväxten till stående grundyta respektive volym vid periodens början erhöles ett mer rättvisande mått på askans tillväxteffekter än absolut tillväxt, eftersom slumpen kan göra så att de olika försöksleden har avsevärt olika utgångsbestockning. De så framräknade procentuella grundyte- och *volymtillväxterna* utgjorde grunden för statistisk utvärdering av askgödslingens tillväxteffekter:

$$GY_{tillv}, \%/år = (GY_{tillv}, m^2/ha/år / GY_{2011}, m^2/ha) \times 100$$

$$VOL_{tillv}, \%/år = (VOL_{tillv}, m^3/ha/år / VOL_{2011}, m^3/ha) \times 100$$

2.3.2 Årsringsutveckling

Ett urval av provträd borrades i brösthöjd (1,3 m) i oktober 2018. Borrkärnor togs från 3 - 5 härskande och medhärskande träd på varje yta. På provytor med endast ett trädslag togs prov från det allra grövsta trädet ("Härskande"), samt från två slumpmässigt valda s.k. "Medhärskande" träd (i diameterklassen näst under de "Härskande"). Där flera trädslag förekom, provtogs det grövsta trädet av varje trädslag, samt två "Medhärskande" träd av det dominerande trädslaget. (I några fall bedömdes två trädslag bägge vara lika dominerande). Totalt insamlades 273 borrkärnor från de fem försökslokalernas 56 provytor.

På laboratorium preparerades borrkärnorna genom uppfuktning i vattenbad. Därefter skars kärnorna jämna och släta med en mikrotom anpassad för borrkärnor. För björkkärnor krävdes ytterligare bearbetning med fint sandpapper/putsduk.

Årsringsbredder från 1998 avlästes på de preparerade borrkärnorna i WINDENDRO V 6.0 årsringsanalysator, ett instrument bestående av en scanner kopplad till ett mjukvaruprogram (Regents Instruments Inc., Quebec, Canada). Den automatiska avläsningen av årsringar kontrollerades/korrigerades i varje borrkärna. Medelårsringsbredd per försöksled räknades ut för varje aktuell kategori (provyta/försökslokal/försöksserie; enskilt trädslag/alla trädslag).

Årsringsdata bearbetades vidare genom omräkning av årsringsbredd till årlig grundytetillväxt. Varje provträds diameter under bark, vid slutmätningen 2018, beräknades från trädets diameter på bark, korrigerad för barkens tjocklek (enl. särskild barkfunktion). Med information om diameter under bark och årsringsbredd, kunde varje års grundytetillväxt räknas ut, från 2018 och bakåt i tiden. Tillväxtförändringar under 7-årsperioden efter askgödsling uttrycktes som en kvot,

för varje enskilt träd: Borrträdets grundytetillväxt 2012 - 2018, dividerat med trädets grundytetillväxt 2005 - 2011:

$$\text{Periodkvot (GY)} = \text{GYtillv}_{(12-18)} / \text{GYtillv}_{(05-11)}$$

Därefter beräknades medelvärdet för denna s.k. *periodkvot* över alla träd i den aktuella kategorin (försöksled/trädslag/provyta/försökslokal/försöksserie).

2.3.3 Grundvatten

Provtagning av grundvatten gjordes under våren 2019 (190524 - 190604), alldeles efter att tjälen gått ur jorden. (Orsaken till att proverna inte togs under hösten 2018, som planerat, var att beställning och kontrakt från anslagsgivaren inte blev helt klara förrän marken tjälats senhösten 2018).

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 avvattande 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 500-ml provflaska. Undertrycket i provflaskan skapades med en manuell evakueringspump. Slangen nedre del fästes vid en ribba som stacks ner i grundvattenbrunnen, i ett läge som förhindrade att slangens öppning kom för nära hålets botten eller sidor. Hela slangsystemet sköljdes med jonfritt vatten mellan varje grundvattenbrunn. Vid varje ny vattenbrunn sögs först en mindre mängd provvatten upp, vilket kastades bort. Vattenprov för standardanalyser överfördes till rena PE-flaskor. Vattenprov för analys av metylkvicksilver (enbart 2014) togs separat, i syradiskade glasflaskor.

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 (med automatpipett) till nya rena provflaskor.

2.4 KEMISKA ANALYSER

2.4.1 Analyser 2014

Vattenanalyser:

Följande ämnen analyserades i grundvattnet: pH, TOC (organiskt kol), ammoniumkväve (NH_4^+), nitratkväve (NO_3^-), fosfatfosfor (PO_4^{3-}), oorganiska katjonerna 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).

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

Övriga analyser utfördes vid laboratoriet vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU (se vidare Magnusson och Hånell 2016).

Barranalyser:

Barren analyserades med avseende på totalt innehåll av makronäringsämnen kväve (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca) magnesium (Mg) och svavel (S), samt aluminium (Al) och mikronäringsämnen bor (B), järn (Fe), koppar (Cu), mangan (Mn), natrium (Na), kisel (Si) och zink (Zn).

2.4.2 Analyser 2018/2019:

Följande ämnen analyserades i grundvattnet: pH, totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), ammoniumkväve (NH_4^+), nitratkväve (NO_3^-), fosfatfosfor (PO_4^{3-}), klorid (Cl^-), fluorid (F^-), sulfat (SO_4^{2-}), samt metaller och spårämnen.

Metaller analyserades vid ALS Scandinavia (Luleå) enligt "paket V-2", innefattande analys av As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, P, Pb och V med ICP-SFMS och analys av Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Al, Ba, Cu, Mn, Sr och Zn med ICP-AES. Övriga analyser utfördes vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU. pH bestämdes på ett Mettler Toledo SevenMulti instrument, med en Mettler Toledo Inlag Science elektrod. TOC och TN bestämdes på ett Shimadzu TOC-V + TNM-1 instrument. NH_4 , NO_3 och PO_4 bestämdes med en Omniprocess Autoanalyser AA3 Spectrofotometer. Övriga anjoner på ett IC Metrohm Net. Version 2.3 instrument med en AS22 Dionex kolonn.

ANC (Acid Neutralizing Capacity) beräknades enligt Reuss och Johnson (1986) som skillnaden mellan summa icke-sura katjoner ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$) och summa konservativa anjoner utom fluorid ($\text{Cl} + \text{NO}_3 + \text{SO}_4$).

2.5 STATISTISK BEARBETNING

I projektets delrapport av barr- och grundvattendata från 2014 (Magnusson och Hånell, 2016), presenterades signifikanstester för skillnaderna mellan olika försöksled. I föreliggande slutrapport har signifikanstesterna på 2014 års barr- och grundvattendata reviderats, med något annorlunda och till materialet bättre anpassade statistiska modeller. **De i föreliggande rapport redovisade signifikanstesterna för barr och vattenstudier 2014, är de slutgiltiga!**

Den förnyade hypotesprövningen av mätdata från 2014 gjordes i statistikprogrammet Minitab 2018. För barrdata användes variansanalys av typen Linear Mixed Model (LMM), där ASKGIVA (fix), LOKAL (slumpfaktor) och BLOCK (slumpfaktor, nästlad i LOKAL) var de ingående förklarande faktorerna. Generella effekterna av askgödsling på grundvatten prövades med en LMM där endast ASKDOS (fix) och LOKAL (slumpfaktor) ingick. Tukey's "post hoc"-test, med kritisk signifikansnivå $p = 0,05$, användes för att ta reda på vilken/vilka

askbehandlingen (5 t/ha; 10 t/ha) som på ett signifikant sätt avviker från kontrollytornas medelvärde.

2018/2019 års slutmätningar av total beståndstillväxt, årsringsutveckling och grundvattenkemi bearbetades likaså med Linear Mixed Model variansanalys. Förklaringsmodellen för beståndstillväxt, där effektvariablerna *procentuell grundytetillväxt* och *procentuell volymtillväxt* testades, hade ASKGIVA som förklarande fix faktor, LOKAL som förklarande slumpfaktor och BLOCK som slumpfaktor nästlad i LOKAL. Samma Mixed Model användes för test av signifikanta effekter på årsringsutveckling och för grundvattenkemin. På mätdata för försökslokalen 1522 i Hälsingland, vilken gallrats till två olika grundtyper i samband med försöksanläggningen, gjordes även en separat variansanalys, där GRUNDYTA lades till som en fix faktor med två nivåer (23 m²/ha, 30 m²/ha) i modellen. I alla modeller användes Tukey's test, med kritisk signifikansnivå $p = 0,05$, för att testa om skillnaderna mellan kontroll och de två askdoserna (5 och 10 ton/ha) var signifikanta (dvs. $p < 0,05$). Sammanställningar av mätdata gjordes i EXCEL 2016.

3 Resultat

3.1 EFFEKTSTUDIER 2014 – EFTER 3 ÅR

3.1.1 Barrvikt

Okulärt framstod årsbarren på många tallar på askytor som tydligt större och med en klarare grön färg, jämfört med kontrolltytor. Men variationen mellan träd-individer var stor, och på några försökslokaler var ingen systematisk förändring uppenbar. Den uppmätta medelvikten får 100 dubbelbarr ökade dock för ökad askgiva (Tabell 3). Skillnaden mellan 10 t/ha och kontrolltyterna var signifikant ($p = 0,021$) (Bilaga 6.1).

3.1.2 Näringshalt i barr

Kontrolltyternas halter av makronäringsämnen i tallbarr var på alla försökslokaler lägre än "Optimala" halter enligt Braekke (1994), för kväve (N), kalium (K) och fosfor (P). (Klassindelning; Stark brist; Brist; Underoptimalt; Optimalt).

Kontrolltyternas medelvärde över hela försöksserien låg i intervallet "Brist" för både kalium och fosfor (Tabell 4). Olika försökslokalers separata kontrolltytehalter varierade för kväve mellan "Brist" och "Underoptimalt"; för kalium låg alla inom intervallet "Brist"; för fosfor varierade de mellan "Stark brist" och "Brist" (Bilaga 2).

Flera makronäringsämnen i barren påverkades av askgödslingen (Tabell 4; Bilaga 6.1). Totalhalterna av fosfor och kalium var bägge starkt signifikant högre efter tillförsel av såväl 5 som 10 ton/ha ($p < 0,001$ resp. $p < 0,001$). Även svavelhalterna höjdes, men denna effekt var statistiskt säker endast för givan 10 ton ($p = 0,006$). Effekten på magnesium var den omvända; tillförsel av 10 ton aska tycktes medföra en svagt signifikant sänkning av totalhalter ($p = 0,036$). Av makronäringsämnena var det alltså bara kväve och kalcium som inte uppvisade förändrade barrhalter efter asktillförseln. Effekterna av askgödslingen var likartade på alla försökslokaler (Bilaga 2).

Även bland mikronäringsämnena hade askan effekter (Tabell 4; Bilaga 6.1). Mest markant påverkades barrrens totalhalter av bor. De var mer än 50 % högre på ytor som tillförts 5 eller 10 ton aska ($p < 0,001$ resp. $p < 0,001$). Mikronäringsämnet kisel uppvisade också signifikanta förhöjningar, för både 5 ton och 10 ton aska ($p = 0,001$ resp. $p = 0,001$) (Bilaga 6.1).

Tabell 3. Medelvärden (m) och medelfel (mf) 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).

Askgiva	0 t/ha		5 t/ha		10 t/ha	
	m	mf	m	mf	m	mf
100-vikt, g	2,67	0,12	2,72	0,16	3,06	0,19

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

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

	0 t/ha		5 t/ha		10 t/ha	
	m	mf	m	mf	m	mf
Ämne, mg/g						
N _{Kjeld}	14,3	0,6	14,3	0,4	14,4	0,5
P _{tot}	1,26	0,05	1,40	0,04	1,44	0,03
K _{tot}	4,87	0,12	5,77	0,12	5,81	0,11
Ca _{tot}	2,00	0,08	2,08	0,05	2,09	0,07
Mg _{tot}	1,19	0,03	1,15	0,04	1,11	0,03
S _{tot}	0,90	0,03	0,94	0,02	0,96	0,03
Ämne, µg/g						
B _{tot}	15	2	23	1	25	1
Fe _{tot}	23	2	28	3	23	2
Mn _{tot}	417	36	363	33	386	45
Na _{tot}	13	1	18	3	16	2
Si _{tot}	90	8	132	13	134	13
Zn _{tot}	35	2	38	3	35	3
C/N kvot	37,8	1,9	37,6	1,5	36,9	1,6

3.1.3 Grundvatten 2014

Askgödslingen hade inga säkerställda generella effekter på grundvattnet, 3 år efter askans spridning (Tabell 5; Bilaga 3.1; Bilaga 6.2). Det fanns dock tendenser till höjning av askans lösliga komponenter, framför allt kalium ($p=0,068$). På en av de fem enskilda försökslokalerna var kaliumhalten signifikant förhöjd efter askgivan 10 t/ha).

Halterna av metylkvicksilver i dessa grundvatten var i storleksordningen $0,1 \text{ ng L}^{-1}$ ($0,04 - 0,20 \text{ ng L}^{-1}$). Det fanns inga signifikanta skillnader mellan askgivorna, sammantaget eller för någon enskild försökslokal.

Tabell 5. Medelvärden (m) och medelfel (mf) 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 5. 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).

	0 t/ha		5 t/ha		10 t/ha	
	m	mf	m	mf	m	mf
TOC, mg/l	67	12	54	9	62	12
pH	4,86	0,23	4,93	0,22	4,81	0,23
ANC, mol _c /l	265	54	257	36	236	21
Al ³⁺ , 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 ⁻ , µg/l	22	3	30	11	25	4
P-PO ₄ ³⁻ , µg/l	11,1	4,4	6,5	2,1	6,4	0,9
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

3.2 EFFEKTSTUDIER 2018 - EFTER 7 ÅR

3.2.1 Beståndstillväxt efter askgödsling

Enligt den totala beståndsinmätningen 2011/2018 var den genomsnittliga (alla försökslokaler sammantaget) tillväxten under 7-årsperioden, uttryckt som årlig procentuell volymtillväxt, 2,75 % för kontrollerna, 3,57 % för askgivan 5 t/ha och 3,85 % för 10 t/ha (Figur 2; Bilaga 4.1). Ökningen av tillväxthastigheten jämfört med kontroll var således 30 % för 5 t/ha och 40 % för 10 t/ha. Motsvarande ökning av tillväxtprocent för grundyta var 27 % (5 ton) respektive 38 % (10 ton).

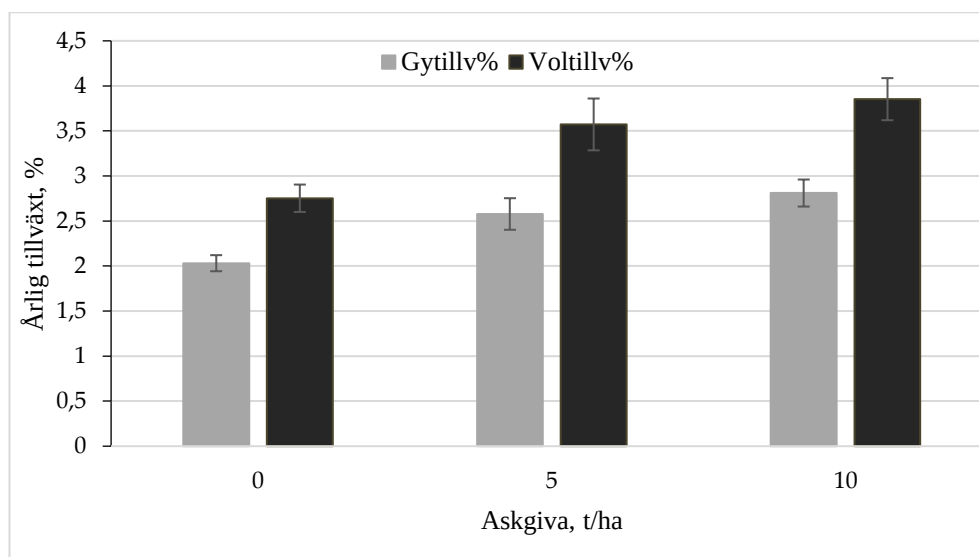
De förhöjda grundyte- och volymtillväxterna efter askgödsling, uttryckta som tillväxtprocent, var starkt signifikanta för både 5 ton ($p = 0,006$ resp. $p = 0,009$) och 10 ton aska/ha ($p < 0,001$ resp. $p < 0,001$) (Bilaga 6.4).

Den absoluta volymproduktionen under den sjuåriga observationsperioden var i genomsnitt 34 m³sk (kontroller), 44 m³sk (5 t aska) och 50 m³sk (10 t aska) per hektar (Bilaga 4.1). Således var den årliga absoluta merproduktionen 1,5 m³sk/ha (+29 %) och 2,3 m³sk/ha (+47 %) på askgödslade ytor, jämfört med kontrolltytor. Utfallen för såväl 5 ton som 10 ton aska per hektar var statistiskt säkerställda ($p = 0,004$ resp. $p < 0,001$) (Bilaga 6.4).

Tillväxteffekterna varierade mellan de fem försökslokalerna, framför allt i absoluta tal (m³sk), men också uttryckt som procentuell tillväxt (Fig. 3a - 3b). Den absoluta

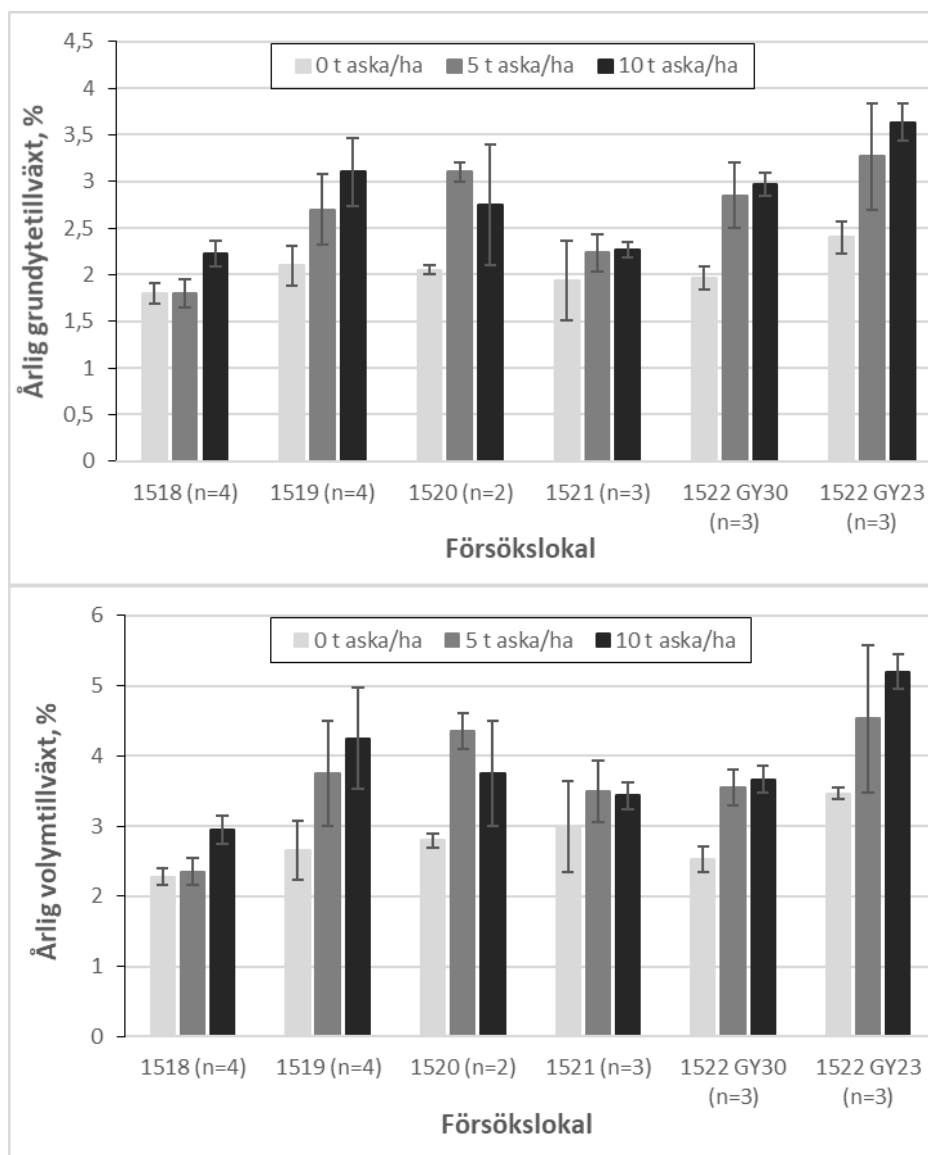
merproduktionen efter askgödsling, 1,5 m³sk/ha (5 ton/ha) och 2,3 m³sk/ha (10 t/ha), rymmer en variation mellan försökslokaler/askgivor som sträcker sig från < 0 m³sk/ha och år till 3,9 m³sk/ha och år (Bilaga 4.2). (Anm.: Fallet av lägre absolut tillväxt på askytor jämfört med kontroll (lokal 1522), beror på att kontrolllytorna av slumpskäl hade större stående grundyta/volym än askytorna, vid försöksstart!)

Försökslokalen 1522 Fönebo, där askans effekter testades på två olika framgallrade produktionsgrunddytor (30 resp. 23 m²/ha), uppvisade högre tillväxtprocent på provytor med måttligt hög grundyta ("GY 23") än på ytor med hög grundyta ("GY 30"). Dessa två behandlingar var ungefär lika mycket påverkade av gallringsuttag (ca 20 - 25 %) i samband med försöksetableringen, varför det är stående grundyta under effektperioden som är den avgörande skillnaden mellan behandlingarna. Den positiva effekten av lägre grundyta på tillväxten i försök 1522 var signifikant för både procentuell grundyte- och volymtillväxt (Bilaga 6.5).



Figur 2. Årlig procentuell grundyte- och volymtillväxt under en 7-årsperiod efter askgödsling med 5 ton eller 10 ton aska per hektar, enligt total beståndsrevision. Hela materialet. Medelvärde och medelfel.

Figure 2. Annual stand basal area and volume increment (%) during 7 years following amendments of 5 or 10 tonnes of ash per ha. Mean and mean error, all plots.



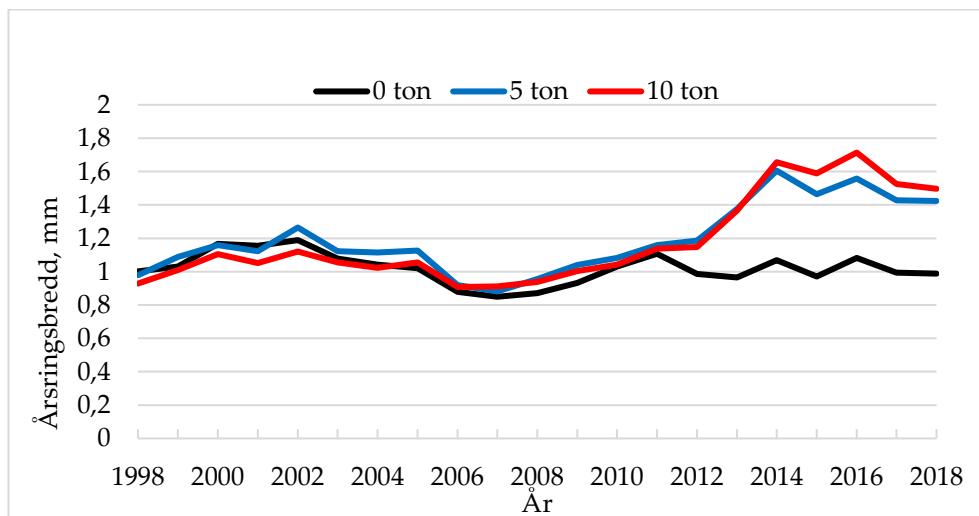
Figurerna 3a (överst) och 3b. Årlig procentuell grundyte- och volymtillväxt under en 7-årsperiod efter askgödsling med 5 ton eller 10 ton aska per hektar. Fem försökslokaler, enligt total beståndsrevision. För lokal 1522 visas de två olika framgallrade beståndstätheterna separerade. Medelvärde och medelfel.

Figures 3a (top) and 3b. Annual stand basal area increment (3a) and stand volume increment (3b), during 7 years following amendments of 5 or 10 tonnes of ash per ha. Mean and mean error (%) for all five trial areas (1518 – 1522). The two bar groups for area 1522 represent stand densities 30 and 23 m² ha⁻¹.

3.2.2 Åringsutveckling före/efter askgödsling

Årlig årsringsbredd

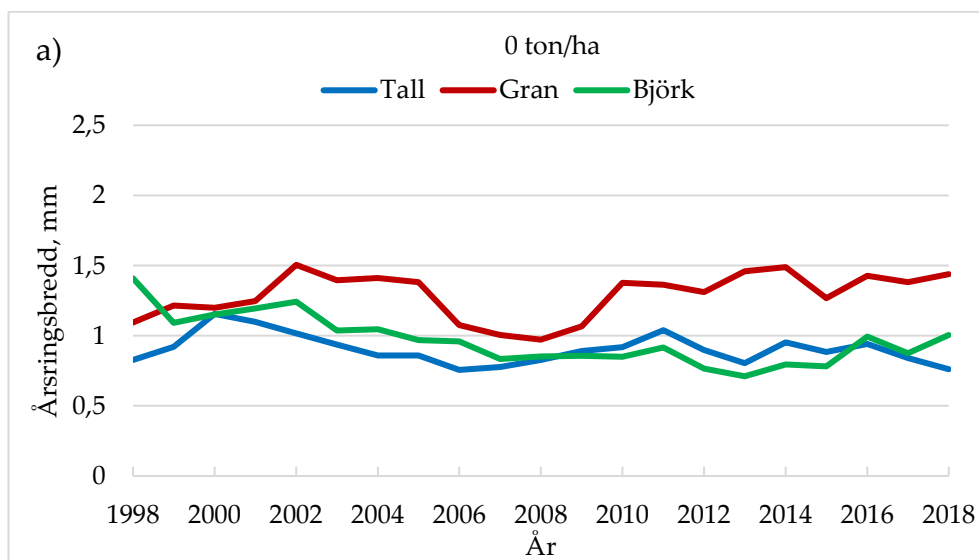
Åringsbreddens utveckling för borrade provträd visar en positiv effekt av askgödsling (Figur 4). Förändringen mot den nya tillväxtnivån var tydligast 2012 - 2014. Från 2014 låg åringsbredden för träd på askgödslade ytor på en tämligen stabilt förhöjd nivå.

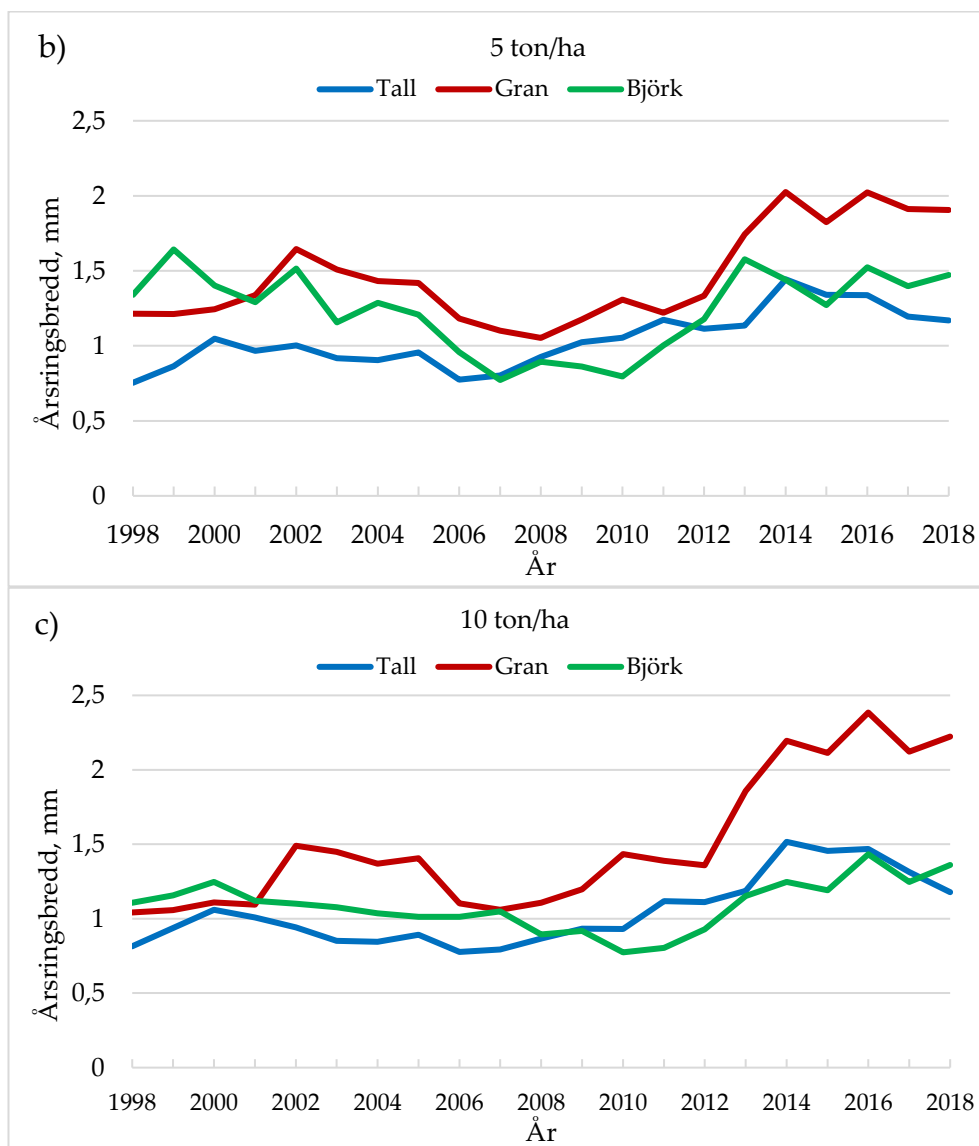


Figur 4. Utveckling av årsringsbredd (mm), för askgiva 0, 5 och 10 ton/ha, före och efter askgödsling hösten 2011. Alla borrade provträd på alla försökslokaler.

Figure 4. Annual ring widths (mm) before and after ash amendments of 0, 5 and 10 tonnes of ash in autumn 2011. Average for pine, spruce and birch in all trial areas.

Alla förekommande trädslag (tall, gran och björk) bidrog till den förhöjda årsringsbredden (Figurerna 5a – 5c). Gödslingseffekterna på gran kan tyckas vara särskilt kraftiga, men detta beror till stor del på att detta trädslag även på kontrolltorna växte bättre fr.o.m. 2010 och under hela perioden fram till 2018.





Figurerna 5a - 5c. Utveckling av årsringsbredd (mm), för tall, gran och björk, före och efter askgödslingen hösten 2011 med givorna 0 t/ha (5a), 5 t/ha (5b) och 10 t/ha (5c).

Figures 5a – 5c. Annual ring widths in mm for pine (black graph), spruce (orange graph) and birch (violet graph) before and after ash amendments of 0, 5 and 10 tonnes of ash per ha (5a, 5b and 5c, respectively) in autumn 2011.

Resultat – periodkvoter

Jämförelsen mellan enskilda provträds periodkvot för grundytetillväxt (kvoten mellan trädets tillväxt under 7-årsperioden *efter* och 7-års perioden *före* askgödsling), visar att det är systematiska tillväxtskillnader mellan askgivor (Figur 6; Bilaga 5.1). Det är också tydligt att gödslingseffekt uppträder på alla försökslokaler (Figur 7; Bilaga 5.2), samt att träd på provytor med måttligt hög beståndstäthet, ca 23 m² per ha ("1522 GY23"), uppvisar större tillväxtreaktion än träd på provytor med hög beståndstäthet, ca 30 m² per ha ("1522 GY30"), (Figur 8; Bilaga 5.3).

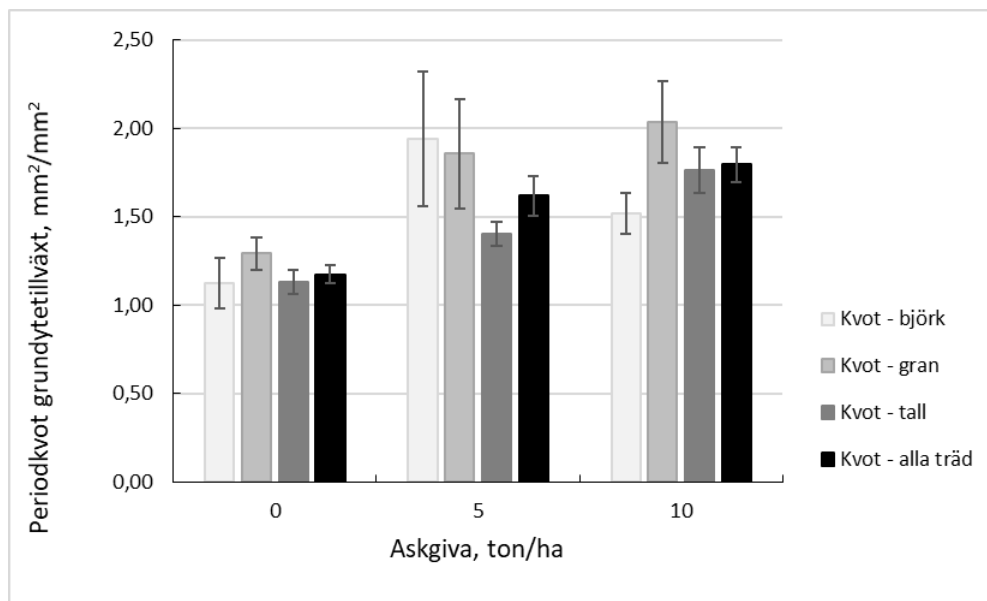
Periodkvoter för enskilda trädsdrag (Figur 6) bekräftar att alla tre förekommande trädsdrag (tall, gran, björk) reagerar positivt på askgödsling. För björk är inte

resultaten helt entydiga, då medelvärdet för tillväxtökning efter askgivan 10 ton/ha är lägre än för givan 5 ton/ha. Provträdsunderlaget för björk är dock mycket svagare, både vad avser antalet provträd (förekommer på endast tre av fem lokaler) och typen av provträd (större andel undertryckta småträd).

Statistiska tester av effektvariabeln periodkvot bekräftade ovanstående resultat (Bilaga 6.6). När alla trädslag beaktades (dvs. prövning av *provytans* periodkvot), var Askgiva en signifikant faktor, och skillnaden mellan askgödslade- och kontrolltytor var signifikant för både 5 och 10 ton aska ($p = 0,001$ resp. $p < 0,001$). Uppdelat på trädslag, påverkades alla tre trädslagen generellt positivt av faktorn askgödsling ($p(\text{tall}) < 0,001$; $p(\text{gran}) = 0,041$; $p(\text{björk}) = 0,050$). Test av trädslagsvisa skillnader mellan askgödslingens olika doser visade att tallens grundytetillväxt på 10-tons ytor var klart större än på kontrolltytor ($p < 0,001$). Granens tillväxt på 10-tons ytor tenderade att vara större ($p = 0,052$) än på kontrolltytor. Björk, med det svagaste dataunderlaget, uppvisade istället större ($p = 0,039$) tillväxt för 5 ton aska (men inte 10 ton), jämfört med kontroll (Bilaga 6.6).

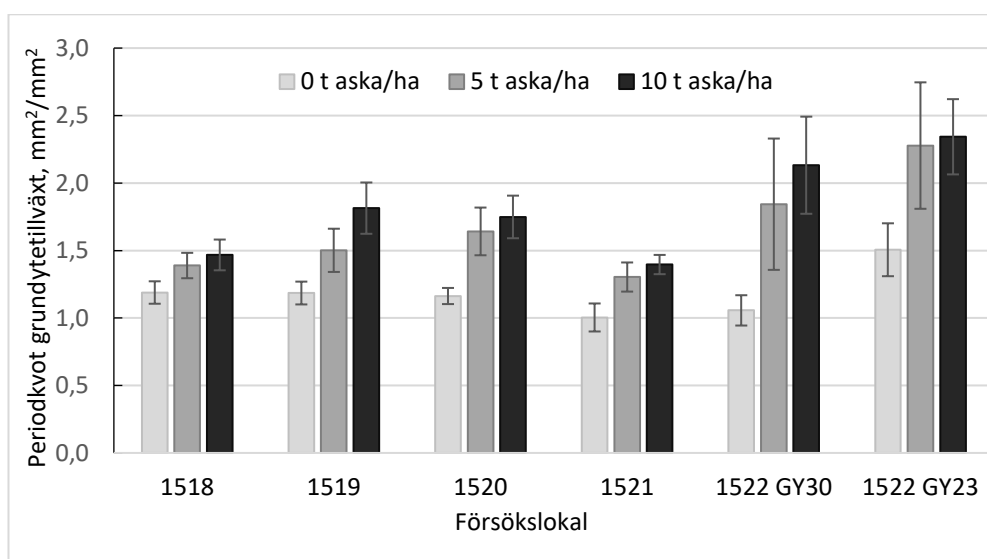
Enligt borrhärnestudien var den *procentuella ökningen* av periodkvoten för grundytetillväxt på askgödslade provtytor, jämfört med kontroll, 38 % och 54 % för 5 respektive 10 ton/ha, under den 7-åriga effektperioden. Motsvarande värden för grundytetillväxtens ökning enligt den fullständiga beståndsinmätningen (avsnitt 3.2.1), var 27 respektive 38 %. Tillväxtresponsen var således inte helt proportionerlig mot spridd askgiva.

Vi gjorde en särskild variansanalys på årsringsbaserade tillväxtdata från försöket 1522 Fönebo, med syfte att testa effekten av olika grundtytor i produktionsbeståndet. Trots de till synes tydliga skillnaderna mellan medelvärden för 30 och 23 m²/ha (Figur 7), var den högre tillväxten på provtytor med starttillståndet 23 m² grundyta inte statistiskt säker (Bilaga 6.7). Detta resultat skiljer sig något från effekterna av stående grundyta enligt den fullständiga beståndsinmätningen, i samma försök. Enligt denna hade produktionsbeståndets startgrundyta signifikant påverkan på grundytetillväxten under efterföljande effektperiod. En rimlig förklaring till de olika resultaten kan vara att de redan härskande och medhärskande träden (dvs. huvuddelen av borrhärnestudiens underlag) påverkas mindre positivt av en sänkt konkurrerande grundyta, än hela beståndet, som inkluderar många fler av tidigare undertryckta träd.



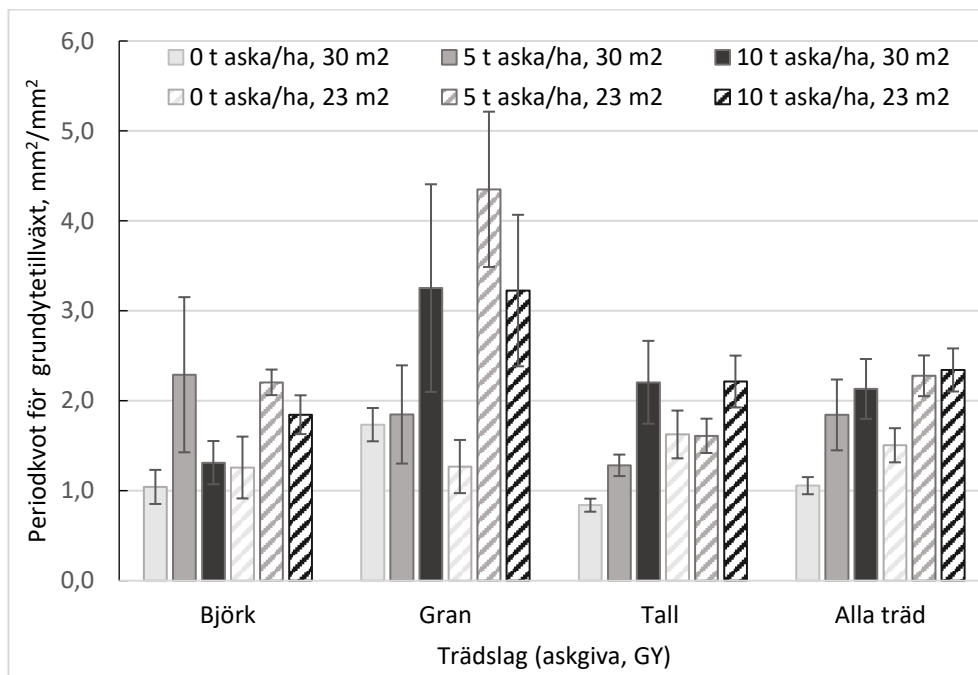
Figur 6. Periodkvoten för grundytetillväxt (mm^2/mm^2) efter askgödsling (Tillväxt 7 år efter/Tillväxt 7 år före), per försöksled och trädslag. Medelvärde och medelfel.

Figure 6. The ratio between the basal area increment 7 years after ash fertilization and basal area increment 7 years before ash fertilization (mm^2/mm^2). Mean and mean error for birch, spruce, pine and all trees.



Figur 7. Periodkvoten för grundytetillväxt efter askgödsling (Tillväxt 7 år efter/Tillväxt 7 år före), per försökslokal och försöksled. OBS! För 1522 Delsbo ges det glesare produktionsbeståndet ($23 \text{ m}^2/\text{ha}$) som "eget" försök ("1522 GY23")! Medelvärde och medelfel.

Figure 7. The ratio between the basal area increment 7 years after ash fertilization and basal area increment 7 years before ash fertilization (mm^2/mm^2) per treatment on each trial area. Mean and mean error. As for area 1522 the sparser stand with basal area 23 m^2 (1522 GY23) is presented as a separate trial.



Figur 8. Försök 1522 Fönebo. Periodkvoten för grundytetillväxt (Tillväxt 7 år efter/Tillväxt 7 år före), per trädslag och askgiva för beståndstätheterna 23 och 30 m²/ha vid askgödslingstidpunkten. Medelvärde och medelfel.

Figure 8. Trial area 1522. The ratio between the basal area increment 7 years after ash fertilization and the basal area increment 7 years before ash fertilization (mm²/mm²) per tree species and ash dose for stand densities 23 and 30 m²/ha at fertilization date. Mean and mean error.

3.2.3 Grundvatten 2018/2019

Analyserna av grundvatten från provtagningen 2018 visade få generella effekter av askgödslingen. Utvärdering av hela materialet, dvs. alla lokaler sammantaget, påvisade dock högre halter av de två metallkationerna kalium ($p = 0,031$) och natrium ($p = 0,010$) i grundvattnet från ytor som fått 10 ton aska/ha (Tabell 6; Bilaga 6.4).

Asktilförseln kunde inte knytas till några andra – vare sig ”positiva” eller ”negativa” – generella effekter på grundvattnet. Således inga märkbara höjningar av exempelvis grundvattnets pH, eller ANC (Tabell 6; Bilaga 3.2; Bilaga 6.4). De uppmätta halterna 2014 och 2018, för upprepade analysvariabler, uppvisade ofta likartade mönster vad gäller variation såväl mellan försökslokaler som mellan enskilda provytor inom en försökslokal. Korrelationen mellan uppmätta värden 2014 och 2018 (från samma provyta), för de flesta upprepade analysvariabler, var tämligen hög ($r = \text{ca } 0,70 - 0,80$).

Tabell 6. Medelvärden (m) och medelfel (mf) för samtliga grundvattenanalyser, per försöksled, 7 år (2018/2019) efter askgivor om 0 (n=18), 5 (n=17), eller 10 (n=18) ton/ha. "ANC" avser beräknad Acid Neutralizing Capacity. (n = 12-13).

Table 6. Mean and mean error for analyzed groundwater variables, by treatment, 7 years (2018/2019) after ash treatments of 0 (n=18), 5 (n=17), or 10 (n=18) tonnes/ha. "ANC" denotes the calculated Acid Neutralizing Capacity. (n = 12-13).

Analysvariabel	Aska 0 t/ha		Aska 5 t/ha		Aska 10 t/ha	
	m	mf	m	mf	m	mf
pH	4,69	0,21	4,75	0,17	4,75	0,18
TOC, mg/l	56	6	53	6	55	7
N-NH ₄ ⁺ , µg/l	327	89	397	140	396	131
N-NO ₃ ⁻ , µg/l	71	20	42	9	146	58
P-PO ₄ ³⁻ , µg/l	8,3	1,2	11,8	5,0	12,6	3,7
Cl ⁻ , mg/l	0,95	0,20	0,81	0,11	0,93	0,15
S-SO ₄ ²⁻ , mg/l	1,32	0,38	2,04	0,80	2,02	0,54
Ca ²⁺ , mg/l	4,8	1,0	4,3	0,9	4,7	0,7
K ⁺ , mg/l	0,3	0,1	0,5	0,2	0,7	0,1
Mg ²⁺ , mg/l	0,9	0,2	0,8	0,1	0,8	0,1
Na ⁺ , mg/l	1,5	0,2	1,9	0,3	2,1	0,3
ANC, cmol _c /l	330	62	308	56	346	45
Al, mg/l	1,0	0,1	0,9	0,1	1,0	0,1
As, µg/l	2,3	0,4	2,3	0,3	2,7	0,7
Ba, µg/l	24,5	3,4	21,5	4,0	24,8	3,0
Cd, µg/l	0,09	0,02	0,15	0,06	0,14	0,05
Co, µg/l	0,95	0,13	0,96	0,25	1,16	0,33
Cr, µg/l	0,66	0,07	0,68	0,06	0,70	0,07
Cu, µg/l	11,8	2,2	10,3	2,0	18,4	4,6
Fe, mg/l	1,6	0,2	1,4	0,2	1,4	0,2
Mn, µg/l	66	14	62	20	72	19
Mo, µg/l	0,20	0,04	0,21	0,03	0,22	0,03
Ni, µg/l	1,6	0,2	1,7	0,4	2,2	0,5
P, µg/l	51	8	70	23	50	7
Pb, µg/l	1,8	0,3	1,4	0,2	1,6	0,2
Si, mg/l	4,4	0,9	3,7	0,8	4,1	0,7
Sr, µg/l	24	3	25	5	27	3
V, µg/l	3,3	0,4	3,3	0,5	3,6	0,4
Zn, µg/l	24	2	35	10	28	3

4 Diskussion

4.1 ASKANS EFFEKTER PÅ BARR OCH TRÄDTILLVÄXT

Barrvikt

Tillväxt är i hög grad kopplat till barrmassa, vilken bestäms av antal barr och barrrens medelvikt. Det är logiskt att en tillväxtreaktion hos näringsbegränsade träd initialt ökar årsbarrrens storlek/fotosyntetiseringskapacitet, eftersom det tar flera år att successivt öka antalet aktiva barr. I denna studie var 100-barrsvikten för tallbarr på försöksseriens 10-tons askytor, efter tre år, signifikant högre än på kontrolltytor. Detta resultat överensstämmer med flera tidigare undersökningar av askgödslade torvmarksförsök (Ferm m.fl., 1992; Moilanen m.fl., 2002; Moilanen m.fl., 2005; Silfverberg m.fl., 2004).

Barrens näringshalter

Barrens innehåll av flera näringsämnen påverkades positivt av asktillförseln. Tre år efter gödning påvisades ökade halter av makronäringsämnena kalium, fosfor, svavel, samt mikronäringsämnena bor och kisel. Av dessa var det dock bara kalium och fosfor som uppvisade halter under "Brist"-gränsen (Braekke, 1994) på ogödslade kontrolltytor. Ökningen av kalium och fosfor, samt ofta även bor, har visats i många tidigare torvmarksstudier av askgödslingens effekter på barrrens näringsstatus (e.g. Magnusson och Hånell, 2000; Moilanen et al., 2002; Moilanen m.fl., 2005; Sikström m.fl., 2010; Silfverberg m.fl., 2004).

Kalium förekommer ofta underoptimalt eller är bristämne på torvmarker, och är liksom bor bundet i lättlösliga föreningar i askan. Även svavel är lättlösligt i askan, i form av sulfatsalter (Steenari m.fl., 1998; Nieminen m.fl., 2005). Det avspeglas ibland, såsom i denna studie, som ett förhöjt upptag i träden.

Fosfor är det näringsämne som allra oftast är kritiskt lågt och tillväxtbegränsande på torvmarker (Moilanen m.fl., 2010; Möller, 1980). Fosforföreningarna i askan är till skillnad från kaliumsalterna svårösliga, och därför blir ofta höjningen av barrrens fosforhalter långsammare och mer gradvisa. Huotari m.fl. (2015) uppger att kaliumhalter normalt höjs inom 1 - 2 år, medan det dröjer 3 - 4 år innan effekten av askans fosfor slår igenom. I föreliggande studie kunde en signifikant höjning av barrrens fosforhalter påvisas efter tre år, vilket stämmer väl med resultat från bl.a. Ferm m.fl. (1992) och Moilanen m.fl., (2005).

Magnesiumhalterna i barren var istället något lägre på ytor som askgödslats, vilket var signifikant för askdosen 10 ton ask/ha. Haltsänkningen skedde dock från en nivå som med mycket god marginal låg inom det optimala intervallet, varför den sannolikt inte har några negativa effekter på trädens vitalitet. Denna effekt av askgödsling har rapporterats tidigare (Moilanen m.fl., 2002), men den bakomliggande mekanismen är oklar. Möjligen kan det vara det vara en ren utspädnings-effekt, i en situation där både barrmassa och halterna i barren snabbt ökar, samtidigt som frigörelse av nytt Mg från askan (relativt svårösliga Mg-karbonater) ännu inte fått effekt.

Barrens kvävehalter påverkades inte av asktillförseln. Resultat från tidigare studier har växlat mellan svagt förhöjda, oförändrade eller något lägre kvävehalter efter askgödsling (Huotari m.fl., 2015; Magnusson och Hånell, 2000; Moilanen m.fl., 2002; Sikström m.fl., 2010; Silfverberg och Huikari, 1985, m.fl.). Askan tillför inget kväve. I den mån askgödsling medför högre kvävehalter i barren är det därför en indirekt effekt, som antagits bero på ökad mikrobiell omsättning av systemets befintliga, organiskt bundna, kväveförråd (Karsisto, 1979; Silfverberg och Huikari, 1985; Weber m.fl., 1985; Moilanen m.fl., 2002; Moilanen m.fl., 2012). Detta är dock en mycket långsiktig process, kopplad till successiv sänkning av C/N-kvoten i det döda organiska materialet i markens ytskikt. Fenomenet har främst påvisats i intermediärt kväverika torvjordar. Omvänt, i den mån kvävehalterna initialt sjunker, kan det bero på att en begynnande tillväxteffekt av P eller K medfört större konkurrens om systemets kortsiktigt tillgängliga kväve.

Statistiska tester visade att tallbarrens förhöjning av borhalter var en starkt signifikant effekt av askgödsling. Detta skedde trots att flertalet kontrollytors halter oftast var betydligt större än diagnostiskt gränsvärde för "Stark brist" (4 ug/g), enligt Braekke (1994). Halterna steg från 6 - 17 ug/g på dessa kontrolltor, till 20 - 30 ug/g på askgödslade ytor. Alldeles samma förhållanden, både vad gäller nivåer på kontrolltor och vad gäller signifikant haltökning efter askgödsling, rapporterades av Moilanen m.fl. (2005) och Ernfors m.fl. (2010). En av de fem försökslokalerna i föreliggande studie avvek dock helt från detta mönster; försök 1518 Daltorpet (den mest soligent präglade av försökslokalerna) hade redan på kontrollytorna borhalter kring 25 ug/g och uppvisade ingen ökning alls efter askgödsling. Denna observation kan möjligen indikera att de förhöjda borhalterna på flertalet försökslokaler är resultatet av ett aktivt upptag – inte ett passivt upptag beroende på höjda borhalter i markvattnet.

Frigörelsen av ämnen från granulerad och härdad aska genom kemisk vittring är en långsam process, förutom för de ämnen som är bundna i form av lättlösliga salter (Steenari m.fl., 1999). Markens organismer (mykorrhiza-svampar m.fl.) kan dock påskynda framvittringen av vissa ämnen genom s.k. biokemisk vittring (Breemen m.fl., 2000). Vid tidpunkten för barrprovtagning, efter tre år, hade endast en mindre del av askgranulernas näringsämnen frigjorts. Analyser av några enstaka samlingsprov, dels av sparade torra askgranuler från 2011 och dels av fuktiga granuler insamlade från markytan på försöksytorna 2014, indikerade att omkring 90 - 95 % av P och 75 % av K fortfarande fanns kvar efter tre år. Detta kan jämföras med kvarvarande mängder i askgranuler efter tre respektive fem år, enligt en omfattande fältstudie av Nieminen m.fl. (2005): Ca – 102 resp. 91 %; K – 75 resp. 64 %; Mg – 100 resp. 90 %; P – 102 resp. 90 %; S – 33 resp. 28 %, samt B – 58 resp. 49 %.

Trädutväxt

Enligt den fullständiga provyteinmätningen ökade volymtillväxten med 30 % (5 t/ha) och 40 % (10 t/ha), räknat som ett medeltal för hela materialet. Grundytetillväxten ökade med 27 % (5 t/ha) och 38 % (10 t/ha). Askans effekt på grundytetillväxt bekräftades i sina huvuddrag av årsringsstudierna, där resultaten blev 32 % respektive 54 % tillväxtökning. Detta tyder på att det fåtal provträd som utvaldes på varje provyta för borkärnestudien gav en relativt rättvisande bild av

ytans gödslingsreaktion. Borrkärnestudiens tillväxtvärden är inte lika tillförlitliga estimat av hela provytans grundytetillväxt. Däremot speglar de reaktionen hos de härskande och medhärskande träden, sannolikt t.o.m. på ett bättre sätt än värdena från den fullständiga provyteinmätningen. Det faktum att borrkärnestudiens skattning av grundytetillväxten genomgående gav större tillväxtvärden än den totala beståndsrevisionen, ger stöd för hypotesen att de härskande trädklasserna reagerar starkare på förbättrade näringsförhållanden än undertryckta träd

Spridningen mellan försökslokaler var avsevärd. Ökningen av procentuell volymtillväxt efter 10 ton aska varierade från ca 15 % (1521 Medskogen) till 50 - 60 % på de två bästa lokalerna (1519 Brönstjärn 1; 1522 Fönebo). Dessa olikheter beträffande relativ gödslingsreaktion var inte uppenbart kopplade till ståndortsindex, utan snarare till beståndsegenskaper (grundyta, hushållsålder, åldersspridning).

Resultaten från såväl den totala beståndsrevisionen som årsringsanalyserna tyder på att askans tillväxteffekter visserligen blir större med ökad askgiva, men inte helt i proportion till givans storleksökning. I detta sammanhang måste dock påpekas att tillväxteffekterna för givan 10 t/ha i gengäld sannolikt har större uthållighet över tiden, än effekterna av 5 t/ha (e.g. Moilanen et al., 2005, m fl).

Vår studie innefattar försökslokaler i Norrland. Rütting et al. (2014) rapporterade effekter av askgödsling med 3,3 och 6,6 ton/ha i S Sverige (Götaland). En talldominerad försökslokal var relativt nyligen dikad (ca 15 år), medan en grandominerad var dikad för mer än 100 år sedan. Virkesvolymerna vid försöksstart var 110 och 400 m³sk. De studerade effektperioderna efter askgödsling var 8 respektive 5 år. Askbehandlingarnas ökning av årlig volymtillväxt, för effektperioder om 8/5 år, var 1,4 respektive 4,8 m³sk för askgivan 3,3 ton/ha, och 1,7 respektive 5,8 m³sk/ha för askgivan 6,6 ton/ha. Ökningen uttryckt som procent av kontrollernas årliga volymtillväxt var 38 % resp. 39 %.

Resultaten från föreliggande studie kan jämföras med ett stort material från norra Finland (Moilanen m.fl., 2005), bestående av 63 provytor i talldominerade torvmarksbestånd (fördelat på 7 försökslokaler, 3 - 4 behandlingar och 2 - 3 upprepningar). Askgivorna varierade från 0,9 till 9 ton/ha. Till skillnad mot bestånden i föreliggande studie var dock flertalet av dessa askförsök anlagda i yngre och mindre utvecklade bestånd ($H_{Dom} = 4 - 9$ m; $Volym = 6 - 24$ m³sk/ha). Merproduktionen av aska var i genomsnitt 0,4 - 1,5 m³sk/ha och år, under den 15-åriga observationsperioden. Författarna påpekar att mertillväxten på de askbehandlade ytorna ökade med tiden, och var 1,6 - 2,0 m³sk/ha och år under den sista tredjedelen av observationsperioden. Gödslingsreaktionerna i det finska materialet kan också uttryckas som approximativ relativ tillväxtökning, jämfört med kontroll (beräknat från Moilanen m.fl. (2005), Fig. 2). I tidsintervallet 7 - 15 år efter asktillförsel var årlig volymtillväxt för låga askgivor (5 - 50 kg P/ha) och höga askgivor (100 - 265 kg P/ha) ca 30 % resp. 100 % högre än kontrollernas tillväxt.

Baserat på resultaten från en senare studie av det klassiska askgödslingsexperimentet i Muhos, norra Finland, rekommenderar Peltoniemi m.fl. (2016) träaska som ett naturligt och ekonomiskt gynnsamt alternativ för att förbättra näringsförhållandena på skogsdikade torvmarker, inte minst för att askan verkar

stimulera de för trädens näringsupptagning så viktiga mykorrhizabildande svamparna.

Almqvist (1990) framställde, på basis av flera omfattande svenska gödslingsförsök på dikad torvmark, prognoskurvor för volymtillväxtökning hos tall efter tillförsel av 40 kg P och 80 kg K. Detta är den giva som alltsedan 1980-talet varit den lägsta rekommenderade gödselgivan för torvmark, och som för vedaskor med 1% P motsvarar en askgiva på ca 4 ton/ha. Tillväxteffekterna av PK-handelsgödselmedel och aska (med motsvarande mängder P och K) har i många jämförelser visats vara tämligen likartade, dock ofta med skillnaden att aska verkar långsammare men i gengäld påverkar tillväxten positivt under längre tid (Möller, 1980; Silfverberg m.fl., 2004). Tillväxteffektens storlek är i Almqvists prognoskurvor en funktion av i) stående volym vid gödslingstidpunkten, och ii) genomsnittlig grundytetillväxt under 5-årsperioden före gödsling. Approximativa beräkningar av förväntad effekt för 5 ton aska per hektar på våra fem försökslokaler, gav enligt dessa prognoskurvor följande värden för årlig tillväxtökning: 1,7 m³sk (försök 1518); 0,2 m³sk (1519); 0,7 m³sk (1520); 1,1 m³sk (1521); 1,9 m³sk (1522). Sammantaget, för hela försöksserien, var prognosen för årlig tillväxteffekt av 5 ton aska 1,1 m³sk/ha och år. Det måste dock understrykas att beräkningarna krävde mycket långtgående (gränsande till "vetenskapligt otillåtna") extrapoleringar av Almqvist prognoskurvor, eftersom kurvornas underlag endast sträckte sig upp till 120 m³sk/ha stående volym, medan våra mest välbestockade kontrolltytor höll nästan det dubbla, ca 230 m³sk/ha. Trots bristerna, kan det ändå ha ett visst värde att jämföra dessa prognostillväxter för PK-gödsel med följande faktiskt uppmätta tillväxtökningar för 5 ton aska per hektar i föreliggande försöksserie: 1,5 (försök 1518); 1,7 (1519); 1,2 (1520); -0,3 (1521); 3,2 (1522); resulterande i ett medelvärde på 1,5 m³sk/ha och år. Sett över hela försöksserien överträffades alltså Almqvist prognoskurvor.

Ett finskt material refererat av Möller (1980), med figur återgiven i Paavilainen och Päivänen (1995), redovisar också resultat från PK-gödsling i 30 - 60 år gamla dikningsområden med tämligen virkesrika medelålders bestånd. Tillväxtökningen under en 5-årsperiod efter standardgiva om 44 kg P och 82 kg K per hektar, var ca 1,5 m³sk/ha och år, med en variation mellan 0,1 - 2,5 m³sk /ha och år. Underlaget för detta approximativa genomsnittsvärde består av 17 bestånd med virkesförråd varierande mellan ca 50 och 220 m³sk/ha.

Gallring av ursprungligt bestånd ner till olika mål-grundtytor utfördes endast på en av våra försökslokaler. Möjligheten att på ett rättvisande sätt jämföra effekten av asktillförsel i bestånd av olika täthet är således begränsad, men vår statistiska analys visar en säkert större relativ beståndstillväxt i bestånd med grundytan 23 m²/ha, jämfört med 30 m²/ha. Detta resultat tyder på att askgödslingseffekten och den s.k. "gallringseffekten" är additiva, dvs. samma förhållande som har visats gälla, och utnyttjats, i samband med kvävegödsling.

4.2 ASKANS EFFEKTER PÅ AVRINNANDE GRUNDEVATTEN

Efter tre år (2014) fanns inga säkerställda generella effekter av askgödsling på grundvattnet. Halterna av metylkvicksilver (ca 0,04 - 0,20 ng MeHg/L) var

genomgående låga, mestadels avsevärt lägre än de halter som ofta uppmätts i avrinnande bäck-/dikesvatten från fastmarksområden, men relativt väl överensstämmande med de fåtal studier som specifikt undersökt utströmmande grundvatten från torvmark/våtmark (exv. Bradley m.fl., 2012: 0,1 - 0,2 ng/L; Magnusson, 2017: 0.04 - 0.07 ng/L).

Efter sju år var grundvattnets halter av kalium och natrium signifikant förhöjda på ytor som fått 10 ton aska per hektar. Förluster till grundvattnet av natrium är normalt i alla ekosystem. Även för kalium är det mycket vanligt, och utlakningspulser brukar uppträda när obalans mellan tillförsel och upptag uppstår. Varken kalium eller natrium medför några negativa konsekvenser i avrinnande vatten.

Det bör understrykas att det är grundvatten som analyserats i denna studie. Grundvattenanalyser speglar framför allt långsiktig påverkan på avrinningsvattnets kvalitet, inte de första årens övergående och episodiska effekter. Sannolikt skulle högre halter av askans lättlösliga komponenter (B, K, Na, SO₄) uppmätts, om dikesvatten provtagits. Ytlig avrinning, som under högvattenflöden kan utgöra huvuddelen av avrinnande dikesvatten, har haft närbkontakt med askpellets på markytan och innehåller normalt betydligt högre halter av lösliga ämnen (Piirainen m.fl., 2013; Ring m.fl., 2011).

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 (Piirainen, 2013; Ring m.fl., 2011; m.fl.).

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 (Piirainen, 2013; Ring m.fl., 2011; m.fl.). Det kan finnas flera orsaker till att askans de facto basverkande effekt inte kunde påvisas. Den första och viktigaste aspekten är återigen att grundvatten, inte dikesvatten, provtagits. Dikesvattnet utgör en över tiden varierande blandning av avrinnande grundvatten och ytligt avrinnande vatten (nära markytan). Ytvatten, präglad av askans basiska reaktion, kan nå diket utan att ha "filtrerats" genom jorden, till skillnad mot den andel av vattnet som rör sig vertikalt ner till grundvattenytan och påverkas av jonbytesreaktioner och näringsupptag. Det omättade torvskiktet ovan grundvattenytan har exempelvis en total katjonbyteskapacitet (inkl. utbyteaciditet) som flerfaldigt överstiger total 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 dikena, skulle ha visat mätbar pH-höjning och motsvarande större utlakning av bl.a. baskationer i avrinningsvattnet (ökad ANC).

En bidragande orsak till utebliven effekt på pH/ANC kan vara att askans basverkan "maskeras" av en försurande initial salteffekt. Askor med hög andel lättlösliga salter orsakar ofta en indirekt initial pH-sänkning i markvattnet genom att salterna löses upp och genom jonbyte ger upphov till s.k. utbytesaciditet. Askans (kvantitativt större) totala basverkan är däremot en effekt som är utspridd över längre tidsperiod, beroende på att de basverkande föreningarna (f.f.a. karbonater, silikater) upplöses långsammare än de lättlösliga surhetsframkallande neutralsalterna. Lösligheten av de basverkande föreningarna minskar dessutom än

mer med ökad hårdningsgrad hos askan (Nieminen m.fl., 2005). Följaktligen kan askans faktiska, men i tiden utspridda, basverkan vara svår att påvisa.

När det gäller askgödslingens effekter på utlakning av metylkvicksilver, kan det även påpekas att det är effekterna av aska som studerats – inte de indirekta effekter av körsador på marken som ofta uppstår i samband med exv. gallring och markspridning av aska. I denna studie hade markstörning i samband med gallring skett på en av försökslokalerna, men störningen var lika för alla behandlingar. I övrigt saknades den markstörning som skulle skett om askan spridits med traktor istället för helikopter. Det är väl belagt att markstörning i och i närheten av vattendrag ofta ger upphov till förhöjda halter av metylkvicksilver i vattnet (Bishop m.fl., 2009; Munthe och Hultberg, 2004).

5 Litteratur

- Almqvist C, 1990. Gödslings effekter på dikade torvmarker – prognoskurvor för tall. Information Växtnäring – skogsproduktion. Inst. för Skogsförbättring 1989/90:1-6.
- Anon, 2003. Fältarbetsinstruktion för skogsfakultetens beståndsbehandlingsförsök. SLU, stencil, 88 s.
- Bishop K, Allan C, Bringmark L, Garcia D, Hellsten S, Högbom L, Johansson K, Lomander A, Meili M, Munthe J, Nilsson M, Porvari P, Skyllberg U, Sorensen R, Zetterberg T, and Åkerblom S, 2009. The effect of forestry on Hg bioaccumulation in nemoral/boreal waters and recommendations for good silvicultural practise. *Ambio* 38, 373-380.
- Booberg G och Bauman A, 1922. Vägledning i Praktisk Mosskultur. *Torvmarkernas bildning och utbredning i vårt land, deras uppodling, jordförbättring, kalkning, gödsling och brukning samt växtodlingen på torvjorden*. Svenska mosskulturforeningen. Göteborg, 96 s.
- Bradley P M, Journey C A, Lowery M A, Brigham M E, Burns D A, Button D T, Chapelle F H, Lutz M A, Marvin-DiPascale M C and Riva-Murray K, 2012. Shallow groundwater mercury Supply in a Coastal Plain System. *Env Sci Technol* 46, 7503-7511.
- Braekke F H, 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringselementer i gran- og furunåler. NISK. Aktuellt fra Skogforsk Nr 15-94, 11 s.
- Breemen N van, Finlay R, Lundström U, Jongmans A G, Giesler R & Olsson M, 2000. Mycorrhizal weathering – a true case of mineral plant nutrition. *Biogeochemistry* 49, 53–67.
- Ernfors M, Sikström U, Nilsson M & Klemedtsson 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, 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, 305–316.
- Hansson A, 1961. Skogliga växtnäringsfrågor. Några Synpunkter. (Särtryck ur: Grahn B & Hansson A, 1960. Handledning om gödselmedel och kalk. *Guide for fertilizers and lime*. Stockholm, 1960. 97 s).
- Hansson A, 1961. Skogliga växtnäringsfrågor. (Ingår som Kap. SI i "Handledning om gödselmedel och kalk". Gödsel- och Kalkindustriernas Samarbetsdelegation. Tidskriftsaktiebolaget Växtnärings-Nytt, Stockholm Ö, 72 s.
- Huotari N, Tillman-Sutela E, Moilanen M & Laiho R, 2015. Recycling of ash – For the good of the environment? *Forest Ecology and Management* 348, 226-240.

- Hånell B & Magnusson T, 2005. An evaluation of land suitability for forest fertilization with biofuel ash on organic soils in Sweden. *For. Ecol. and Manage.* 209, 43-55.
- Hånell B, 2009. Möjlighet till höjning av skogsproduktionen i Sverige genom dikesrensning, dikning och gödsling av torvmarker. In: Fahlvik, N., Johansson, U., Nilsson, U. (eds.). *Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen*. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8. Bilaga 4:1-28.
- Karlsson K, Mossberg M & Ulvcrona T, 2012. Fältdatasystem för skogliga fältförsök. SLU, Enheten för skoglig fältforskning, Rapport 5, 29 s.
- Karsisto M, 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissa. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Effect of forest improvement measures on the activity of organic-matter-decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part II. Effect of wood ash fertilization. *Suo* 30 (4-5), 81-91.
- Kempe F, 1909. Skogshushållning i Norrland: ett program. Norrländskt handbibliotek III, 63 pp.
- 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, 2017. Long-term effects of stump harvest on mercury and general chemistry in discharge water. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32:3, 230-238.
- Magnusson T & Hånell B, 2000. Aska för beskogning av torvtäcker. Påverkan på växtnäringförhållanden, tungmetallhalter och vattenkvalitet. ramprogram Askåterföring. Energimyndigheten, ER 18:2000, 48 s.
- 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.

- Moilanen M, Markku Saarinen and Klaus Silfverberg, 2010. Foliar Nitrogen, Phosphorus and Potassium Concentrations of Scots Pine in Drained Mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583–601.
- Munthe J, and Hultberg H, 2004. Mercury and methylmercury in run-off from a forested catchment – concentrations, fluxes and their response to manipulations. *Water, Air and Soil Pollution Focus* 4, 607-618.
- Möller G, 1980. Gödsling och tillväxteffekter. I: Skogsproduktion på våtmark. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse nr 3. (Ursprunglig referens: Paarlahti K, 1972. Fältförsöksresultat angående gödsling av äldre dikningsområden. Nordisk skogsdikningsexkursion i Finland, september 1972. Stencil).
- 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.
- Osvald, H. 1926. Svenska Mosskulturföreningens verksamhet 1886 – 1925. Svenska Mosskulturföreningens Tidskrift, 239-283. Jönköping.
- Paavilainen E & Päivänen J, 1995. Peatland Forestry. Ecology and principles. Springer-Verlag, Berlin, 248 pp.
- Peltoniemi K, Pyrhönen M, Laiho R, Moilanen M & Fritze H, 2016. Microbial communities after wood ash fertilization in a boreal drained peatland forest. *European Journal of Soil Biology* 76, 95-102.
- Piirainen S, Domisch T, Moilanen M & 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.
- Rütting T, Björk R G, Meyer A, Klemedtsson L & Sikström U, 2014. Reduced global warming potential after wood ash application in drained Northern peatland forests. *Forest Ecology and Management* 328, 159-166.
- Sikström U, Klemedtsson L, Björk R G, Ring E, Ernfors M, Jacobsson S & Nilsson M, 2009. 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 & Klemedtsson 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.

- Sikström, U., Almqvist, C. & Jansson, G., 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* 44(3): 411–425.
- Sikström U, Björk R G. & Klemedtsson 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, Hokka H, Issakainen J, 2004. Comparing the effects of wood ash and commercial PK fertilizer on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. *Baltic forestry* (2004), Vol.10 (2), 2-10.
- Silfverberg K & Huikari O, 1985. Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia For.* 633. 25 pp.
- Silfverberg K & Hotanen J-P, 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742: 1-23.
- 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.
- Steenari BM, Karlsson LG, Lindqvist O, 1999. Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. *Biomass & Bioenergy* 16, 119-136.
- Weber A, Karsisto M, Leppäinen R, Sundman V and Skujins J, 1985. Microbial activities in a histosol: Effects of wood ash and NPK fertilizers. *Soil Biol. Biochem.* 17, 291-296.
- Väätäinen K, Sirparanta E, Räsänen M & Tahvanainen T, 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass and Bioenergy* 35, 3335-3341.

Bilaga 1: Försökslokaler

Beståndsdata och försöksbehandling per försökslokal

Samtliga försöksområden är gamla dikningar som kompletteringsdikats och/eller /omdikats. Tidpunkterna för de ursprungliga dikningarna är inte kända, men bedöms ligga inom intervallet 1910 – 1940. (*Ekonomiska kartor, med flygfotografering i början av 1950-talet, visar gamla dikningssystem i alla försöksområden.*)

Försökslokal nr 1518 (SLU nr). Holmen beståndsnr. 717076-1019 (och 0923), Daltorpet, Burträsk, Norsjö distrikt. Lat. 64° 33' 43"; Long. 20° 28' 24".

Torvmark

Ursprunglig ståndortstyp sannolikt Blåbär-fräken till Lågört.

Ursprunglig dikning troligen ca 1910 - 1920. Kompletterings-/omdikad.

Bestånd (2011)

Självföryngring; Ålder_{Tot}=ca 82 år, olikåldrigt, med medhärskande inväxning av gran; TGL=3,6,1; Stamantal=700 st/ha; D_{gv}=23,3; H_{gv}=19,5; GY=24,3; Vol=227 m³sk.

Försöksdesign

12 ytor à 30x30 m (nettoyta 20x20); 10 m buffertzoon mellan brutto-provytor.

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

Försökslokal nr 1519 (SLU nr). Holmen beståndsnr. 718075-4080 (och 4078), Brönstjärn 1, Burträsk, Norsjö distrikt. Lat. 64° 40' 57"; Long. 20° 24' 46".

Torvmark

Ursprunglig ståndortstyp sannolikt Lågstarr. Ursprunglig dikning sannolikt under 1930-talet. Kompletterings-/omdikad.

Bestånd (2011)

Självföryngring; Ålder_{Tot}=ca 85 år, enskiktat, relativt likåldrigt; TGL=10,0,0; Stamantal=817 st/ha; D_{gv}=13,2; H_{gv}=11,3; GY=11,1; Vol=66 m³sk.

Försöksdesign

12 ytor à 30x30 m (nettoyta 20x20); ≥10 m buffertzoon mellan bruttoprovytor.

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

Försökslokal nr 1520 (SLU nr). Holmen beståndsnr. 718075-4882 (och 4882.1), Brönstjärn 2, Burträsk, Norsjö distrikt. Lat. 64° 41' 20"; Long. 20° 25' 00".

Torvmark

Ursprunglig ståndortstyp sannolikt Klotstarr till Lingon-Odon-Skvatram.
 Ursprunglig dikning sannolikt under 1930-talet. Kompletterings-/omdikad.

Bestånd (2011)

Självföryngring; Ålder_{Tot}=ca 64 år, glest, olikåldrigt; TGL=10,0,0;

Stamantal=608 st/ha; D_{gv}=19,3; H_{gv}=16,6; GY=18,0; Vol=142 m³sk.

Försöksdesign

6 ytor à 30x30 m (nettoyta 20x20); ≥10 m buffertzoon mellan brutto-provytor.

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

Försökslokal nr 1521 (SLU nr). Holmen beståndsnr. 706062-5735 (och 5933), Medskogen, Solberg, Bredbyns distrikt. Lat. 63° 42' 03"; Long. 17° 29' 42".

Torvmark

Ursprunglig ståndortstyp sannolikt Klotstarr till Lingon-Odon-Skvatram.
 Ursprunglig dikning sannolikt under 1930-talet. Kompletterings-/omdikad.

Bestånd (2011)

Självföryngring; Ålder_{Tot}=ca 70 år, flerskiktat, olikåldrigt; TGL=5,3,2;

Stamantal=1139 st/ha; D_{gv}=15,0; H_{gv}=14,0; GY=19,9; Vol=135 m³sk.

Försöksdesign

9 ytor à 30x30 m (nettoyta 20x20); ≥10 m buffertzoon mellan brutto-provytor.

Blockindelning: Block 1 = Yta 1,2,3; Bl 2 = 4,5,6 (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

Försökslokal 1522 (SLU nr). Holmen beståndsnr. 686059-6323, Fännsmyren, Fönebo, Delsbo distrikt. Lat. 61° 55' 06"; Long. 16° 55' 06".

Torvmark

Ursprunglig ståndortstyp sannolikt Blåbär-Fräken. Ursprunglig dikning sannolikt 1910-1920. Kompletterings-/omdikad.

Bestånd (2011)

Självföryngring; Ålder_{Tot}=ca 70 år, enskiktat, relativt likåldrigt, men med enstaka äldre träd (>110 år); Tätt gran-underväxt bortröjd 2010; TGL=7,1,2; Stamantal=1075 st/ha; D_{gv}=17,7; H_{gv}=17,4; GY=26,4; Vol=222 m³sk.

Försöksdesign

17 ytor à 30x40 m (nettoyta 20x30); 10 m buffertzoon mellan brutto-provytor.

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 bestånd – GY/trsl)

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

Gallring

Hela försöket gallrat, inkl. central stickväg mitt på teg:

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

Gallring till ca 22 (23) m²: Block 3, 4 och 5

Bilaga 2: Näringsinnehåll i årsbarr

Näringsinnehåll i årsbarr, per försökslokal, tre år efter askgödsling med 0, 5 eller 10 ton/ha. "n" anger antal provtytor.

	Lokal	n	Askgiva	N	Ca	K	Mg	P	S	B	Fe	Mn	Na	Si	Zn	C/N kvot
		antal	ton/ha	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	μg/g	
Medelvärde	1518	4	0 ton	14,8	1,72	5,22	1,09	1,36	0,95	25	18	294	16	80	35	34,5
<i>Medelfel</i>	1518		0 ton	0,2	0,03	0,22	0,04	0,04	0,02	1	1	33	2	10	2	0,8
Medelvärde	1518	4	5 ton	14,7	1,93	5,84	0,91	1,43	0,96	22	26	293	15	124	32	35,3
<i>Medelfel</i>	1518		5 ton	0,5	0,11	0,15	0,07	0,05	0,02	1	7	36	5	29	3	0,7
Medelvärde	1518	4	10 ton	14,3	1,78	5,56	1,01	1,45	0,96	21	19	231	24	96	37	34,6
<i>Medelfel</i>	1518		10 ton	0,1	0,14	0,18	0,03	0,03	0,02	1	1	26	5	17	1	0,7
Medelvärde	1519	4	0 ton	11,4	1,89	4,51	1,23	1,03	0,75	17	37	373	16	97	50	49,3
<i>Medelfel</i>	1519		0 ton	1,5	0,15	0,19	0,08	0,10	0,06	0	7	37	3	14	3	4,8
Medelvärde	1519	4	5 ton	12,2	2,07	5,58	1,24	1,17	0,81	25	27	320	28	171	57	46,7
<i>Medelfel</i>	1519		5 ton	1,2	0,05	0,28	0,04	0,08	0,05	1	4	29	7	13	2	3,1
Medelvärde	1519	4	10 ton	11,7	2,11	5,53	1,16	1,24	0,83	30	30	316	23	188	53	46,2
<i>Medelfel</i>	1519		10 ton	1,2	0,10	0,21	0,06	0,10	0,07	1	4	27	7	26	1	5,0
Medelvärde	1520	2	0 ton	15,9	1,85	4,98	1,24	1,38	0,93	20	31	465	15	131	40	36,8
<i>Medelfel</i>	1520		0 ton	1,4	0,09	0,59	0,07	0,07	0,05	4	0	137	2	1	1	2,8
Medelvärde	1520	2	5 ton	15,8	2,11	5,77	1,08	1,47	0,95	27	34	493	11	120	46	35,8
<i>Medelfel</i>	1520		5 ton	0,3	0,07	0,07	0,09	0,00	0,00	3	5	108	1	35	1	0,3
Medelvärde	1520	2	10 ton	16,0	1,96	6,02	1,07	1,50	0,99	27	38	474	15	149	44	35,5
<i>Medelfel</i>	1520		10 ton	2,2	0,08	0,18	0,05	0,00	0,02	3	11	27	3	25	1	1,5
Medelvärde	1521	3	0 ton	12,6	1,96	4,71	1,21	1,48	0,81	6	20	280	9	40	34	40,4
<i>Medelfel</i>	1521		0 ton	0,3	0,10	0,43	0,06	0,06	0,04	1	2	54	3	5	2	1,4
Medelvärde	1521	3	5 ton	13,8	1,85	5,56	1,16	1,59	0,90	20	27	224	17	60	38	39,2
<i>Medelfel</i>	1521		5 ton	0,3	0,07	0,31	0,03	0,06	0,02	2	5	15	4	5	3	1,3
Medelvärde	1521	3	10 ton	13,5	2,03	5,54	1,11	1,58	0,93	23	20	263	9	82	34	37,5
<i>Medelfel</i>	1521		10 ton	0,8	0,18	0,12	0,03	0,03	0,04	2	3	46	2	19	1	2,5
Medelvärde	1522	6	0 ton	16,4	2,33	4,92	1,20	1,20	1,01	11	16	581	12	105	23	31,3
<i>Medelfel</i>	1522		0 ton	0,8	0,14	0,18	0,04	0,05	0,03	1	1	44	3	10	2	1,4
Medelvärde	1522	5	5 ton	15,4	2,34	5,99	1,29	1,41	1,05	21	27	486	15	154	25	31,9
<i>Medelfel</i>	1522		5 ton	0,1	0,06	0,32	0,02	0,03	0,02	2	7	70	6	29	4	0,6
Medelvärde	1522	5	10 ton	16,1	2,36	6,24	1,15	1,46	1,07	23	18	567	9	145	20	32,2
<i>Medelfel</i>	1522		10 ton	0,5	0,11	0,20	0,06	0,04	0,03	2	2	98	2	23	4	1,1

Bilaga 3: Grundvattenkemi

Bilaga 3.1. Grundvattenkemi, per försökslokal, tre år efter askgödsling (2014). ANC avser beräknad Acid Neutralisation Capacity.

	Lokal	Askgiva	n	TOC	pH	ANC	Al ³⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	F ⁻	Cl ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	S-SO ₄ ²⁻	MeHg
			antal	mg/l	pH-enh.	μmol _e /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	1518	0 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1518</i>	<i>0 ton</i>		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	1518	5 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1518</i>	<i>5 ton</i>		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	1518	10 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1518</i>	<i>10 ton</i>		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	1519	0 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1519</i>	<i>0 ton</i>		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	1519	5 ton	3	93	4,02	175	2,19	2,14	0,35	0,49	0,84	0,10	0,50	0,10	27	15	0,16	0,08
<i>Medelfel</i>	<i>1519</i>	<i>5 ton</i>		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	1519	10 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1519</i>	<i>10 ton</i>		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	1520	0 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1520</i>	<i>0 ton</i>		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	1520	5 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1520</i>	<i>5 ton</i>		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	1520	10 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1520</i>	<i>10 ton</i>		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	1521	0 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1521</i>	<i>0 ton</i>		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	1521	5 ton	3	54	5,25	282	0,70	3,05	1,65	0,74	1,32	0,33	0,89	0,58	19	6,8	0,25	0,14
<i>Medelfel</i>	<i>1521</i>	<i>5 ton</i>		18	0,24	43	0,22	0,18	1,09	0,10	0,38	0,08	0,13	0,08	9	0,1	0,16	0,07
Medelvärde	1521	10 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1521</i>	<i>10 ton</i>		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	1522	0 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1522</i>	<i>0 ton</i>		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	1522	5 ton	3	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
<i>Medelfel</i>	<i>1522</i>	<i>5 ton</i>		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	1522	10 ton	2	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
<i>Medelfel</i>	<i>1522</i>	<i>10 ton</i>		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 3.2. Grundvattenkemi, per försökslokal, sju år efter askgödsling (2018/2019).
ANC avser beräknad Acid Neutralisation Capacity.

Lokal	Askgiva ton/ha	n	pH	DOC mg/L	NH ₄ ⁺ ug/L	NO ₃ ⁻ ug/L	PO ₄ ³⁻ ug/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	ANC mol/L	Al ug/L	As ug/L	Ba ug/L	Cd ug/L	Co ug/L	Cr ug/L	Cu ug/L	Fe mg/L	Mn ug/L	Mo ug/L	Ni ug/L	P ug/L	Pb ug/L	Si mg/L	Sr ug/L	V ug/L	Zn ug/L
Medel 1518	0	3	4,72	16	94	194	4,1	0,57	2,30	2,7	<0,2	0,4	1,3	165	1220	1,6	24	0,20	1,58	0,56	8,8	0,1	20	0,08	2,6	23	0,3	3,2	24	3,1	17
Mfel		3	0,12	4	49	53	1,1	0,04	0,39	0,3	.	0,0	0,3	8	127	0,6	3	0,05	0,59	0,06	2,1	0,0	3	0,01	0,7	9	0,1	0,3	1	0,2	2
Medel 1518	5	3	4,78	13	45	53	2,6	0,79	5,79	5,0	0,3	0,9	2,5	291	1034	1,8	39	0,46	2,33	0,63	6,8	0,2	44	0,12	3,8	16	0,3	3,8	45	3,4	39
Mfel		3	0,06	3	31	29	0,4	0,06	3,37	2,5	0,1	0,4	0,4	97	149	0,6	21	0,34	1,18	0,12	1,2	0,1	24	0,05	1,8	0	0,0	0,5	23	0,7	12
Medel 1518	10	3	4,72	12	37	518	7,2	0,45	4,32	4,0	0,3	0,5	2,1	232	1053	4,5	45	0,49	3,21	0,63	36,7	0,1	23	0,15	5,2	18	0,2	3,9	40	5,5	27
Mfel		3	0,15	2	17	167	4,9	0,06	1,21	1,2	0,2	0,1	0,3	52	250	3,6	13	0,21	1,72	0,10	22,2	0,0	6	0,06	2,2	11	0,1	0,8	12	1,8	7
Medel 1519	0	4	3,89	84	90	24	7,2	0,34	<0,10	1,8	<0,2	0,4	0,8	150	1027	3,9	19	0,07	0,74	0,73	6,9	1,9	20	0,20	1,5	32	3,1	1,6	16	2,3	18
Mfel		4	0,01	4	21	0	3,9	0,04	.	0,2	.	0,1	0,1	18	17	0,3	3	0,01	0,15	0,07	0,8	0,4	6	0,06	0,2	5	0,7	0,1	3	0,1	1
Medel 1519	5	4	4,01	70	140	26	26,0	0,40	0,22	1,8	<0,2	0,4	0,8	145	1037	3,6	17	0,07	0,64	0,77	5,7	1,5	19	0,16	1,3	59	2,4	1,9	15	2,6	22
Mfel		4	0,04	9	41	3	20,9	0,07	0,07	0,3	.	0,1	0,2	28	183	0,6	2	0,02	0,09	0,13	0,9	0,3	6	0,03	0,1	29	0,1	0,4	3	0,6	4
Medel 1519	10	4	4,05	87	111	22	14,9	0,51	0,28	2,8	0,6	0,6	1,3	240	1453	4,1	24	0,07	0,87	1,05	10,5	1,9	32	0,20	1,9	48	2,7	2,6	21	2,9	21
Mfel		4	0,06	10	31	1	10,0	0,02	0,00	0,4	0,2	0,1	0,1	27	93	0,3	2	0,02	0,07	0,11	1,9	0,4	12	0,03	0,1	13	0,5	0,1	2	0,3	3
Medel 1520	0	2	4,06	74	377	102	14,0	2,10	0,55	2,5	0,5	0,8	1,2	183	1006	5,4	22	0,08	1,29	1,02	7,7	2,5	64	0,27	1,6	98	2,6	3,0	20	3,4	23
Mfel		2	0,06	11	116	65	0,9	1,73	0,34	0,3	0,4	0,3	0,7	20	105	0,8	4	0,02	0,28	0,05	1,0	0,7	45	0,10	0,2	6	1,2	1,0	4	0,1	3
Medel 1520	5	2	4,25	55	21	19	1,3	0,68	0,40	2,1	<0,2	0,6	1,1	182	785	4,3	15	0,05	0,56	0,85	7,3	1,7	30	0,22	1,2	22	1,5	2,3	16	2,5	19
Mfel		2	0,06	11	9	5	0,3	0,23	0,08	0,3	.	0,1	0,2	36	36	1,0	2	0,01	0,05	0,18	2,5	0,5	17	0,02	0,2	3	0,9	0,5	3	0,4	2
Medel 1520	10	2	4,25	79	46	32	4,4	1,67	0,61	4,6	0,3	1,1	1,5	329	968	4,8	21	0,08	0,73	1,06	5,9	2,0	93	0,27	1,4	39	2,0	3,6	28	3,0	26
Mfel		2	0,02	11	6	15	1,8	0,86	0,03	1,3	0,2	0,0	0,6	64	122	0,1	0	0,04	0,04	0,14	0,6	0,5	68	0,07	0,0	21	0,2	0,3	1	0,3	8
Medel 1521	0	3	4,16	58	83	20	10,6	0,65	<0,10	1,6	0,2	0,4	0,8	139	824	2,1	25	0,03	0,89	0,42	7,2	2,9	43	0,47	1,3	37	1,3	1,6	13	2,5	29
Mfel		3	0,12	2	36	3	2,0	0,07	.	0,3	0,1	0,1	0,0	28	72	0,1	1	0,01	0,07	0,02	0,8	0,3	20	0,01	0,1	4	0,1	0,1	2	0,5	5
Medel 1521	5	3	4,45	44	28	13	14,6	0,49	0,17	1,9	0,5	0,3	1,0	161	472	1,2	22	0,04	0,66	0,34	7,3	2,2	42	0,42	0,9	54	1,2	1,4	12	1,6	16
Mfel		3	0,13	8	2	2	2,1	0,08	0,06	0,6	0,2	0,1	0,2	41	112	0,1	6	0,01	0,20	0,05	1,1	0,5	20	0,08	0,2	6	0,1	0,2	3	0,2	3
Medel 1521	10	3	4,20	55	155	19	24,8	0,72	0,15	1,5	0,5	0,4	1,1	145	789	1,5	27	0,03	0,69	0,45	5,1	1,8	25	0,39	0,9	65	1,2	1,8	12	2,4	15
Mfel		3	0,06	3	73	3	18,2	0,27	0,05	0,2	0,4	0,1	0,1	2	108	0,3	2	0,00	0,13	0,08	0,6	0,3	7	0,10	0,2	31	0,2	0,2	1	0,2	1
Medel 1522	0	6	5,69	50	707	54	8,2	1,31	2,58	10,2	0,5	1,7	2,5	681	1074	0,7	29	0,09	0,69	0,65	20,2	1,1	133	0,12	1,4	68	1,6	8,8	36	4,6	30
Mfel		6	0,29	4	177	30	1,3	0,20	0,77	1,2	0,1	0,2	0,3	50	252	0,1	10	0,02	0,17	0,17	5,1	0,2	21	0,02	0,3	15	0,2	1,2	5	0,9	4
Medel 1522	5	5	5,70	68	1185	73	8,4	1,38	3,02	8,1	1,1	1,5	3,3	591	1129	1,4	17	0,12	0,74	0,77	19,0	1,4	134	0,19	1,6	139	1,2	7,2	33	5,2	61
Mfel		5	0,11	10	213	19	1,2	0,15	1,20	1,8	0,4	0,3	0,6	88	230	0,2	3	0,04	0,18	0,09	4,9	0,2	57	0,05	0,2	71	0,3	1,8	7	1,5	34
Medel 1522	10	6	5,69	49	1003	143	10,3	1,30	3,44	8,1	1,2	1,3	3,5	583	904	0,8	16	0,09	0,72	0,50	25,3	1,3	140	0,17	1,7	63	1,6	6,6	31	3,7	41
Mfel		6	0,18	5	248	101	2,2	0,19	0,91	0,6	0,3	0,2	0,4	31	86	0,1	1	0,01	0,17	0,08	6,3	0,3	41	0,05	0,3	6	0,4	1,6	4	0,5	6

Bilaga 4: Tillväxt

Bilaga 4.1. Tillväxt, per försöksled, sju år efter askgödsling med 0, 5 eller 10 ton/ha.
"n" anger antal försöksytor.

	Askgiva	n	SI (2018) ¹	GY 11 m2	Gy 18 m2	VOL 11 m3sk	VOL 18 m3sk	GYtillvTot m2/år	Gytillv% %/år	VtillvTot m3sk/år	Vtillv% %/år
Medelvärde	0	19	20.4	20.6	23.6	166	200	0.44	2.03	4.9	2.75
<i>Mfel</i>			1.0	1.7	1.9	18	21	0.04	0.09	0.53	0.15
Medelvärde	5	18	21.1	20.7	24.7	167	211	0.57	2.58	6.4	3.57
<i>Mfel</i>			1.1	1.6	1.9	20	23	0.06	0.18	0.75	0.29
Medelvärde	10	19	21.5	20.8	25.2	168	218	0.63	2.81	7.2	3.85
<i>Mfel</i>			0.9	1.5	1.8	17	22	0.06	0.15	0.73	0.23

¹ Ståndortsindex för dominerande trädslag 2018

Bilaga 4.2. Tillväxt, per försökslokal, sju år efter askgödsling med 0, 5 eller 10 ton/ha. "n" anger antal försöksytor.

	Lokal	Ålder ¹ 2011	Askgiva ton/ha	SI (2018) ² m	n	GY 11 m ²	Gy 18 m ²	VOL 11 m ³ sk	VOL 18 m ³ sk	GYtillvTot m ² /år	GYtillv% %/år	VTillvTot m ³ sk/år	VTillv% %/år
Medelvärde	1518	82	0	23	4	22.8	25.5	207	238	0.43	1.8	4.9	2.3
<i>Mfel</i>				1.6		2.9	3.2	33	36	0.05	0.11	0.63	0.12
Medelvärde	1518	82	5	26	4	26.4	29.9	262	306	0.49	1.8	6.4	2.4
<i>Mfel</i>				1.2		3.0	3.1	42	45	0.02	0.15	0.56	0.19
Medelvärde	1518	82	10	25	4	23.6	27.4	212	259	0.54	2.2	6.7	3.0
<i>Mfel</i>				1.4		2.6	2.8	32	37	0.03	0.14	0.78	0.21
Medelvärde	1519	86	0	13	4	9.3	10.8	52	63	0.22	2.1	1.6	2.7
<i>Mfel</i>				0.5		0.7	0.9	5	8	0.04	0.21	0.44	0.42
Medelvärde	1519	86	5	14	4	12.4	15.0	73	96	0.38	2.7	3.3	3.8
<i>Mfel</i>				0.9		0.7	1.1	6	12	0.07	0.38	0.92	0.75
Medelvärde	1519	86	10	15	4	11.7	14.5	73	99	0.40	3.1	3.8	4.3
<i>Mfel</i>				1.2		1.3	1.7	11	18	0.07	0.36	1.03	0.72
Medelvärde	1520	65	0	23	2	18.7	21.5	155	188	0.41	2.1	4.7	2.8
<i>Mfel</i>				0.5		3.7	4.3	30	37	0.09	0.05	1.10	0.10
Medelvärde	1520	65	5	23	2	15.6	19.5	120	161	0.56	3.1	5.9	4.4
<i>Mfel</i>				0.5		0.7	0.9	8	8	0.03	0.10	0.00	0.25
Medelvärde	1520	65	10	23	2	18.5	22.4	149	194	0.56	2.8	6.4	3.8
<i>Mfel</i>				0.5		0.1	1.1	1	11	0.15	0.65	1.45	0.75
Medelvärde	1521	71	0	20	3	21.9	25.1	154	189	0.46	1.9	5.1	3.0
<i>Mfel</i>				0.3		0.6	1.1	6	11	0.11	0.43	1.19	0.65
Medelvärde	1521	71	5	20	3	19.0	22.1	124	158	0.45	2.2	4.8	3.5
<i>Mfel</i>				0.6		1.2	1.5	6	10	0.06	0.20	0.79	0.44
Medelvärde	1521	71	10	20	3	19.1	22.3	128	163	0.46	2.3	5.0	3.4
<i>Mfel</i>				0.7		0.3	0.3	5	5	0.01	0.09	0.19	0.19
Medelvärde	1522(30)	72	0	24	3	30.4	34.8	278	331	0.63	2.0	7.6	2.5
<i>Mfel</i>				0.3		0.4	0.6	2	4	0.04	0.12	0.58	0.19
Medelvärde	1522(23)	72	0	22	3	22.9	27.0	174	221	0.59	2.4	6.8	3.5
<i>Mfel</i>				0.7		0.3	0.6	5	8	0.05	0.17	0.38	0.09
Medelvärde	1522(30)	72	5	25	2	30.1	36.6	262	335	0.93	2.9	10.4	3.6
<i>Mfel</i>				0.0		0.1	0.9	1	7	0.13	0.35	0.90	0.25
Medelvärde	1522(23)	72	5	22	3	23.1	29.0	177	239	0.84	3.3	9.5	4.5
<i>Mfel</i>				0.9		0.4	1.5	5	28	0.17	0.57	2.81	1.05
Medelvärde	1522(30)	72	10	26	3	30.5	37.4	282	364	0.99	3.0	11.5	3.7
<i>Mfel</i>				0.3		0.1	0.5	1	5	0.05	0.12	0.59	0.19
Medelvärde	1522(23)	72	10	22	3	22.7	29.2	174	248	0.93	3.6	10.6	5.2
<i>Mfel</i>				0.6		0.1	0.4	2	2	0.06	0.20	0.48	0.25

¹ Bedömd medelålder

² Ståndortsindex för dominerande trädslag 2018

Bilaga 5: Periodkvot efter tillförsel

Bilaga 5.1. Periodkvot efter tillförsel av 0, 5 eller 10 ton aska per hektar. Kvoten av 7-års grundytetillväxt efter askgödsling och 7-års grundytetillväxt före askgödsling (Tillväxt efter/Tillväxt före), per försöksled. Alla trädslag sammantaget, och per trädslag.

Askgiva ton/ha	n ¹	Kvot-Tot	mfel	Kvot-Ta	mfel	Kvot-Gr	mfel	Kvot-Bj	mfel
0	97	1.18	0.05	1.13	0.07	1.29	0.09	1.13	0.14
5	86	1.62	0.11	1.40	0.07	1.86	0.31	1.94	0.38
10	91	1.80	0.10	1.76	0.13	2.04	0.23	1.52	0.12

¹ n avser antalet av alla provträd, oavsett trädslag

Bilaga 5.2. Periodkvot efter tillförsel av 0, 5 eller 10 ton aska per hektar. Kvoten av 7-års grundytetillväxt efter askgödsling och 7-års grundytetillväxt före askgödsling (Tillväxt efter/Tillväxt före), per försöksled och försökslokal. Alla trädslag sammantaget, och per trädslag.

	Lokal	Aska ton/ha	n ¹	Kvot-Tot	Kvot-Ta	Kvot-Gr	Kvot-Bj
Medelvärde	1518	0	25	1.19	1.08	1.37	1.01
<i>Medelfel</i>				0.08	0.12	0.14	0.14
Medelvärde	1518	5	25	1.39	1.18	1.56	1.14
<i>Medelfel</i>				0.09	0.11	0.17	0.25
Medelvärde	1518	10	21	1.47	1.19	1.60	1.48
<i>Medelfel</i>				0.11	0.08	0.18	0.28
Medelvärde	1519	0	11	1.18	1.18	0.00	0.00
<i>Medelfel</i>				0.08	0.08	0.00	0.00
Medelvärde	1519	5	12	1.50	1.50	0.00	0.00
<i>Medelfel</i>				0.16	0.16	0.00	0.00
Medelvärde	1519	10	12	1.81	1.81	0.00	0.00
<i>Medelfel</i>				0.19	0.19	0.00	0.00
Medelvärde	1520	0	6	1.16	1.16	0.00	0.00
<i>Medelfel</i>				0.06	0.06	0.00	0.00
Medelvärde	1520	5	6	1.64	1.64	0.00	0.00
<i>Medelfel</i>				0.18	0.18	0.00	0.00
Medelvärde	1520	10	7	1.75	1.59	2.14	0.00
<i>Medelfel</i>				0.16	0.14	0.33	0.00
Medelvärde	1521	0	21	1.00	0.85	1.02	1.42
<i>Medelfel</i>				0.10	0.05	0.08	0.72
Medelvärde	1521	5	17	1.30	1.05	1.30	1.90
<i>Medelfel</i>				0.11	0.06	0.16	0.27
Medelvärde	1521	10	18	1.40	1.17	1.59	1.56
<i>Medelfel</i>				0.07	0.05	0.08	0.17
Medelvärde	1522	0	33	1.26	1.25	1.50	1.10
<i>Medelfel</i>				0.11	0.17	0.22	0.17
Medelvärde	1522	5	26	2.09	1.51	3.35	2.26
<i>Medelfel</i>				0.34	0.15	1.31	0.64
Medelvärde	1522	10	33	2.23	2.21	3.24	1.51
<i>Medelfel</i>				0.23	0.29	0.72	0.20

¹ n avser alla provträd, oavsett trädslag

² För Fönebo, utgångsgrundyta 30 m² och utgångsgrundyta 23 m² sammanslaget!

Bilaga 5.3. Försök 1522 Fönebo. Effekt av olika produktions-grundtytor på periodkvoten efter tillförsel av 0, 5 eller 10 ton aska per hektar. Kvoten av 7-års grundytetillväxt efter askgödsling och 7-års grundytetillväxt före askgödsling (Tillväxt efter/Tillväxt före). Alla trädslag sammantaget, och per trädslag.

	Lokal	Aska ton/ha	G-yta m ²	n ¹	Kvot-Tot	Kvot-Ta	Kvot-Gr	Kvot-Bj
Medelvärde	1522	0	30	18	1.06	0.84	1.73	1.04
<i>Medelfel</i>					<i>0.11</i>	<i>0.08</i>	<i>0.25</i>	<i>0.20</i>
Medelvärde	1522	0	23	15	1.51	1.63	1.27	1.26
<i>Medelfel</i>					<i>0.20</i>	<i>0.27</i>	<i>0.35</i>	<i>0.35</i>
Medelvärde	1522	5	30	11	1.84	1.28	1.85	2.29
<i>Medelfel</i>					<i>0.49</i>	<i>0.13</i>	<i>0.70</i>	<i>1.06</i>
Medelvärde	1522	5	23	15	2.28	1.61	4.35	2.21
<i>Medelfel</i>					<i>0.47</i>	<i>0.21</i>	<i>2.08</i>	<i>0.14</i>
Medelvärde	1522	10	30	18	2.13	2.21	3.25	1.31
<i>Medelfel</i>					<i>0.36</i>	<i>0.49</i>	<i>1.25</i>	<i>0.26</i>
Medelvärde	1522	10	23	15	2.34	2.21	3.23	1.85
<i>Medelfel</i>					<i>0.28</i>	<i>0.31</i>	<i>1.00</i>	<i>0.26</i>

¹ n avser antalet av alla provträd, oavsett trädslag

Bilaga 6: Resultat av variansanalyser och hypotestester

Barranalyser 2014

Bilaga 6.1. Hypotesprövning av näringshalter i barr 2014. Mixed model variansanalys med faktorerna Askgiva (fix), Lokal (slumpfaktor) och Block (slumpfaktor, nästlad i Lokal). F- och p-värden för Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan olika doser. Gränsvärde för signifikans = $p < 0.05$

Y-variabel Askgiva	Skillnad mellan givor, p-värde				
	F-värde	p-värde	0 vs 5 t	0 vs 10 t	5 vs 10 t
Al	2.06	0.142			
B	21.56	0.000	0.000	0.000	0.38
Ca	1.29	0.290			
Fe	1.25	0.300			
K	25.80	0.000	0.000	0.000	0.98
Mg	3.37	0.046	0.412	0.036	0.42
Mn	1.27	0.290			
Na	1.05	0.360			
Ptot	21.10	0.000	0.000	0.000	0.35
S	5.73	0.007	0.063	0.006	0.66
Si	10.69	0.000	0.001	0.001	0.99
Zn	1.27	0.290			
Tot N	0.41	0.670			
Tot C	2.51	0.096	0.139	0.149	1.00
C/N	0.58	0.570			
Barrvikt	4.57	0.017	0.9	0.021	0.064

Grundvattenanalyser 2014

Bilaga 6.2. Hypotesprövning av grundvattendata 2014. Mixed model variansanalys med faktorerna Askdos (fix) och Lokal (slumpfaktor). F- och p-värden för Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan doser. Gränsvärde för signifikans = <0.05

Y-variabel	Askgiva		Skillnad mellan givor, p-värde		
	F-värde	p-värde	0 vs 5 t	0 vs 10 t	5 vs 10 t
pH	0.13	0.88			
ANC	0.07	0.93	0.97	0.93	0.99
TOC	0.70	0.50			
Al	0.10	0.91			
Ca	0.97	0.39	0.66	0.37	0.86
K	2.66	0.084	0.55	0.068	0.42
Mg	0.74	0.48			
Na	1.16	0.33	0.76	0.30	0.69
Cl	0.07	0.93			
F	1.37	0.27			
NH4	2.17	0.13	0.30	0.13	0.87
NO3	0.35	0.71	0.69	0.95	0.87
PO4	0.62	0.54	0.77	0.90	0.52
SO4	1.92	0.16	0.94	0.17	0.30
MeHg	0.27	0.77	1.00	0.80	0.80

Grundvattenanalyser 2018/19

Bilaga 6.3. Hypotesprövning av grundvattendata 2018/2019. Mixed model variansanalys, med faktorerna Askdos (fix) och Lokal (slumpfaktor). F- och p-värden för Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan doser. Gränsvärde för signifikans, $p = 0.05$

Y-variabel Askgiva	Skillnad mellan givor, p-värde				
	F-värde	p-värde	0 vs 5 t	0 vs 10 t	5 vs 10 t
pH	0.57	0.57			
ANC	0.21	0.81			
TOC	0.20	0.82			
Ntot	0.64	0.53			
Ca	0.10	0.91			
Fe	0.51	0.61			
K	3.46	0.04	0.30	0.031	0.53
Mg	0.14	0.87			
Na	4.91	0.012	0.10	0.01	0.62
NH4	0.48	0.62			
NO3	2.88	0.066	0.80	0.22	0.064
PO4	0.40	0.67			
SO4	0.92	0.41			
As	0.46	0.63			
Cd	0.62	0.54			
Cr	0.17	0.84			
Cu	2.12	0.13			
Mn	0.06	0.94			
Mo	0.14	0.87			
P	0.77	0.47			
Pb	1.39	0.26			
Zn	0.92	0.40			

Tillväxtrevision 2018

Bilaga 6.4. Hypotesprövning av beståndstillväxt genom totalrevision. Mixed Model variansanalys med faktorerna Askgiva (fix), Lokal (slumpfaktor) och Block (slumpfaktor, nästlad i Lokal). F- och p-värden för faktorn Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan doser. Gränsvärde för signifikans, $p = 0.05$

Y-variable	Faktor	F-värde	p-värde	Skillnad mellan givor, p-värde		
				0 vs 5 t	0 vs 10 t	5 vs 10 t
GYtillvTot	Askgiva	14.73	0.000	0.001	0.000	0.43
GYtillv%	Askgiva	18.45	0.000	0.001	0.000	0.24
VoltillvTot	Askgiva	12.84	0.000	0.004	0.000	0.38
Voltillv%	Askgiva	13.72	0.000	0.002	0.000	0.43

Bilaga 6.5. Försök 1522 Fönebo. Hypotesprövning av beståndstillväxt genom totalrevision. 2-vägs-variensanalys (GLM) med faktorerna Askgiva (fix) och Grundyta (fix). F- och p-värden för faktorn Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan askgivor. Gränsvärde för signifikans, $p = 0.05$

Y-variabel	Faktor	F-värde	p-värde	Faktor	F-värde	p-värde	Skillnad mellan givor, p-värde		
							0 vs 5 t	0 vs 10 t	5 vs 10 t
GYtillvTot	Grundyta	0,84	0,38	Askgiva	9,49	0,003	0,023	0,003	0,64
GYtillv%	Grundyta	5,02	0,043	Askgiva	9,29	0,003	0,024	0,003	0,66
VoltillvTot	Grundyta	0,73	0,41	Askgiva	5,66	0,017	0,106	0,015	0,65
Voltillv%	Grundyta	9,36	0,009	Askgiva	5,36	0,02	0,115	0,018	0,67

Hypotestester – Årsringsutveckling 2018

Bilaga 6.6. Hypotesprövning av tillväxt genom årsringsstudier, uttryckt som grundytetillväxt sju år före ("Pre"), sju år efter ("Post"), samt periodkvoten (Tillväxt efter/Tillväxt före). Mixed Model variansanalys med faktorerna Askgiva (fix), Lokal (slumpfaktor) och Block (slumpfaktor, nästlad i Lokal). F- och p-värden för faktorn Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan askgivor. Gränsvärde för signifikans, $p = 0.05$

Y-variabel	Faktor	F-värde	p-värde	Skillnad mellan givor, p-värde		
				Diff 5-0	Diff 10-0	Diff 10-5
Pre¹⁾	Askgiva	0.51	0.60	0.58	0.79	0.94
Pre-Ta	Askgiva	0.81	0.45	0.41	0.84	0.76
Pre-Gr	Askgiva	0.25	0.78	0.85	0.78	0.99
Pre-Bj	Askgiva	0.04	0.96	1.00	0.97	0.96
Post¹⁾	Askgiva	13.60	0.000	0.000	0.000	0.68
Post-Ta	Askgiva	15.01	0.000	0.000	0.000	0.77
Post-Gr	Askgiva	4.87	0.011	0.116	0.009	0.55
Post-Bj	Askgiva	2.64	0.084	0.096	0.19	0.92
Kvot²⁾	Askgiva	13.56	0.000	0.001	0.000	0.44
Kvot-Ta	Askgiva	12.69	0.000	0.056	0.000	0.030
Kvot-Gr	Askgiva	3.34	0.041	0.113	0.052	0.93
Kvot-Bj	Askgiva	3.20	0.050	0.039	0.42	0.41

¹⁾ Pre = medeltillväxt 7-årsperiod 2005-2011; Post = medeltillväxt 7-årsperiod 2012-2018;

²⁾ Kvot = periodkvot, medeltillväxt "7 år efter" / "7 år före" askgödsling; Ta=tall; Gr=gran; Bj=bj

Bilaga 6.7. Försök 1522 Fönebo. Hypotesprövning av tillväxt genom årsringsstudier, uttryckt som grundytetillväxt sju år före ("Pre"), sju år efter ("Post"), samt periodkvoten (Tillväxt efter/Tillväxt före). 2-vägsvariansanalys (GLM) med faktorerna Askgiva (fix) och Grundyta (fix). F- och p-värden för faktorn Askgiva, samt p-värden enligt Tukey's test för skillnad mellan askgivor. Gränsvärde för signifikans, $p = 0.05$

Y-variabel	Faktor	F-value	p-value	Faktor	F-value	p-value	Skillnad mellan givor, p-värde		
							Diff 5-0	Diff 10-0	Diff 10-5
Post¹⁾	Grundyta	0.14	0.71	Askgiva	5.97	0.004	0.026	0.005	0.94
Post-Ta	Grundyta	3.34	0.074	Askgiva	6.25	0.004	0.032	0.005	0.94
Post-Gr	Grundyta	1.31	0.27	Askgiva	2.29	0.14	0.44	0.12	0.74
Post-Bj	Grundyta	0.09	0.77	Askgiva	0.89	0.42	0.4	0.7	0.87
Pre¹⁾	Grundyta	1.02	0.32	Askgiva	1.15	0.32	0.32	0.53	0.90
Pre-Ta	Grundyta	0.48	0.49	Askgiva	1.68	0.20	0.17	0.68	0.54
Pre-Gr	Grundyta	1.52	0.24	Askgiva	0.34	0.72	0.89	0.7	0.95
Pre-Bj	Grundyta	1.35	0.26	Askgiva	0.04	0.96	1.00	0.96	0.98
Kvot²⁾	Grundyta	1.84	0.18	Askgiva	5.38	0.006	0.051	0.007	0.85
Kvot-Ta	Grundyta	2.08	0.16	Askgiva	5.73	0.006	0.83	0.006	0.063
Kvot-Gr	Grundyta	0.32	0.58	Askgiva	1.57	0.25	0.32	0.31	1.00
Kvot-Bj	Grundyta	0.20	0.66	Askgiva	2.00	0.16	0.15	0.78	0.41

¹⁾ Pre = medeltillväxt 7-årsperiod 2005-2011; Post = medeltillväxt 7-årsperiod 2012-2018;

²⁾ Kvot = periodkvot, medeltillväxt "7 år efter" / "7 år före" askgödsling; Ta=tall; Gr=gran; Bj=björk

EFFEKTER AV ASKGÖDSLING I SKOGAR PÅ ÄLDRE DIKADE TORVMARKER

Här redovisas effekter av askgödsling på grundvattnet och på barrens näringsstatus, sju år efter gödsling av fem äldre dikade och skogbevuxna torvmarker i Norrland.

Grundvattnets halter av kalium och natrium är signifikant förhöjda på ytor som fått 10 ton aska per hektar. Askgödslingen gav ingen mätbar påverkan på andra studerade effektvariabler.

Beståndstillväxten sju år efter askgödslingen är signifikant större såväl på ytor med 5 ton som på ytor med 10 ton aska per hektar, jämfört med kontrolltor.

Resultaten visar att aska generellt ger positiva effekter på näringsstatus och tillväxt även i gamla bestånd av dikade och beskogade torvmarker. Resultaten indikerar också att de skilda effekterna av skogsskötselåtgärderna askgödsling och gallring är additiva, vilket ger stöd för att askgödsling även kan rekommenderas i samband med gallring.

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