

Tillförsel av aska och PK med eller utan N på en torvmark i södra Sverige – effekter på trädtillväxt och ämneshalter i barr

Ulf Sikström

**Tillförsel av aska och PK med eller utan N på en
torvmark i södra Sverige**

Effekter på träd tillväxt och ämneshalter i barr

**Addition of ash and PK with or without N on a
peatland in southern Sweden**

**Effects on tree growth and needle element
concentrations**

Ulf Sikström

Q6-652

Tillväxteffekter 26 år efter tillförsel av aska i en tallungskog

Förord

Den här redovisade studien har genomförts som ett projekt inom Värmeforsks program "Miljövänlig användning av askor" ("Askprogrammet"). Arbetet har pågått under åren 2007 – 2008. Projektet belyser den del av programmet som behandlar återföring av aska till skogsmark, mer specifikt tillförsel av aska på dikad torvmark.

Ulf Sikström (Skogforsk) har varit projektledare, koordinerat fältarbetet, genomfört bearbetning och analys samt stått för dokumentationen. Det fältförsök som nyttjats etablerades i början av 1980-talet av personal vid dåvarande Institutet för skogsförbättring. Dåvarande försöksledare Gunnar Jansson upprättade försöksplanen. Curt Almqvist, även han försöksledare vid den tiden, ansvarade för revisionen av försöket 1987 samt för installation av utrustning för registrering av grundvattennivåer under perioden 1989 – 1993. Hagos Lundström (Skogforsk) var ansvarig för fältarbetet vid den senaste revisionen under några våta veckor sommaren 2007 och han gjorde även barrprovtagningen under vintern innan. Ett tack till alla dessa personer som bidragit till att det här projektet har kunnat genomföras.

En rådgivande referensgrupp har varit knuten till projektet, bestående av Anna Lundborg, Energimyndigheten, Per Simonsson, SCA, Hans Samuelsson (ersättare för Karin Hjerpe), Skogsstyrelsen, Magnus Lindén, Södra Skog, Ola Petersson, Stora Enso, Torbjörn Nilsson och Tord Magnusson, SLU samt Jonas Öhlund, Sveaskog. Dessutom har Claes Ribbing (programansvarig för "Askprogrammet") deltagit i referensgruppsmötena. Jag vill framföra ett tack till dessa personer för deras synpunkter på utformningen av projektet och slutrapporten.

Under hösten 2007 gjordes en torvprovtagning av kontrollytorna och det rena askledet i försöket. Denna provtagning samordnades med och kom att ingå som en del i ett annat projekt finansierat av "Askprogrammet", nämligen "Q6-666 Långsiktig påverkan på växthusgasflödena till och från torvmark efter askgödsling; en studie baserad på mikrobiella processer och modellering". I den studien ingår provtagningar i ytterligare två askförsök på torvmark (273 Anderstorp och 278 Skogaryd). Samtliga resultat från studien, dvs. även de från 168 Perstorp, kommer att redovisas i slutrapporten för projekt Q-666.

Värmeforsks "Askprogram" har stått för finansieringen.

Uppsala i april 2008
Ulf Sikström

Abstract

Effects of ash addition and some fertilization regimes including phosphorus (P) and potassium (K), with and without simultaneous addition of nitrogen (N), were studied in a field experiment located in southern Sweden in a sapling stage *Pinus sylvestris* (L.) stand at a drained peatland site. After 26 growing seasons the highest PK-doses (40 kg P ha⁻¹ and 80 kg K ha⁻¹) and the ash (2.5 tonnes DM ha⁻¹) had rendered in a significantly increased biomass accumulation. The treatment effect consisted of both an increase in number of trees and increased growth of individual trees. The biomass accumulation was somewhat lower after adding the lower PK-dose (20 kg P ha⁻¹ and 40 kg K ha⁻¹), although not statistically significant. There was no effect of the N addition. The N concentration in the needles was higher in the control than in all treated plots. In addition, still after almost 26 years, the concentrations of P and K were higher in most treatments compared with the control. In spite of that, these concentrations, especially the P-concentration, indicated severe nutrient deficiency. It is concluded that, after sufficient drainage on this type of peatland site, a pole stage forest stand can be developed by ash addition or PK-fertilization. However, the sustainability of the documented growth effects is an open question.

Sammanfattning

I Sverige produceras cirka 1,3 miljon ton aska årligen, varav omkring 150 000 – 300 000 ton bedömts härröra från aska i huvudskak från skogsbränslen, vilken kan vara möjlig att återföra till skog. Förutom att nyttja aska som kompensation för uttagen näring vid bibränsleuttag (exv. grenar och toppar) kan den nyttjas för ökad skogsproduktion på torvmark (askgödsling).

Tillförsel av aska eller fosfor (P) och kalium (K) som handelsgödselmedel ökar i regel trädutväxten på torvmark. Ibland krävs även tillförsel av kväve (N). Även mer eller mindre trädlösa myrar kan efter gödsling få ökad plantbildning och ökad plantutväxt så att ett skogsbestånd tillskapas. Några förutsättningar för tillväxtökning är tillfredsställande dränering och att tillgången på växttillgängligt N är tillräcklig.

I början av 1980-talet anlade Skogforsk ett fältförsök i Skåne (168 Perstorp) där olika gödslingsregimer, bl.a. aska, testades i en tallungskog på dikad torvmark. Syftet med denna studie var att dokumentera effekterna på trädutväxt och tallarnas näringshalter i barren 26 år efter behandling. Försöket är ett randomiserat blockförsök med fyra upprepningar och sju behandlingar. Förutom obehandlad kontroll ingick asktillförsel och några olika näringsregimer med P (råfosfat) och K (kaliumklorid), med eller utan samtidig tillförsel av N.

Tillförsel av 2,5 ton aska ha^{-1} gav en liknande tillväxtökning som gödsling med råfosfat och kaliumklorid. Det gällde vid liknande tillförd mängd P (ca 40 kg P ha^{-1}), både med eller utan samtidig tillförsel av N, d.v.s. N-tillförsel gav inte någon ytterligare tillväxteffekt utöver effekten av aska eller av P och K. Den totala tillväxten av stamved var i storleksordningen 1,6 – 1,9 $\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}$ och år^{-1} under 26 år för dessa behandlingar, medan tillväxten på kontrollytorna var nästan obefintlig (ca 0,04 $\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}$ och år^{-1}).

Gödslingen med de höga engångsgivorna råfosfat och kaliumklorid (40 kg P ha^{-1} och 80 kg K ha^{-1}), vid samtidig tillförsel av N, gav i medeltal högre tillväxt än de låga engångsgivorna (20 kg P ha^{-1} och 40 kg K ha^{-1}), men skillnaderna var inte statistiskt säkerställda. Höjduvecklingen för huvudstammarna i slutet av mätperioden antydde en kortare varaktighet av gödslingseffekten för gödslingsregimen med de låga givorna.

Den ökade tillväxten av de olika näringsregimerna var en effekt av både högre trädantal och högre tillväxt hos dessa träd än på kontrollytorna.

Data på näringshalter i barr och tillväxtdata visade en logisk koppling i så motto att N-tillförseln inte gav någon påvisbar ytterligare tillväxt, vilket skulle kunna förklaras med god kvävestatus i tallarna innan behandling. Halterna av P och K ökade från en mycket låg respektive en låg nivå. Det var också i samtliga behandlingar där P och K tillförts, i form av aska eller råfosfat och kaliumklorid, som tillväxtökningar uppmättes.

Slutsatsen är att, efter lämplig dränering, kan en ungskog skapas på den studerade torvmarkstypen genom att tillföra aska eller PK-gödselmedel. Den dokumenterade tillväxtökningens uthållighet är en öppen fråga.

Nyckelord: Barrkemi, gödsling, kaliumklorid, råfosfat, trädutväxt.

Summary

In Sweden, about 1.3 million tonnes of ash are produced annually. Out of that amount, 150 000 – 300 000 tonnes have been estimated to originate from forest fuels, i.e. ashes that potentially can be brought back to the forest. Apart from being a compensatory measure after intensive forest harvest (e.g. including tops and branches), the ash may be used to increase the tree growth on peat soils (ash fertilization).

On peat soils, tree growth is generally increased after addition of ash or phosphorous (P) and potassium (K) fertilizers. However, in some cases also nitrogen (N) addition is required. On sparsely stocked mires, fertilization may promote the regeneration as well as increase the growth of the trees. Sufficient drainage and supply of plant-available N are some prerequisites for increasing tree growth by PK-addition.

In 1982, Skogforsk established a field experiment (168 Perstorp) located in the province of Scania in a sparsely stocked *Pinus Sylvestris* (L.) sapling stand on a ditched mire where different nutrient regimes were tested. The experiment had a randomized block design including four blocks and seven treatments. Ash and different doses of P (raw phosphate) and K (potassium chloride), with or without simultaneous N addition, were included as well as an untreated control. The aim of the present study was to evaluate the effects on tree growth and needle elemental concentrations 26 years after treatment.

The addition of similar doses of P (approx. 40 kg P ha⁻¹), as ash (2.5 tonnes ha⁻¹) or as PK-fertilizer rendered similar growth responses. The increase in stem-wood growth was in the order of 1,6 – 1,9 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ during the 26-year period. The N-addition had no additional effect. On the control plots, the growth was more or less negligible (approx. 0,04 m³sk ha⁻¹ yr⁻¹).

On average, the high doses of raw-phosphate and potassium chloride (40 kg P ha⁻¹ and 80 kg K ha⁻¹) gave a higher growth increase than the low doses (20 kg P ha⁻¹ and 40 kg K ha⁻¹), although this effect was not statistically significant. In the low doze plots, the height growth of the main stems (to be left after a cleaning) indicated a shorter effect period.

The increased tree growth on an area basis due to the nutrient addition was an effect of both an increase in the number of trees and an increased growth of these trees.

The needle N concentrations indicated a sufficient N status of the *Pinus sylvestris* trees, which was in line with the lacking response on growth after N fertilization. In addition, the P- and K-concentrations in the needles increased significantly in the treatments with ash or PK, where the growth responses were substantial.

In conclusion, sufficient drainage combined with addition of ash or PK-fertilizer on this type of mires can result in a pole stage *Pinus sylvestris* stand. However, the sustainability of the growth is an open question.

Key words: Needle chemistry, fertilization, potassium chloride, raw phosphate, tree growth.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	MOTIV OCH SYFTE	2
2	MATERIAL OCH METODER	4
2.1	BESKRIVNING AV FÖRSÖKET	4
2.2	GRUNDVATTENNIVÅ.....	7
2.3	TILLVÄXT	7
2.4	BARRKEMI	9
2.5	STATISTISK ANALYS.....	9
3	RESULTAT	11
3.1	GRUNDVATTENNIVÅ.....	11
3.2	TILLVÄXT	12
3.2.1	<i>Arealproduktion</i>	12
3.2.2	<i>Höjd och höjdtillväxt</i>	13
3.3	BARRKEMI	19
4	DISKUSSION	20
4.1	TILLVÄXT	20
4.2	BARRKEMI	23
4.3	SLUTORD.....	23
5	LITTERATURREFERENSER	24

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Idag finns det en tydlig ambition och konkret vilja från skogsbruk och samhälle att väsentligt öka skogsproduktionen i Sverige för att möjliggöra ökad avverkning. I detta ligger ökad intensitet i såväl skogsskötsel som i uttaget av skogsråvara. Olika former av näringstillförsel är åtgärder som kan öka skogsproduktionen. På torvmark finns det möjlighet att öka skogsproduktionen efter tillförsel av aska eller efter gödsling med fosfor (P) och kalium (K), med eller utan samtidig tillförsel av kväve (N).

Ett flertal studier har visat att träd tillväxten som regel ökar efter tillförsel av P och K på torvmark, både i form av handelsgödselmedel [2], [24] och i form av aska [22], [21], [41], [16], [26]. Silfverberg [37] menar att tillväxtökningen blir minst lika stor med aska som PK-medel givet att mängden tillförd P och K är likvärdig. Fosfor är ofta det näringsämne som primärt begränsar tillväxten på torvmark. Vid P-tillskott ökar tillväxten, men en tid efter tillförseln kan P åter bli tillväxtbegränsande, alternativt K [38].

Några förutsättningar för tillväxtökning efter tillförsel av aska eller PK-medel är att torvmarken är tillfredsställande dränerad och att tillgången på växttillgängligt N är tillräcklig [41], [24]. Silfverberg [38] menar att tillväxtökningen beror på dels mängden tillförd näring, dels tillgänglig kvävemängd i torven. På torvmarker med liten tillgänglighet av N kan detta ämne vara tillväxtbegränsande [18], medan på N-rik torvmark ger inte N-tillförsel någon tillväxtökning [40]. Klimatet, i form av temperatursumma, spelar också in. Det finns exempel från södra Finland där tillväxten i tallbestånd på relativt N-fattig torv ökat efter asktillförsel [41]. Förutom att askan innehåller P och K, verkar dess kalkverkan kunna bidra till ökad mineralisering av organiskt bundet N [33].

Mer eller mindre trädlösa myrar kan efter dikning och asktillförsel få ökad plantbildning och ökad planttillväxt så att ett skogsbestånd tillskapas [41][40]. Tillväxten kan öka med en faktor tio efter asktillförsel och tillväxtökningen är vanligtvis mer uthållig jämfört med PK-handelsgödselmedel [42]. En mertillväxt av aska på ca 100 m³ under en period på 30 – 40 år är inte ovanlig [42]. Baserat på finska försöksresultat har internräntan för investeringen i askgödsling på torvmark beräknats till mellan 4 % och 9 % över en period på 44 – 56 år [20].

Silfverberg [38] drar slutsatsen att med ökad askgiva ökar tillväxten och tillväxtens varaktighet i tallbestånd. Slutsatsen gäller för tallbestånd under den första halvan av omloppstiden. Paavilainen och Päivänen [31] rekommenderar en fosforgiva på 40 – 50 kg ha⁻¹ när handelsgödselmedel används. Det motsvarar vanligen 2000 – 5000 kg t.s. biobrännslaska ha⁻¹ beroende på P-halten i askan. En giva på 5000 kg t.s. ha⁻¹ finns föreslagen i Finland vid praktisk askgödsling [38]. Givor under 2000 kg t.s. ha⁻¹ ger vanligtvis obetydliga effekter på tillväxten [38].

Förutom att nyttja aska för ökad skogsproduktion på torvmark (askgödsling) kan den nyttjas som kompensation för uttagen näring vid biobrännslsuttag, bl.a. i form av

hyggesrester (GROT, grenar och toppar). Det finns en ambition att på olika sätt öka uttaget av biomassa för att ytterligare öka andelen förnyelsebar energi. Ökad förbränning av biomassa medför ökad produktion av aska. I Sverige produceras cirka en miljon ton aska årligen, varav omkring 150 000 – 300 000 ton bedömts härröra från aska i huvudsak från skogsbränslen, vilken kan vara möjlig att återföra till skog [7], [11]. Med skogsbränsle avses i detta fall främst avverkningsrester, exv. grenar och toppar (GROT) från skogsavverkning samt spill från massa-, pappers- och träindustri.

Ett ökat uttag av biomassa innebär också ett ökat uttag av näringsämnen från skogen jämfört med ett uttag av endast stamved. För att kompensera för det ökade näringsuttaget är Skogsstyrelsens rekommendation att vedaska bör återförs till skogsmarken efter GROT-uttag [43]. Detta betonas speciellt för skog på torvmark [43]. Motiven är att det finns små mängder av extraerbar P och K i torv [9] och att en stor andel av exempelvis P och K finns i trädsiktet i dessa skogsekosystem. Detta innebär att behovet av kompensation är extra stort vid uttag av GROT på torvmark p.g.a. risken för näringsutarmning och minskad skogsproduktion (se exv. [10]).

Det finns få svenska undersökningar rapporterade där trädens tillväxt har studerats efter asktillförsel på torvmark. I början av 1980-talet anlade Skogforsk ett fältförsök i Skåne där olika gödslingsregimer, bl.a. aska, testades på en dikad torvmark. I denna rapport redovisas resultat på trädutveckling och näringshalter i trädens barr 26 år efter näringsstillförseln.

1.2 Motiv och syfte

Motivet för projektet är att det finns en potential att öka skogsproduktionen på dikade torvmarker efter tillförsel av aska. Ett annat motiv är att kompensationsgödsling troligen är angelägen vid uttag av GROT på torvmark för att på sikt inte sänka skogsproduktionen. Det finns få dokumenterade försöksresultat från Sverige, speciellt från replikerade försök, där mätdata kunnat bearbetats statistiskt.

Syftet med projektet var att revidera Skogforsks fältförsök 168 Perstorp och utvärdera effekterna av de olika gödslingsregimerna på trädutveckling och trädens näringsstatus i form av näringshalter i barren. De testade gödslingsregimerna var tillförsel av aska samt olika kombinationer av PK-tillförsel, med eller utan samtidig tillförsel av N.

Följande hypoteser testades avseende effekter på trädutvecklingen:

- (i) tillförsel av aska (ca 40 kg P ha⁻¹ och ca 140 kg K ha⁻¹) ger samma tillväxteffekt som gödsling med råfosfat och kaliumklorid (40 kg P ha⁻¹ och 80 kg K ha⁻¹). Detta gäller även vid samtidig N-tillförsel (100 kg N ha⁻¹),
- (ii) tillförsel av en hög dos P och K (40 kg P ha⁻¹ och 80 kg K ha⁻¹) ger en större tillväxteffekt än en låg PK-giva (20 kg P ha⁻¹ och 40 kg K ha⁻¹) vid samtidig tillförsel av N (100 kg N ha⁻¹),
- (iii) tillförsel av N ger en mereffekt utöver effekten av aska och PK.

För att bedöma behandlingarnas varaktighet rekonstruerades trädens höjdtutveckling, d.v.s. den årliga höjdtillväxten mättes bakåt i tiden. Dessutom gjordes en

barrprovtagning för att se om halterna av olika ämnen i barren skiljde sig mellan de olika behandlingarna.

2 Material och metoder

2.1 Beskrivning av försöket

Försöket 168 Perstorp ligger ca 1 mil NV Perstorp i norra Skåne (56°12'N, 13°17'O, 90 m.ö.h.). Det ligger på en torvmark (> 1 m djup) som dikades 1981 (Figur 1). Humifieringsgraden på 2 – 3 dm djup var H5 enligt von Post. Hösten 1983 provtogs torven på kontrollytorna i försöket och pH samt några näringshalter bestämdes (Tabell 1). Markvegetationstypen klassades som en Rosling-tranbär-typ [15], innehållande typerna tuvull, kråkris, rosling, tranbär och ljung. Trädskiktet var en tallungskog med inslag av björkplantor (Figur 1).



Figur 1. Torvmarken innan anläggningen av försök 168 Perstorp.

Figure 1. The peatland before the establishment of experiment 168 Perstorp.

Månadsmedeltemperaturen i området där försöket ligger är -1,2 °C i januari och 16,0 °C i juli enligt SMHIs station 6305 Ljungbyhed [1]. Årsmedeltemperaturen är 7,2 °C och årliga medelnederbörden 795 mm. Stationen ligger ca 12 km från försöksområdet.

Försöksdesignen var ett randomiserat blockförsök med fyra block (n = 4) och sju behandlingar, obehandlad kontroll och sex olika näringsregimer (Tabell 2, Figur 2).

Provyornas storlek var $25 \times 25 \text{ m}^2$ (bruttoyta). Vid blockningen togs hänsyn till antal planter, plantornas medelhöjd och ståndortsförhållanden på provytorna. Försöket behandlades (gödslades) den 29 juni 1982.

I medeltal för alla 24 provytor vid försöksanläggningen var antalet planter ($\geq 0,5 \text{ m}$) motsvarande 1330 barrplanter ha^{-1} och 500 björkplanter ha^{-1} . Barrplantorna var nästan uteslutande tallar och någon enstaka gran. Medelhöjden för dessa barrplanter var 1,3 m och för björkplantorna 1,2 m (medeltal av enskilda ytors medeltal, $n = 24$). När samtliga planter medräknades, d.v.s. även planter $< 0,5 \text{ m}$, var medeltalet 2960 planter ha^{-1} .

Tabell 1. Några kemiska data för torven (lufttorkade prover) på kontrollytorna i försök 168 Perstorp. Provtagningen gjordes 1983-08-22. Analyserna utfördes av Statens Lantbrukskemiska laboratorium i Uppsala.

Table 1. Some chemical properties of the peat (air-dried samples) on the control plots at the experimental site 168 Perstorp. The sampling was done on 22 August 1983. The analyses were performed by Statens Lantbrukskemiska laboratory in Uppsala.

Block	pH	Total-N %	P-AL $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$	P-HCL $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$	K-AL $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$	K-HCL $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$	Askhalt (%)
1	3,6	1,20	4,2	21	15,8	55	3,4
2	3,6	1,30	4,7	21	17,9	35	4,0
3	3,5	1,24	4,0	19	22,0	40	3,8
4	3,4	1,14	4,2	19	17,8	35	3,0
Medeltal	3,5	1,22	4,3	20	18,4	41	3,6

Tabell 2. Behandlingarna i försök 168 Perstorp.

Table 2. Treatments at the experimental site 168 Perstorp.

Försöksled	Behandling (kg ha^{-1})	Beteckning
1	Kontroll (obehandlad)	Kontroll
2	2500 aska ^a	Aska
3	2500 aska ^a + 100 N ^b	Aska+100N
4	40 P ^c + 80 K ^d	40P80K
5	40 P ^c + 80 K ^d + 0,6 B + 100 N ^e	40P80K+100N
6	20 P ^c + 40 K ^d + 0,6 B + 100 N ^e	20P40K+100N
7 ^f	2 × (20 P ^c + 40 K ^d + 0,6 B + 100 N ^e)	2×(20P40K+100N)

^a För askans innehåll se tabell 3.

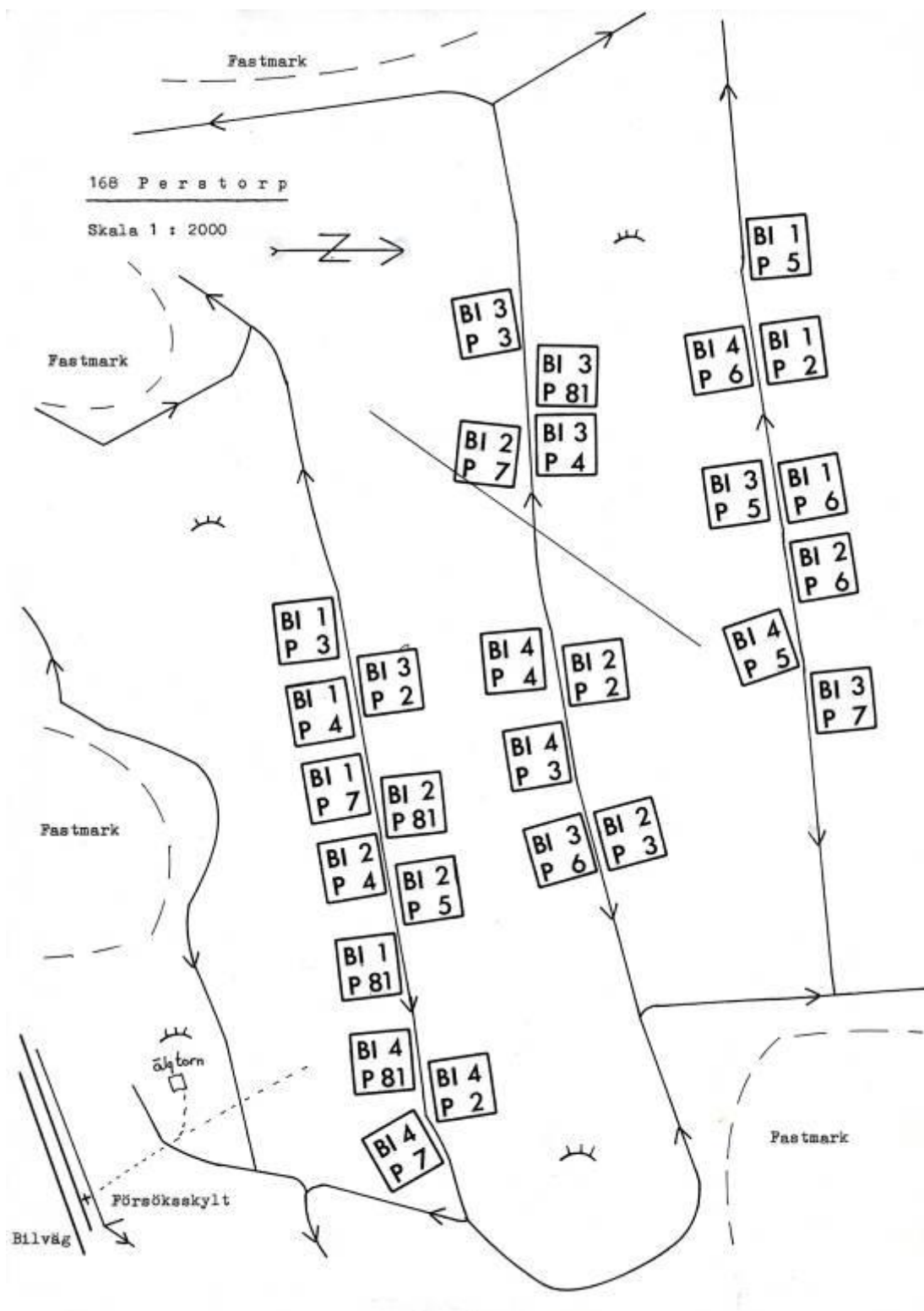
^b Skog AN (34,5 % N).

^c Råfosfat (ca 14 % P).

^d Kaliumklorid (49,8 % K).

^e Skog AN med bor (34,5 % N och 0,2 % B).

^f Omgödsling efter fem år.



Figur 2. Försökssytorna i Skogforsks försök 168 Perstorp.

Figure 2. The experimental plots within Skogforsks experiment 168 Perstorp.

Den nyttjade askan var troligen en vedaska som kom från en slags rosterpanna (förugn till en ångpanna) vid Perstorp AB:s fabrik i Perstorp. De bränslen som eldades där var flis, grot och returträ. Antagligen spreds askan som en lösaska utan någon förbehandling. Halterna av några ingående ämnen i den tillförda askan redovisas i tabell 3. Där framgår att halterna av P, K, Ca och Mg ligger väl över Skogsstyrelsens rekommenderade minimihalter för aska som ska återföras till skog [43]. Kadmium (Cd) låg något över rekommenderad maximal koncentration, men under takvärdet för total tillförsel. Koppar (Cu) låg något över maximala koncentrationen och takvärdet, medan Zink (Zn) låg under båda dessa rekommenderade värden.

Den mängd fosfor som tillfördes med askan, 42 kg ha⁻¹ (Tabell 3), motsvarar den höga fosforgivan (40 kg ha⁻¹) i försöksled 4 och 5 samt försöksled 7 efter omgödslingen (Tabell 2).

Tabell 3. Halter av några ämnen i den aska som tillfördes i försök 168 Perstorp. Analyserna utfördes av Statens Lantbrukskemiska laboratorium i Uppsala.

Table 3. Some elemental concentrations in the ash applied at the experimental site 168 Perstorp. The analyses were performed by Statens Lantbrukskemiska laboratorium i Uppsala.

Ämne	Halt i askan	Rekommenderade riktvärden enl. SKS ¹	Tillförd mängd i försöket (askgiva 2 500 kg/ha)	Rekommenderade "takvärden" för tall i S Sverige enl. SKS ¹ .
P	17 g/kg	> 10 g/kg	42,5 kg/ha	-
K	58 g/kg	> 30 g/kg	145 kg/ha	-
Ca	220 g/kg	> 125 g/kg	550 kg/ha	-
Mg	21 g/kg	> 20 g/kg	52,5 kg/ha	-
Cd	37 mg/kg	< 30 mg/kg	92,5 g/ha	100 g/ha
Cu	450 mg/kg	< 400 mg/kg	1125 g/ha	800 g/ha
Zn	3460 mg/kg	1000–7000 mg/kg	8650 g/ha	10000 g/ha
B	344 mg/kg	< 500 mg/kg	860 g/ha	-

¹ Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling [43].

2.2 Grundvattennivå

I mitten av juni 1987 installerades ett grundvattentrör i centrum av alla provytor. Grundvattennivån mättes ca varannan vecka under perioden april/maj till oktober under de kommande fyra och ett halvt åren (1987 – 1991).

2.3 Tillväxt

Vid en tidigare revision av försöket, i oktober 1987, var instruktionen att utse huvudstammar på provytorna med ca två meters förband inom en radie på 7,5 m (44 plantor/yta; ca 2500 plantor/ha). Med huvudstammar avsågs de stammar som ska vara kvar efter en röjning. Huvudstammarna skulle höjdmätas och planen var att rekonstruera höjdtvecklingen, d.v.s. mäta den årliga höjdtillväxten (*HT*; cm) bakåt i tiden till

tidpunkten för behandling (1982). Det faktiska resultatet blev 18 – 38 tallplantor/yta (motsvarande 1020 – 2150 plantor/ha). I fält visade det sig att det endast var möjligt att mäta totala höjden och de senaste fyra årens höjdtillväxt på plantorna på de behandlade ytorna. Höjdtillväxten på kontrollytorna gick inte alls att mäta p.g.a. mycket korta och otydliga internoder. Vid inventeringen 1987 registrerades även om älgbetning förekommit på de utvalda huvudplantorna.

Vid revisionen i juli 2007 bestämdes totala antalet träd inom en yta med radien 6,0 m inom varje bruttoyta. För barrträd (tall och gran) sattes en diametergräns på 10 mm och för björk på 20 mm. Dessutom utsågs huvudstammar inom en yta med radien 7,5 m. Målsättningen var att hitta 32 – 34 huvudstammar per yta (ca 1800 – 1920 stammar ha⁻¹). Det faktiska resultatet blev 17 – 35 stycken. Alla huvudstammar numrerades permanent vid revisionen och brösthöjden (1,3 m ovan marken) markerades på träden. Diametern 26 år efter behandling (D_{26} ; mm) registrerades för alla träd genom korsklavning i brösthöjd. Höjden (H_{26} ; dm) mättes på samtliga huvudstammar och skattades okulärt på resterande träd.



Figur 3. Vid inventeringen 2007 rekonstruerades huvudstammarnas årliga höjdtillväxt 14 år bakåt i tiden.

Figure 3. The annual height growth of the main stems during the last 14 years were measured at the inventory in 2007.

Dessutom rekonstruerades höjdtillväxten på ett urval av huvudstammarna, d.v.s. den årliga höjdtillväxten (HT ; cm) mättes bakåt i tiden (14 år som mest). Antalet huvudstammar per provyta som höjdrekonstruerades varierade mellan 4 och 11 stycken. Målsättningen var 8 – 10 träd. Syftet med höjdrekonstruktionen var att belysa trender i den årliga höjdtillväxten, som ett underlag för att bedöma behandlingarnas varaktighet. Stamvolymen inkl. bark för träd med en diameter ≤ 50 mm uppskattades med empiriska kuberingsfunktioner framtagna av [3] och för träd med diametern > 50 mm enligt [28]. Även mängden biomassa uppskattades med empiriska funktioner enligt [27] (diameter ≤ 50 mm) och [23] (diametern > 50 mm). Höjdrekonstruktionen var inte möjlig att göra på kontrolltyterna p.g.a. den mycket långsamma årliga höjdtillväxten på dessa träd.

För att uppskatta grundytan ($GY0$), stamvolymen ($VOL0$) och mängden biomassa ($BIOM0$) vid försöksanläggningen nyttjades höjddata på kontrolltyterna från inventeringarna 1987 och 2007. Höjden vid anläggningen ($H0$) skattades som $H0 = H6 - 6 \times [(H26 - H6) / 20]$. I denna beräkning ingick höjderna på alla huvudstammar högre än 1,3 m. Motivet för detta urval var en bedömning att det var ungefär samma plantor som hade mätts vid båda tillfällena. Sedan nyttjades relationen mellan grundyta, stamvolym respektive biomassa och höjd för att kvotskatta anläggningsdata. Exempelvis grundytan vid anläggning ($GY0$) uppskattades som $GY0 = (GY26 / H26) \times H0$. Detta gjordes blockvis. Dessa skattade anläggningsvärden på kontrolltyterna subtraherades från samtliga uppskattade värden på provytorna vid den senaste revisionen (2007). Därmed erhöles en uppskattning av förändringen under den 26-åriga försöksperioden i form av grundytetillväxt (GT), volymtillväxt (VT) och tillväxt av biomassa (BT).

2.4 Barrkemi

Prover av årsbarr (C0) och fjolårsbarr (C+1) togs i januari 2007. Barren samlades in från åtta träd per provyta. Dessa träd stod inom bruttoytan strax utanför gränsen på vardera sida om nettoytan (radie = 7,5 m). Kvistar från sydsidan på den övre tredjedelen av kronan sköts ner med hagelgevär. Barren från provträden på en provyta slogs samman till ett generalprov per barrårgång representerande provytan. Generalproven torkades i torkskåp i 70 °C, maldes och blandades väl före kemisk analys. Kväve bestämdes med elementaranalysator (NA 1500, PerkinElmer, Norwalk, Connecticut, USA) efter torrförbränning. Övriga ämnen (P, K, Ca, Mg, Mn, S, Na, Fe, Zn, Al, B, Cu) analyserades med ICP/AES (PerkinElmer, Norwalk, Connecticut, USA) efter våtuppslutning med salpetersyra och väteperoxid ($HNO_3 + H_2O_2$; volymrelation 10:1). De kemiska analyserna utfördes av Institutionen för Ekologi, SLU, Uppsala.

2.5 Statistisk analys

Effekter av behandlingarna på grundvattennivå (vid varje registrering), stamantal, grundyte-, volym- och biomassatillväxt under 26 år, de årliga höjderna och den årliga höjdtillväxten samt näringshalter i barr (C0 och C+1) och andel älgbetade huvudplantor (1987) testades statistiskt med tvåvägs variansanalys (procedur GLM; [34]). Följande modell nyttjades:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

där: μ = ”overall mean”; α_i = fix effekt av behandling, $i = 1, \dots, 7$ alt. $1, \dots, 5$; b_j = slumpmässig effekt av block, $\text{IND}(0, \sigma_b^2)$, $j = 1, \dots, 4$; e_{ij} = slumpmässigt fel, $\text{IND}(0, \sigma_e^2)$. Om en statistiskt signifikant effekt av behandling påvisades ($p_{\text{behandling}} < 0,05$) testades även skillnader mellan medeltalen för de olika blocken och behandlingarna med Tukey’s test för multipla jämförelser. För stamantal och de arealbaserade tillväxtmått (GT, VT och BT) testades även några kovariater i modellen. Det var antal barrplantor ($\geq 0,5$ m) på provytorna innan behandling och deras medelhöjd samt totala antalet plantor. Deras bidrag i den statistiska modellen var i de flesta fall svagt ($p = 0,11 - 0,79$). Undantagen var modellerna för stamantal där totala antalet plantor innan behandling var en stark kovariat ($p = 0,0003$ och $0,038$) och inkluderades därför i de två modellerna.



Figur 4. I försöket 168 Perstorp testades bl.a. $2\,500 \text{ kg aska ha}^{-1}$. Resultatet efter 26 år framgår av bilden till höger (block 3, behandling 2). I förgrunden ses delar av den ursprungliga obehandlade myren.

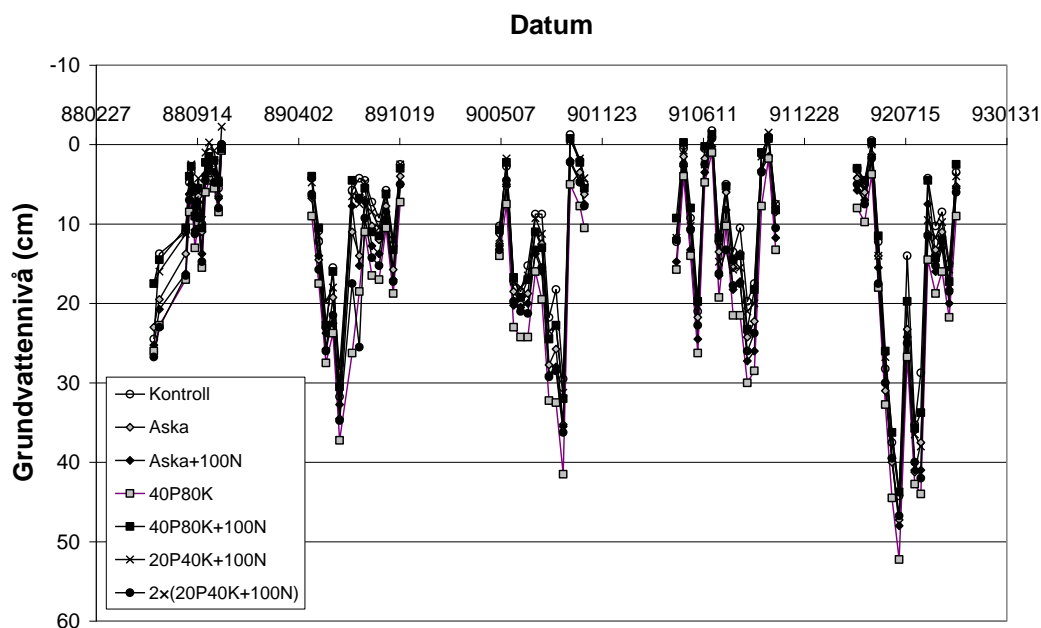
Figure 4. The result after 26 years following a doze of $2\,500 \text{ kg of ash ha}^{-1}$ in the experiment 168 Perstorp as seen in the picture to the right (block 3, treatment 2). Parts of the original untreated mire are seen in the foreground.

3 Resultat

3.1 Grundvattennivå

Grundvattennivån var periodvis vid markytan och stod som lägst på åtminstone ca 30 cm djup under de fyra mest heltäckande årsvisa (1989 – 1992) mätperioderna. Mätperioderna varade från månadskiftet april/maj t.o.m. oktober (Figur 5).

Vid ett mättillfälle (1989-07-17) var nivån i medeltal signifikant ($p < 0,05$) lägre på de ytor som fått den högsta PK-givan ("40P80K") än på kontrollytorna samt behandlingarna "40P80K+100N" och "20P40K" (Tabell 4). Skillnaden i samtliga fall var ca 20 cm. Vid fyra mättillfällen fanns tendens ($0,05 \leq p \leq 0,10$) till lägre grundvattennivå (8 – 15 cm) i "40P80K" än i kontrollen. Vid ett tillfälle tenderade nivån att vara 22 cm lägre i den omgödslade behandlingen ["2×(20P40K+100N)"] än i kontrollen (Tabell 4).



Figur 5. Grundvattennivå i försök 168 Perstorp under åren 1988 – 1992. Medeltal för respektive behandling ($n = 4$).

Figure 5. Groundwater levels at the experimental site 168 Perstorp during the years 1988 – 1992. Means for the different treatments ($n = 4$).

Tabell 4. Grundvattennivåer i försök 168 Perstorp. Redovisning av de tidpunkter då det fanns en statistiskt signifikant ($p_{\text{behandling}} < 0,05$) eller tendens ($0,05 \leq p_{\text{behandling}} \leq 0,10$) till behandlingseffekt. Medeltal för respektive behandling ($n = 4$). Värden med olika bokstäver visar statistiskt signifikant skilda värden. Behandlingarna framgår av tabell 2.

Table 4. Groundwater levels at the experimental site 168 Perstorp. The occasions are given when there were statistically significant ($p_{\text{treatment}} < 0.05$) or tendencies ($0.05 \leq p_{\text{treatment}} \leq 0.10$) to treatment effects. Means for the different treatments ($n = 4$). Values followed by different letters differ statistically significantly from each others. The treatments are explained in table 2.

Datum	Medeltal							ANOVA	
	Kontroll	Aska	Aska +100N	40P80K	40P80K +100N	20P40K +100N	2×(20P40K +100N)	Medelfel	p-värde, behandling
880701	14 a	20 a	21 a	23 a	14 a	16 a	23 a	2,3	0,042
890609	16 a	19 a	22 a	24 a	16 a	18 a	22 a	2,0	0,058
890717	5,8 b	11 ab	7,8 ab	26 a	4,5 b	6,5 b	18 ab	4,0	0,020
890731	4,2 a	14 a	15 a	18 a	6,8 a	7,5 a	26 a	4,5	0,077
890825	7,2 a	10 a	13 a	16 a	11 a	8,5 a	14 a	2,1	0,098
900824	18 a	26 a	28 a	32 a	23 a	23 a	28 a	2,7	0,052
920814	29 a	38 a	41 a	44 a	34 a	38 a	42 a	3,3	0,058

3.2 Tillväxt

3.2.1 Arealproduktion

Kontrollytornas årliga tillväxt var mycket låg under den studerade perioden på 26 år (Tabell 5). Tillväxten (GT26, VT26 och BT26) på de ytor som fått näring var i storleksordningen 20 – 40 gånger högre än på kontrollytorna. Den totala grundytetillväxten (alla stammar inräknade) var i intervallet $0,27 - 0,43 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ och volymtillväxten av stamved $0,9 - 1,9 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. I de olika näringsregimerna var tillväxten på huvudstammarna i medeltal 80 – 85 % av den totala tillväxten (Tabell 5).

Alla behandlingar utom den med låg PK-giva ("20P40K+100N") var statistiskt signifikant skiljd från kontrollen avseende de olika måtten på årlig tillväxt (GT26, VT26 och BT26) (Tabell 5). Det gällde både när endast huvudstammarna och när alla träd på ytorna ingick i analysen. Undantaget var grundytetillväxten när samtliga träd ingick, då alla behandlingar var skiljda från kontrollen. Det fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan de olika testade näringsregimerna (Tabell 5).

Det totala stamantalet var statistiskt signifikant högre (91 – 95 %) i de båda behandlingarna med aska och den låga PK-givan ("20P40K+100N"). I de övriga näringsregimerna var medeltalen 27 – 62 % högre än kontrollen (Tabell 5). Antalet

huvudstammar (högre än 1,3 m) var ungefär dubbelt så högt på de ytor som fått näring än på kontrollen (Tabell 5).

Tabell 5. Stamantal ha^{-1} (STHA) samt årlig grundytetillväxt (GT; $m^2 ha^{-1} år^{-1}$), volymtillväxt (VT; $m^3 ha^{-1} år^{-1}$) och tillväxt av biomassa (BT; $kg t.s. ha^{-1} år^{-1}$) under 26 år i försök 168 Perstorp. Medeltal ($n = 4$). Värden med olika bokstäver visar signifikant skilda värden ($p < 0,05$). Behandlingarna framgår av tabell 2.

Table 5. Number of stems ha^{-1} (STHA), as well as annual basal area increment (GT; $m^2 ha^{-1} yr^{-1}$), volume increment (VT; $m^3 ha^{-1} yr^{-1}$) and increase in biomass (BT; $kg d.w. ha^{-1} yr^{-1}$) in experiment 168 Perstorp during 26 years. Mean values ($n = 4$). Values followed by different letters differ significantly ($p < 0.05$) from each others. The treatments are explained in table 2.

Tillväxt	Medeltal							ANOVA	
	Kontroll	Aska	Aska +100N	40P80K	40P80K +100N	20P40K +100N	2×(20P40K +100N)	Medelfel	p-värde, behandling
Alla stammar									
STHA ¹	1830 b	3510 a	3560 a	2970 ab	2580 b	3490 a	2330 b	250–290 ¹	0,0008
GT	0,012 b	0,38 a	0,39 a	0,43 a	0,35 a	0,27 a	0,42 a	0,054	0,0017
VT	0,039 b	1,6 a	1,5 a	1,9 a	1,4 a	0,90 ab	1,8 a	0,26	0,0030
BT	31 b	1080 a	1000 a	1190 a	900 a	650 ab	1200 a	150	0,0017
Huvudstammar (> 1.3 m)									
STHA ¹	790 b	1830 a	1920 a	1760 a	1600 a	1720 a	1430 a	120–130 ¹	0,0003
GT	0,012 b	0,34 a	0,30 a	0,37 a	0,29 a	0,20 ab	0,32 a	0,049	0,0034
VT	0,039 b	1,5 a	1,2 a	1,7 a	1,2 a	0,68 ab	1,4 a	0,22	0,0023
BT	31 b	970 a	790 a	1050 a	740 a	490 ab	910 a	140	0,0020

¹ Least-square means, totala plantantalet innan behandling ingick som kovariat i den statistiska modellen, vilket ger olika skattningar av medelfelet i de olika behandlingarna.

3.2.2 Höjd och höjdtillväxt

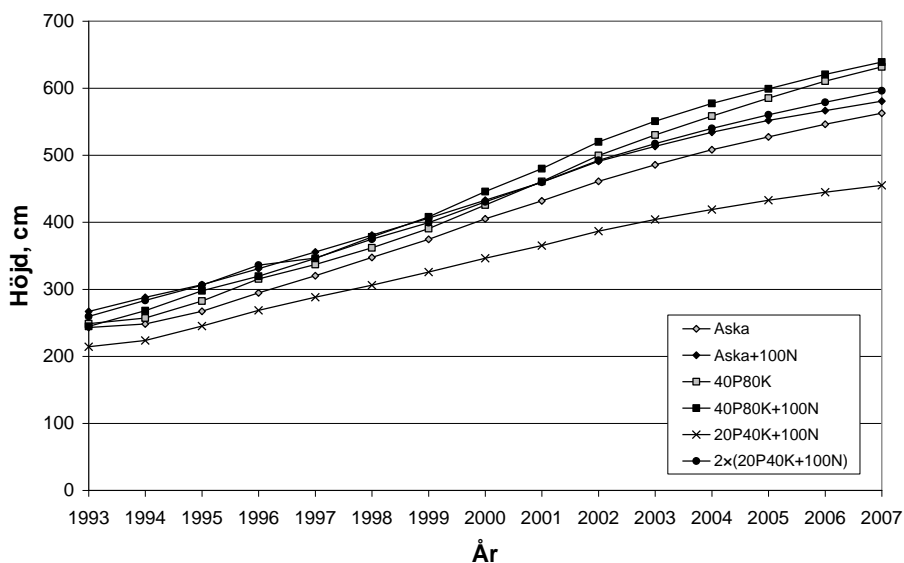
För den totala höjden påvisades statistiskt signifikanta skillnader mellan de olika näringsregimerna för åren 2006 och 2007. Då var träden signifikant högre (ca 40 %) i de båda behandlingarna med de höga engångsgivorna av P och K ("40P80K" och "40P80K+100N") än i behandlingen med den låga PK-givan med N ("20P40K+100N") (Tabell 6, Figur 6). Det var tendenser ($p = 0,055 - 0,068$) till liknade skillnader för samma behandlingar för åren 2004 och 2005. För år 2003 fanns också en tendens ($p = 0,088$) till högre medelhöjd i "40P80K+100" än i "20P40K+100N" (Tabell 6).

Enligt data från inventeringen 1987 var den genomsnittliga årliga höjdtillväxten 10 – 24 cm i de behandlingar där näring tillförts. Det var endast ett år (1987) som höjdtillväxten var signifikant ($p < 0,05$) skiljd mellan olika behandlingar. Då var den sex cm större i behandlingen med den höga PK-givan ("40P80K") än i den låga ("20P40K") (Tabell 6).

Under de senaste 14 åren varierade den årliga höjdtillväxten på huvudstammarna mellan 10 och 40 cm i medeltal för de olika behandlingarna, kontrolytorna undantagna (Figur 7, Tabell 6). I behandlingen med de högsta engångsgivorna av P och K ("40P80K") var

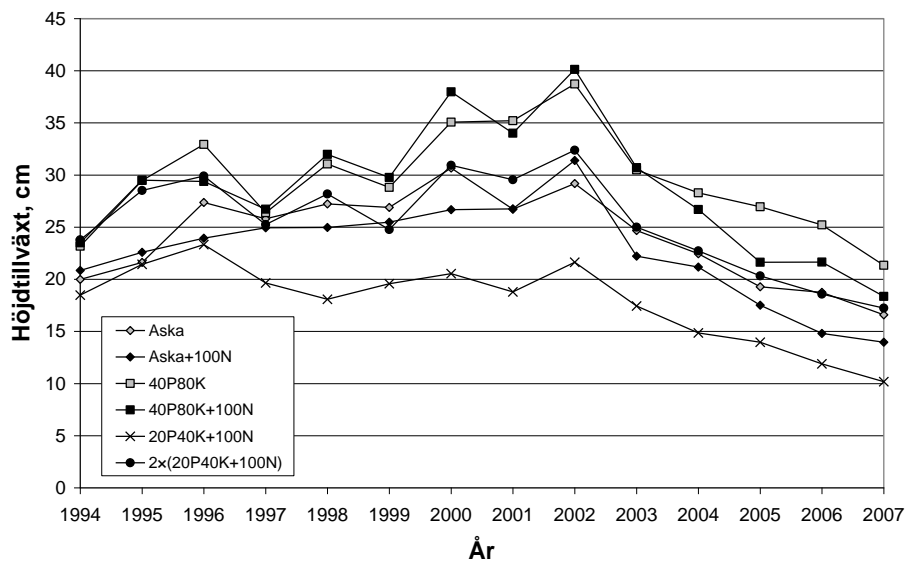
höjdtillväxten större än i behandlingen med de låga P- och K-givorna ("20P40K+100N"). Skillnaderna var statistiskt signifikanta ($p < 0,05$) eller tenderade ($p = 0,053 - 0,085$) till att vara högre under åren 1998 – 2007 (1999 undantaget). Även behandling "40P80K+100N" gav liknande skillnader, med undantag för några av de sista åren (2005 och 2007) då skillnaderna inte var statistiskt säkerställda. En annan signifikant skillnad var en högre tillväxt år 2006 i behandling "40P80K" jämfört med "Aska+100N" (Tabell 6).

Vid inventeringen 1987 registrerades älgbetning på de huvudplantor som valdes ut. På kontrolllytorna fanns inga betade plantor (0 %). I behandlingen med enbart aska var i medeltal 11 % av plantorna betade, "Aska+100N" (13%), "40P80K" (14 %), "40P80K+100N" (16 %), "20P40K+100N" (13 %), "2×(20P40K+100N)" (14 %). Ingen signifikant skillnad mellan behandlingarna kunde påvisas ($p_{\text{behandling}} = 0,51$).



Figur 6. Årlig medelhöjd ($n = 4$) i de olika behandlingarna (förutom obehandlad kontroll; ej mätbara årliga toppskott p.g.a. mycket liten höjdtillväxt) i försök 168 Perstorp under de senaste 14 åren. Resultaten från den statistiska analysen redovisas i tabell 6. År 2007 var tallarnas medelhöjd på kontrollytorna 166 cm.

Figure 6. Annual mean height ($n = 4$) in the different treatments (except for untreated control; not possible to measure due to insignificant height growth) in experiment 168 Perstorp. Data during the last 14 years. The results from the statistical analysis are presented in table 6. In 2007, the mean height of the Scots pines on the control plots was 166 cm.



Figur 7. Årlig höjdtillväxt i medeltal ($n = 4$) i de olika behandlingarna (förutom obehandlad kontroll; se förklaring i figur 6) i försök 168 Perstorp under de senaste 14 åren. Resultaten från den statistiska analysen redovisas i tabell 6.

Figure 7. Annual mean height growth ($n = 4$) for the different treatments (except for untreated control; see the explanation in figure 6) in experiment 168 Perstorp during the last 14 years. The results from the statistical analysis are presented in table 6.



Figur 8. En yta i block 3 som behandlats med aska för 26 år sedan i försök 168 Perstorp. Plantbeståndets ungefärliga utseende innan askning framgår av figur 1.

Figure 8. A plot (block 3) in experiment 168 Perstorp treated with ash 26 years ago. The sapling stand before treatment was similar as the one shown in figure 1.

Tabell 6. Årlig höjdtillväxt (cm) och höjd (cm) hos tall i försök 168 Perstorp. Medeltal ($n = 4$).
Värden inom raderna med olika bokstäver var signifikant skilda ($p < 0,05$).
Behandlingarna framgår av tabell 2.

Table 6. Annual height growth (cm) and total height (cm) of Scots pine trees in experiment 168 Perstorp. Mean values ($n = 4$). Values followed by different letters rows by rows differ significantly ($p < 0.05$) from each others. The treatments are explained in table 2.

År	Medeltal							ANOVA	
	Kontroll	Aska	Aska +100N	40P80K	40P80K +100N	20P40K +100N	2×(20P40K +100N)	Medelfel	p-värde, behandling
Höjdtillväxt, cm									
1984	-	14 a	12 a	13 a	10 a	11 a	12 a	1,3	0,45
1985	-	19 a	19 a	18 a	16 a	16 a	17 a	1,5	0,58
1986	-	19 a	20 a	20 a	17 a	16 a	18 a	1,4	0,20
1987	-	22 ab	23 ab	24 a	19 ab	18 b	22 ab	1,2	0,030
1994	-	20 a	21 a	23 a	23 a	18 a	24 a	1,9	0,54
1995	-	22 a	23 a	29 a	30 a	21 a	29 a	2,1	0,031
1996	-	27 a	24 a	33 a	29 a	23 a	30 a	2,6	0,27
1997	-	26 a	25 a	26 a	27 a	20 a	25 a	2,5	0,47
1998	-	27 a	25 a	31 a	32 a	18 a	28 a	2,6	0,072
1999	-	27 a	25 a	29 a	30 a	20 a	25 a	2,5	0,25
2000	-	31 ab	27 ab	35 a	38 a	21 b	31 ab	2,7	0,019
2001	-	27 ab	27 ab	35 a	34 a	19 b	30 ab	3,0	0,037
2002	-	29 a	31 a	39 a	40 a	22 a	32 a	3,4	0,053
2003	-	25 ab	22 ab	30 a	31 a	17 b	25 ab	2,0	0,0071
2004	-	22 ab	21 ab	28 a	27 a	15 b	23 a	1,7	0,0014
2005	-	19 bc	18 bc	27 a	22 ab	14 c	20 abc	1,6	0,037
2006	-	19 abc	15 bc	25 a	22 ab	12 c	19 abc	1,8	0,047
2007	-	17 a	14 a	21 a	18 a	10 a	17 a	2,1	0,085
Höjd, cm									
1983	-	97 a	81 ab	71 ab	49 b	67 ab	70 ab	8,2	0,021
1984	-	110 a	92 ab	84 ab	59 b	78 ab	81 ab	9,1	0,027
1985	-	129 a	111 ab	102 ab	75 b	94 ab	98 ab	10	0,033
1986	-	148 a	131 ab	122 ab	91 b	110 ab	117 ab	11	0,043
1987	164 ab	170 a	154 ab	146 ab	110 b	128 ab	139 ab	12	0,035
1993	-	243 a	267 a	249 a	245 a	214 a	260 a	20	0,70
1994	-	248 a	288 a	257 a	268 a	224 a	283 a	20	0,35
1995	-	267 a	307 a	282 a	298 a	245 a	306 a	21	0,36
1996	-	295 a	331 a	315 a	319 a	268 a	336 a	21	0,35
1997	-	320 a	356 a	337 a	346 a	288 a	346 a	22	0,43
1998	-	348 a	381 a	362 a	378 a	306 a	375 a	22	0,32
1999	-	374 a	406 a	391 a	408 a	326 a	399 a	23	0,26
2000	-	405 a	433 a	426 a	446 a	346 a	430 a	24	0,20
2001	-	432 a	460 a	461 a	480 a	365 a	460 a	26	0,15
2002	-	461 a	491 a	500 a	520 a	387 a	492 a	28	0,12
2003	-	486 a	513 a	530 a	551 a	404 a	517 a	29	0,088
2004	-	508 a	534 a	558 a	577 a	419 a	540 a	30	0,068
2005	-	527 a	552 a	585 a	599 a	433 a	560 a	30	0,055
2006	-	546 ab	567 ab	611 a	621 a	445 b	579 ab	31	0,043
2007	166 c	563 ab	581 ab	632 a	639 a	455 b	596 ab	30	< 0,001

Tabell 7. Halter av olika ämnen i årsbarr (C0) och fjolårsbarr (C+1) hos tall i försök 168 Perstorp insamlade i januari 2007. Medeltal (n = 4). Värden radvis i fet stil följt av en asterisk visar statistiskt signifikant skilda värden ($p < 0,05$) från obehandlad kontroll. Behandlingarna framgår av tabell 2.

Table 7. Elemental concentrations in current (C0) and one-year old Scots pine needles (C+1) in experiment 168 Perstorp sampled in January 2007. Means (n = 4). Bold values with an asterisk rows by rows is statistically significantly ($p < 0.05$) different from the control. The treatments are explained in table 2.

Ämne	Medeltal					ANOVA	
	Kontroll	Aska	Aska +100N	40P80K	40P80K +100N	Medelfel	p-värde, behandling
Årsbarr							
N (mg g ⁻¹)	17	14*	14*	13*	13*	0,47	0,0006
P (mg g ⁻¹)	0,78	0,91*	0,87*	0,97*	0,97*	0,020	<0,0001
K (mg g ⁻¹)	3,5	4,4*	4,1	4,6*	4,2*	0,14	0,0021
Ca (mg g ⁻¹)	1,2	1,4	1,2	1,2	1,1	0,069	0,23
Mg (mg g ⁻¹)	0,92	0,96	0,92	1,14*	1,09	0,038	0,0040
Mn (mg g ⁻¹)	0,25	0,46*	0,42*	0,18	0,17	0,017	<0,0001
S (mg g ⁻¹)	0,87	0,86	0,85	0,82	0,82	0,024	0,58
Na (µg g ⁻¹)	480	300*	290*	320*	210*	24	<0,0001
Fe (µg g ⁻¹)	44	40	42	41	40	1,6	0,80
Zn (µg g ⁻¹)	52	53	50	53	48	1,6	0,12
Al (µg g ⁻¹)	74	91	87	96	108*	5,0	0,0075
B (µg g ⁻¹)	14	15	14	16	15	0,59	0,15
Cu (µg g ⁻¹)	2,8	3,2	3,1	3,2	3,2	0,098	0,16
Fjolårsbarr							
N (mg g ⁻¹)	18	14*	14*	13*	13*	0,76	0,0044
P (mg g ⁻¹)	0,67	0,78*	0,72	0,86*	0,84*	0,020	0,0001
K (mg g ⁻¹)	2,9	3,4	3,3	3,7*	3,5	0,16	0,033
Ca (mg g ⁻¹)	1,6	2,1	1,8	1,9	1,6	0,16	0,44
Mg (mg g ⁻¹)	0,77	0,78	0,82	1,06*	0,92	0,048	0,0049
Mn (mg g ⁻¹)	0,26	0,61*	0,60*	0,24	0,22	0,029	<0,0001
S (mg g ⁻¹)	0,84	0,88	0,86	0,85	0,84	0,026	0,88
Na (µg g ⁻¹)	790	520*	470*	470*	490*	57	0,0088
Fe (µg g ⁻¹)	66	60	61	61	59	2,6	0,52
Zn (µg g ⁻¹)	62	55	51*	62	50*	2,1	0,0042
Al (µg g ⁻¹)	69	85	83	93*	96*	4,5	0,0080
B (µg g ⁻¹)	15	15	14	14	15	0,96	0,99
Cu (µg g ⁻¹)	2,4	2,8	2,6	2,7	2,7	0,11	0,33

3.3 Barrkemi

Knappt tjugosex år efter behandlingarna fanns det statistiskt signifikanta ($p < 0,05$) effekter för halterna av N, P, K, Mg, Mn, Na, Zn och Al i tallbarren jämfört med obehandlad kontroll (Tabell 7). De konstaterade skillnaderna gällde för både års- och fjolårsbarr, förutom för Zn. Den förändringen var påvisbar endast i fjolårsbarren.

Barren i samtliga provtagna behandlingar hade 20 – 30 % lägre N-halter än i kontrollytorna (Tabell 7). Även halterna natrium (Na) visade på minskningar, i storleksordningen 30 – 60 %.

För P var halterna i barren 10 – 25 % högre på de behandlade ytorna än i kontrollen, med undantag för P-halten i fjolårsbarr i behandlingen "Aska+100N" (Tabell 7). De båda PK-behandlingarna hade även påvisbart högre P-halter än "Aska+100N" både i års- och fjolårsbarr.

Kaliumhalterna i årsbarr var signifikant högre än kontrollen (+ 20 – 30 %) i alla näringsregimer utom en ("Aska+100N"), där halten tenderade att vara högre (+ 17 %; $p = 0,06$) (Tabell 7). I fjolårsbarren var det endast i försöksleden där P och K tillförts som handelsgödselmedel ("40P80K" och "40P80K+100N") som K-halterna var eller tenderade ($p = 0,09$) att vara högre än kontrollen.

Endast den rena PK-behandlingen ("40P80K") hade signifikant högre Mg-halter än kontrollen, + 20 – 30 % (Tabell 7). Magnesiumhalterna i års- och fjolårsbarren var även högre än halterna i de båda behandlingarna med aska. I årsbarren var det en tendens ($p = 0,06$) till högre Mg-halt i försöksledet med "40P80K+100N" jämfört med kontroll och "Aska+100N".

Aluminiumhalterna ökade med 20 – 50 % i de båda behandlingarna med PK-medel jämfört med kontrollen (Tabell 7).

I de två försöksleden med aska ökade Mn-halterna med 70 – 180 % jämfört med de tre övriga försöksleden (Tabell 7). I årsbarren tenderade ($p = 0,06 – 0,08$) halterna att vara lägre där PK-medel tillförts jämfört med obehandlad kontroll.

Där N tillförts ("Aska+100N" och "40P80K+100N") minskade Zn-halterna i fjolårsbarren (Tabell 7).

4 Diskussion

4.1 Tillväxt

Tillförsel av 2,5 ton aska ha⁻¹ gav liknande tillväxtökning som gödsling med råfosfat och kaliumklorid. Detta gällde både med och utan samtidig tillförsel av kväve. Det var i enlighet med den *första hypotesen*, som inte kunde förkastas.

Gödslingen med de höga engångsgivorna råfosfat och kaliumklorid (40 kg P ha⁻¹ och 80 kg K ha⁻¹) gav, vid samtidig tillförsel av kväve, högre tillväxt än de låga engångsgivorna (20 kg P ha⁻¹ och 40 kg K ha⁻¹), men skillnaderna var inte statistiskt säkerställda.

Därmed fick den *andra hypotesen* förkastas, även om det fanns tendenser till skillnader. Höjdtvecklingen för huvudstammarna i slutet av mätperioden antyder en kortare varaktighet av gödslingseffekten för gödslingsregimen med de låga givorna. Dels var den årliga höjdtillväxten signifikant lägre de flesta åren under den senaste tioårsperioden (Figur 7, Tabell 6), dels var huvudstammarnas medelhöjd signifikant lägre eller visade tendens till lägre höjd de senaste fem åren (Figur 6, Tabell 6).

Kvävetillförsel gav inte någon ytterligare tillväxteffekt utöver effekten av aska eller av råfosfat och kaliumklorid. Det är i motsats till den uppställda *tredje hypotesen*, som fick förkastas.

På kontrollytorna var tillväxten mycket låg medan samtliga testade näringsregimer resulterade i väsentligt högre tillväxt och förrådsupbyggnad av biomassa. Den ökade tillväxten av de olika näringsregimerna var en effekt av både högre trädantal och högre tillväxt hos dessa träd än på kontrollytorna (Tabell 5). Näringstillförselns betydelse för ökningen av trädantalet torde bestå i att de naturligt föryngrade plantorna snabbare växer över en "kritisk höjd" för överlevnad. Vilken tillväxt som erhållits på kontrollytorna om ett lika stort plantantal kommit över denna "kritiska höjd" på kontrollytorna är en öppen fråga.

Höjdtillväxten på de behandlade ytorna var fortfarande 26 år efter näringstillförseln väsentligt högre än på kontrollerna. Det skulle tyda på att det inte föreligger något akut behov av omgödsling. Cirka 20 år efter näringstillförseln var dock höjdtillväxten som störst i samtliga behandlingar för att sedan avta (Figur 4), vilket antyder en avtagande effekt av behandlingarna. Det skulle tala för behov av en omgödsling om man vill upprätthålla en hög tillväxt i beståndet.

Hånell och Magnusson [16] påtalar och diskuterar några faktorer som är viktiga för att erhålla goda tillväxteffekter av asktillförsel på torvmark. Faktorerna är klimat, kväveinnehåll i torven, torvdjup, grad av dränering och beståndets utvecklingsgrad. Även mängden tillförd aska och dess näringsinnehåll har betydelse för tillväxteffekten [38].

Temperatursumman för den aktuella försökslokalen är 1520 dygnsgrader (träskelvärde 5°C) [29]. Det är ett för svenska förhållanden gynnsamt temperaturklimat, vilket generellt är en viktig faktor för tillväxtpotentialen på en ståndort. Exempelvis vid uppskattningen av dikningsboniteten för en torvmark ingår temperatursumman som en viktig oberoende variabel [15].

Torvmarkens vegetationstyp (rosling-tranbär-typ) indikerar en näringsfattig ytlig torv och en låg dikningsbonitet (ca $0,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) enligt Hånell [15]. Detta skulle kunna tala för liten tillgång på kväve i torven och en förväntad tillväxteffekt av kvävetillförsel. Den uppmätta kvävehalten i torven på 1,2 % (Tabell 1) talade dock för en liten eller utebliven tillväxteffekt av kvävegödsling. Det stöds även av den höga kvävehalten i barren på kontrollytorna (Tabell 7). Silfverberg och Huikari [41] redovisar små tillväxteffekter av aska när kvävehalten i torven understiger 1,0 %. Vidare menar Silfverberg [38] att de relativt små effekterna som redovisas från försök i norra Finland kan, förutom de låga utgångsförråden i bestånden, vara en effekt av ett ogynnsamt klimat. Däremot finns exempel på relativt stora tillväxteffekter av aska i försök i södra Finland på inte alltför kväverik torv [41], i överensstämmelse med resultaten från Perstorps-försöket. Holmen [14] rekommenderar kvävegödsling om kvävehalten i torven understiger 1,3 % i södra Sverige och 1,5 % i norra Sverige. Förutom klimatets betydelse för kväveomsättningen, höjer askan pH i torven vilket kan medföra ökad kväveminerialisering och ökat utbud av växttillgängligt kväve.

Torvens djup var större än en meter i försöket. Vid djup som är mindre än 20 – 30 cm är det troligt att asktillförsel inte ger någon tillväxteffekt, eftersom rötterna kan nå ner till underliggande mineraljord och få tillgång till de näringsämnen, vanligtvis fosfor och kalium, som ofta finns i små mängder i torv [9].

Enligt Heikurainen [12] är det optimala torrlägningsdjupet 40 – 60 cm. Enligt tillgängliga data på grundvattennivåerna i Perstorps-försöket nådde inte grundvattennivån så lågt, i alla fall inte i början av försöksperioden. Men grundvattennivån sjönk till åtminstone ca 30 cm djup under någon period varje vegetationsperiod (Figur 5). Enligt okulära bedömningar vid fältbesöken inför och under den senaste revisionen har dikena dålig funktion i dagsläget. Möjligen hade ett tätare dikessystem och/eller mer funktionsdugliga diken kunnat bidra till en ännu högre tillväxt av de testade behandlingarna.

Data på grundvattennivån sex till tio år efter behandlingen antyder att, i alla fall vid vissa tillfällen, har nivån varit något lägre på ytorna med "40P80K" än framför allt kontrollen. Medeltalen för de mättpunkter som redovisas i tabell 4 visar på 4 – 10 cm lägre grundvattennivå på de behandlade ytorna än obehandlad kontroll. För samtliga mättillfällen var motsvarande skillnad i medeltal 1 – 7 cm (data visas ej). En tolkning är att det är en behandlingseffekt, d.v.s. att gödslingen har ökat tillväxten och att trädskiktet bidragit till en ökad evapotranspiration. Detta har i sin tur bidragit till lägre grundvattennivå. Även förändrad markvegetation kan ha bidragit, men data på detta saknas i försöket. Det som talar mot en behandlingseffekt är att det torde röra sig om relativt små förrådsförändringar av trädbiomassan på den korta tiden efter behandlingen när data på grundvattennivån finns tillgänglig. En alternativ tolkning skulle då vara att någon eller några behandlingar har haft mer gynnsamma dräneringsförhållanden. Det är dock inte så troligt eftersom försöket har fyra upprepningar och det finns inga enskilda ytor som väsentligt avviker avseende nivån på grundvattnet. Ytterligare registreringar av grundvattennivåerna i försöket skulle vara av intresse för att klargöra om de nu betydligt högre virkesförråden på de gödslade ytorna bidrar till en lägre grundvattennivå än på kontrollen.

I likhet med Perstorps-försöket finns det många exempel på att i stort sett trädlösa myrar har beskogats och fått ett högt virkesförråd efter asktillförsel [41], [40]. De flesta resultaten på tillväxteffekter av aska kommer just från unga bestånd, vanligtvis under den första delen av omloppstiden [38]. Det innebär att erfarenheten från äldre skog är begränsad. Det pågår dock några studier i S Sverige i äldre skog med tall [36] och gran. Erfarenheten av gödsling på fastmark är att den största tillväxteffekten får man i bestånd med relativt hög löpande tillväxt [32]. Om det även gäller vid asktillförsel på torvmark behöver utredas bättre. Ur ekonomisk synpunkt är det oftast mest lönsamt att gödsla i slutet av omloppstiden, så nära avverkning som möjligt, men utan att avverka innan gödslingseffekten klingat av.

Silfverberg [38] påtalar att finska erfarenheter visat på små eller inga tillväxtökningar om *askgivan* varit mindre än ca två ton per ha. Det är i närheten av den giva som tillfördes i Perstorps-försöket. Det som talade för en tillväxteffekt av askan där var, i enlighet med diskussionen ovan, att torvmarken låg i ett gynnsamt klimatläge, torven var tillräckligt djup och kvävehalten översteg en procent samt att dräneringen var tillfredsställande, i alla fall initialt. Dessutom hade askan en förhållandevis hög halt av fosfor, vilket gav en mängd på 40 – 50 kg ha⁻¹, vilket brukar rekommenderas vid gödsling på torvmark [31]. Normalt ökar tillväxteffekten med ökad askgiva [38]. Praktiska optimala givor vid askgödsling från både tillväxt- och miljösynpunkt är inte helt klarlagda, men [38] nämner en tänkbar giva på ca 5 ton per ha. Efter uttag av både stamved samt grenar och toppar (GROT) kan lägre givor vara aktuella som kompensationsgödsling.

Andra studier där aska jämförts med handelsgödselmedel indikerar att vedaska ger liknande tillväxteffekt som gödselmedel med fosfor och kalium [38], [25]. Initialt kan PK-gödsel ge högre tillväxt, medan tillväxteffekten av aska är mer uthållig [25]. Moilanen m.fl. [25] drar slutsatsen att vedaska är ett fullgott alternativ till PK-handelsgödselmedel på dikad torvmark.

Den, (i) älgbetning som förekommit i försöket, troligen främst i början av försöksperioden, i kombination med den, (ii) extensiva registreringen av skadorna på plantorna (endast 1987) samt, (iii) det ej fullständigt dokumenterade plantbeståndet vid försöksstarten, ger en viss osäkerhet till skattningarna av virkesförråd och tillväxt, främst på arealbasis. Det troliga är en underskattning p.g.a. älgbetning.

Den kvantitativa effekten av älgbete beror på intensiteten i betningen och om den skett vid upprepade tillfällen på samma träd. Data på rådjursbetning av granplantor visar att viss betning inte behöver betyda kraftigt reducerad höjdtveckling [6].

Enligt fältanteckningar från inventeringen 1987 var det okulära intrycket att det var mer älgbetade plantor på provytorna som fått kväve än på ytorna med enbart aska eller PK. Redovisade data på andelen älgbetade huvudplantor avsåg andelen av de utvalda huvudstammarna vid inventeringen 1987. I första hand valdes oskadade plantor, vilket kan betyda att andelen betade plantor eventuellt underskattats på kväveytorna samt att de största förväxande plantorna inte kunnat väljas som huvudplantor. Om älgarna konsekvent betat de högsta förväxande plantorna kan det i så fall betyda att en eventuell effekt av kvävetillförseln har "betats bort". Erfarenheten från kvävegödsling är att kvävehalten är förhöjd under något eller några år [35] och att tillväxtökningen varar i 5

– 10 år för tall på både torvmark och fastmark [30], [17], [13], [32]. Förutom att en eventuell tidig tillväxteffekt inte kunnat dokumenterats, kan betning även ha bidragit till en underskattning av totalhöjd och virkesförråd i försöksleden med kväve vid den senaste mätningen. Det var framförallt tre ytor (två ytor med behandling 6 och en med behandling 7) som hade betydligt lägre virkesförråd än de övriga ytorna som hade fått näring tillförd. Utifrån tillgänglig information är det svårt att förklara detta, men kraftig älgbetning och andra skador i samband med betningen, exv. brutna stammar, kan vara en orsak.

4.2 Barrkemi

En jämförelse av näringshalterna i årsbarren med föreslagna halter för stark näringsbrist och optimala halter för maximal tillväxt [8] visar att *kvävehalten* på kontrollen ligger nära den optimala halten för maximal tillväxt. Minskningen i halt i de behandlingar där näring tillförts kan troligen, i alla fall delvis, förklaras som en utspädningseffekt. Dessa ytor hade betydligt större total biomassa och enligt synintryck i fält var de enskilda barren betydligt större än på kontrollen. Data på det sist nämnda saknas dock.

Kontrollens *kaliumhalt* låg på gränsen till stark brist [8], medan de gödslade ytorna hade något högre halt fortfarande efter 26 år. Enligt finska studier är det ofta kalium som blir tillväxtbegränsande inom 10 – 20 år efter gödning med PK-handelsgödselmedel på torvmark [18], [24]. Varaktigheten av fosfor brukar ofta vara avsevärt längre [24], [39].

Data från Perstorp tyder på att *fosfor* i dagsläget är det tillväxtbegränsande näringsämnet. Halten låg klart under gränsen för stark brist [8], även om halterna på de gödslade ytorna hade förhöjda halter mot kontrollen. Fosforhalten i både års- och fjolårsbarren var något högre i behandlingarna med den höga engångsgivan med PK-medel än där aska och kväve tillförts. Detta avspeglade sig dock inte i någon skillnad i tillväxt. Tyvärr saknas data på näringshalter från ytorna med den låga PK-givan.

4.3 Slutord

Genom att tillföra aska eller kombinationen av råfosfat och kaliumklorid (tillförsel av fosfor och kalium) utvecklades en ungskog utifrån de befintliga plantbeståndet på den studerade torvmarken. När ungefär samma mängder fosfor tillfördes tillskapades likvärdiga ungskogar av dessa båda behandlingar under den 26-åriga effektperioden. Jämfört med obehandlad kontroll var den ökade tillväxten en effekt av både ökad tillväxt hos enskilda träd och ett större antal träd som fick ökad tillväxt. Varaktigheten av behandlingarna är dock en öppen fråga.

Data på näringshalter i barr och tillväxtdata visade en viss logisk koppling i så motto att kvävetillförseln inte gav någon påvisbar ytterligare tillväxt, vilket skulle kunna förklaras med en i torven relativt god och i tallarna god kvävestatus innan behandling. Fosfor- och kaliumhalterna ökade från nivåerna stark brist respektive brist. Det var också i samtliga behandlingar där fosfor och kalium tillförts, i form av aska eller råfosfat och kaliumklorid, som tillväxtökningar uppmättes.

5 Litteraturreferenser

- [1] Alexandersson H, Karlström C and Larsson-McCann S; ”Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961 – 90: Referensnormaler”, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping 1991, 87 s.
- [2] Almqvist C; ”Tillväxteffekter på tall (*Pinus sylvestris*) efter gödsling på dikad medel- och lågproduktiv torvmark”, Institutet för skogsförbättring, Rapport 14, Uppsala 1990, 27 s.
- [3] Andersson S-O; ”Funktioner och tabeller för kubering av småträäd”, Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Band 44, Nr 12, 29 s.
- [4] Ball JP, Danell K and Sunesson P; ”Response of a herbivore community to increased food quality and quantity: an experiment with nitrogen fertilizer in a boreal forest”, *Journal of Applied Ecology* 37:247–255, 2000.
- [5] Bergqvist J and Örlander G; ”Browsing damage by roe deer on Norway spruce seedlings planted on clearcuts of different ages: 2. Effects of seedling vigor”, *Forest Ecology and Management* 105: 295–302, 1998.
- [6] Bergqvist J, Bergström R and Zakharenka A; ”Responses of young Norway spruce (*Picea abies*) to winter browsing by roe deer (*Capreolus capreolus*): Effects on height growth and stem morphology”, *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 368–376, 2003.
- [7] Bjurström H, Ilskog E och Berg M; ”Askor från bibränslen och blandbränslen – mängder och kvalitet”, Statens Energimyndighet, Rapport nr ER 10:2003 Eskilstuna 2003, 74 s.
- [8] Brække FH; ”Diagnostiske grenseveredier for næringslementer i gran- og furunåler”, Norsk Institutt for Skogforskning/Institut for skogfag, NHL, Aktuelt fra Skogforsk No. 15. Ås. 11 p. 1994. ISBN 82-7169-690-4. (In Norwegian).
- [9] Clymo, R S; ”Peat”. In: Gore, A J P (ed) ”Mires: Swamp, bog, fen and moor”. *Ecosystems of the world 4A*, Elsevier, Amsterdam 1983, p. 159–224.
- [10] Egnell G, Nohrstedt H-Ö, Weslien J, Westling O. och Örlander G; ”Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation”, Skogsstyrelsen, Rapport 1, Skogsstyrelsens förlag, Jönköping 1998, 169 s.
- [11] Engfeldt C; ”Aska från energiproduktion – producerad och använd mängd aska i Sverige 2006”, Svenska EnergiAskor, PM daterat 2007-10-16, 2007, 5 s plus bilagor.
- [12] Heikurainen, L; ”Skogsdikning”, Stockholm 1973, 444 s., ISBN 91-1-722472-1.
- [13] Heikurainen L and Laine J; ”Duration of the height growth response of young pine stands to NPK-fertilization on oligotrophic pine bogs in Finland”, *Silva Fennica* 19(2): 155–167, 1985.
- [14] Holmen, H; ”Skogsproduktion på torvmark”, *Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 108: 216–235, 1969.

-
- [15] Hånell, B; ”Praktiska anvisningar för bonitering av torvmarker”, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig ståndortslära, Stencil nr 3, 1986, 9 s., ISSN 0280-9168.
- [16] Hånell B och Magnusson T; “An evaluation of land suitability for forest fertilization with biofuel ash on organic soils in Sweden”, *Forest Ecology and Management* 209: 43–55, 2005.
- [17] Ipatiev V and Paavilainen E; "Duration of the effect of fertilization in an old pine cottongrass pine swamp." *Folia Forestalia* 241, Helsinki 1975, 13 p.
- [18] Kaunisto S; "Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming". *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 109, 1982, 56 p.
- [19] Kaunisto S; "Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. (Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area)". *Folia forestalia* 724, 1989, 15 p. (På finska med engelsk sammanfattning)
- [20] Lauhanen R, Moilanen M, Silfverberg K, Takamaa H and Issakainen J; ”The profitability of wood-ash fertilization on drained peat-land Scots pine stands”, *Sou* 48: 71–82, 1997. (På finska med engelsk sammanfattning)
- [21] Lundborg A och Nohrstedt H-Ö; “Effekter av askspridning i skogen – Askåterföring till skogsmark”, *NUTEK R* 1996:13, 1996, 38 s. ISSN 1102-2574.
- [22] Magnusson T and Hånell B; ”Aska till skog på torvmark – Ramprogram Askåterföring”. *NUTEK, Rapport 1996:85*, NUTEK Förlag 1996, Stockholm 1996, 31 s. ISSN 1102-2574.
- [23] Marklund L-G; ”Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige”, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri, Rapport 45, Umeå 1988, 73 s.
- [24] Moilanen M; ”Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun pohjois-pohjanmaan ja kainuun ojitetuilla soilla (Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in northern Ostrobothnia and Kainuu)”, *Folia forestalia* 820, 1993, 37 s. (På finska med engelsk sammanfattning)
- [25] Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H and 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.
- [26] Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H and 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, 2005.
- [27] Norin K och Jonasson H; “Biomassa – kvantiteter, egenskaper och fördelning hos röjningsträd av tall, gran och björk”, *Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Projekt helträdsutnyttjande, Rapport 25*, 1976. 17 s.
- [28] Näslund M; “Funktioner och tabeller för kubering av stående träd – tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet”, *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut* 36: 1–81, Stockholm 1947.

- [29] Odin H, Eriksson B och Perttu K; "Temperaturklimatkartor för svenskt skogsbruk", Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära nr. 45, Institutionen för skoglig marklära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala 1983, 57 s.
- [30] Paavilainen E; Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 77(3):1–46, 1972.
- [31] Paavilainen E and Päivänen J; "Peatland Forestry – Ecology and principles", *Ecological Studies*, Vol. 111, Springer Verlag, Berlin 1995, 248 p.
- [32] Pettersson F; "Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years", *Skogforsk*, Report 3, Uppsala 1994, 56 p.
- [33] Saarela I; "Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus", *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 375–388, 1991.
- [34] SAS Institute Inc.: "SAS/STATTM", Guide for personal computers, version 8, edition", Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999, 3884 p.
- [35] Sikström U; "Growth and nutrition of coniferous forests on acidic mineral soils – Status and effects of liming and fertilization", Swedish University of Agricultural Sciences, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 182, 2001, 52 p. plus appendices, ISBN 91-576-6066-2.
- [36] Sikström U, Ernfors M, Jacobson S, Klemedtsson L, Nilsson M och Ring E; "Tillförsel av aska i tallskog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, avgång av växthusgaser och vattenkemi", *Värmeforsk Service AB*, Rapport 974, 2006, 39 s., ISSN 1653-1248.
- [37] Silfverberg K; "Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränerade tallmyrar", *Suo* 42: 33–44, 1991.
- [38] Silfverberg K; "Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland", Doctoral Thesis, The Finnish Forest Research Institute, *Research papers* 588, 1996, 27 p., ISBN 951-40-1496-0.
- [39] Silfverberg K and 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. (På engelska)
- [40] Silfverberg K and Hotanen J-P; "Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. (Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Shagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland)", *Folia Forestalia* no. 742, 1989, 23 p. (På finska med engelskt abstract)
- [41] Silfverberg K and Huikari O; "Wood-ash fertilization on drained peatlands", *Folia Forestalia* no. 633, 1985, 25 p. (På finska med engelskt abstract.)
- [42] Silfverberg K and Moilanen M; "Ash fertilization as used on Finland's drained and forested mires", In: Högbom, L. & Nohrstedt, H.-Ö. (eds.) "Environmental consequences of recycling wood-ash to forests", *SkogForsk*, Report 2, Uppsala 2001, pp. 25–28.

- [43] Skogsstyrelsen; ”Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling”, Skogsstyrelsen, Meddelande 2-2001, Jönköping 2001, 16 s.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk 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