

Tillväxteffekter efter skogsgödsling med kväve

VALIDERING AV BEFINTLIGT PROGNOsinSTRUMENT

Effects of nitrogen fertilisation on forest increment
– validation of existing forecasting tool



FOTO: STAFFAN JACOBSON

Summary

Fertilisation is a common silvicultural measure in Sweden. Since the practice began in the 1960s, fertiliser has been applied to an estimated two million hectares of forest land at least once. Fertilisation generally comprises one or two applications of 150 kg nitrogen (N) per hectare at approximately ten-year intervals towards the end of the stand rotation period. This generally increases increment by 10-20 cubic metres per hectare and fertiliser application. It has been recommended that fertilisation be increased, to meet the increased demand for forest products, for example as a substitute for fossil fuels. Forest fertilisation is also an effective way to increase carbon sequestration in the forest.

Using increment results from extensive data generated by trials all over Sweden, Skogforsk has previously developed predictive functions to calculate the effect of nitrogen fertilisation on increment. The aim of this study was to test the validity of the predictive functions with regard to fertilisation in today's forests. This control study was based on 22 trials, 19 stands of Scot's pine and three of Norwegian spruce, with good distribution in terms of geography and soil fertility.

Regression analysis and residual studies were used to examine the degree to which variation in increment could be explained by available stand and site factors.

The average increment for all trials in the analysis was 14.9 m³ stem volume per hectare, or 101.8 percent of the expected value generated by the forecast functions. In the pine trials, increment was 102.8 percent of the expected value, and the figure for the spruce trials was 92.0 percent. As expected, differences in absolute and relative increment were found between trials. For the individual trials, increment varied between 48 and 155 percent of the expected figure.

These figures indicate that existing predictive functions, on average, give satisfactory forecasts of the expected value added by nitrogen fertilisation. At stand level, there will always be some variation in the precision of the predictive functions, but overall the mean error of the average increment in all trials in this study must be regarded as relatively low.

The variation in fertilisation response, i.e. measured effect on increment in relation to expected increment, could not be explained by the stand and site factors tested in the study.

The conclusion is that the effects on N fertilisation on increment have been maintained in recent years, so there is no urgent necessity to develop new predictive functions.

However, there was little data from the spruce stands, particularly in southern Sweden, and this should be addressed.

Förord

Denna arbetsrapport sammanfattar erhållna resultat från 22 gödslingsförsök, med god geografisk och bördighetsmässig spridning, som vid anläggningsfasen finansierats av ett antal olika finansiärer. Ett stort tack till Norrskogs forskningsstiftelse och Brattås-stiftelsen som bidragit med merparten av finansieringen till denna studie. Ett stort tack även till Mikael Westerlund, Michael Krook och Hagos Lundström, samtliga på Skogforsk, som på ett förtjänstfullt sätt utfört merparten av fältarbetet, vid både försöksanläggning och revision av dessa försök. Mikael Westerlund utförde även mätningarna av samtliga borrhärnor under mikroskop.

Uppsala i januari 2020

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Syfte	7
Genomförande.....	7
Material.....	7
Metoder.....	8
Resultat.....	10
Diskussion	10
Slutsatser.....	12
Referenser.....	13
Bilaga	15

Sammanfattning

Skogsgödsling är en vanligt förekommande skogsskötselmetod. Sammanlagt beräknas mer än två miljoner hektar skogsmark ha gödslats minst en gång sedan verksamhetens start på sextiotalet. Gödslingen bedrivs generellt med en eller två givor på 150 kg kväve (N) per hektar med cirka tio års intervall i slutet av skogsbeståndets omloppstid och ger vanligen en merproduktion på cirka 10–20 kubikmeter per hektar och gödslingstillfälle. Skogsgödsling har föreslagits öka i omfattning för att möta en ökad efterfrågan på skogsråvara bland annat som ersättning för fossila bränslen. Skogsgödsling är även ett effektivt sätt att öka skogens kolinlagring.

Med hjälp av tillväxtresultat från ett stort försöksmaterial spritt över hela landet har Skogforsk tidigare tagit fram prognosfunktioner för att beräkna tillväxteffekten av kvävegödsling. Syftet med denna studie var att testa prognosfunktionernas giltighet i dagens skogar. Totalt ingår 22 försök i denna kontrollstudie, 19 tall- och 3 granförsök, med god geografisk och bördighetsmässig spridning.

Med hjälp av regressionsanalys och residualstudier undersöktes i vilken grad variationen i tillväxteffekt kunde förklaras av tillgängliga bestånds- och ståndortsfaktorer.

Den genomsnittliga tillväxteffekten för samtliga i analysen ingående försök var 14,9 m³sk per hektar eller 101,8 procent av det förväntade värdet enligt prognosfunktionerna. För tallförsöken var effekten 102,8 procent och för granförsöken 92,0 procent av förväntat värde. Som förväntat fanns skillnader i absoluta och relativa effekter mellan försöken. För de enskilda försöken varierade tillväxteffekten mellan 48 och 155 procent av den förväntade effekten.

Resultaten från denna studie indikerar att befintliga prognosfunktioner genomsnittligt ger väntevärdesriktiga effekter av kvävegödsling. På beståndsnivå kommer det alltid att finnas en viss variation i prognosfunktionernas träffsäkerhet, men sammantaget får medelfelen av den genomsnittliga tillväxteffekten av samtliga försök i denna studie betecknas som relativt låg.

Variationen i gödslingsrespons, det vill säga uppmätt effekt i relation till förväntad effekt, kunde inte förklaras med testade bestånds- och ståndortsfaktorer.

Slutsatsen från denna studie är att tillväxteffekterna efter gödsling med N inte försämrats under senare år. Följaktligen finns därmed inga akuta skäl till att utarbeta nya prognosfunktioner.

Antalet försök i granbestånd, i synnerhet i södra Sverige, i denna studie var dock undermåligt och behöver utökas.

Bakgrund

Skogsgödsling är en vanligt förekommande skogsskötselmetod i Sverige och för närvarande gödslas i genomsnitt ca 30 000 hektar årligen (Skogsstyrelsen 2018). Sammanlagt beräknas mer än två miljoner hektar skogsmark ha gödslats minst en gång sedan verksamhetens start på sextiotalet (Nohrstedt 2001). Gödslingen bedrivs generellt med en eller två givor på 150 kg kväve (N) per hektar med cirka tio års intervall i slutet av skogsbeståndets omloppstid och ger vanligen en merproduktion på cirka 10–20 kubikmeter per hektar och gödslingstillfälle (Pettersson 1994a; 1994b). Skogsgödsling har föreslagits öka i omfattning för att möta en ökad efterfrågan på skogsråvara bland annat som ersättning för fossila bränslen (Larsson m.fl. 2009, Lundmark m.fl. 2014). Skogsgödsling är även ett effektivt sätt att öka skogens kolinlagring (Olsson m.fl. 2005). Samtidigt är det en av de mest lönsamma skogsbruksåtgärderna (Jacobson & Pettersson 2010). På senare år har intresset för skogsgödsling ökat hos enskilda skogsägare.

Skogforsk (tidigare Institutet för Skogsförbättring) har varit ledande i utvecklingen av den praktiska produktionsgödslingen i Sverige, och besitter alltjämt den största kompetensen i dessa frågor. Med hjälp av tillväxtresultat från ett stort material (cirka 1000 gödslade provytor fördelade på 230 lokaler) spritt över hela landet har Skogforsk tagit fram prognosfunktioner för beräkning av tillväxteffekten av kvävegödsling (Pettersson 1994a, b). Dessa prognosfunktioner används bland annat vid beräkningar av skogsgödslingens ekonomi, praktisk gödslingsplanering och prioritering av objekt, men också i samband med mer storskaliga och långsiktiga avverkningsberäkningar (exempelvis i HEUREKA). Det är således, av flera skäl, mycket viktigt att löpande följa upp att nämnda prognosfunktioner även framgent ger väntevärdesriktiga skattningar av tillväxteffekterna efter kvävegödsling. Skogforsk har ett stort ansvar i dessa frågor.

Underlaget till befintliga prognosfunktioner är resultat från försök behandlade under åren 1958–1987. Resultaten från en rapporterad studie (Jacobson 2006) understryker vikten av en löpande kontroll av prognosfunktionernas giltighet. Nuvarande, samt historisk, deposition av N är ett av incitamenten till en kontroll av produktionsgödslingens effekter idag. Vidare var det ursprungliga försöksunderlaget till prognosfunktionerna något svagare i yngre skog, varför gödslingseffekterna även bör testas i dessa bestånd.

Syfte

Skogforsk förfogar över en stor databank med tillväxtresultat från kontrollerade fältförsök som behandlats med N. Sedan publiceringen av dagens prognosfunktioner (Pettersson 1994a, b) har nya försök anlagts. Resultaten från dessa försök kan utnyttjas för att testa prognosfunktionernas giltighet. I det fall resultaten från dessa tester skulle visa på signifikanta avvikelser, är detta incitament för att i ett nästa steg utarbeta nya prognosfunktioner.

Projektets övergripande målsättning var att undersöka huruvida dagens tillväxteffekter av skogsgödsling med kväve är i nivå med befintliga prognosfunktioner. Dessa tester utfördes med hjälp av tillväxtresultat från kontrollerade gödslingsförsök utvärderade efter prognosfunktionernas framtagande.

Vår hypotes är att gödslingsresponsen i dessa försök genomsnittligt ligger i nivå med simulerade effekter i befintliga prognosfunktioner.

Genomförande

MATERIAL

Följande försöksmaterial har utnyttjats i denna studie:

- Med finansiellt stöd från Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning anlades under perioden 2007–2009 en försöksserie med åtta renodlade fältförsök, med syftet att studera tillväxteffekter efter N-gödsling. Dessa försök har nu, med finansiering från Stiftelsen Svea Janssons Skogsfond samt Södras Forskningsstiftelse, reviderats efter en tioårig reaktionsperiod.
- Sedan mitten av 1980-talet har Skogforsk anlagt försök för att studera effekter av helträdsuttag och askåterföring. I många av dessa försök har även försöksled med tillförsel av N inkluderats. Sammanlagt är det tio försök från denna grupp, med en god geografisk spridning, som kvalificerat sig till denna studie.
- Försök anlagda under 1980-talet, där vi vid tidpunkten för prognosfunktionernas framtagande endast hade tillgång till femåriga tillväxtresponser. I dessa försök har vi nu tillgång till den totala gödslingseffekten.

Totalt ingick 22 försök i denna kontrollstudie, 19 tall- och 3 granförsök, med god geografisk och bördighetsmässig spridning. Merparten av dessa försök är anlagda med fler upprepningar (block) än vad som var praxis under 1960- och 70-talen, varför antalet ytor i detta material är betydande. Tillfört kvävegödselmedel var i samtliga försök baserat på ammoniumnitrat, med eller utan tillsats av dolomitkalk, och med dosen 150 kg N per hektar. Bestånds- och ståndortsdata för samtliga försök återfinns i tabell 1. I materialet medtogs även det mycket bördiga granförsöket 181 Örsås (SI G36), som enligt Skogforsks baskrav (Jacobson m.fl. 2005) inte är gödslingsvärt.

METODER

Försöken är anlagda som randomiserade blockförsök med 2–5 upprepningar av studerade behandlingar. Ytstorleken är 30 x 30 m i samtliga försök, med undantag av försöken 284 Attsjö, 285 Storebro och 287 Kerstinbo, där ytstorleken var 39 x 39 m. Alla tillväxtmätningar utfördes på nettoparceller i form av cirkelytor i mitten av bruttoparcellerna med radien 10 m, respektive 14 m. Alla träd på nettoytan med en diameter >5 cm i brösthöjd (1,3 m över marken) numrerades permanent vid försöksanläggningen. Före behandling korsklavades och höjdmättes samtliga dessa träd. Vid tillväxtrevision upprepades dessa mätningar. Vidare togs en borrhärna i brösthöjd från samtliga träd för mätning av årsringarnas tillväxt under mikroskop med en noggrannhet av 1/100 mm. Detta för att erhålla en bild av tillväxtförloppen under observationsperioden, samt tillväxten fem år före behandling. Borrhärnor togs i samtliga försök förutom i det yngsta granförsöket (262 Svartnäs) och försöket 283 Stentorget. Trädens stamvolym beräknades med Näslunds (1947) funktioner.

Tillväxteffekterna beräknades utifrån tillväxtjämförelser mellan gödslade ytor och kontrolltytor. Behandlingseffekterna skattades med hjälp av kovariansanalys. Ett antal beståndsbeskrivande variabler vid försökens anläggning, samt näringsmängder och volymsuttag vid gallringen, testades som kovariat och inkluderades i modellerna om p-värdet var <0,20. De uppmätta tillväxterna korrigeras härvid för eventuella skillnader i gallringsuttag mellan ytorna och/eller för skillnader i grundyta, grundytetillväxt, volym eller stamantal vid försöksanläggningen. Statistikpaketet SAS/STAT®, procedur GLM, version 9.4 TS Level 1M4 (<http://www.sas.com>) användes vid analysen av de linjära modellerna.

Modellekvation för de enskilda försöken:

$$y_{jk} = \mu + u_j + t_k + b(g_{jk} - \bar{g}) + e_{jk}$$

där

y_{jk} = grundyte-/ volymtillväxt för parcell jk

μ = totalmedelvärde

u_j = fix effekt av block j ; $j=1,2,3$

t_k = fix effekt av behandling k ; $k=1,2,3,4,5$

b = koefficient för regression av grundytetillväxt på beståndsvariabel vid försöksanläggning

g = grundyta vid behandling för parcell jk

e_{jk} = residual, N.I.D. (0, σ_e^2)

Gödslingseffekten blir alltid mer eller mindre över- eller underskattad för den enskilda ytan. Säkerheten i tillväxteffekten är starkt beroende av jämförbarheten beträffande bestånds- och ståndortsdata mellan gödslad yta och kontrollyta. Med hjälp av regressionsanalys och så kallade residualstudier undersöktes i vilken grad variationen i tillväxteffekt kunde förklaras av tillgängliga bestånds- och ståndortsfaktorer (angivna i tabell 1).

Tabell 1. Ståndorts- och beståndsdata vid tidpunkt för anläggning för de olika försöken.

Försök	Latitud	Altitud (m)	Ståndorts- index ^a (m)	Bestånds- ålder (år)	Virkes- förråd (m ³ sk ha ⁻¹)	Löpande tillväxt (m ³ sk ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Stamantal (n ha ⁻¹)	Jordart- textur	Vegatations- typ ^b	Antal block
<i>Tallbestånd</i>										
165 Hagfors	60°00'	190	24	65	180	5,6	800	Sandig-moig morän	Lingon	3
171 Åsele	64°07'	330	18	75	105	3,3	1000	Mellansand	Lav	3
184 Vetlanda	57°25'	145	26	36	110	9,2	1120	Sandig-moig morän	Blåbär	3
192 Ramsjö	62°12'	235	19	85	160	5,5	850	Sandig morän	Lav	5
193 Munkfors	59°51'	220	26	32	105	7,3	1650	Sandig-moig morän	Blåbär	3
204 Lakaträsk	66°19'	120	18	70	113	3,2	1030	Sandig-moig morän	Lingon	3
219 Åmot	61°02'	350	26	33	140	8,9	1435	Sandig-moig morän	Blåbär	3
250 Riddarhyttan	59°48'	135	25	50	170	6,4	1100	Grovmo	Blåbär	3
251 Älvsbyn	65°37'	155	21	60	160	4,8	1050	Sandig-moig morän	Blåbär	3
260 Gislaved	57°16'	160	28	40	175	9,1	1000	Grovmo	Gräs	4
261 Skillingaryd	57°23'	180	25	45	150	5,9	1020	Mellansand	Blåbär	4
283 Stentorget	60°07'	50	26	30	100	11,6	1600	Sandig-moig morän	Blåbär	4
284 Attsjö	56°53'	250	22	95	180	3,2	380	Sandig morän	Blåbär	4
285 Storebro	57°35'	120	24	100	260	5,4	400	Mellansand	Blåbär	4
286 Sjundekevill	57°34'	150	26	25	120	12,9	1600	Sandig-moig morän	Blåbär	4
287 Kerstinbo	60°24'	60	26	95	260	6,7	450	Sandig-moig morän	Blåbär	4
288 Bäcksjön	63°57'	60	20	70	200	6,2	800	Sandig-moig morän	Blåbär	4
289 Lamborn	60°58'	280	25	75	270	8,2	700	Sandig-moig morän	Blåbär	5
300 Trekanten	60°26'	90	24	100	410	6,1	500	Grovmo	Blåbär	3
<i>Granbestånd</i>										
170 Ramsele	63°28'	350	24	65	215	5,5	1700	Moig morän	Blåbär	3
181 Örsås ^c	57°23'	170	36	30	145	14,6	1275	Moig morän	Lågört	3
262 Svartnäs	60°57'	415	26	25	40	6,1	2100	Sandig-moig morän	Blåbär	2

^a Beståndets övre höjd vid 100 års totalålder (enl. Hägglund (1973, 1974)).

^b Enligt Hägglund & Lundmark (1977).

^c Beståndets ståndortsindex anger att marken ligger utanför prognosfunktionernas tillämpningsområde; rekommendation ej gödsling.

Resultat

Den genomsnittliga tillväxteffekten för de 21 gödslingsvärda försöken var $14,9 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}$ eller 101,8 procent av det förväntade värdet enligt prognosfunktionerna. För tallförsöken var effekten 102,8 procent och för granförsöken 92,0 procent av förväntat värde (tabell 2). Som väntat fanns skillnader i absoluta och relativa effekter mellan försöken. För de enskilda försöken varierade tillväxteffekten mellan 48 procent och 155 procent av den förväntade effekten. I materialet ingick endast två granförsök, vilket förklarar de relativt höga medelfelen för denna grupp.

Kvävetillförsel i det högproducerande granförsöket 181 Örsås gav ingen tillväxteffekt, varken positiv eller negativ.

Den relativa grundytetillväxtens utveckling för samtliga tillväxtborrade försök redovisas i Bilaga.

Regressionsanalyserna kunde inte påvisa några tydliga samband mellan avvikande goda eller negativa tillväxteffekter och de analyserade bestånds- och ståndortsfaktorer, och förklaringsgraderna (R^2) i funktionerna var mycket låga.

Diskussion

Resultaten från denna studie indikerar att befintliga prognosfunktioner genomsnittligt ger väntevärdesriktiga effekter av kvävegödsling. På beståndsnivå kommer det alltid att finnas en viss variation i prognosfunktionernas träffsäkerhet, men sammantaget får medelfelen av den genomsnittliga tillväxteffekten av samtliga försök betecknas som relativt låg.

Variationen i gödslingsrespons, det vill säga uppmätt effekt i relation till förväntad effekt, kunde inte förklaras med testade bestånds- och ståndortsfaktorer. Detta har testats tidigare, med samma resultat (Pettersson 1994b).

I plant- och ungskogar är volymtillväxteffekten av kvävegödsling starkt avhängig beståndets utvecklingsgrad (Pettersson 1985). Enligt Pettersson (1985) blir tillväxteffekten mycket liten ($<1 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}$) i plantskog med 1 m höjd oavsett giva i intervallet 50–150 kg N ha^{-1} . Vid 5 m höjd blir totaleffekten ca $10 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}$ för gran och contortatall, men endast ca $6 \text{ m}^3\text{sk ha}^{-1}$ för tall med givan 150 kg N ha^{-1} . "Fullstora" tillväxteffekter uppnås först när bestånden slutit sig, och detta faktum ligger bakom kravet att gödsling bör utföras först när beståndet har uppnått förstagallringsstadiet ($>12 \text{ m}$). Tillväxtökningen i kubikmeter per kilo tillfört kväve blir generellt lägre i plant- och ungskog än i medelålders och äldre bestånd. Dessa tidigt erhållna kubikmetrar blir dessutom dyra om gödslingskostnaden ska räntebelastas i en investeringskalkyl (Jacobson & Pettersson 2010).

De två försök med de relativt sett sämsta utfallen fanns i yngre tallbestånd (219 Åmot och 286 Sjundekvill). I det unga tallförsöket 286 Sjundekvill, där krontaket inte hade slutit sig vid gödslingstillfället, uteblev höjdtillväxten helt. Detta resultat, med mycket liten höjd-tillväxtreaktion av en kvävegödsling, är känt från tidigare försök med gödsling av ung tall och contortatall (primära trädslag), vilket i sin tur ger upphov till en försämrad stamform (Pettersson 1985). I dessa beståndstyper yttrar sig således gödslingseffekten i att träden blir grövre, men inte högre. I detta material föll dock beståndsåldern inte ut som en förklarande variabel till avvikande resultat vid utförda regressionsanalyser.

Tabell 2. Uppmätta och enligt prognosfunktioner förväntade totala gödslingseffekter. Signifikanta effekter ($p < 0,05$) indikerade med asterisk (*).

Försök	Uppmätta effekter (A), m ³ sk ha ⁻¹	Förväntade effekter (B), m ³ sk ha ⁻¹	Differens (A-B), m ³ sk ha ⁻¹	Utfall i % av förväntad effekt (A/B)
Tallbestånd				
165 Hagfors	23,4 *	15,3	8,1	152,9
171 Åsele	26,7 *	17,2	9,5	155,2
184 Vetlanda	12,4	11,2	1,2	110,7
192 Ramsjö	13,9 *	19,8	-5,9	70,2
193 Munkfors	23,1 *	15,1	8,0	153,0
204 Lakaträsk	18,2 *	17,3	0,9	105,2
219 Åmot	8,0	16,7	-8,7	47,9
250 Riddarhyttan	17,8 *	14,3	3,5	124,5
251 Älvsbyn	20,1 *	18,3	1,8	109,8
260 Gislaved	13,4	11,3	2,1	118,6
261 Skillingaryd	9,4	12,4	-3,0	75,8
283 Stentorget	13,7 *	11,4	2,3	120,2
284 Attsjö	13,7 *	13,4	0,3	102,2
285 Storebro	10,2 *	11,5	-1,3	88,7
286 Sjundevill	7,8	11,8	-4,0	66,1
287 Kerstinbo	8,9	11,8	-2,9	75,4
288 Bäcksjön	14,4 *	16,9	-2,5	85,2
289 Lamborn	13,2	17,8	-4,6	74,2
300 Trekanten	15,7 *	13,3	2,4	118,0
Granbestånd				
170 Ramsele	23,6	18,8	4,8	125,5
262 Svartnäs	10,1	17,3	-7,2	58,4
181 Örsås ^a	0,1	13,5	-13,4	0,7
Medeltal, tall	14,9	14,6	0,4	102,8
medelfel	1,2	0,6	1,1	6,9
Medeltal, gran	16,9	18,1	-1,2	92,0
medelfel	4,6	1,6	4,2	23,7
Medeltal tall+gran	15,1	14,9	0,2	101,8
medelfel	1,2	0,6	1,1	6,7

^a Uppmätt effekt ej inkluderad i medelvärdesberäkningarna.

Gödslingsförsök har visat att hög beståndsålder inte är ett hinder för att ett bestånd ska anses vara gödslingsvärt (till exempel Pettersson 1994a). Resultaten från denna studie stödjer dessa slutsatser. Det finns exempel på 250-årig blandskog med tall och gran som har reagerat bra på gödsling. Beståndets löpande tillväxt är en viktig faktor för gödslingseffektens storlek. I äldre bestånd är tillväxten i avtagande, varför tillväxtökningen i kubikmeter normalt blir lägre än om man gödslar mer växtlig skog i medelålders bestånd. Samtidigt är dock värdetillväxten och rotvärdet per kubikmeter normalt sett hög i den äldre skogen. I tallförsöket 287 Kerstinbo var graninblandningen ca 15 procent. Vid tillväxtborrningen av detta försök upptäcktes att merparten av dessa granar var angripna av rotröta. Detta har sannolikt minskat gödslingsresponsen i detta försök

Engångsgödsling i medelålders och äldre tall- och granbestånd påverkar normalt sett inte stamformen (formkvoten) (Friberg 1974). Trädens diameter- och höjdtillväxt följs således åt på samma sätt som vid ogödslade bestånd. Resultat från studier i upprepat gödslade försök tyder inte heller på någon förändring av formkvoten efter omgödslingar (Saramäki 1980, Jacobson & Pettersson 2001).

Resultaten från de äldre tallbestånden i denna studie visade på mycket goda tillväxt-effekter av gödslingen. Utöver den ökade virkesvolymen efter gödsling så ökar värdet på hela det stående virkesförrådet när träden blir grövre. Den ökade inkomsten av gödsling består således av två komponenter: volymseffekt och dimensionseffekt. Dimensions-effekten kan i sin tur delas upp i följande delar;

- grövre träd ger ökat timmerutbyte,
- grövre timmer betalas bättre och
- grövre träd är billigare att avverka per kubikmeter.

Av gödslingsintäkten brukar vanligtvis 60–70 procent utgöras av volymökningen, medan 30–40 procent är en effekt av högre värde per kubikmeter (till exempel Jacobson & Pettersson 2003).

Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling (www.skogsstyrelsen.se) är, beträffande möjligheten till gödsling samt totalgivor under en skogsgeneration, differentierade på fyra olika landsdelar. Farhågor för negativa miljöeffekter av kväve, samt den atmosfäriska depositionen av kväve ligger bakom landsindelningen. Samtidigt finns det idag studier, som en effekt av dagens skogars generellt högre tillväxt, som indikerar att bristen på N i skogsmarken är i ökande när klimatet blir varmare (exempelvis Craine m.fl. 2018, Groffman m.fl. 2018).

I hela Götaland (område 1 och 2) avråds från kvävegödsling på fastmark. Inom område 2, den nordöstra delen av Götaland, tillåts dock kvävegödsling med maximalt 150 kg N ha⁻¹ i grandominerade bestånd under en skogsgeneration, under förutsättning att GROT (grenar och toppar) skördats, eller planeras att skördas, i samband med slutavverkning. I Götaland avråds således från gödsling av tallbestånd. Det är viktigt att fortsatt följa upp gödslingseffekterna i försök anlagda från mitten av 1990-talet och framåt, i både tall- och granbestånd.

SLUTSATSER

Sammantaget var tillväxteffekterna efter kvävegödsling i detta försöksmaterial genomsnittligt i nivå med vad som förväntats enligt befintliga prognosfunktioner, vilket indikerar att tillväxteffekterna inte försämrats under senare år. Följaktligen finns därmed inga akuta skäl till att utarbeta nya prognosfunktioner.

Försöksmaterialet i granbestånd, i synnerhet i södra Sverige, i denna studie var dock undermåligt och behöver utökas. Av denna anledning har Skogforsk i år initierat nyanläggning av sex gödslingsförsök i granbestånd i Götaland.

Referenser

- Craine, J.M. m.fl. (38 authors) 2018. Isotopic evidence for oligotrophication of terrestrial ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, Vol. 2: 1735–1744.
<https://doi.org/10.1038/s41559-018-0694-0>.
- Friberg, R. 1974. Jämförelser mellan träds volym-, grundyte- och höjdtillväxt efter gödsling I: Årsbok 1973 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 76–123. Uppsala.
- Groffman, P.M. m.fl. (12 authors) 2018. Nitrogen oligotrophication in northern hardwood forests. *Biogeochemistry* 141:523–539.
<https://doi.org/10.1007/s10533-018-0445-y>.
- Hägglund, B., Lundmark, J.-E., 1977. Site index estimation by means of site properties. Scots pine and Norway spruce in Sweden. *Stud. Forest. Suec.* 138, 38 pp.
- Jacobson, S. 2006. Tillväxteffekter efter skogsgödsling med kväve – validering av befintligt prognosinstrument. Slutrapport till Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning (2006-10-11).
- Jacobson, S. & Pettersson, F. 2001. Growth responses following nitrogen and N-P-K-Mg additions to previously N fertilized Scots pine and Norway spruce stands on mineral soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 31:899-909.
- Jacobson, S. & Pettersson, F. 2003. Ny vår för skogsgödslingen? (Skogforsk, Resultat nr 23, 2003), 6 s. Eskilstuna.
- Jacobson, S., Pettersson, F. 2010. An assessment of different fertilization regimes in three boreal coniferous stands. *Silva Fennica* 44(5): 815–827.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Sikström, U. 2005. Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk. 56 sid.
- Larsson, S., Lundmark, T., Ståhl, G., 2009. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885.
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundstrom, A., Nordin, A., Poudel, B.C., Sathre, R., Taverna, R., and Werner, F. 2014. Potential roles of Swedish forestry in the context of climate change mitigation. *Forests*, 5(4): 557–578.
Doi:10.3390/f5040557.
- Nohrstedt, H.-Ö. 2001. Response of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: A Review of Swedish experiences. *Scand. J. For. Res.* Vol. 16: 555–573.
- Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. *Medd. Statens Skogsforskningsinst.* 36: 3–36.
- Olsson, P., Linder, S., Giesler, R. & Högborg, P. 2005. Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biology* (2005) 11, 1745-1753.
- Pettersson, F. 1985. Gödslingseffekter i plant- och ungskog. I: Årsbok 1984 (Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogsförbättring), 87–116. Uppsala.

- Pettersson, F. 1994a. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. The Forestry Research Institute of Sweden, Report No. 4. Uppsala. 34 pp.
- Pettersson, F. 1994b. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. The Forestry Research Institute of Sweden. Report No. 3, Uppsala. 56 pp.
- Saramäki, J. 1980. The effect of nitrogen fertilization on the stem form of Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 99(4), 1–46.
- Skogsstyrelsen. 2018. Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden JO16 SM 1801.

Bilaga 1.



Tabell B1. Den relativa grundytetillväxtens utveckling efter gödsling, samt fem år innan gödsling, i de studerade försöken.

Fortsättning tabell B1. Den relativa grundytetillväxtens utveckling efter gödsling, samt fem år innan gödsling, i de studerade försöken.

