

ARBETSRAPPORT

A:32

Tillförsel av bibränsleaska i tallskog på en dikad torvmark i södra Sverige – effekter på vattenkemin

Eva Ring, Claudia von Brömssen, Katarina Losjö och Ulf Sikström

**Tillförsel av bibränsleaska i tallskog på en dikad
torvmark i södra Sverige
Effekter på vattenkemin**

**Wood-ash addition on a drained forest peatland in
Southern Sweden
Effects on water chemistry**

Eva Ring, Claudia von Brömssen, Katarina Losjö och Ulf Sikström

Q9-703

Abstract

Wood ash can be used for forest fertilization on peatlands or for nutrient compensation following intensive harvesting. This project was performed in order to investigate effects on water chemistry of applying wood ash to a Scots pine stand on a drained peatland. Ditch-water chemistry was monitored before and after the application of wood ash. Furthermore, groundwater was collected and chemically analyzed both from the ash-treated peatland and from an adjacent untreated reference peatland. Both short term (a few months) and more long term effects (up to three years after application) were detected on water chemistry. Detailed information on the study is presented in [15].

Sammanfattning

Avverkningsrester, bestående av grenar och toppar framför allt från slutavverkningar, används i ökande omfattning för energiproduktion. Skörd av avverkningsrester ökar uttaget av näring jämfört med konventionell avverkning av endast stamved. Eftersom en betydande andel av näringen finns i trädskiktet på skogklädd torvmark är behovet av näringskompensation vid intensiv skörd troligen större på torvmark än på mineraljord, där största näringsförrådet finns i marken. Tillförsel av biobränsleaska kan vara ett sätt att kompensera för ett ökat näringsuttag. Dessutom kan biobränsleaska även användas som gödselmedel för att öka stamvedstillväxten på torvmark.

Vattenkemiska effekter till följd av asktillförsel på torvmark har belysts i ett fåtal studier. Ytterligare studier behövs för att öka kunskapen om åtgärden. Därför initierades den aktuella studien. Huvudsyftet var att utvärdera om tillförsel av biobränsleaska till en skogklädd dikad torvmark ökar koncentrationer och utlakning av metaller och näringsämnen.

Studien utfördes i två skogklädda avrinningsområden i södra Sverige, Bredaryd Syd och Bredaryd Nord, under totalt fyra år, ett år med referensmätningar och tre år efter asktillförseln. Bredaryd Syd utgjorde obehandlat referensområde och Bredaryd Nord behandlades med i medeltal 3.1 ton aska per hektar (torrvikt). Prover på avrinnande vatten togs i huvuddikena som avvattnade respektive område. På grund av omfattande vindfällning i Bredaryd Syd under mätperioden kunde detta område inte användas som referens för att studera effekterna i avrinnande vatten. Data från Bredaryd Nord utvärderades därför med andra metoder än ursprungligen planerat. Bredaryd Syd kunde dock fortsättningsvis fungera som referens för grundvattenstudien. Målen för detta projekt var att 1) utvärdera alla insamlade data statistiskt, 2) skatta utlakningen, och 3) publicera studien i en vetenskaplig tidskrift.

Både kortvariga effekter (några månader) och mer långvariga effekter (upp till tre år efter tillförseln) påvisades för kemin i avrinnande vatten. Vissa variabler uppvisade förhöjda halter endast under några månader, medan pH och t ex halten bor och kalium var förhöjda under de två sista åren av studien jämfört med under referensperioden. Flera spårmetaller och anjoner föreföll inte vara nämnvärt påverkade av asktillförseln. I allmänhet överensstämde effekterna i grundvatten med de i avrinnande vatten. Resultaten från denna studie kommer att vara till hjälp både vid bedömning av asktillförsel till enskilda objekt och då åtgärden ska bedömas mer övergripande. Vid bedömning av enskilda objekt måste de lokala förhållandena vägas in.

Executive Summary

Logging residues, consisting of tops and branches mainly from final fellings, are increasingly being used for energy production in Sweden. Harvesting of logging residues increases the removal of nutrients compared with leaving the logging residues on site. On forested peatlands, a significant proportion of the nutrients are stored in the tree layer. Therefore, the need for nutrient compensation at increased harvest intensity is probably greater on peatlands than on mineral soil, where the main store of nutrients is in the ground. Application of wood ash is one way of compensating for the increased nutrient removal at intensified harvests. Furthermore, wood ash can be used for fertilization on forested peatlands.

Effects on water chemistry after ash application to peatlands have been investigated only in a few studies. Further studies are needed. This was the reason for initiating the present study. The main objective was to evaluate whether application of wood ash to a forested drained peatland would increase concentrations and leaching of metals and nutrients.

The study was conducted in two forested catchments in Southern Sweden, Bredaryd Nord and Syd, for a total of four years, comprising one year with reference measurements and three years after ash application. Bredaryd Syd served as untreated reference and the peatland at Bredaryd Nord was treated with on average 3.1 tonnes of ash per hectare (dry matter). Ditch water was collected in the main ditches, draining the catchments. Due to extensive wind throwing at Bredaryd Syd during the course of the study, this area could not be used as a reference for the effects on ditch-water chemistry. The data from Bredaryd Nord was therefore evaluated by other methods than originally planned. Bredaryd Syd, however, could continue to serve as a reference for the groundwater study. The objectives of this project were to 1) evaluate the data from the entire study period, statistically, 2) estimate leaching, and 3) publish the study in a peer-reviewed scientific journal.

Both short term (a few months) and more long term effects (up to three years after application) were detected on water chemistry. Some variables showed elevated levels only for a few months, while pH and the concentrations of for instance boron and potassium were increased during the last two years of study, compared to the reference period. Several trace metals and anions did not seem to be affected by ash application. In general, the effects detected in groundwater were consistent with those detected in ditch water. The results from this study will be helpful both for assessing ash application to individual sites and for evaluating the measure in more general terms. When assessing ash application to individual sites, the local conditions must be considered.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	MATERIAL OCH METODER.....	2
2.1	FÖRSÖK 274 BREDARYD.....	2
2.2	VATTENPROVTAGNING OCH KEMISK ANALYS	2
2.3	UTLAKNING.....	3
2.4	STATISTISK ANALYS.....	3
3	RESULTAT OCH DISKUSSION.....	5
4	SLUTSATSER.....	6
5	LITTERATURREFERENSER.....	7

1 Inledning

Vanligtvis är det olika näringsämnen som begränsar träd tillväxten i boreala skogar på mineraljord respektive torvmark. På torvmark begränsas träd tillväxten ofta av tillgången på fosfor och kalium [13] medan tillgången på kväve oftast begränsar tillväxten på mineraljord [4][18]. Då dränering och tillgången på kväve är tillräcklig på torvmark, ökar i allmänhet stamvedstillväxten efter tillförsel av fosfor och kalium, tillfört i form av handelsgödsel eller aska [9][10][11][17].

Avverkningsrester, i form av grenar och toppar framför allt från slutavverkningar, används i ökande omfattning för energiproduktion. Skörd av avverkningsrester ökar uttaget av näring jämfört med om avverkningsresterna lämnas kvar på hygget [8][20]. En högre skördeintensitet ökar försurningen och minskar eventuellt den långsiktiga produktionsförmågan. På skogklädd torvmark återfinns en betydande andel av de essentiella näringsämnena, bland annat fosfor och kalium, i trädskiktet, medan det huvudsakliga förrådet på mineraljord finns i marken [5].

Tillförsel av bibränsleaska kan även påverka vattenkemin [1][2]. Förhöjda halter av kalium, kalcium, magnesium, mangan, sulfat och klorid har med smärre undantag rapporterats i avrinnande vatten efter tillförsel av aska på torvmark [12][14][19].

Vattenkemiska effekter till följd av asktillförsel på torvmark har belysts i ett fåtal studier. Därför behövs ytterligare studier för att öka kunskapen om åtgärden [5]. Den aktuella studien gjordes för att tillgodose detta behov. Huvudsyftet var att utvärdera om tillförsel av bibränsleaska till en skogklädd dikad torvmark ökar koncentrationer och utlakning av metaller och näringsämnen. Resultat från det första året efter asktillförseln rapporteras i [16]. Den tillförda givan, i medeltal $3,1 \text{ ton ha}^{-1}$, kan antingen betraktas som en låg gödselgiva eller en hög kompensationsgiva för det ökade näringsuttaget vid helträdsskörd. Målen med föreliggande studie var att 1) utvärdera alla insamlade data statistiskt, 2) skatta utlakningen, och 3) publicera studien i en vetenskaplig tidskrift. I denna rapport beskrivs studien översiktligt. En fullständig utvärdering av studien ges i [15].

2 Material och metoder

2.1 Försök 274 Bredaryd

Studien utfördes i två skogklädda avrinningsområden i södra Sverige ($57^{\circ} 11' N$, $13^{\circ} 44' O$), försök 274 Bredaryd (Fig. 1). Avrinningsområdena benämns Bredaryd Syd, obehandlad referens, och Bredaryd Nord, där aska tillfördes. Huvudträdslaget var tall (*Pinus sylvestris* L.). I båda områdena fanns en dikad torvmark, vars djup översteg 1 m i N1 till N9 och S1 till S9. Torvdjupet under huvuddikets botten nära utloppet av Bredaryd Nord var större än ca 1,3 m. Där var det totala torvdjupet mer än två meter.

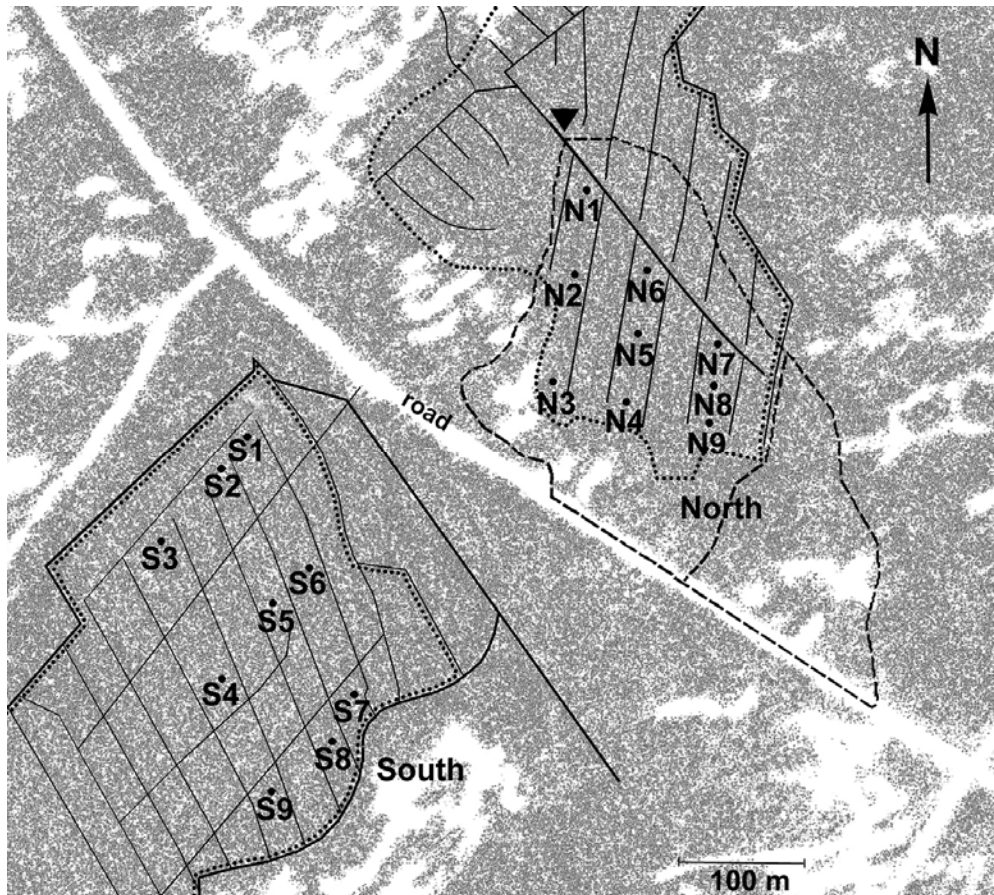
Studien utformades för att kunna göra parvisa jämförelser mellan avrinningsområdena, både avseende kemin i avrinnande vatten och i grundvatten. Men på grund av betydande vindfällning i Bredaryd Syd under mätperioden ändrades metoden för att utvärdera resultaten för avrinnande vatten. Eftersom ingen betydande vindfällning skett på själva torvmarken i Bredaryd Syd kunde denna även fortsättningsvis fungera som referens i grundvattenstudien.

På hösten 2004 tillfördes självhärdad och krossad biobränsleaska med hjälp av en centrifugalgödselspridare dragen av en liten traktor på 73% av torvmarken inom avrinningsområdet i Bredaryd Nord [6][15]. Askan var en blandning av aska från två värmeverk, botten- och flygaska från ett av värmeverken och flygaska från det andra. De exakta proportionerna från respektive värmeverk är okända men det kemiska innehållet i den askblandning som spreds presenteras i Tabell 1. Vid spridningen lämnades en obehandlad zon mot huvuddiket men ingen hänsyn togs till tegdikena vid spridningen. De flesta tegdikena var igenväxta. Askgivan var i medeltal $3,1 \text{ ton ha}^{-1}$ (torrvikt).

2.2 Vattenprovtagning och kemisk analys

Prover på avrinnande vatten togs i huvuddiket som dränerade Bredaryd Nord (Fig. 1) och analyserades med avseende på pH, elektrisk konduktivitet, Al, As, B, Ca^{2+} , Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K^+ , Li, Mg^{2+} , Mn, Mo, Na^+ , Ni, total P, Pb, total S, Se, Si, V, Zn, F, Cl^- , NO_2^- -N, NO_3^- -N, Br^- , PO_4^{3-} -P, SO_4^{2-} -S, NH_4^+ -N och total N. Provtagningen inleddes 2003 och avslutades 2007. Referensperioden före asktillförseln var ett år och mätningar efter tillförseln gjordes under drygt tre år.

Prover på grundvattnet togs på tre djup i nio provpunkter i respektive område med hjälp av piezometrar som installerats i torvmarken i Bredaryd Nord respektive i Bredaryd Syd (Fig. 1). Grundvattenprover togs både före och efter asktillförseln vid totalt fyra tillfällen och analyserades kemiskt (enligt samma analysprogram som för avrinnande vatten).



Figur 1. Principiell karta över Bredaryd Nord och Syd och deras dikessystem. Prover på avrinnande vatten togs i utloppet av Bredaryd Nord (▼) och prover på grundvattnet togs i N1 till N9 samt i S1 till S9. Två alternativa avgränsningar av avrinningsområdet Bredaryd Nord gjordes (streckad linje). Prickad linje anger gränsen mellan torvmark och mineraljord. Dikessystemet runt torvmarken i Bredaryd Syd var sammankopplat med diken (ej utritade) som avvattnade ett område norr om vägen, väster om Bredaryd Nord, där betydande vindfällning skett.

2.3 Utlakning

Utlakningen av olika ämnen från Bredaryd Nord beräknades genom att multiplicera den dygnsvisa koncentrationen i huvuddiket med den beräknade dygnsavrinningen. Den dygnsvisa koncentrationen beräknades genom att interpolera halterna linjärt mellan provtagningar. Dygnsavrinningen beräknades med hjälp av en särskild tillämpning av HBV-modellen [3][7]. Denna modell utvecklades ursprungligen för att göra hydrologiska prognoser men den har även använts för att beräkna avrinning från stationer som saknar avrinningsmätningar, vilket utnyttjades i denna studie.

2.4 Statistisk analys

Kemin i avrinnande vatten från Bredaryd Nord, d.v.s. elektrisk ledningsförmåga, pH och koncentrationer, analyserades statistiskt för att identifiera kortsiktiga (mindre än ett år) och mer långsiktiga effekter (2-3 år efter tillförseln) av asktillförseln. Först användes en randomiseringsmetod, randomised intervention analysis, för att fastställa eventuella

långsiktiga effekter. För variablerna utan en långsiktig effekt, men med en tydlig, grafiskt tolkad, kortsiktig effekt användes en icke-parametrisk utjämningssteknik för att bestämma varaktigheten på den kortsiktiga effekten. Effekter på grundvattenkemin utvärderades genom att visuellt bedöma resultaten grafiskt.

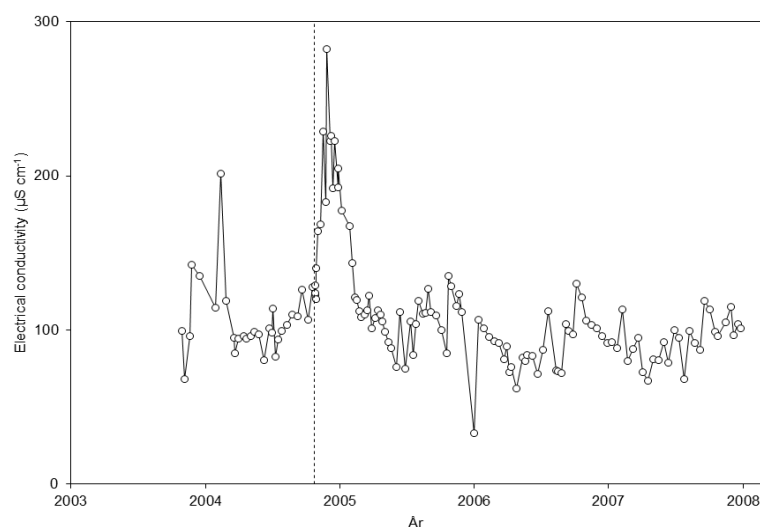
Tabell 1. Kemiskt innehåll i askan (n=2) som spreds i Bredaryd Nord baserat på [6]. Analyserna utfördes av ALS Scandinavia AB i Luleå.

Ämne	Medeltal	Std avv
	mg g ⁻¹ ts	
Ca	200	1.5
Mg	24	0.3
P	13	0.0
K	58	1.0
Na	12	1.2
Mn	9.2	0.5
S	14	0.3
Si	112	0.3
Al	25	0.4
Fe	16	1.8
Ti	2.0	0.0
	µg g ⁻¹ ts	
As	33	9.0
Ba	2630	77
Be	< 0.6	–
Cd	14	1.6
Co	< 9	–
Cr	75	12
Cu	120	13
Hg	0.1	0.01
La	8.5	3.5
Mo	7.7	2.1
Nb	< 6	–
Ni	36	4.7
Pb	135	8.5
Sc	2.5	0.84
Sn	< 20	–
Sr	1110	28
V	31	2.6
W	< 60	–
Y	9.8	0.54
Zn	2380	198
Zr	99	4.9

3 Resultat och diskussion

Målet med denna studie var att undersöka hur tillförsel av aska på dränerad torvmark påverkar vattenkemin främst i avrinnande vatten, oaktat syftet med asktillförseln. Givan som tillfördes i försöksområdet var i medeltal 3,1 ton per hektar. Både kortvariga effekter (några månader) och mer långvariga effekter (upp till tre år efter tillförseln) påvisades för kemin i avrinnande vatten i Bredaryd Nord. Kort efter asktillförseln ökade den elektriska ledningsförmågan (figur 2) och halten bor, kalcium, kalium, litium, magnesium, mangan, zink, totalt svavel och sulfat i avrinnande vatten i Bredaryd Nord. Den snabba responsen kan ha berott på att aska spreds över tegdikena och grundvattennivån var ytlig samt att torvmarken som behandlades med aska låg i direkt anslutning till huvuddiket. Vissa variabler uppvisade förhöjda halter endast under några månader, medan pH och halten bor, kalium, litium, magnesium, mangan, total fosfor och kisel var förhöjda under de två sista åren av studien jämfört med under referensperioden. Halten järn, svavel och sulfat var lägre under de två sista åren än under referensperioden. Flera spårmetaller och anjoner föreföll inte vara nämnvärt påverkade av asktillförseln. I allmänhet överensstämde effekterna i grundvatten med de i avrinnande vatten. För flera parametrar stämde de påvisade effekterna överens med resultat från tidigare studier, främst för halten av vissa katjoner och sulfat. Detta beror sannolikt på att aska ofta innehåller betydande mängder lösliga salter.

På torvmark är tillförseln av fosfor och kalium viktig för stamvedstillväxten. En hög utlakning av dessa ämnen minskar nyttan av asktillförsel ur tillväxtpunkt. Hög fosforutlakning bidrar även till övergödning vilket är negativt för vattenmiljön. En grov skattning av hur mycket kalium och fosfor som lakades ut till följd av asktillförseln indikerar att en fjärdedel till en tredjedel av tillförd mängd kalium lakades ut under de första två och ett halvt åren efter tillförseln. För fosfor var motsvarande siffra ca 6%. Den tillförda mängden kalium var 180 kg per hektar och tillförd mängd fosfor var 40 kg per hektar. Resultaten redovisas och diskuteras i detalj i [15].



Figur 2. Elektrisk ledningsförmåga i utloppet av huvuddiket i Bredaryd Nord. Den streckade linjen anger tidpunkten då askan spreds.

4 Slutsatser

Tillförsel av ca tre ton aska per hektar påverkade det avrinnande vattnets kemi i några månader upp till åtminstone tre år (så länge som studien pågick). Om denna påverkan är miljömässigt acceptabel eller inte går inte att bedöma enbart utifrån de mätningar och utvärderingar som gjorts inom projektet, dels för att studien omfattade endast ett objekt och endast vattenkemiska mätningar, dels för att referensområdet drabbades av betydande vindfällning under mätperioden. Ytterligare studier av åtgärden är därför befogade exempelvis för att undersöka effekterna på andra typer av torvmarker, för att undersöka mer långsiktiga effekter och för att mer direkt belysa påverkan på akvatiska organismer. Denna studie har bekräftat en del tidigare resultat, främst ökningarna av flera katjoner samt sulfat. Inga signifikanta ökningarna i halten av flera spårmetallhalter påvisades, vilket är ett viktigt resultat. Då asktillförsel bedöms för enskilda objekt måste de lokala förhållandena vägas in till exempel

- hur nedströms belägna vatten kan komma att påverkas av de vattenkemiska förändringar som kan förväntas uppkomma (vilka förändringar som kan ske har visats i denna och andra studier),
- hur stor andel av avrinningsområdet som kan komma ifråga för asktillförsel inom en viss tidsperiod (ju större andel som behandlas, desto större vattenkemisk påverkan kan förväntas) samt askgivans storlek,
- hur dikessystemets utformning och funktion kan komma att påverka utlakningen (är det tekniskt möjligt att undvika att sprida aska i väl fungerande diken?).

Genom att undvika att sprida aska i väl fungerande diken minskas de initiala koncentrationsökningarna i avrinnande vatten. Dränerade torvmarker har i regel fuktigare markförhållanden än väl-dränerad fastmark och grundvattenytan ligger ofta relativt ytligt. Då aska tillförs på dränerad torvmark kan därför de lättlösliga ämnena i askan lösas upp fortare och lakas ut snabbare jämfört med asktillförsel på väl-dränerad fastmark.

5 Litteraturreferenser

- [1] Aronsson K A & Ekelund N G A; Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *Journal of Environmental Quality* 33: 1595-1605, 2004.
- [2] Augusto L, Bakker M R & Meredieu C; Wood ash applications to temperate forest ecosystems - potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil* 306: 181-198, 2008.
- [3] Bergström S; Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut, SMHI Rapporter, RHO 7, Norrköping, 1976.
- [4] Binkley D & Högberg P; Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests? *Forest Ecology and Management* 92: 119-152, 1997.
- [5] Egnell G, Nohrstedt H-Ö, Weslien J, Westling O & Örlander G; Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1-1998, Jönköping, 1998.
- [6] Ernfors M, Sikström U, Nilsson M & Klemedtsson L; Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. *Science of the Total Environment* 408: 4580-4590, 2010.
- [7] Lindström G, Johansson B, Persson M, Gardelin M & Bergström S; Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology* 201: 272-288, 1997.
- [8] Mälkönen E; Effects of whole-tree harvesting on soil fertility. *Silva Fennica* 10: 157-164, 1976.
- [9] Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H & Issakainen J; Comparing effects of wood ash and commercial PK fertilizer on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. *Baltic Forestry* 10(2): 1392-1355, 2004.
- [10] Moilanen M, Pietiläinen P & Issakainen J; Long-term effects of apatite and biotite on the nutrient status and stand growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Sou* 56(3): 115-128, 2005a.
- [11] Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H & Issakainen J; Wood ash as a fertilizer on drained mires – growth and foliar nutrients of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 2734-2742, 2005b.
- [12] Nilsson T & Lundin L; Effects of drainage and wood ash fertilization on water chemistry at a cutover peatland. *Hydrobiologia* 335: 3-18, 1996.
- [13] Paavilainen E & Päivänen J; Peatland forestry - Ecology and principles. *Ecological Studies* 111. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.
- [14] Piirainen S & Domisch T; Leaching of nutrients and heavy metals from drained peatlands after wood ash fertilisation. I: Päivänen J (red.). *Wise use of peatlands - Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 juni 2004*. Vol. 1. s. 491-499, 2004.

- [15] Ring E, von Brömssen C, Losjö K & Sikström U. Water chemistry following wood-ash application to a Scots pine stand on a drained peatland in Sweden. XXXX 2011.
- [16] Sikström U, Ernfors M, Jacobson S, Klemedtsson L, Nilsson M & Ring E; Tillförsel av aska i tallskog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, avgång av växthusgaser och vattenkemi. Värmeforsk rapport 974, 2006.
- [17] Silfverberg K & Hartman M; Effects of different phosphorus fertilizers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 33(3): 187–206, 1999.
- [18] Tamm C O; Nitrogen in terrestrial ecosystems: Questions of productivity, vegetational changes, and ecosystem stability. *Ecological Studies* 81. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1991.
- [19] Tulonen T, Arvola L & Ollila S; Limnological effects of wood ash application to the subcatchments of boreal, humic lakes. *Journal of Environmental Quality* 31: 946-953, 2002.
- [20] Weetman G F & Webber B; The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 351-369, 1972.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35