

## Mark- och plantstudier i gödslingsförsöket D164 Billingsjön

– förhållanden 11 år efter slutavverkning

Slutrapport till Anna och Nils Håkanssons stiftelse

*Sten Nordlund, Hagos Lundström & Hans-Örjan Nohrstedt*



**Omslag:** Markprov och tall i försöket. **Foto:** Hans-Örjan Nohrstedt

---

**SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut**

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

---

Serien *Arbetsrapport* dokumenterar långliggande försök samt 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 (på engelska).

***Handledningar:*** Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

# Innehåll

Sammanfattning.....	3
Bakgrund .....	4
Material och metoder .....	4
Försöksbeskrivning .....	4
Markstudien.....	5
Plantstudien .....	5
Statistisk utvärdering .....	6
Resultat.....	6
Nitrat- och ammoniumkväve .....	6
pH(H <sub>2</sub> O).....	8
Lätt extraherbara baskatjoner och fosfor .....	9
Totalkol och -kväve .....	12
Plantor .....	14
Diskussion.....	17
Mark.....	17
Plantor .....	20
Erkännanden .....	20
Referenser .....	20



## Sammanfattning

Studier av mark och plantutveckling skedde 1998 i ett gammalt kvävegödslingsförsök i Härjedalen. I ett äldre tallbestånd (T18) på moränmark hade under perioden 1967 till 1981 tillförts mellan 360 och 1 800 kg N/ha i form av ammoniumnitrat. Tillförseln var fördelad på tre tillfällen (1967, 1974 och 1981). Beståndet slutavverkades 1987 för att studera betydelsen av den tidigare kvävegödslingen för utvecklingen under hyggesfasen, bl.a. vad gäller utlakning av kväve. Strax innan slutavverkningen gjordes en markprovtagning, vars resultat delvis kunde jämföras med resultaten från provtagningen 1998. Två år efter slutavverkningen planterades hygget ånyo med tall efter en lindrig fläckmarkberedning. Avgångarna var stora under de första åren och en kompletterande plantering gjordes därför 1993.

Ännu elva vegetationsperioder efter slutavverkning (1998) kunde tydliga effekter ses i marken av den gödsling som skedde i den tidigare skogen. Skillnaderna mot den obehandlade kontrollen var tydliga endast för givor som var större än de som i dag används i praktiskt skogsbruk. Effekter som kunde ses av de högre givorna var ett större innehåll i marken av total-kol, total-kväve och oorganiskt kväve i jämförelse med kontrollen. Markens förråd av total-kol och total-kväve hade generellt minskat under hyggesfasen. De uppskattade förlusterna av kväve kunde knappast förklaras med utlakning (förbi 50 cm), denitrifikation och upptag i vegetation. Detta kan tyda på en omfördelning i marken till djupare marklager (ca 20–50 cm ner i mineraljorden). Vid provtagningen 1998 fanns tydliga samband mellan tidigare kvävegiva och markens pH. I humuslagret ökade pH med giva och i mineraljorden minskade pH med ökande giva. Dessa samband var tydligare vid denna provtagning än vid den som gjordes före slutavverkning. Att mineraljordens pH minskade med ökad giva berodde sannolikt på nitrifikation. Nitrat påvisades i marken och processen då nitrat bildas är försurande. Markens generella pH-nivå hade dock ökat under hyggesfasen jämfört med provtagningen innan slutavverkningen. Denna förändring var tydligast i humusen och blekjorden, där pH ökat med 0,5–0,8 enheter. Längre ner i mineraljorden var pH ungefär detsamma som tidigare. Vad gäller markens innehåll av utbytbara baskatjoner (Ca, Mg och K) och växttillgängligt fosfor fanns ingen påverkan av de tidigare gödslingarna.

Plantutvecklingen var helt opåverkad av de tydliga förändringarna av markprofilen som iaktogs. Varken överlevnad, bedömd vitalitet eller höjd- och volymstillväxt uppvisade något samband med den tidigare gödslingen. Uppenbart var att mängden oorganiskt kväve i marken, vilken var kraftigt förhöjd av höga givor, inte var någon begränsande faktor för den tidiga plantutveckling.

## Bakgrund

Tidigare undersökningar har visat att kväve tillfört genom skogsgödsling till stor del effektivt kvarhålls av marken och beståndet (Nohrstedt & Westling, 1995). I det aktuella gödslingsförsöket gjordes alldeles innan slutavverkningen (1987) en markundersökning där det kunde konstateras att mellan 30 och 80 % av tillfört kväve återfanns i marken (Nohrstedt, 1990). Olika totaldosor mellan 360 och 1 800 kg kväve per ha hade tidigare tillförts. Andra effekter av den tidigare gödslingen var en tydlig ökning av humuslagrets mäktighet och en viss försurning av den övre delen av rostjorden. Markens förråd av s.k. baskatjoner (Ca, Mg och K) var ej påverkat av gödslingen.

Utlakningen av kväve från skogsmark ökar normalt efter slutavverkning och då i form av nitrat. Den ökning i markens kvävemängd som en tidigare gödsling resulterat i skulle kunna leda till att läckaget av nitratkväve blir större än vad som är normalt efter slutavverkning. Frågan har varit föremål för studier i försöket (Ring, 1996). Flertalet av de prövade givorna ledde till en ökad nitratutlakning i jämförelse med den ogödslade kontrollen. Det faktum att nitratutlakningen tydligt ökat efter avverkningen p.g.a. den tidigare gödslingen, skulle kunna medföra att marken försurats under samma tid. Detta eftersom nitratbildning är förknippad med produktion av vätejoner och eftersom utlakning av nitrat kan medföra en samtidig förlust av Ca, Mg och K. Ett syfte med denna undersökning var att ta reda på detta.

Upprepade skogsgödslingar med kväve ger, som ovan nämnts, märkbara förändringar av skogsmarken. Dessa kan tänkas påverka föryngringsresultatet. Vid en första inledande studie som gjordes 1992, vilket var fyra vegetationsperioder efter plantering, fanns ingen tydlig påverkan av den tidigare gödslingen (Nohrstedt & Lundström, 1995). Eftersom höjdtillväxten då varit mycket långsam bedömde vi det vara av värde med ytterligare en inventering, nu efter tio vegetationsperioder. Detta var undersökningens andra syfte.

## Material och metoder

### *Försöksbeskrivning*

Försöket D 164 Billingsjön är beläget ca 2 mil NV om Sveg i Härjedalen. Försöket utlades 1967 för att utröna sambandet mellan stamtillväxt och dosen ammoniumnitrat. Försöket har beskrivits i detalj av Nohrstedt (1988). Ståndorten uppskattades vid utläggningen som en frisk lingonristyp med ståndortsindex T16, men har senare reviderats till en lavrik-lavtyp med ståndortsindex T18. Försöket gödslades tre gånger (1967, 1974 och 1981) med givorna 0, 120, 180, 240, 360, 480 och 600 kg N per ha och tillfälle. Det innebär att totalt mellan 360 och 1 800 kg N per ha tillförts. Varje giva prövades i två upprepningar, vilka var utlagda som block. Försöksytorna var

1 600 m<sup>2</sup> stora. I oktober 1987 avverkades försöksbeståndet bl.a. för att studera gödslingens inverkan på kväveutlakningen under hyggesfasen (jfr Ring 1996).

### **Markstudien**

I september 1998, elva år efter avverkningen, togs prover på humuslagret samt på mineraljorden från nivåerna 0 – 5, 5 – 10 och 10–20 cm under humusgränsen. Proverna togs från 20 punkter per yta och slogs horisontvis samman till ett generalprov för ytan. Respektive prov sållades, omrördes och fördelades på ett delprov för analys av oorganiskt N, ett delprov för analys av baskatjoner, fosfor och pH, samt ett delprov för analys av totalkol och -kväve.

Oorganiskt N extraherades med 1 M KCl och analyserades kolorimetriskt med autoanalyser (Traacs 800). Baskatjonerna och fosfor extraherades med Egnérs AL-lösning (1 M ammoniumlaktat pH 3,75). En glaselektrod användes för pH-bestämning i en jord-vatten slurry (1:2 volymsdelar). Totalkol och -kväve bestämdes genom torrförbränning (Carlo Erba).

### **Plantstudien**

Den första planteringen gjordes i juni 1989 och en hjälpplantering utfördes i juni 1993. I båda fallen användes ettåriga täckrotsplantor (Hiko plantsystem) med hårdighetstal >5. Förbandet var 2 m, vilket ger 2 500 plantor per ha. Före den första planteringen gjordes en lindrig fläckmarkberedning. Med en tillsats till en röjsåg skapades en vegetationsfri planteringsfläck. Fläcken hade en diameter på 2–3 dm. I samband med hjälpplanteringen skapade plantören en motsvarande fläck. Skälet till att hygget inte markbereddes kraftigare före planteringen var att framtida markundersökningar i så fall skulle försvåras.

Hygget inventerades för andra gången i september 1998, drygt nio år efter den första planteringen, respektive fem år efter hjälpplanteringen. Mätningarna gjordes inom nettoytor om 400 m<sup>2</sup>. Ursprungsplantor och hjälpplanterade plantor inventerades var för sig. På samtliga levande plantor mättes totalhöjden samt 1997 och 1998 års toppskott. Vitaliteten på plantorna skattades på en skala från 0–5, där 0 innebar en helt död planta och 5 en fullt vital planta. Rothalsdiametern mättes på stammen ca 2 cm ovan markytan. Stamvedsvolym för plantor beräknades enligt formeln för en rak kon med ingångsvärdena planthöjd och stambasdiameter.



## Statistisk utvärdering

Resultaten bearbetades statistiskt i en linjär regressionsanalys där total gödselgiva var oberoende variabel. I en första analys undersöktes om det fanns någon blockeffekt. Detta var ej fallet och därför analyserades hela materialet endast med giva som oberoende variabel och med två upprepningar per giva. Gödslingen ansågs ha haft en statistisk signifikant betydelse om regressionslinjens lutning var skild från 0 ( $p < 0,05$ ).

## Resultat

### Nitrat- och ammoniumkväve

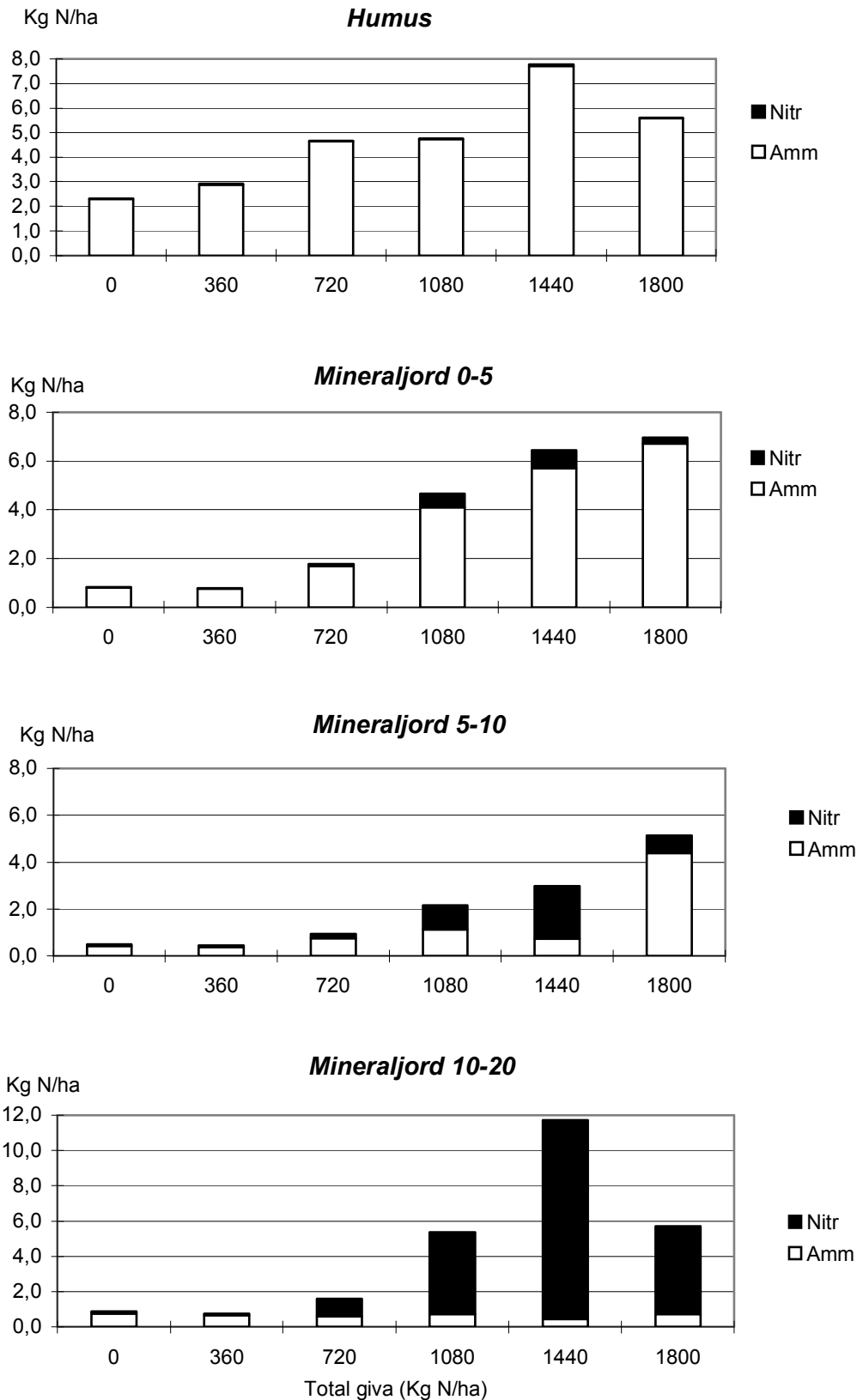
Markprofilens innehåll av oorganiskt kväve visade ett positivt samband med total dos tillfört gödselkväve (figur 1–2, tabell 1). Behandlingseffekten gällde såväl ammonium- som nitratkväve för hela den studerade profilen. Vid studium av de provtagna skikten var för sig framgår dock att de övre skikten, humus och mineraljord 0–5 cm, innehöll endast små mängder nitrat, vilka inte korrelerade till tillfört gödselkväve. Ammoniumkvävet hade här ett klart dos-effekt-samband, förutom att den högsta dosen innehöll mindre ammoniumkväve än den näst högsta dosen. I de djupare mineraljordsskikten, 5–10 respektive 10–20 cm, var nitratandelen högre och hade ett positivt samband med gödseldosen. Nitratandelen ökade med ökande provtagningsdjup, vilket kan bero dels på utlakning av nitratkväve, dels på starkare nitrifikation i de djupare skikten.

Provytornas förråd av oorganiskt kväve i den provtagna profilen, inklusive humus och 0–20 cm mineraljord, ökade signifikant med ökad totaldos ( $y = 2,17 + 0,014 \times \text{kg N}$ ;  $R^2 = 0,72$ ;  $p < 0,0005$ ). Dosen 1 800 kg N/ha hade dock ett lägre förråd än dosen 1 440 kg N/ha, vilket berodde på en skillnad för nitrat. Denna skillnad återkom i alla de tre studerade mineraljordsskikten men förstärktes med ökande jorddjup.

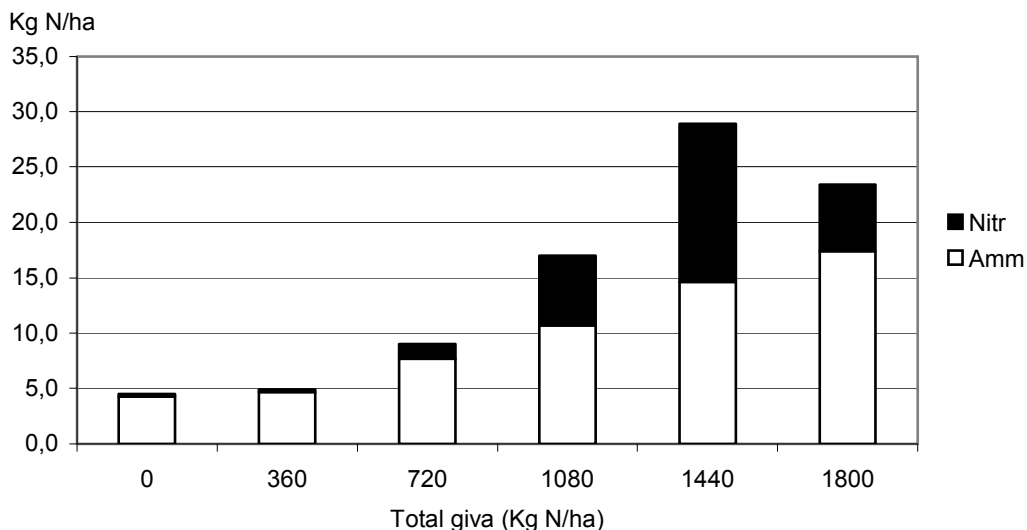
Tabell 1.

Oorganiskt kväve, kg N/ha, i provtagna markskikt. Medel av två försöksytor. Dessutom resultat från regressionsanalys ( $R^2$  och p-värde för lutning skild från 0).

Skikt	Humus		Mineraljord 0–5		Mineraljord 5–10		Mineraljord 10–20		Profilen	
	Amm	Nitr	Amm	Nitr	Amm	Nitr	Amm	Nitr	Amm	Nitr
Dos										
0	2,31	0,01	0,80	0,03	0,43	0,06	0,76	0,13	4,30	0,22
360	2,89	0,04	0,76	0,03	0,39	0,06	0,66	0,11	4,69	0,24
720	4,65	0,01	1,69	0,09	0,76	0,18	0,59	1,02	7,69	1,29
1080	4,74	0,02	4,10	0,57	1,15	1,02	0,71	4,66	10,69	6,27
1440	7,72	0,05	5,71	0,73	0,74	2,24	0,46	11,24	14,63	14,26
1800	5,57	0,03	6,72	0,25	4,39	0,74	0,72	4,99	17,41	6,01
$R^2$	0,59	0,08	0,67	0,30	0,43	0,27	0,05	0,43	0,87	0,41
P	0,0036	0,3861	0,0012	0,1071	0,0202	0,0848	0,4775	0,0202	0,0001	0,0251



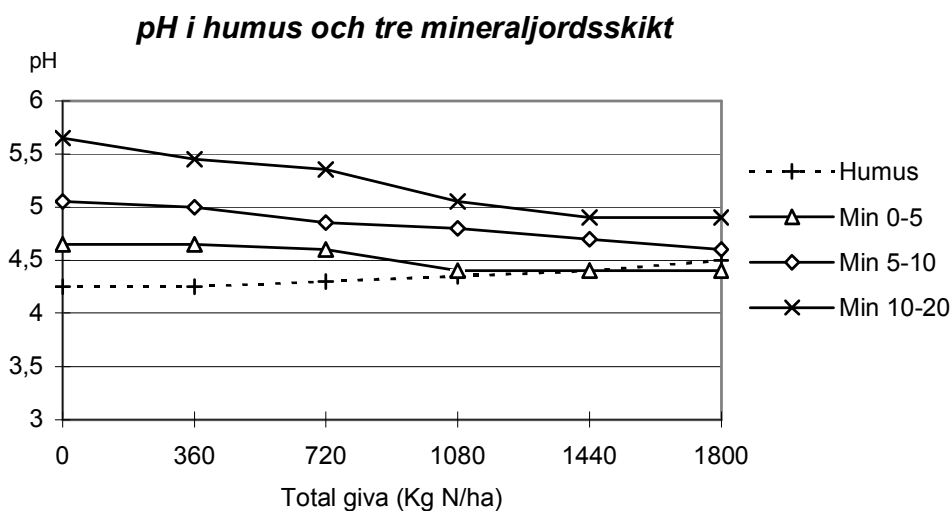
Figur 1. Oorganiskt kväve, kg N/ha, i provtagna markskikt. Medel av två försöksytor.



Figur 2.  
Oorganiskt kväve, kg N/ha, i hela den provtagna profilen. Medel av två försöksytor.

### pH(H<sub>2</sub>O)

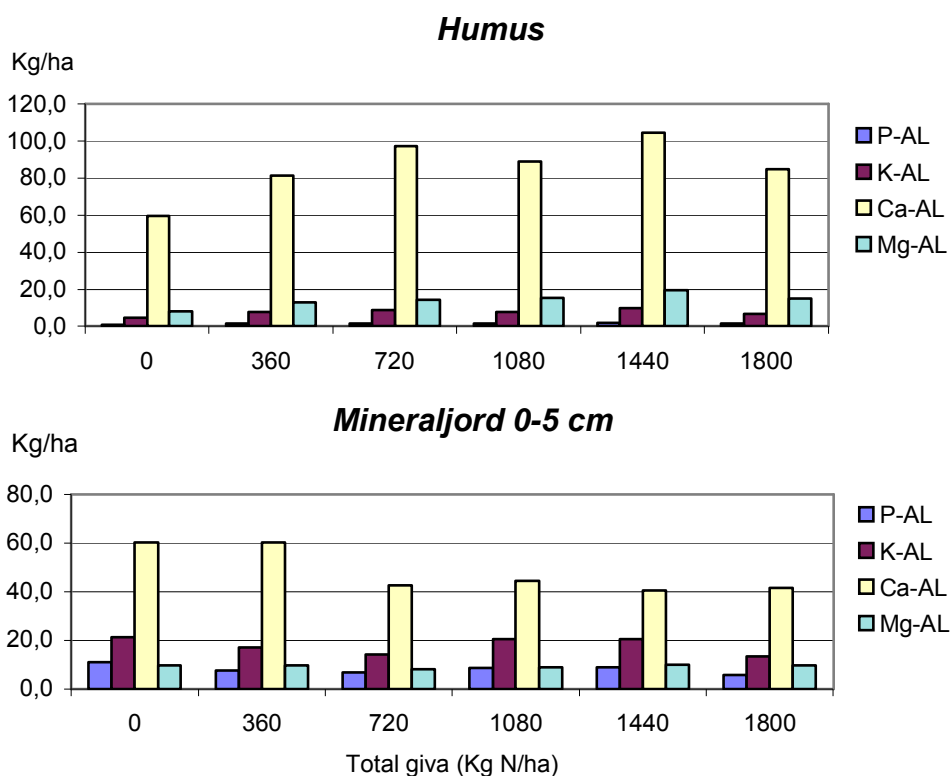
I humusen ökade pH-värdet svagt men statistiskt signifikant, med ökande kvävedos (figur 3 och tabell 2). I mineraljorden var dock sambandet mellan pH och dos negativt, dessutom ökade den negativa lutningen med jorddjupet.



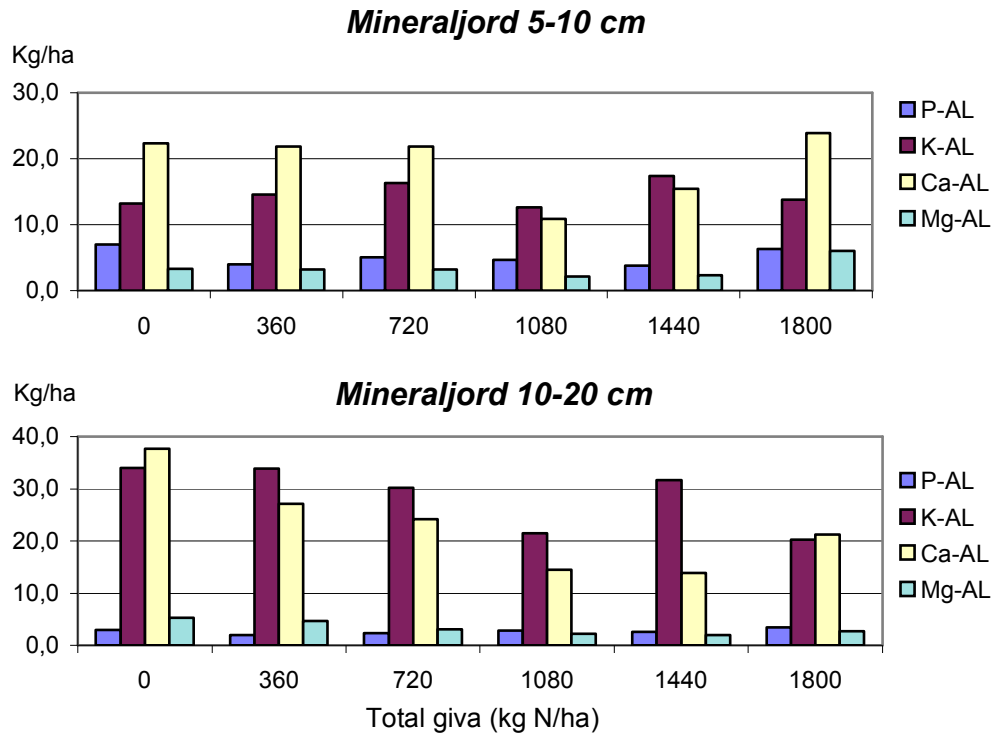
Figur 3.  
pH (H<sub>2</sub>O) i provtagna markskikt. Medel av två försöksytor.

## Lätt extraherbara baskatjoner och fosfor

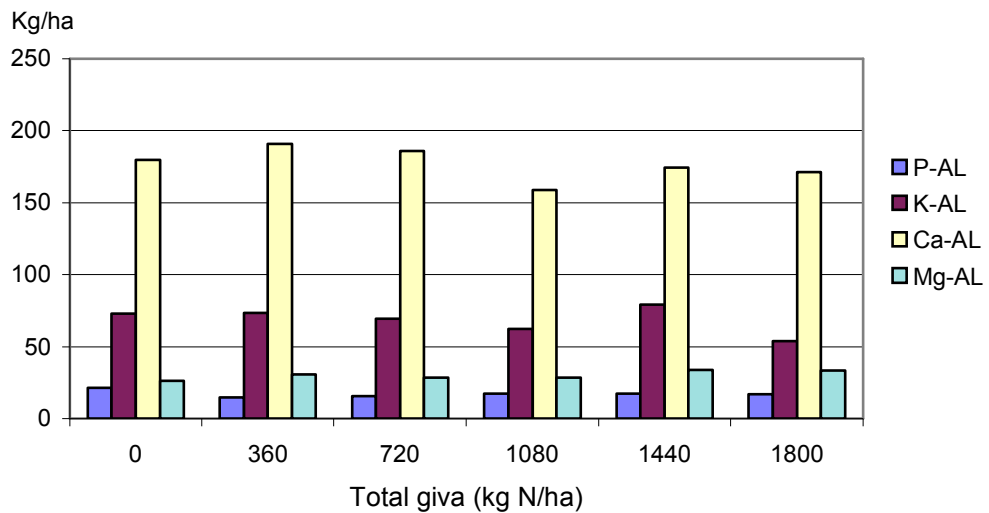
Det lätt extraherbara förrådet av de studerade näringsämnen P, K, Ca och Mg (figur 4–5, tabell 2) uppvisade oftast inga samband med tillförd kvävedos i de övre markskikten, fränsett att mängden Mg ökade med dos i humuslagret och att Ca-mängden minskade med ökande kvävedos i mineraljordskiktet 0–5 cm. På den djupaste nivån 10–20 cm, minskade mängden av samtliga baskatjoner med ökande kvävedos. Fosfor påverkades inte av kvävedosen i något av de analyserade markskikten. Om hela den analyserade delen av markprofilen betraktas, uppvisade inget av de analyserade näringsämnen något beroende av tillförd kvävedos (figur 6).



Figur 4. Lätt extraherbara (ammoniumlaktat) näringsämnen, kg/ha, i humuslager och mineraljord 0–5 cm. Medel av två försöksytor.



Figur 5.  
Lätt extraherbara (ammoniumlaktat) näringsämnen, kg/ha, i mineraljord 5–10 cm och 10–20 cm. Medel av två försöksytor.



Figur 6.  
Lätt extraherbara (ammoniumlaktat) näringsämnen, kg/ha, i hela den analyserade delen av markprofilen. Medel av två försöksytor.

Tabell 2.

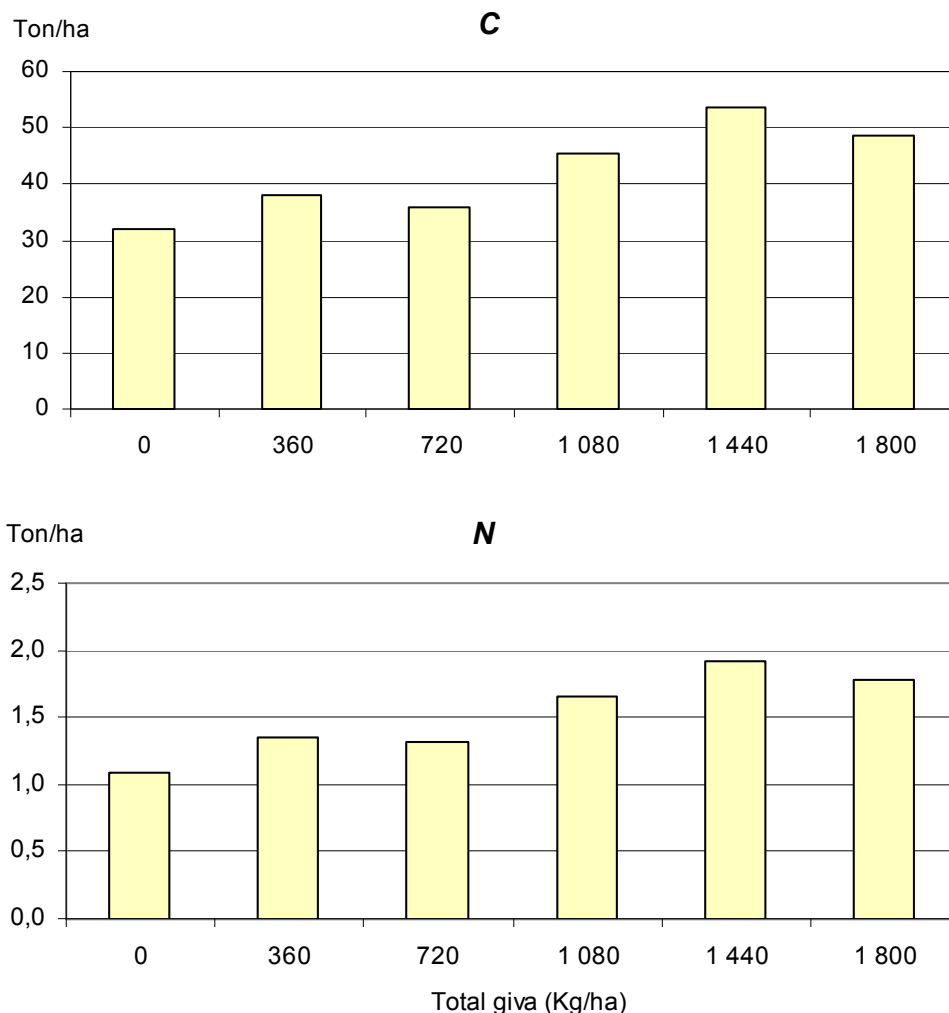
Lätt extraherbara (ammoniumlaktat) näringsämnen, kg/ha, och pH(H<sub>2</sub>O). Medel av två försöksytor.

Horisont	N-dos	P-AL	K-AL	Ca-AL	Mg-AL	pH
Humus	0	0,93	4,57	59,7	8,0	4,25
	360	1,37	7,85	81,5	13,0	4,25
	720	1,62	8,76	97,3	14,4	4,30
	1 080	1,44	7,76	88,9	15,4	4,35
	1 440	1,96	10,00	104,7	19,6	4,40
	1 800	1,44	6,85	84,7	15,2	4,50
R <sup>2</sup>		0,24	0,17	0,22	0,44	0,80
P		0,1069	0,1807	0,1278	0,0182	0,0001
Min 0–5	0	10,85	21,1	60,3	9,83	4,65
	360	7,52	17,1	60,3	9,79	4,65
	720	6,75	14,3	42,6	8,19	4,60
	1080	8,56	20,4	44,4	8,92	4,40
	1 440	8,83	20,4	40,5	9,98	4,40
	1 800	5,67	13,2	41,5	9,79	4,40
R <sup>2</sup>		0,20	0,04	0,55	0,00	0,78
P		0,1502	0,5383	0,0058	0,9135	0,0001
Min 5–10	0	6,99	13,3	22,3	3,38	5,05
	360	4,00	14,6	21,9	3,27	5,00
	720	5,07	16,3	21,8	3,26	4,85
	1 080	4,73	12,6	11,0	2,19	4,80
	1 440	3,86	17,3	15,4	2,31	4,70
	1 800	6,38	13,8	23,9	6,04	4,60
R <sup>2</sup>		0,01	0,02	0,03	0,05	0,72
P		0,8040	0,6587	0,6099	0,4826	0,0005
Min 10–20	0	2,97	34,1	37,7	5,29	5,65
	360	2,03	33,9	27,2	4,74	5,45
	720	2,42	30,2	24,2	3,04	5,35
	1 080	2,91	21,4	14,6	2,22	5,05
	1 440	2,64	31,6	13,9	2,01	4,90
	1 800	3,48	20,2	21,3	2,70	4,90
R <sup>2</sup>		0,05	0,36	0,47	0,60	0,80
P		0,4638	0,0403	0,0137	0,0032	0,0001
Profilen	0	21,7	73,0	180	26,5	
	360	14,9	73,5	191	30,8	
	720	15,9	69,5	186	28,9	
	1 080	17,7	62,2	159	28,8	
	1 440	17,3	79,3	175	33,9	
	1 800	17,0	54,1	171	33,7	
R <sup>2</sup>		0,02	0,14	0,06	0,17	
P		0,6412	0,2325	0,4397	0,1905	

## Totalkol och -kväve

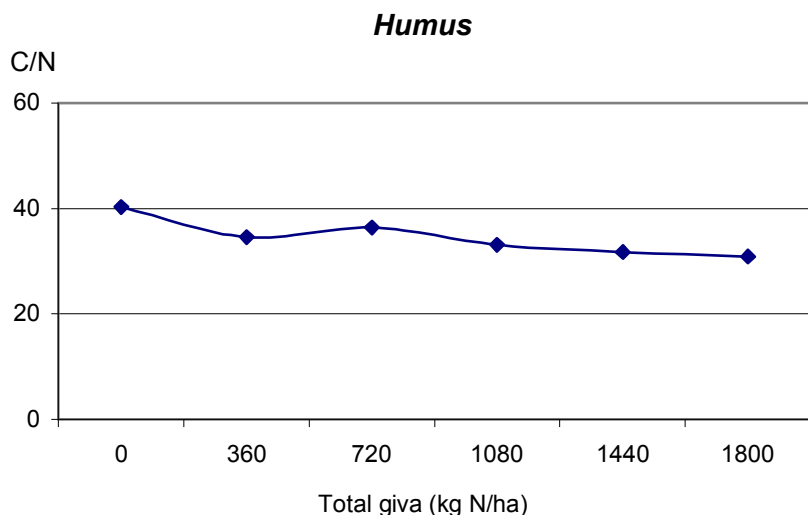
Den tidigare tillförseln av kväve hade resulterat i en statistiskt signifikant ökning av den analyserade markprofilens förråd av total-C och -N (tabell 3). Kolförrådet ökade från ca 30 ton/ha på kontrollytorna till ca 50 ton/ha för de högsta givorna (figur 7). De provtagna markskikten var för sig uppvisade inga säkerställda samband med tillförd gödselgiva, p-värdena var mellan 0,06 och 0,18 (tabell 3). Kolhaltererna uppvisade också tendenser till positiva samband med tillförd kvävegiva men sambandet var statistiskt signifikant endast för mineraljord 10–20 cm (tabell 4).

Förrådet av total-N ökade för samtliga markskikt utom mineraljord 10–20 cm med ökad kvävegiva (figur 7 och tabell 3). I den analyserade markprofilen hade förrådet ökat från ca 1,1 ton/ha för kontrollen till ca 1,9 ton/ha för de ytor som fått den näst högsta givan, 1 440 kg/ha. Kvävehalten ökade i samtliga markskikt med ökande giva (tabell 4), men ökningen var endast statistiskt signifikant för humus och mineraljord 10–20 cm.



Figur 7.  
Mängder av total-C och -N i mark profilen, kg/ha. Medel av två försöksytor.

C/N-kvoten i humuslagret minskade från ca 40 på kontrollerna till ca 30 för de ytor som fått de högsta givorna (figur 8). Sambandet var säkerställt (tabell 4). Mineraljordsskikten uppvisade ingen förändring av C/N-kvoten med ökande giva (tabell 4).



Figur 8. Kvoten mellan total-C och -N i humuslagret, Medel av två försöksytor.

Tabell 3. Mängder av total-C och -N i de provtagna markskikten, ton/ha. Medel av två försöksytor.

Skikt	Humus		Mineraljord 0–5		Mineraljord 5–10		Mineraljord 10–20		Profilen	
	Ctot	Ntot	Ctot	Ntot	Ctot	Ntot	Ctot	Ntot	Ctot	Ntot
Dos 0	10,8	0,264	7,1	0,253	6,1	0,237	7,8	0,339	31,8	1,1
360	11,7	0,340	11,1	0,390	7,8	0,296	7,3	0,322	37,9	1,3
720	12,6	0,356	5,7	0,244	7,4	0,298	10,3	0,417	35,9	1,3
1 080	14,1	0,441	11,2	0,386	8,1	0,337	12,0	0,490	45,4	1,7
1 440	19,5	0,633	13,1	0,472	11,7	0,387	9,5	0,424	53,8	1,9
1 800	12,5	0,392	12,8	0,467	11,0	0,421	12,2	0,492	48,5	1,8
R <sup>2</sup>	0,17	0,41	0,23	0,33	0,30	0,42	0,24	0,31	0,37	0,52
P	0,1773	0,0242	0,1129	0,0500	0,0646	0,0218	0,1101	0,0614	0,0357	0,0082

Tabell 4. Halter av total-C och -N i de provtagna markskikten. Medel av två försöksytor.

Skikt	Humus			Mineraljord 0–5			Mineraljord 5–10			Mineraljord 10–20		
	Ctot %	Ntot %	C/N	Ctot %	Ntot %	C/N	Ctot %	Ntot %	C/N	Ctot %	Ntot %	C/N
Dos 0	41,5	1,03	40,3	1,14	0,04	27,9	0,98	0,04	25,8	0,63	0,03	23,0
360	42,5	1,23	34,6	1,59	0,06	27,8	1,20	0,05	26,0	0,72	0,03	21,9
720	45,3	1,25	36,4	1,12	0,04	25,2	1,11	0,05	24,5	0,93	0,04	24,2
1 080	41,2	1,25	33,1	2,00	0,07	30,1	1,52	0,06	25,4	0,89	0,04	23,8
1 440	45,5	1,44	31,7	2,09	0,08	27,3	1,68	0,06	27,8	0,87	0,04	22,6
1 800	44,7	1,45	30,8	1,58	0,06	26,7	1,25	0,05	24,8	0,85	0,04	23,1
R <sup>2</sup>	0,11	0,60	0,58	0,23	0,32	0,00	0,23	0,32	0,00	0,34	0,42	0,00
P	0,2885	0,0031	0,0038	0,1168	0,0548	0,8841	0,1108	0,0545	0,9386	0,0452	0,0228	0,8663

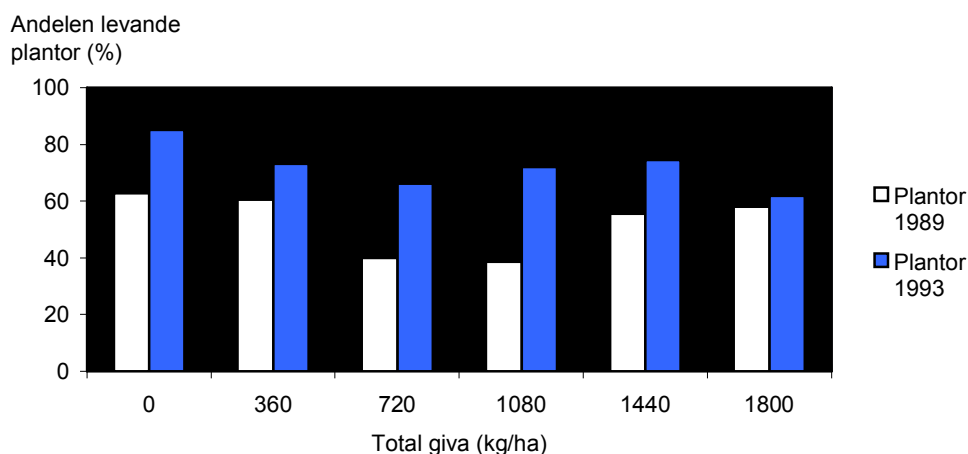


## Plantor

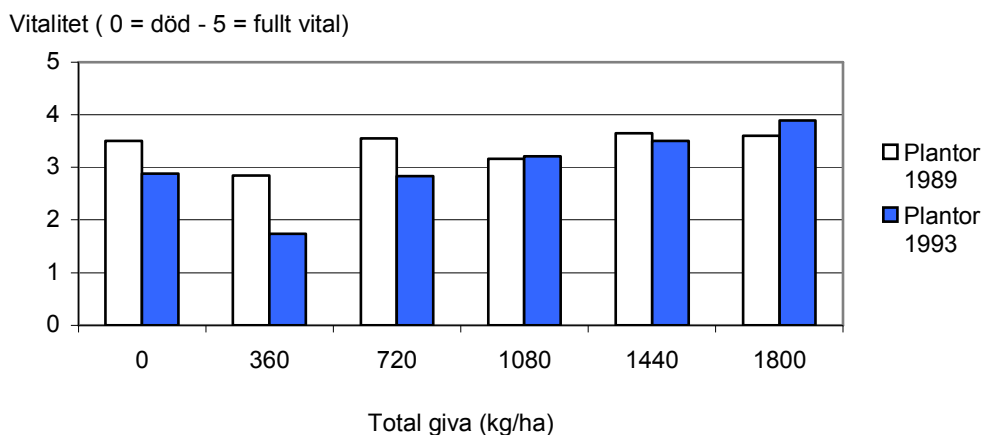
Den tidigare gödslingen saknade betydelse för samtliga utom för två av de uppmätta eller bedömda egenskaperna. Varken överlevnad eller tillväxt förändrades med ökande giva. De enda egenskaper som påverkades av givan var toppskottslängden 1998 och vitaliteten 1998 hos hjälpplanterade plantor satta 1993.

Överlevnaden (figur 9) för plantorna som sattes 1989 var i genomsnitt ca 50 % och för de plantor som sattes 1993 var den ca 70 %. Vid 1992 och 1993 års inventeringar var överlevnaden ca 80 % respektive 60 % för de plantor som sattes 1989. Överlevnaden påverkades inte av ökande giva.

Den skattade vitaliteten 1998 för de levande plantorna var något högre för plantor satta 1989 (3,4) än för de som sattes 1993 (3,0). Vitaliteten för plantor satta 1993 uppvisade ett positivt samband med tillförd gödselgiva ( $y = 2,26 + 0,00085 \times \text{kg N}$ ;  $R^2 = 0,48$ ;  $p = 0,01$ ) (figur 10).

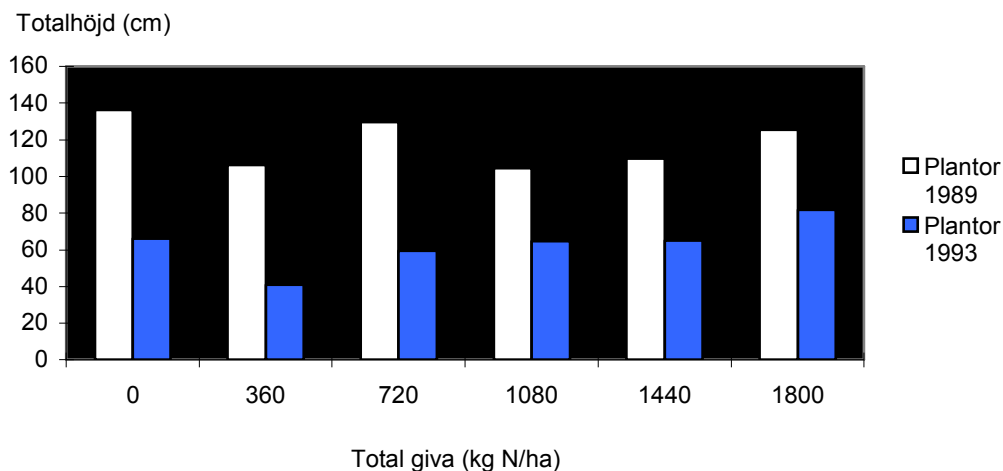


Figur 9. Överlevnad registrerad 1998 på ursrungsplantor (plantor 1989) och hjälpplanterade plantor (plantor 1993). Medel av två försöksytor.



Figur 10. Vitaliteten registrerad 1998 på ursrungsplantor (plantor 1989) och hjälpplanterade plantor (plantor 1993). Medel av två försöksytor.

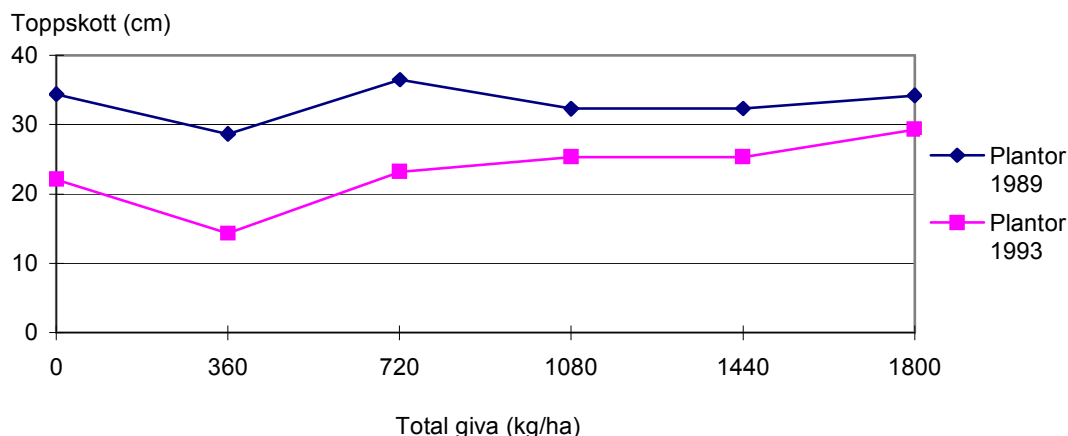
Plantor som var satta 1989 och som fortfarande levde 1998 hade uppnått en genomsnittlig totalhöjd på 120 cm efter tio vegetationsperioder. För de plantor som var satta 1993 var den genomsnittliga totalhöjden efter sex vegetationsperioder 65 cm (figur 11). Något samband med den tidigare kvävegivan fanns inte i någon av grupperna.



Figur 11. Totalhöjd hösten 1998 på ursprungsplantor (plantor 1989) och hjälpplanterade plantor (plantor 1993). Medeltal av två försöksytor.

För de plantor som var satta 1989 var toppskottens genomsnittliga längd 22 cm 1997 och 33 cm 1998 (figur 12). Toppskottslängden uppvisade inget säkerställt samband med tillförd giva. Under perioden 1993–1998 var den genomsnittliga toppskottslängden ca 16 cm.

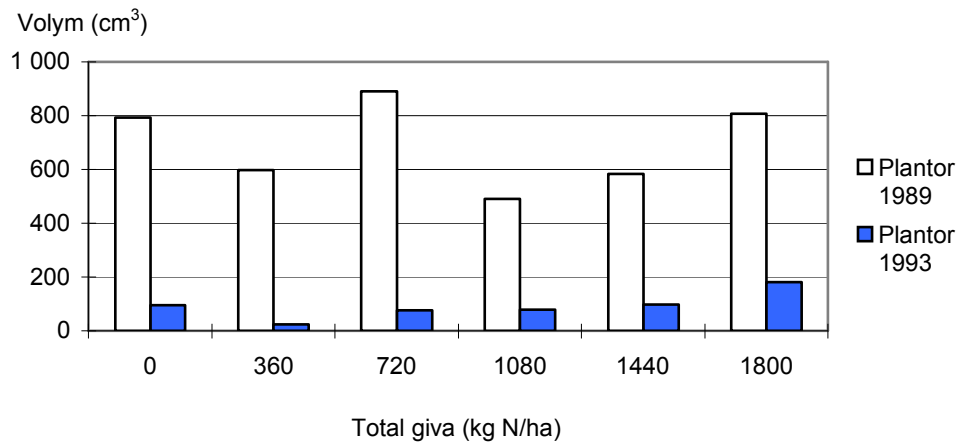
För de plantor som sattes 1993 var toppskottens genomsnittliga längd 15 cm 1997 och 23 cm 1998 (figur 12). Toppskottet 1998 för plantor satta 1993 uppvisade ett säkerställt positivt samband med tillförd giva ( $y = 18,2 + 0,0057 \times \text{kg N}$ ;  $R^2 = 0,42$ ;  $p = 0,02$ ). Toppskottskottlängden var 8 cm som ett genomsnitt för perioden 1993–1998.



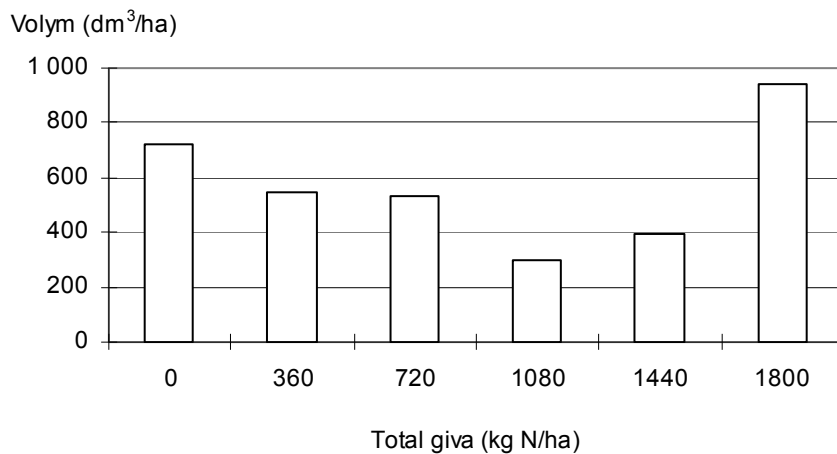
Figur 12. Längden på toppskott bildade 1998 för ursprungsplantor (plantor 1989) och hjälpplanterade plantor (plantor 1993). Medel av två försöksytor.

Den genomsnittliga stamvedsvolymen för en överlevande planta som planterades 1989 var 650 cm<sup>3</sup> (figur 13). För en planta som var satt 1993 låg medelvolymen på 100 cm<sup>3</sup>. Kvävegivan saknade betydelse för volymen i båda grupperna.

Den sammanlagda stamvedsvolymen var i medeltal 600 dm<sup>3</sup>/ha för alla försöksled för plantor satta 1989 (figur 14). Varken totalhöjd eller -volym uppvisade något säkerställt samband med tillförd giva.



Figur 13. Genomsnittlig stamvedsvolym per planta för ursprungsplantor (plantor 1989) och hjälplanterade plantor (plantor 1993). Medel av två försöksytor.



Figur 14. Areell stamvedsvolym för ursprungsplantor (plantor 1989). Medel av två försöksytor.

# Diskussion

## Mark

Kvävegödslingen som utförts i det tidigare beståndet, hade ännu drygt tio år efter slutavverkning en tydlig påverkan på marken. Förråden av totalkol, totalkväve, oorganiskt kväve och pH var tydligt påverkade, emedan ingen egentlig effekt fanns på baskatjoner och fosfor. Vid markprovtagningen 1987 (Nohrstedt, 1990), strax innan slutavverkningen, fanns också effekter, vissa som liknande de från den senaste provtagningen, andra som var olika.

Tidigare fanns i likhet med 1998, en tydlig påverkan av den förut utförda gödslingen på kolmängden i humuslagret. Då varierade humuslagrets kolmängd mellan ca 15 och 30 ton/ha och ökade med ökad kvävegiva. Vid den senaste provtagningen var mängden mellan ca 10 och 20 ton/ha, d.v.s. en reduktion med ca 30 %. En sådan minskning beror sannolikt till största delen på den uteblivna förnäringsproduktionen efter slutavverkning.

En liknande jämförelse som kan göras är för den summerade mängden totalkväve i marken ner t.o.m. 10 cm i mineraljorden. 1987 var mängden mellan 1 000 och 1 750 kg/ha och ökade med ökad kvävegiva. Fram till 1998 hade mängden sjunkit till mellan 750 och 1 500 kg/ha, d.v.s. en reduktion med 15–25 %. Det innebär att ca 250 kg N/ha, i stort sett oberoende av giva, skulle ha utlakats till större markdjup, denitrifierats eller tagits upp av vegetationen. Den angivna mängden motsvarar ett årligt försvinnande ur den analyserade delen av markprofilen på drygt 20 kg N/ha. Detta är avsevärt mer än de årliga mängder, vilka som mest beräknades ha lakas ut från 50 cm markdjup under den första 5-årsperioden efter slutavverkning (max 7–8 kg N/ha och år; jfr Ring, 1995). I det fallet fanns också tydliga skillnader mellan försöksled. En del kväve kan möjligen ha fastnat mellan det djupaste provtagna markdjupet (20 cm) och lysimeterdjupet (50 cm). Att denitrifikationen skulle vara en kvantitativt viktig förlustpost är inte troligt. Mätningar under de första hyggesåren fanns en mycket låg denitrifikation (Nohrstedt m.fl. 1994). En tredje möjlighet är en ackumulation av kväve i vegetationen. Efter slutavverkning slogs både botten- och fältskiktet totalt ut och har sedan dess inte repat sig, så där torde mycket lite kväve finnas ackumulerat. Före avverkningen höll dessa vegetationsskikt som mest ca 120 kg N/ha, varav merparten i bottenskiktet. Trädskiktet hade vid inventeringen 1998 en genomsnittlig stamvedsvolym inklusive bark på 0,6 m<sup>3</sup>/ha. Med en volymvikt på 0,45 ton/m<sup>3</sup> och en kvävehalt på 0,9 kg/ton (jfr Egnell m.fl. 1998), skulle det motsvara endast ca 0,3 kg/ha. Samtidigt finns sannolikt minst ca fem gånger mer kväve i träden totalt än i bara stammen, p.g.a. att gren, topp och barr är avsevärt mer kväverika, varför det aktuella ungskogsbeståndet kanske håller ett par kg kväve per ha. Denna mängd har ackumulerats under drygt tio år, varför det årliga nettoupptaget varit mycket litet. En pool som vi inte inkluderade i undersökningen var förnalagret. En mindre mängd kväve kan ta tagits upp av träden och återgått som förna till marken. Saprophytiska svampar skulle möjligen via sitt mycel ha kunnat transportera en del kväve från det analyserade markskiktet till förnalagret för att underlätta dess nedbrytning. I

humuslagret verkar dock förlusterna av kol ha varit större än förlusterna av kväve under perioden mellan 1987 och 1998. C/N-kvoten sjönk med ca tio enheter, på kontrollen t.ex. från ca 50 till ca 40. Sammanfattningsvis är det svårt att finna någon annan förklaring till det saknade kvävet än att det skulle rört sig en bit ner i markprofilen, möjligen då som löst organiskt kväve, men ej nått lysimetrarna på 50 cm djup.

Ett av denna undersökningens mest tydliga resultat var att mängden oorganiskt kväve var större där gödsling skett och att mängden ökade med ökade tidigare kvävegiva. Mängden av oorganiskt kväve i marken beror av ett samspel mellan mineralisering och förbrukande processer (upptag, utlakning, denitrifikation). På hygget har tydligen mineraliseringen övervägt, troligen p.g.a. att en stor pool av oorganiskt kväve tidigare byggts upp. Den tidigare utförda gödslingen ledde ju till att mängden totalkväve (i huvudsak organiskt kväve) i marken ökade med ökad giva och därför har det funnits mer utgångsmaterial att mineralisera på de gödslade ytorna än på kontrollen. Ökningar i de förbrukande processerna har inte kunnat motverka en ackumulation av oorganiskt kväve.

Mängden oorganiskt kväve i markprofilen analyserades inte vid provtagningen före slutavverkningen, därför vet vi inte om mängden var förhöjd redan då. Av markvattendata att döma kunde det möjligen gälla den allra högsta givan (Nohrstedt m.fl. 1994). I samband med en specialundersökning av markberedningsfläckar inom försöket 1994 gjordes en bestämning av mängden oorganiskt kväve för några försöksled (0, 720 och 1 800 kg N/ha). Då fanns respektive 10, 35 och 32 kg oorganiskt kväve per ha ner t.o.m. 15 cm i mineraljorden (Nohrstedt & Lundström, 1995). Vid 1998 års provtagning togs prov ner till 20 cm, men om vi antar att mängden i skiktet 10–20 cm var jämnt fördelat i djupled, kan en jämförelse göras. Vid detta års provtagning fanns uppskattningsvis respektive 5, 9 och 21 kg kväve per ha, d.v.s. en tydlig minskning mellan 1994 och 1998, vilket sannolikt tyder på att vegetationens kväveupptag ökat mellan dessa år. Tillväxtutvecklingen (data ej redovisade i denna rapport) hos den aktuella tallungskogen tyder också på detta. Först under senare år har den tagit ordentlig fart. Detta kan illustreras med att höjdtillväxten var 4 cm 1991 och 8 cm 1992, medan den för samma plantgrupp (ursprungsplantor satta 1989) hade ökat till 22 cm 1997 och 33 cm 1998.

En annan tydlig effekt av den tidigare gödslingen som påvisades 1998 var att pH var påverkat. I humuslagret ökade pH något med kvävegiva och i samtliga mineraljordsskikt minskade pH med kvävegiva. Skillnaden i pH mellan kontrollen och högsta givan ökade med jorddjup. Om man i stället räknar skillnaden i surhet i vätejonkoncentration så avtar den något med djupet, vilket beror på att marken är surare närmare markytan. En och samma pH-differens betyder då olika stor differens i vätejonkoncentration i olika markdjup. Liknande tendenser vad gäller pH-värdets koppling till kvävegivan fanns redan 1987, men sambandet har förtydligats under hyggesfasen.

Skälet till att pH ökade med giva i humuslagret är sannolikt i huvudsak en resteffekt från tiden före och i samband med slutavverkningen. Förna- och kvävemineraliseringen ökade sannolikt med ökande giva. Då organiskt kväve frigörs och bildar ammonium från ammoniak förbrukas vätejoner. Att pH minskade med ökande giva i mineraljorden sammanhänger sannolikt med att ammonium nitrifieras i densamma. Markdata (figur 1 och tabell 1) tyder på nitratbildning i mineraljorden. Nitratbildning är en potentiellt försurande process i och med att två mol vätejoner bildas per oxiderad mol ammonium.

Under en beståndsålder försuras marken naturligt av växandet och pH i humusen minskar därför ju äldre beståndet blir (Troedsson, 1980; Tamm & Hallbäcken, 1988). En liknande effekt kan också ses i den övre delen av mineraljorden, speciellt i bördig granskog i södra Sverige (Tamm & Hallbäcken, 1988). När skogen huggs ner återbördas mycket näring till marken och pH-utvecklingen går då under en tid normalt i motsatt riktning, d.v.s. pH ökar (Nykvist & Rosén, 1985). Ökningen blir mindre uttalad om hyggesriset avlägsnas. I vårt försök var pH i humuslagret mellan 4,3 och 4,5 vid 1998 års provtagning. Vid provtagningen 1987 var pH i genomsnitt ca 3,8, d.v.s. att pH ökat under hyggesfasen med 0,5–0,7 pH-enheter. I mineraljordens övre 5 cm (blekjorden) har pH ökat ungefär lika mycket under samma tid, från i medeltal 3,7 1987 till 4,5 1998. I rostjordens övre del var pH ungefär detsamma vid båda tillfällena, möjligen med en ökning på 0,1–0,2 enheter. Mineraljordsskiktet 10–20 cm provtogs inte 1987 och därför kan ingen jämförelse göras mellan de två tillfällena.

Vare sig vid 1998 års provtagning eller vid den tidigare (1987) fanns det något samband mellan markens utbytbara förråd av baskatjoner och den tidigare gödslingen. Detta trots att ett relativt stort läckage av kväve ägt rum, både före och efter slutavverkning. Den uteblivna effekten på baskatjoner är på tvärs med tidiga teorier om att kvävegödsling skulle utarma marken (Nömmik & Wiklander, 1983). Det är visat att baskatjoner rinner med nitrat ur marken, men eftersom marken inte utarmas finns det någon motverkande process. Troligen orsakar det mäktigare humuslagret, som gödslingen givit, att vittringen ökar. Ett mäktigare humuslager ger sannolikt mer organiska syror, vilka är drivande i vittringen.

Vid den tidigare undersökningen 1987 fanns en tendens att mängden växttillgängligt fosfor minskade med ökande kvävegiva. Detta gällde speciellt i blekjorden, där effekten var statistiskt säkerställd. Vid den nya provtagningen 1998 fanns det inga säkerställda effekter av kvävegivan. Emellertid fanns det fortfarande en tendens till att de gödslade försöksleden hade en mindre mängd växttillgängligt fosfor i blekjorden än vad som var fallet på kontrolytorna.

Flertalet av de kvävegivor som prövats i det aktuella försöket har ingen relevans för praktiskt skogsbruk, men är ändå intressanta, då de kan säga en hel del om de långsiktiga effekterna av en fortsatt hög kvävetillförsel. En praktiskt totalgiva i Norrland ligger i dag i intervallet 300–400 kg kväve per ha och motsvaras således i vårt försök av den allra lägsta prövade givan.

Sammantaget kan sägas att denna giva i jämförelse med den obehandlade kontrollen i flertalet fall saknade tydlig påverkan för samtliga markvariabler som studerades.

## **Plantor**

Kväve är det näringsämne som i första hand brukar styra tillväxthastigheten hos äldre träd (Tamm, 1991; Sikström & Nohrstedt, 1995). De försöksytor som tidigare fick 720 kg N/ha och mer har i markprovtagningen visat sig ha en betydligt större mängd oorganiskt kväve än kontrollen. Denna ökning har tydligen helt saknat betydelse för plantornas utveckling. Detta tyder på att tillgången av oorganiskt kväve inte är någon begränsande faktor. Föryngringen har generellt drabbats av stora svårigheter. Nästan hälften av de plantor som sattes första gången (1989) hade inte överlevt fram till 1998. Framför allt tycks frosten under de första åren efter planteringen dödat många toppskott.

## **Erkännanden**

Undersökningen har i huvudsak finansierats av Anna och Nils Håkanssons stiftelse. Ett tack till markägaren MoDo Skog AB för att vi under lång tid fått disponera försöksområdet för våra studier.

## **Referenser**

- Nohrstedt, H.-Ö. 1988. The forest fertilization experiment D164 Billingsjön – a description. Rapport Nr 7, Institutet för skogsförbättring, Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1990. Effects of repeated nitrogen fertilization with different doses on soil properties in a *Pinus sylvestris* stand. Scandinavian Journal of Forest Research 5, 3-15.
- Nohrstedt, H.-Ö. & Lundström, H. 1995. Föryngringsresultatet påverkades inte av tidigare skogsgödsling med kväve. SkogForsk, Resultat nr 12. Uppsala. 4 s.
- Nohrstedt, H.-Ö., Ring, E., Klemmedtsson, L. & Nilsson, Å. 1994. Nitrogen losses and soil water acidity after clear-felling of fertilized experimental plots in a *Pinus sylvestris* stand. Forest Ecology and Management 66, 69-86.
- Nohrstedt, H.-Ö. & Westling, O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA Skogs gödslingsprogram. Del 1, faktaunderlag. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, Rapport IVL B 1218. Aneboda. 90 s.
- Nykvist, N. & Rosén, K. 1985. Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. Forest Ecology and Management 11, 157-169.

- Nömmik, H. & Wiklander, G. 1983. Syra/bas-effekter av kvävegödselmedel på skogsmark. Statens naturvårdsverk, Rapport SNV PM 1657. Stockholm. 24 s.
- Ring, E. 1995. Nitrogen leaching before and after clear-felling of fertilised experimental plots in a *Pinus sylvestris* stand in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 72, 151-166.
- Ring, E. 1996. Effects of previous N fertilizations on soil-water pH and N concentrations after clear-felling and soil scarification at a *Pinus sylvestris* site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11, 7-16.
- Sikström, U. & Nohrstedt, H.-Ö. 1995. Näringen som kritisk faktor för trädens tillväxt och vitalitet. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 134 (11), 111-128.
- Tamm, C.-O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological Studies*, vol. 8. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 115 s.
- Tamm, C.-O. & Hallbäcken, L. 1988. Changes in soil acidity in two forest areas with different acid deposition. *Ambio* 17, 56-61.
- Troedsson, T. 1980. Long-term changes of forest soils. *Anales Agriculturae Fenniae* 19, 81-84.