

240 Lofsdalen

- Stamtiltväxt och näringshalter i barr hos tall fem år efter kalkning, PKmikro- och NPK-gödsling

Ulf Sikström

**Arbetsrapport nr 336
1996**

Omslag: Försöksbeståndet 240 Lofsdalen
Foto: Ulf Sikström

SkogForsk

– Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolagen, skogsägareföreningarna, stift, gods, allmänningar, plantskolor, Skogs-MaskinFöretagarna m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd. Forskning och utveckling bedrivs inom fyra huvudområden: råvara och marknad, förädling och förökning, skötsel och miljö samt driftsystem. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien Arbetsrapporter dokumenterar långliggande försök, inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report: Vetenskapligt inriktad serie.

Handledningar: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

Innehåll

Inledning	3
Material och metoder	4
Försökslokal	4
Stamtillväxt.....	5
Barrprover.....	6
Resultat och diskussion	6
Stamtillväxt.....	6
Barrprover.....	10
Slutsatser	12
Erkännanden.....	12
Referenser	12
Bilaga 1 Ytvis ståndortsbeskrivning	15
Bilaga 2 240 Lofsdalen – Tillväxtförändring under försöksperioden 1990–95.....	17
Bilaga 3 Variansanalys för höjdtillväxt, grundytetillväxt och volymtillväxt.....	19
Bilaga 4 Blockvisa beståndsdata.....	21

Inledning

Utsläpp av luftföroreningar, bl.a. svaveldioxid och olika kväveföreningar, är idag ett miljöproblem. Det är inte helt klarlagt vad dessa utsläpp har för betydelse för skogsproduktionen. Trädens barr alternativt blad kan påverkas direkt. Även indirekta effekter kan uppkomma, exv. genom markförändringar som påverkar näringsförsörjningen. Ett flertal undersökningar har visat att skogsmark i södra Sverige under de senaste decennierna blivit avsevärt surare (Falkengren-Grerup, 1986; Hallbäcken & Tamm, 1986; Falkengren-Grerup m.fl., 1987). Stora arealer i södra Sverige har låga pH-värden (Lundmark, 1988). Detta tillstånd anses till stor del bero på den höga depositionen av surgörande luftföroreningar.

En åtgärd som förespråkas för att motverka markförsurning är skogsmarkskalkning. Tidigare erfarenheter från svenska och finska kalkningsförsök har visat på en övervägande negativ effekt på stamtillväxten på 3–22 % de 3–25 första åren för tall och gran (Popovic' & Andersson, 1984; Derome et al., 1986). I de få äldre svenska försöken har sedan den negativa tillväxttenden vänt och blivit positiv. Det finns dock en del brister i de äldre refererade försöken. Oftast saknas upprepningar och det finns en överrepresentation av tall på lågt ståndortsindex i materialet. De kalkgivor som provats har varit relativt höga, 5–10 ton/ha. Dessutom lades dessa äldre försök ut i en annan kemisk miljö än den som råder idag.

I mitten av 80-talet anlades en ny generation kalkningsförsök i Sverige, både i dåvarande Institutet för Skogsförbättrings och SLUs regi. Dessa försök har mer sydlig lokalisering i landet och är etablerade på bördigare ståndorter jämfört med de äldre försöken. Resultaten visar att tillväxten i huvudsak varit oförändrad eller i enstaka fall visat tendens att öka något under 5–10 år efter kalkning jämfört med obehandlade kontroller (Pettersson, 1992; Popovic' 1992; Sikström, 1992, 1996; pers. medd. Budimir Popovic' och Johan Bergholm, Sveriges lantbruksuniversitet, 1996).

Tillförsel av andra näringsämnen har också diskuterats som en åtgärd mot det förändrade marktillståndet p.g.a. försurning. Det gäller främst tillförsel av baskatjoner som exempelvis kalium och magnesium, men även fosfor. Inom detta problemområde pågår en del försöksverksamhet (exv. Nilsson och Wiklund, 1992; Sikström 1992; Nohrstedt m.fl. 1993, 1996).

Debatten om försurningens inverkan på skogsproduktionen har haft sin tyngdpunkt i södra Sverige, liksom pågående försöksverksamhet. Det finns dock sura marker även i Norrland, företrädesvis i områden med svag mineralogi. Ett sådant är sandstensområdena i norra Dalarna och Härjedalen. Det ansågs angeläget att även i denna del av landet bedriva en viss försöksverksamhet. Därför anlades ett fältförsök i ett tallbestånd i detta område. Syftet var bl.a. att undersöka hur kalkning och s.k. kvävefri gödsling påverkar stresstålighet och skogsproduktion.

Material och metoder

Försökslokal

Försöket anlades 1990 och är beläget i Härjedalen. Försöksbeståndet bestod av tall (*Pinus sylvestris*) och uppkom genom sådd med efterföljande hjälpplantering. Beståndet röjdes 1986. Ståndorten klassades som en plan frisk fastmark (bilaga 1). Markvegetationstypen var lavrik typ i en del av försöket och lingontyp – blåbärstyp i en annan del. Jordarten var till största del en morän med texturen sandig-moig. Boniteten var medelgod – god för området. Närmare uppgifter om försökslokalen redovisas i tabell 1 och försöksbeståndet i tabell 2.

Tabell 1.
Ståndortsdata vid försöksanläggningen.
Medeltal för alla parceller inom försöket.

Latitud, N	Longitud, O	H.ö.h., (m)	Ståndortsindex, H ₁₀₀ (m)
62° 02'	13° 31'	600	T16 ¹ / T18 ²

¹ Enligt ståndortsfaktorer.

² Enligt övre höjd.

Tabell 2.
Beståndsdata vid försöksanläggningen.

Trädslag- blandning ¹	Totalålder (år)	Stamantal ¹ (st ha ⁻¹)	Medelhöjd ¹ (m)	Grundyta ¹ (m ² ha ⁻¹)	Volym ¹ (m ³ sk ha ⁻¹)	Löpande tillväxt ² (m ³ sk ha ⁻¹ år ⁻¹)
100-0-0 ³	40	1 082	8,0	13,0	59	4,3

¹ Medeltal av alla parceller.

² Baseras på löpande tillväxten på kontrollparcellerna under perioden 1990-1995.

³ Procent av tall-gran-löv.

Försöket anlades som ett blockindelad parcellförsök med två block och fem behandlingar. De olika behandlingarna framgår av tabell 3. Blockindelningen grundade sig på grundyta och stamantal. Alla block ligger i samma skogsbestånd. De gödslade bruttoparcellerna hade en yta på 900 m² (30 × 30 m). Alla mätningar av tillväxt gjordes på träden inom en nettoparcell i form av en cirkelyta med radien 10,0 m inom bruttoparcellen. Vid behandlingen av provytorna delades varje bruttoparcell in i nio stycken delytor, inom vilka handspridning utfördes i var och en för sig. Kalken tillfördes som krossad dolomit, CaMg(CO₃)₂, med ca 13 % innehåll av magnesium. Kvävet tillfördes som Skog-AN (ammoniumnitrat), NH₄NO₃. Fosforkälla var superfosfat och kaliumklorid, KCl, var kaliumkälla. Slutligen tillfördes gödselmedlet Skog-Vital, som innehöll fosfor, kalium, magnesium, svavel, kalcium, bor, zink och kalk. Gödslingen utfördes 1990-08-29. Eftersom gödslingen utfördes relativt sent under vegetationsperioden har inte denna tillväxtsång räknats in i effektperioden, utan den är satt till fem år. Därmed alla tillväxter som enbart redovisas för kontrolllytor avser sex vegetationsperioder, eftersom försöket etablerades på våren samma år.

Tabell 3.
Behandlingar ingående i försöket. Givor i kg per ha.

Behandling ¹	Kontroll	Ca	NPK	CaNPK	Vital ²
Försöksled	81	2	3	4	5
Ca	-	1 250	-	1 250	105
N	-	-	100	100	-
P	-	-	25	25	25
K	-	-	15	15	15
Mg	-	325	-	-	24
B	-	-	0,6	0,6	0,5

¹ Medel: Ca – 2,5 ton dolomit; N – Ammoniumnitrat; P – Superfosfat; K – Kaliumklorid; Vital – Skog Vital.

² Även tillfört: 40 kg svavel/ha och 0,75 kg zink/ha.

Stamtillväxt

Vid anläggningen av försöket (1990-05-19) numrerades och korsklavades alla träd med brösthöjdsdiameter >3 cm inom varje provytas nettoparcell. Dessutom höjdmättes samtliga träd med höjdmättningsstång. Försöket reviderades fem år senare (1995-09-19). Vid revisionen utfördes samma mätningar som vid anläggningen. Denna gång gjordes höjdmätningen med Vertex höjdmätare.

Det var inga avgångar i försöket under observationstiden. Beräkningarna i försöket baseras därför på alla ursprungliga träd (brösthöjdsdiameter >3 cm). De olika behandlingarnas effekt på stamtillväxten erhöles genom att studera tillväxtens förändring under försöksperioden avseende medelhöjd, grundyta och volym. Trädens stamvolym beräknades med Näslunds (1940) mindre volymfunktioner. Statistikpaketet SAS/STAT, procedur GLM (1987) användes vid analysen av de linjära modellerna. Följande modeller gav de bästa anpassningarna.

Modellekvation (grundytetillväxt):

$$y_{ij} = \mu + u_i + t_j + e_{ij} \quad (1)$$

Beteckningarna står för:

y_{ij} = grundytetillväxt för parcell ij

μ = totalmedelvärde

u_i = effekt av block i, där i = 1-2

t_j = effekt av behandling j, där j = 1-5

e_{ij} = residual, NID (0, σ_e^2)

Modellekvation (höjd- och volymtillväxt):

$$y_{ij} = \mu + u_i + t_j + b(g_{ij} - \bar{g} \bar{g}) + e_{ij} \quad (2)$$

Beteckningarna står för:

y_{ij} = höjdtillväxt alt. volymtillväxt för parcell ij

μ = totalmedelvärde

u_i = effekt av block i, där $i = 1-2$

t_j = effekt av behandling j, där $j = 1-5$

b = regression av höjdtillväxt på grundyta vid behandling alt.
volymtillväxt på volym vid behandling

g = grundyta alt. volym vid anläggning för parcell ij

e_{ij} = residual, NID $(0, \sigma_e^2)$

Barrprover

Prover av årsbarr (1990, 1991 och 1992) i vintervila (december–mars) togs från tio träd per parcell strax utanför nettoparcellen. Kvistar från sydsidan på den övre tredjedelen av kronan sköts ner med hagelgevär. Barren från provträden på en parcell slogs samman till ett generalprov representerande parcellen. Generalproven torkades i 70 °C, maldes och blandades väl före analys. Kväve bestämdes enligt Kjeldahl. Övriga ämnen (P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, B, Cu, Na, Al) bestämdes med ICP efter inaskning och syra-behandling (HCl). De kemiska analyserna utfördes av Institutionen för ekologi och miljövärd, Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala.

För att konstatera om behandlingarna påverkade barrrens näringshalter analyserades de statistiskt på liknande sätt som tillväxten. Skillnaden var att det i detta fall inte fanns lämpliga kovariater. Analyserna gjordes för varje enskilt ämne och år.

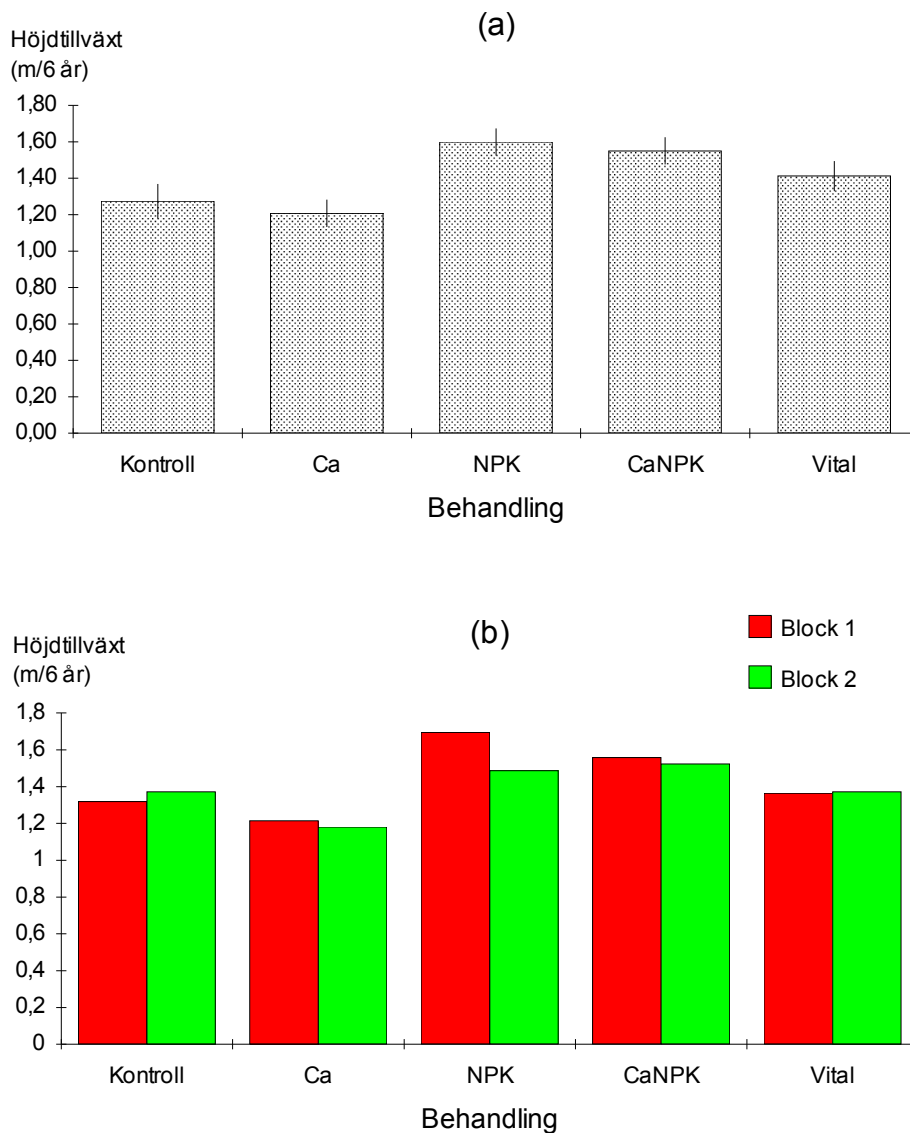
Resultat och diskussion

Stamtillväxt

Tillväxtresultaten redovisas i figur 1–3 samt i bilaga 2. De enda statistiskt säkerställda ($p < 0,05$) behandlingseffekterna var den ökade höjdtillväxten efter tillförsel av NPK (+26 %) och CaNPK (+22 %) (figur 1 och bilaga 2) jämfört med obehandlad kontroll. För samma behandlingar var även grundytetillväxtens ökning av liknande storleksordning i medeltal (figur 2), men ökningen var inte statistiskt säkerställd ($p_{\text{behandling}} = 0,136$) (bilaga 3). Det samma gällde för volymtillväxten ($p_{\text{behandling}} = 0,082$) där tillväxtökningen var 38 % och 40 % i medeltal för de två behandlingarna innehållande N (figur 3). Försöksledet med Skog-Vital (Vital) påverkade inte tillväxten nämnvärt, förutom en tendens till ökad höjdtillväxt ($p = 0,054$).

Resultaten tyder på en gödslingseffekt av tillfört kväve. De försöksled som fick NPK visade ökad eller tendens till ökad tillväxt, medan försöksledet

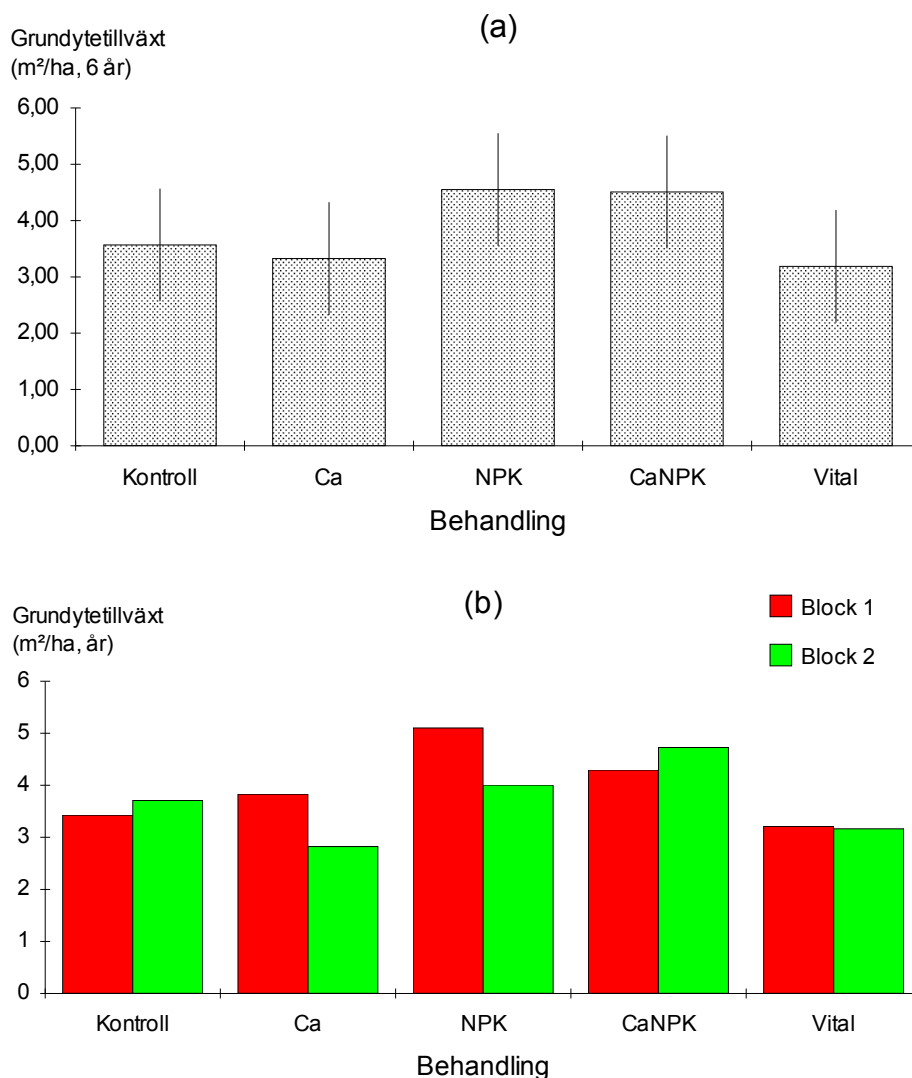
Vital, som bl.a. innebär tillförsel av PK, inte gav någon gödslingseffekt. Den förväntade gödslingseffekten av 100 kg N/ha är $6,5 \pm ca 4,0$ m³sk/ha under fem år, angivet med en standardavvikelse, efter gödsling med ammoniumnitrat i denna beståndstyp enligt prognosfunktion (Pettersson, 1994). Den faktiskt uppmätta effekten i de försöksled som fick N var i genomsnitt 9,0 m³sk/ha, vilket motsvarar 138 % av förväntad effekt. Den uppmätta effekten är således i övre intervallet av vad som kan förväntas. En möjlighet är att den samtidiga tillförseln av N och PK kan ha gett en bättre effekt än om endast N hade tillförts. Enligt tidigare nordiska erfarenheter har inga tydliga mereffekter utöver N-effekten kunnat konstateras, när N kombinerats med andra ämnen (exv. P/K/Mg) vid förstagångsgödsling på fastmark (jfr Nohrstedt, 1990; Nohrstedt m.fl., 1993; Pettersson, 1994; Tveite, 1994). Att effektperioden satts till fem år, p.g.a. den sent utförda gödslingen på hösten, kan möjligen ha bidragit till att gödslingseffekten överskattats något.



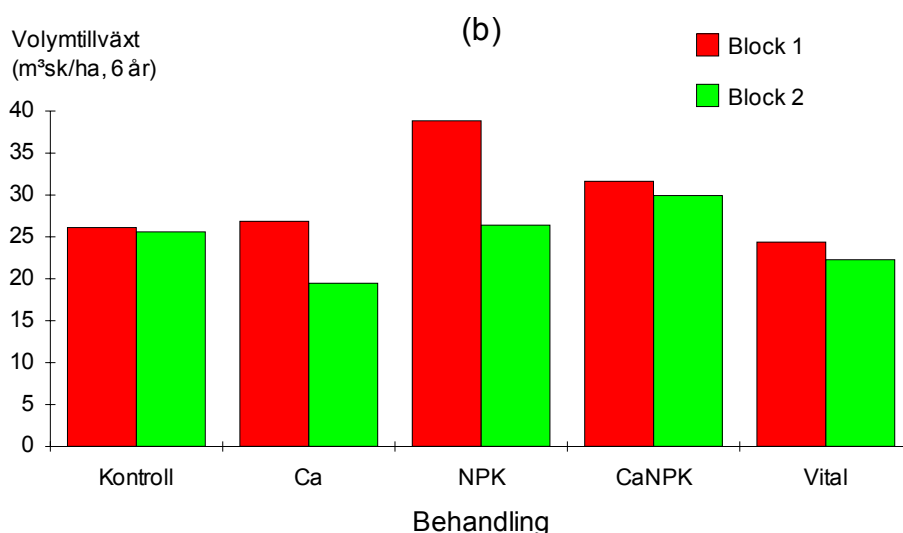
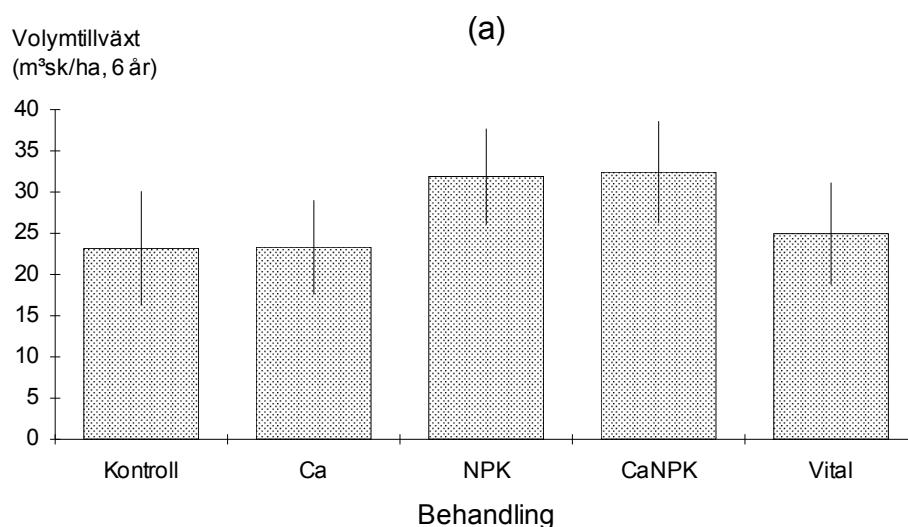
Figur 1. Höjdtillväxt under perioden 1990–95. Justerade medeltal, $n = 2$, angivet med 95 % konfidensintervall (a) och uppmätta värden för enskilda ytor (b).

Den relativa gödslingseffekten avseende volymtillväxt var större jämfört med effekten på grundytetillväxten (bilaga 2). Det skulle tyda på att gödningen minskat stammens avsmalning och därigenom förbättrat stamformen på dessa träd. Valinger (1990) har påvisat minskad avsmalning längs stammen hos tall efter N-gödsling i liknande tallskog.

Den rena kalkbehandlingen med 2,5 ton dolomit/ha (Ca) påverkade inte tillväxten nämnvärt (figur 1–3, bilaga 2). Detta är i motsats till en del äldre försök i tall på mark med låg bonitet där tillväxten minskat initialt efter kalkning (Popovic' och Andersson, 1984; Derome et al. 1986). I materialet som Derome et al. (1986) redovisar var dock den genomsnittliga tillväxtminskningen på 3 % i tall inte statistiskt säkerställd. Behandlingarna var liknande som i det här redovisade försöket. Ett annat försök i ett tallbestånd i norra Gästrikland gav jämförbara resultat med de ovan redovisade (pers. medd. Budimir Popovic', Sveriges lantbruksuniversitet, 1991).



Figur 2. Grundytetillväxt under perioden 1990–95. Medeltal, $n = 2$, angivet med 95 % konfidenstervall (a) och uppmätta värden för enskilda ytor (b).



Figur 3.
Volymtillväxt under perioden 1990–95. Justerade medeltal, n = 2, angivet med 95 % konfidensintervall (a) och uppmätta värden för enskilda ytor (b).

Vid jämförelse av försöksleden CaNPK och NPK kan konstateras att kalken inte gav någon mereffekt utöver NPK (bilaga 2).

Resultaten i detta arbete grundar sig på ett randomiserat blockförsök i fält. Vid försöksutläggning är det viktigt att få så god jämförbarhet som möjligt för olika beskrivande variabler. I detta försök var jämförbarheten inom respektive block god avseende beståndsvariabler och bör därför inte ha haft någon avgörande betydelse för resultaten. Medelhöjden för de behandlade ytorna låg inom intervallet ± 6 % i förhållande till kontrollen inom blocken (bilaga 4). Motsvarande värden för grundytan var ± 11 %, stamantalet ± 23 % och volymen ± 15 %.

Barrprover

För tre näringsämnen konstaterades statistiskt signifikanta ($p < 0,05$) behandlingseffekter tredje året efter behandling (tabell 4). Borhalten var cirka 2,5 gånger högre efter tillförsel av NPK och Vital. Dessa gödselmedel innehåller också bor (jfr tabell 3). Kaliumhalten minskade med 8 % efter tillförsel av kalk, vilket var den enda noterade effekten för kalium. Även kopparhalten minskade, men i detta fall efter behandling med NPK (-18 %) och CaNPK (-21 %). Däremot var kopparhalten oförändrad första och andra året efter gödslingen och tenderade t.o.m. att öka i försöksledet med NPK efter två vegetationsperioder.

I den fortsatta resultatbeskrivningen och diskussionen avser en tendens till minskning eller ökning av någon halt en skillnad som är större än 10 % i förhållande till kontrollens värde. Förutom de tidigare nämnda statistiskt påvisbara effekterna på borhalten fanns en tendens till ökad halt även efter tillförsel av CaNPK, men ökningen var något mindre än efter NPK-gödsling. Ren Ca gav tendens till sänkta borhalter jämfört med kontrollen. Det verkar alltså som om kalken bidrar till försämrad borstatus i barren. Minskade borhalter efter kalkning har tidigare rapporterats av Popovic' och Andersson (1984) och Aronsson (1985) menar att det är väl känt att kalkning minskar tillgängligheten av markens bor. Vid tillväxtrevisionen noterades okulärt att det förekom träd med tillväxtstörningar på de ytor som behandlats med dolomit (Ca). Träden hade stort barravfall och missbildade knoppar på de yngsta skotten. På den kalkade ytan i block 1 hade 26 % av träden denna synliga skada och 6 % av träden i block 2. Skadan upptäcktes inte på någon av de andra ytorna i försöket. Risk för synliga irreversibla borbristsskador, i form av döda och förvridna toppar, inträffar vid halter i årsbarr på ca 2–4 $\mu\text{g/g}$ t.s. (Aronsson, 1985). Det är troligt att dessa tillväxtstörningar hänger ihop med låga borhalter (Aronsson, 1985). Liknande skador finns beskrivna efter ensidig N-gödsling, framför allt i Norrlands inland (Möller, 1984). Även NPK-gödsling har tidigare rapporterats ge låga borhalter med synliga skador som följd och speciellt frekventa har de varit efter behandling med CaNPK (Aronsson, 1985). Som tidigare nämnts fanns det bor i kvävegödselmedlet, vilket användes i det här redovisade försöket. Det ska även påpekas att borhalten på kontrollytorna i detta försök var så låga som 3,7 $\mu\text{g/g}$ t.s.

Bland de övriga analyserade mikronäringsämnena tenderade manganhalten att minska med 19–38 % för alla behandlingar. Järnhalten liksom zinkhalten var i stort sett oförändrad under de tre första åren efter behandling.

Av makronäringsämnena var det endast kväve och magnesium som visade tendens till förändring. Kvävehalten var 11–20 % högre två år efter N-tillförsel (försöksled NPK och CaNPK), men även gödsling med Skog-Vital gav 13 % högre N-halter. Gödsling med Skog-Vital i Skogaby-försöket i Halland resulterade i höjda N-halter i granbarr (Nilsson och Wiklund, 1994). Troliga förklaringar, enligt författarna, kan vara en effekt av ökad N-mineralisering och/eller ökad upptagskapacitet av N. Vidare fanns en tendens till ökade Mg-halter i alla försöksled utom i det rena kalkledet första året efter behandling. Däremot andra året fanns en tendens till ökning efter kalkning, liksom efter CaNPK-behandling. Det kan tyda på att träden kunnat nyttja Mg från dolomiten, i alla fall på kort sikt.

Tabell 4.

Näringshalter (mg/g respektive µg/g av torrsubstans) i årsbarr. Medeltal av två värden. Värden markerade med olika bokstäver skiljer sig signifikant från varandra ($p < 0.05$) inom näringsämne och år. EB = ej bestämd.

Ämne	År	Behandling					Pbehandling
		0	Ca	NPK	CaNPK	Vital	
(mg/g)							
N	1990	13,0	12,6	13,4	14,0	12,4	0,149
	1991	14,1	15,0	16,9	15,6	15,9	0,223
	1992	11,8	11,8	12,8	12,6	12,1	0,585
P	1990	1,60	1,52	1,49	1,63	1,52	0,563
	1991	1,94	1,82	1,95	1,98	2,00	0,345
	1992	1,52	1,46	1,58	1,61	1,55	0,143
K	1990	5,10	4,95	5,10	5,30	5,25	0,500
	1991	5,83	5,27	6,22	5,99	6,38	0,116
	1992	4,75 a	4,35 b	5,05 a	4,80 a	5,05 a	0,030
Ca	1990	1,85	1,80	1,90	1,80	1,85	0,926
	1991	2,18	2,31	1,99	2,08	2,00	0,361
	1992	1,60	1,65	1,60	1,55	1,70	0,950
Mg	1990	0,91	0,94	1,08	1,08	1,04	0,058
	1991	1,08	1,22	1,12	1,20	1,08	0,858
	1992	0,95	0,99	1,00	1,02	0,96	0,930
S	1990	0,87	0,81	0,84	0,86	0,89	0,693
	1991	1,00	0,97	0,99	0,98	1,03	0,801
	1992	0,83	0,70	0,72	0,78	0,87	0,437
(µg/g)							
Mn	1990	650	485	510	430	495	0,396
	1991	680	540	460	425	450	0,215
	1992	520	415	360	325	390	0,630
Fe	1990	33	28	30	35	29	0,719
	1991	36	34	37	36	35	0,898
	1992	30	32	29	29	28	0,777
Zn	1990	49	44	49	53	49	0,483
	1991	61	60	56	62	62	0,101
	1992	39	38	38	42	39	0,567
Al	1990	225	250	244	238	186	0,789
	1991	326	380	387	270	294	0,234
	1992	190	234	211	164	150	0,179
B	1990	4,0	3,1	6,7	5,2	4,4	0,323
	1991	7,2	4,8	13,0	10,4	10,9	0,097
	1992	3,7 a	1,8 a	9,4 b	6,0 ab	9,6 b	0,050
Cu	1990	3,1	2,9	3,0	3,0	3,0	0,996
	1991	3,8	3,8	4,3	3,9	4,0	0,517
	1992	3,3 a	3,1 a	2,7 b	2,6 b	3,1 a	0,015
Na	1990	EB	EB	EB	EB	EB	-
	1991	34	46	39	39	27	0,635
	1992	25	38	25	28	20	0,475

Aluminiumhalterna visade förvånande nog en tendens till förhöjning efter kalkning, liksom efter NPK-gödsling. Efter CaNPK- och Skog Vital-gödsling fanns antydning till minskning.

Slutsatser

Resultaten tyder på att kvävegödsling (100 kg N/ha) gav ökad stamtillväxt, vilket kunde förväntas enligt tidigare erfarenhet. Däremot påverkades inte stamtillväxten efter tillförsel av dolomit eller andra ämnen, som fosfor, kalium, magnesium och ett flertal mikronäringsämnen. Resultaten grundar sig på en femårig effektperiod efter behandling.

Den mest markanta förändringen av årsbarrens näringsinnehåll var behandlingarnas effekt på borhalten. Gödsling med NPK och Skog-Vital, som båda innehöll bor, ökade barrens borkoncentration jämfört med kontrollytornas låga värden. Kalkning resulterade i synliga tillväxstörningar, stort barravfall och missbildade knoppar på de yngsta skotten, effekter vilka troligen kan relateras till borhaltens tendens att minska.

Erkännanden

Tack till Korsnäs Skog AB, som ställt sina marker till förfogande och bidrog med personal vid fältarbetet.

Referenser

- Aronsson, A. 1985. Indikationer på stress vid obalans i trädens växtnäringsinnehåll. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift, Suppl.* 17:40–51.
- Derome, J., Kukkola, K. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils (National Swedish Environmental Protection Board, Report 3084), 107 s. Solna.
- Falkengren-Grerup, U. 1986. Longterm changes in pH of forest soils in southern Sweden. *Environmental Pollution* 43:79–90.
- Falkengren-Grerup, U., Linnermark, N. & Tyler, G. 1987. Changes in acidity and cation pools of south Swedish soils between 1949 and 1985. *Chemosphere* 16:2239–2248.
- Hallbäcken, L. & Tamm, C.-O. 1986. Changes in soil acidity from 1927 to 1982–84 in a forest area of south-west Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1:219–232.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1982. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem, Del 1–3. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Lundmark, J.-E. 1988. Skogsmarkens ekologi – ståndortsanpassat skogsbruk, del 2 – Tillämpning. Skogsstyrelsen. 319 s. Jönköping.

- Möller, G. 1984. Synpunkter på mirkonäringsämnen inom skogsbruket med särskild hänsyn till borsituationen. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift, Suppl. 16:41–58.
- Nilsson, L.-O. & Wiklund, K. 1992. Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden – the role of air pollutants. *Plant and Soil* 147:251–265.
- Nilsson, L.-O. & Wiklund, K. 1994. Nitrogen uptake in a Norway spruce stand following ammonium sulphate application, fertigation, irrigation, drought and nitrogen-free fertilization. *Plant and Soil* 164:221–229.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1990. Tillväxteffekter efter gödsling med olika näringsämnen i barrskog. I: Liljelund, L.-E. m.fl. (Red.) Skogsvitalisering – Kunskapsläge och forskningsbehov. Naturvårdsverket, Rapport 3813, s. 71–83. Solna.
- Nohrstedt, H.-Ö., Sikström, U. & Ring, E. 1993. Experiments with vitality fertilisation in Norway spruce stands in southern Sweden. (SkogForsk, Report No. 2). 38 s. Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö., Sikström, U., Ring, E., Näsholm, T., Högberg, P. & Persson, T. 1996. Nitrate in soil water in three Norway spruce stands as related to N-deposition and soil, stand and foliage properties. *Canadian Journal of Forest Research* 26:836–848.
- Näslund, M. 1940. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd – tall, gran och björk i norra Sverige. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 32:4. 132 s. Stockholm.
- Pettersson, F. 1992. Träden tål kraftig markförsurning. (Institutet för skogsförbättring, Information Växtnäring-skogsproduktion, Nr. 3 1991/92). 4 s. Uppsala.
- Pettersson, F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. (SkogForsk, Report No. 3). 56 s. Uppsala.
- Popovic', B. 1992. Changes in soil, plant nutrient content and tree growth during a 5-year period on Norway spruce plots under different liming regimes in south Sweden. I: Response of forest ecosystems to environmental changes. Proc. Int. CEC Symp., Florence, Italy, 20–24 May 1991, s. 821–822.
- Popovic', B. & Andersson, F. 1984. Markkalkning och skogsproduktion (Statens naturvårdsverk, Rapport 1792), 107 s. Solna.
- SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT™, Guide for personal computers, version 6, edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1028 s.
- Sikström, U. 1992. Stamtillväxt hos tall och gran på fastmark efter behandling med låg kalkgiva, kvävegödsel och vedaska. (Institutet för skogsförbättring, Rapport nr 27), 22 s. Uppsala.
- Sikström, U. 1996. Effects of low dose liming and nitrogen fertilization on stemwood growth and needle properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. (Under utarbetande.)

- Tveite, B. 1994. Gjødsling på fastmark med andre næringsstoff enn nitrogen. Vekstresultat fra nordiske gjødslingsforsøk. I: Nilsen, P. (Red.) Tiltak mot forurening av skog – en utredning om effekter på ulike deler av skogsystemet. Aktuelt fra SkogForsk 4/94, s. 107–112. Ås.
- Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallars utveckling. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. f. skogsskötsel, Akademisk avhandling, 28 s plus bilagor. Umeå.

Bilaga 1

Ytvis ståndortsbeskrivning

Block	Försöks- led	Mark- fuktighet ¹	Markvege- tationstyp ¹	Markvattnets rörlighet ¹	Humustäckets mäktighet ² (cm)	Blekjordens mäktighet ² (cm)	Jordartens textur ¹
1	81	Fr	Blå	S	4,8	8,0	SaMo morän
	2	Fr	Ling-(Blå)	S	6,0	10,3	SaMo morän
	3	Fr	Blå	S	8,5	7,0	Grovmo/ (SaMo morän)
	4	Fr	(Ling)-Blå	S	10,2	18,3	SaMo morän/ (Grovmo)
	5	Fr	Ling-(Blå)	S	5,5	7,0	SaMo morän
2	81	Fr	Lavrik	S	4,2	8,0	SaMo morän
	2	Fr	Lavrik	S	7,0	8,0	SaMo morän
	3	(To)-Fr	Lavrik	S	4,2	17,5	SaMo morän
	4	Fr	Lavrik	S	4,2	9,0	SaMo morän
	5	Fr	Lavrik- (Kråk-Lju)	S	5,8	11,8	SaMo morän

¹ Definitioner enligt SHS boniteringssystem (Hägglund och Lundmark, 1982).

² Medeltal av 4 provpunkter.

240 Lofsdalen – Tillväxtförändring under försöksperioden 1990–95

		Försöksled/Behandling				
		81 Kontroll	2 Ca	3 NPK	4 CaNPK	5 Vital
Uppmätt höjdtillväxt (m/6 år)	Block 1	1,32	1,21	1,69	1,56	1,36
	Block 2	1,37	1,18	1,49	1,52	1,37
	Medel ¹	1,27 ±0,09	1,21 ±0,07	1,60 ±0,07	1,55 ±0,07	1,41 ±0,08
	Rel. tal	(100)	(95)	(126)	(122)	(111)
(m/5 år)	Behand- lingseffekt ²	-	-0,07 ±0,12 e.s.	0,33 ±0,12**	0,28 ±0,12**	0,14 ±0,14 e.s.
Uppmätt grundytetillväxt (m ² /ha, 6 år)	Block 1	3,42	3,83	5,10	4,29	3,21
	Block 2	3,71	2,82	4,00	4,73	3,17
	Medel ¹	3,57 ±1,00	3,32 ±1,00	4,55 ±1,00	4,51 ±1,00	3,19 ±1,00
	Rel. tal	(100)	(93)	(127)	(126)	(89)
(m ² /ha, 5 år)	Behand- lingseffekt ²	-	-0,24 ±1,41 e.s.	0,99 ±1,41 e.s.	0,94 ±1,41 e.s.	-0,38 ±1,41 e.s.
Uppmätt volymtillväxt (m ³ sk/ha, 6 år)	Block 1	26,1	26,9	38,8	31,6	24,4
	Block 2	25,6	19,5	26,4	29,9	22,3
	Medel ¹	23,2 ±6,9	23,3 ±5,7	31,9 ±5,8	32,4 ±6,2	25,0 ±6,2
	Rel. tal	(100)	(100)	(138)	(140)	(108)
(m ³ sk/ha, 5 år)	Behand- lingseffekt ²	-	0,1 ± 9,1 e.s.	8,7 ± 8,6 e.s.	9,2 ± 10,2 e.s.	1,8 ± 10,2 e.s.
Kontraster:			Höjdtillväxt ² (m/5 år)	Grundytetillväxt ² (m ² /ha, 5 år)	Volymtillväxt ² (m ³ sk/ha, 5 år)	
CaNPK mot Ca	F-led 4 mot 2		0,34 ±0,11**	1,18 ±1,41 e.s.	9,1 ±8,4 e.s.	
CaNPK mot NPK	F-led 4 mot 3		-0,05 ±0,11 e.s.	-0,04 ±1,41 e.s.	0,5 ±8,8 e.s.	
NPK mot Vital	F-led 3 mot 5		0,19 ±0,11*	1,36 ±1,41 e.s.	6,9 ±8,8 e.s.	
CaNPK mot Vital	F-led 4 mot 5		0,14 ±0,11*	1,32 ±1,41 e.s.	7,5 ±8,1 e.s.	
Alla NPK mot kontroll	F-led 3+4 mot 81		0,30 ±0,11**	0,96 ±1,22 e.s.	9,0 ±8,4 e.s.	
Alla NPK mot Vital	F-led 3+4 mot 5		0,16 ±0,10*	1,34 ±1,22 e.s.	7,2 ±7,2 e.s.	

¹ Enligt variansanalys/kovariansanalys. 95 % konfidensintervall angivet. Avser en period på 6 år.

² Kontraster från variansanalysen/kovariansanalysen angivna med 95 % konfidensintervall. Signifikansnivåer: e.s. = ej signifikant, * = 5 % risknivå, ** = 1 % risknivå, *** = 0,1 % risknivå. Avser en 5-årig effektperiod.

Variansanalys för höjdtillväxt, grundytetillväxt och volymtillväxt

Höjdtillväxt.

Variansorsak	Fg	MS	F-kvot	p-värde
Block	1	0,013	11,72	0,042
Behandling	4	0,054	49,03	0,005
Grundyta vid anläggning	1	0,016	14,95	0,031
Fel	3	0,001		

Grundytetillväxt.

Variansorsak	Fg	MS	F-kvot	p-värde
Block	1	0,204	0,79	0,425
Behandling	4	0,860	3,31	0,136
Fel	4	0,260		

Volymtillväxt.

Variansorsak	Fg	MS	F-kvot	p-värde
Block	1	12,67	1,96	0,256
Behandling	4	40,38	6,25	0,082
Volym vid anläggning	1	30,83	4,77	0,117
Fel	3	6,46		

Blockvisa beståndsdata

Försök 240 Lofsdalen

Block 1

Försöksled	Behandling				
	81 Kontroll	2 Ca	3 NPK	4 CaNPK	5 Vital
Löpande tillväxt (m ³ sk/ha, år)	4,35	-	-	-	-
Grundyta (m ² /ha)					
vid anläggning	15,0	14,4	15,2	14,7	14,3
vid revision	18,4	18,2	20,3	19,0	17,5
Medeldiameter, Dgv (mm)					
vid anläggning	141	128	132	126	128
vid revision	157	144	152	143	141
Medelhöjd, Hgv (dm)					
vid anläggning	84	83	87	80	79
vid revision	98	95	104	95	93
Volym (m ³ sk/ha)					
vid anläggning	69,7	66,2	72,8	65,8	63,7
vid revision	95,8	93,0	111,7	97,4	88,0
Stamantal per hektar	955	1 114	1 114	1 178	1 114

Block 2

Behandling	Försöksled				
	81 Kontroll	2 Ca	3 NPK	4 CaNPK	5 Vital
Löpande tillväxt (m ³ sk/ha, år)	4,27	-	-	-	-
Grundyta (m ² /ha)					
vid anläggning	12,2	11,6	10,8	11,2	11,1
vid revision	15,9	14,4	14,8	15,9	14,3
Medeldiameter, Dgv (mm)					
vid anläggning	122	119	108	122	113
vid revision	139	132	126	146	128
Medelhöjd, Hgv (dm)					
vid anläggning	79	77	75	74	78
vid revision	93	89	90	89	92
Volym (m ³ sk/ha)					
vid anläggning	54,3	50,6	46,2	47,2	49,3
vid revision	79,9	70,1	72,6	77,1	71,6
Stamantal per hektar	1 050	1 050	1 178	955	1 114