



Examensarbeten

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2010:25

Stamtillväxt, biomassaproduktion och koldioxidbindning i Norrbotten efter gödsling med mineralnäring och bionäring i tallskog

*Stem growth, biomass production and carbon dioxide sequestration in Norrbotten after artificially and biologically fertilized Scots pine (*Pinus sylvestris*) forest*

Johan Lundbäck



Examensarbeten

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2010:25

Stamtillväxt, biomassaproduktion och koldioxidbindning i Norrbotten efter gödsling med mineralnäring och bionäring i tallskog

*Stem growth, biomass production and carbon dioxide sequestration in Norrbotten after artificially and biologically fertilized Scots pine (*Pinus sylvestris*) forest*

Johan Lundbäck

Nyckelord / Keywords:

Koldioxidbindning, slampellets, skogsgödsling, LULUCF, Kyoto, växthuseffekt / *Carbon dioxide sequestration, Pelletized sludge, Forest fertilization, LULUCF, Kyoto, Greenhouse effect*

ISSN 1654-1898

Umeå 2010

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*
Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*
Skogligt magisterprogram/Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*
Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest Management,*
EX0481, 30 hp, avancerad nivå A1E

Handledare / *Supervisor:* Kenneth Sahlén
SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*
Examinator / *Examiner:* Erik Valinger
SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Denna studie är ett examensarbete utfört vid institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå, på uppdrag av Sveaskog AB. Examensarbetet ingår i jägmästarexamen och motsvarar 30 poäng på D-nivå.

Sammanfattning.....	4
Abstract.....	5
1 Bakgrund.....	6
1.1 Koldioxid och växthuseffekt.....	6
1.2 Kyotoprotokollet och styrmedel för att minska utsläpp av växthusgaser.....	6
1.3 Skogens roll i kolkretsloppet.....	7
1.4 Gödsling med bionäring i svensk skog.....	8
1.5 Syfte.....	9
2 Material och Metod.....	10
2.1 Ståndortsdata.....	10
2.2 Beståndsdata.....	10
2.3 Försöksdesign.....	11
2.4 Gödselmedel.....	13
2.5 Gödslingsutförande.....	13
2.6 Provyteutläggning.....	13
2.7 Klavning.....	14
2.8 Bearbetning av data och kontroll av trädantal.....	14
2.9 Beräkning av stamtillväxt.....	15
2.10 Beräkning av biomassa tillväxt och koldioxidbindning.....	16
2.11 Statistik.....	16
3 Resultat.....	17
3.1 Stamvedstillväxt.....	17
3.2 Biomassatillväxt.....	19
3.3 Koldioxidbindning.....	21
4 Diskussion.....	23
4.1 Motiv och syfte.....	23
4.2 Val av bestånd, metodik och osäkerhet i data.....	23
4.3 Koldioxidbindningen.....	23
4.4 Biogödsling.....	24
5 Slutsatser.....	25

Sammanfattning

Denna studie är en del av ett storskaligt försök som är beläget på Sveaskogs marker i Norrbotten. Hela försöket omfattar ca 800 ha varav 600 ha är gödslad yta och 200 ha är ogödslade kontrollområden. Denna studie omfattar 137 ha gödslad yta och 50 ha ogödslade kontrollområden beläget i tre olika bestånd. Det unika med detta projekt är storskaligheten i användandet av slampellets och slamgranuler som ett förädlat bionäringsmedel. Projektet är finansierat av bland andra Sveaskog, LKAB och SLU. Tidigare studier visar på en långsiktig effekt vid gödsling med bionäring, medan denna studie undersöker bionäringsens tillväxteffekt redan efter två år. Förhoppningarna med detta projekt är att sambandet mellan gödsling (mineral- och biogödsling) och ökad tillväxt samt uppbinding av CO₂ (koldioxid) ska säkerställas, detta för att kunna öka nyttan av den boreala skogen som kolsänka. Genom att fastställa detta samband möjliggörs utvecklingen av ett handelssystem för uppbindingssrätter som kan kopplas samman med det befintliga handelssystemet med utsläppsrätter. Principen med uppbindingssrätterna bygger på att skogsägaren får betalt för åtgärder som skapar en ökad tillväxt och uppbinding av CO₂.

Gödslingen till denna studie genomfördes 2006. Varje bestånd är uppdelat i tre olika områden. Ett område är ogödslad kontroll, ett är mineralgödsling med en giva om 150kg N/ha och det sista området är gödsling med två olika givor bionäring bio a 540 kg N/ha och bio b 710kg N/ha. För att fastställa tillväxten för de olika behandlingarna klavades totalt 236 provtytor 2007 och sedan igen 2009.

Studiens resultat är bland annat följande:

- Samtliga gödslingsbehandlingar har ökat tillväxten och uppbindingen av CO₂ med minst 60 % och ända upp till 200 %.
- Under försöksperioden på två år har tillväxten ökat mest på de mineralgödslade områdena.
- Behandlingen bio a har ökat uppbindingen av CO₂ med mellan 8,1 och 10,5 ton/ha under två år.

Följande slutsatser har dragits av resultaten:

- Gödsling ökar tillväxten vilket ökar CO₂-bindingen.
- Under en tid av två år är mineralgödsling effektivare än gödsling med bionäring
- Gödsling av yngre tallskog ökar koldioxidbindingen med ca 10 ton/ha.
- Gödslingen med bionäring ger en tydlig tillväxteffekt redan inom 2 år.
- Högst tillväxt och koldioxidbinding sker i välsluten medelåldersskog.

Abstract

This study is part of a larger research project concerning carbon dioxide sequestration in northern Sweden. The testing grounds are situated within Sveaskogs properties in Norrbotten. The entire project comprises 800 hectares of which approximately 600 hectares are fertilized plots and 200 hectares are unfertilized control plots. This study comprises 137 hectares fertilized plots and 50 hectares of unfertilized control plots at three different locations. The project is unique as it concerns the use of pelletized sewage sludge as a refined biological fertilizer in a very large scale. The project is financed by Sveaskog, LKAB and SLU among others. Previous studies show that fertilization with biological fertilizers have a long term effect on forest growth. This study examines the growth response after as short a period of time as two years. It is expected to establish a relationship between fertilization (both artificial and biological) and carbon dioxide sequestration. This will enable the increase of the use of boreal forest as a carbon sink. By establishing this relationship the development of a trading scheme for carbon dioxide sequestration that can be integrated with the existing trading scheme for emitting allowances. The new trading scheme awards credits to forest owners who, with the aid of fertilization, manages their properties with a resulting increase in forest growth and therefore higher carbon dioxide sequestration.

On the basis of this study the following results have been concluded:

- All fertilization treatments have increased the carbon dioxide sequestration by at least 60 % and up to 200 %.
- During the two year trial period the highest increase in forest growth has been observed on the plots treated with an artificial fertilizer.
- The treatment Bio A increased the carbon dioxide sequestration with between 8.1 and 10.5 tons.

On the basis of this study's results the following conclusions have been drawn:

- Fertilization increases forest growth and consequently carbon dioxide sequestration.
- Artificial fertilizer is more effective than biological fertilizer for at least the two years directly following fertilization.
- Fertilization of younger pine forest increases carbon dioxide sequestration with approximately 10 ton/hectare.
- Fertilization with a biological fertilizer shows a clear growth response already within two years.
- Highest growth response and increased carbon dioxide sequestration occurs in stands with larger volume.

1 Bakgrund

1.1 Koldioxid och växthuseffekt

Klimatet och temperaturen på jorden styrs till stor del av växthuseffekten. Utan växthuseffekten skulle temperaturen på jorden vara ca 35 grader lägre (Le Treut et al. 2007). Växthuseffekten uppstår när solens kortvågiga energi träffar jorden och där omvandlas till långvågig värmestrålning som växthusgaserna kan reflektera tillbaka till jorden. De viktigaste växthusgaserna är vattenånga och CO₂ (koldioxid). En ökad mängd av dessa gaser i atmosfären leder till att en större mängd värme reflekteras tillbaka till jorden och på så sätt höjer temperaturen.

Under 1900-talet har en mängd studier genomförts för att undersöka den atmosfäriska CO₂-haltens roll vid historiska klimatförändringar (Watson et al. 2000; Maslin 2002). Detta har gjorts genom isprover från glaciärer bland annat på Grönland och Antarktis. De prover som borraras upp är avlagringar av snöfall som sträcker sig så långt som 10 000 år tillbaka i tiden. Genom att snön är rik på luft kan CO₂-halten i atmosfären vid tidpunkten för snöfallet avläsas i borrhölen. Dessa studier visar på en tydlig samvariation mellan ökad temperatur och en ökning av atmosfäriskt koldioxid.

Vi vet idag att på grund av mänsklig påverkan har halten CO₂ i atmosfären ökat med ca 35 % sedan industrialiseringen (Le Treut et al. 2007). Under 1900-talet har temperaturen på jorden stigit med 0,6°C och vattennivån i oceanerna med 20 cm. Dessa klimatiska förändringar anses bero på ökningen av växthusgaser i atmosfären där CO₂ är den gas som människan påverkar mest genom bland annat förbränning av fossila bränslen. Detta har lett till internationella förhandlingar och avtal (såsom Kyotoprotokollet), vilka avser att minska mänsklig klimatpåverkan, men som också är omdiskuterade och där olika aktörskategorier har olika perspektiv (Maslin 2002).

1.2 Kyotoprotokollet och styrmedel för att minska utsläpp av växthusgaser

Kyotoprotokollet omfattar åtagande från I-länderna att minska sina utsläpp av de så kallade växthusgaserna däribland utsläppen av CO₂. Åtagandet är bindande och har förhandlats fram under perioden 1997- 2001 vid partsmötena (Conference of the parties, COP) (Stripple 2002). I Kyotoprotokollet anges att minskningen av växthusgaser mätt i koldioxidekvivalenter skall vara minst 5 % av 1990 års nivåer (Utrikesdepartementet 2002). De olika industriländerna som har skrivit under och antagit Kyotoprotokollet har antagit olika nivåer av minskade utsläpp. EU-länderna som har undertecknat avtalet har antagit att deras gemensamma minskning ska uppgå till 8 % (Stripple 2002). Detta ska ske under åtagandeperioden 2008-2012 (Utrikesdepartementet 2002).

I Kyotoprotokollet har det fastslagits tre mekanismer för det fortsatta arbetet med att begränsa utsläppen av växthusgaser; handel med utsläppsrätter, gemensamt genomförande och mekanismen för ren utveckling. Grundtanken med dessa mekanismer är att skapa ett hållbart och kostnadseffektivt system för att minska utsläppen (Stripple 2002). I Kyotoprotokollet har även fastställts att både utsläpp och uppbindning av växthusgaser som har sitt ursprung i antropogena förändringar inom

"Land use, land use change and forestry" (LULUCF) begränsade till nybeskogning, återbeskogning och avskogning ska redovisas. I Kyotoprotokollet fastslås även att andra typer av skogsskötsel som leder till utsläpp eller upptag i kolsänkor kan läggas till eller dras av från tilldelade utsläppsmängder. För att få göra detta krävs att man kan verifiera och kontrollera rapporteringen av dessa och att metoden godkänns vid en partskonferens (Utrikesdepartementet 2002).

Bakgrunden till dessa studier är att undersöka om gödsling utöver normal skogsskötsel ökar tillväxten och CO₂-bindningen och om så är fallet kvantifiera ökningen. Detta ska ske som underlag till den pågående uppbyggnaden av ett handelssystem för uppbindning av CO₂ i skog. För att en kolsänka ska vara godkänd enligt det system som är under uppbyggnad måste tillväxtökningen vara ett resultat av åtgärder utöver normal skogsskötsel (base line) samt mätbar och verifierbar (Jacobsson pers. medd. 2010).

1.3 Skogens roll i kolkretsloppet

Skogen spelar en viktig roll i kolkretsloppet trots att det återfinns endast cirka 5 % av den totala kolmängden i skogens kretslopp och hela 93 % i oceanerna och 2 % i atmosfären (Morén 2007). Behandlas skogen felaktigt till exempel om den kalavverkas utan att återbeskogas bidrar det till att mängden koldioxid i atmosfären ökar.

Avskogning har i modern tid tillfört stora mängder koldioxid till atmosfären genom att det rotstående kollagret har avverkats och förbränts utan att ny skog har planterats för att på nytt bygga upp kollagret. Att bromsa avskogningstakten ses som ett viktigt inslag i det internationella arbetet med att minska CO₂-halten i atmosfären. Skog kan varaktigt binda CO₂ och skapa en så kallad kolsänka (Kvarnbäck 2002).

Skogens roll i kolkretsloppet börjar med fotosyntesen, där kloroplaster i trädens barr med hjälp av solenergi och CO₂ bildar socker som sedan används till celluppbyggnad (Morén 2007).

För de nordiska länderna där skogstillgångarna är stora har det listats tre möjliga sätt att påverka växthuseffekten med hjälp av skogsskötsel och markanvändning. Det första sättet är substitution där organiska material ersätter fossila material så som olja, naturgas och betong, nummer två är lagring som kan ske i biomassa och mark med riktad skogsskötsel, det sista sättet är genom att tillämpa en markanvändning eller skogsskötsel som minimerar avgång av växthusgaser från uppbyggda lager i marken (Bergkvist 2008). Det finns även ett samband mellan gödsling och ökad uppbyggnaden av kol i marken. Detta kan förklaras genom att det naturligt blir ett större förnedfall från en skog med större mängd stående biomassa. Detta leder naturligt till att markens kolförråd på lång sikt växer (Morén 2007).

I Sveriges skogar finns idag ca 820 miljoner ton kol lagrat i biomassa ovan mark (Eriksson 2006). Den svenska skogsmarken har sedan riksskogstaxeringens mätningar började 1923 varit en kolsänka det vill säga att skogen har bundit mer CO₂ än vad som har avgetts genom nedbrytning och som bortförts genom avverkning. Detta är ett resultat av att det rotstående biomassalagret har ökat. Ökningstakten för biomassa i svensk skog beräknas avta under 2000 – 2100 (Eriksson 2006). Men det finns en potential att ytterligare öka inlagringen av kol i svensk skogsmark genom nya skötselmetoder och tillväxtåtgärder så som gödsling (Morén 2007).

1.4 Gödsling med bionäring i svensk skog

Sedan 2005 är deponering av avloppsslam förbjudet i Sverige (Svenskt vatten 2009). Istället för deponering använder de flesta kommunerna något eller några av alternativen nedan.

- Förbränning
- Täckning av restmaterial från gruvdrift
- Salixodlingar
- Jordtillverkning
- Vassbäddar
- Slamspridning på åkermark (Svenskt vatten 2004)

Trots dessa alternativ är avloppsslam fortfarande något kommunerna måste betala för att bli av med (Svenskt vatten 2009). Sedan mitten av 1990-talet har tekniken funnits för att pelletera och hygienisera avloppsslam, vilket har öppnat möjligheten att på ett effektivt sätt återföra det näringsrika avloppsslammet till kretsloppet (Hånell et al. 1996). Boreala skogssystem karaktäriseras ofta av brist på lättillgängligt kväve (N) såsom ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-), gödsling med N ger således en ökad tillväxt (Mälkönen 1990; Hallet et al. 1999).

Försök som har gjorts i skogsbruket visar att tillväxten hos träd ökar med 15-70 % under en 5-10 års period vid tillförsel av avloppsslam motsvarande 300- 2000kg N/ha. Redan det första året efter gödsling så stiger tallbarrens kvävehalt från en procent till nästan två. Erfarenheter från Nordamerika och Norden visar även att tillväxteffekten vid slamgödsling överstiger 15 år (Sahlén 2005). Tillförsel av slam ger även en markförbättrande effekt och en tillförsel av huvudnäringsämnen. Marken får även en bättre vattenhållande förmåga och möjlighet att lagra näringsämnen genom tillförsel av organiskt material (Brameryd 2001).

Vid stora givor av avvattnad slam finns det en risk för nitrifikation vilket kan leda till urlakning av kväve ner i grundvattnet. Om en övre gräns för spridning införs vid ca 1000kg kväve/ha överstiger inte nitratoppen i grundvatten 10mg/l vilket är gränsen för godkänt dricksvatten. Vid gödsling med slampellets eller granuler är risken för nitrifikation mindre eftersom den största delen av kvävet är bundet i organiska föreningar (Sahlén 2005). Gödsling med slampellets i Västerbotten på talldominerade marker visar att en giva om 400 kg N/ha höjer tillväxten lika mycket som vid konventionell mineralgödsling med en giva om 200 kg N/ha på en femårsperiod (Kovanen 2007).

Läckage av tungmetaller vid slamgödsling förekommer inte utan dessa binds effektivt upp i det organiska materialet utan att läcka vidare i jordmånen. I bär och svamp har inga förhöjda halter av metaller påträffats vid så höga givor som 23 ton slamgranuler per hektar (Sahlén 2005). I en studie gjord av Enström 2008 där skog gödslats med slampellets undersöks ifall näbbmus, sork eller brun skogssnigel har några förhöjda halter av tungmetaller i vävnad och organ. Studien pekar inte på några förhöjda halter av tungmetaller i sork eller näbbmus men för brun skogssnigel hittas förhöjda halter av vissa tungmetaller i samband med slamgödsling i skog (Enström 2008). Vid tillverkning av slamgranuler eller slampellets ingår en hygieniseringsfas (upphettning)

så att bakterier och andra levande organismer som kan vara skadliga för människan dör. Så av hygieniska skäl finns det få eller inga skäl till att begränsa spridningen (Hånell et al. 1996; Sahlén 2005).

I avloppsslam från reningsverk finns naturligt och icke naturligt förekommande östrogen utsöndrat från människor (Larsson et.al 1999). Risken för att östrogener ska urlakas till ytvatten är relativt låg och väldigt liten i jämförelse med vad som kommer ut med utloppsvatten från reningsverken. Hur östrogener från slam betar sig i jord är dock inte vetenskapligt belagt eftersom så få studier är genomförda inom detta ämne (Frost och Jönsson 2005).

År 2000 klarade 90 % av allt avloppsslam som producerades i Sverige gränsvärdena för att få spridas på jordbruksmark. Eftersom slamgödsling på skogsmark inte kommer ske lika frekvent som på jordbruksmark finns det inte skäl till att anta att gödsling på skogsmark skulle kunna innebära några faror för mänsklig del (Sahlén 2005).

En ökad användning av bionäring som gödselmedel i skogen skulle ge ett flertal positiva effekter. Återanvändning av slamprodukter på skogsmark bidrar till att näringskretsloppet blir effektivare och näringsbrist på mineraljordar kan undvikas vilket leder till en ökad skoglig tillväxt. En annan positiv effekt är att mängden slam som används till täckningsmaterial minskar (Kovanen 2007).

1.5 Syfte

Syftet med denna studie var därför att beräkna skillnaden i stamtillväxt, biomassatillväxt och CO₂-bindning i tallskogar vid tillförsel av mineralgödsel och två olika givor av bionäring. Resultaten för tillväxtskillnaden mellan de olika behandlingarna ska redovisas per bestånd. Tillväxten kommer att redovisas i torrsvikt/ha (kg), m³sk/ha (volym ovanför stubbskäret utan grenar och topp) och ton CO₂/ha.

2 Material och Metod

2.1 Ståndortsdata

Denna studie omfattar tre bestånd på liknande ståndorter norr om Överkalix i Norrbotten. Alla ståndorter låg på 66 breddgraden och altituden varierade mellan 95 och 250 m över havet (Tabell 1). Marktypen var fastmark för samtliga bestånd och markvegetationen bestod av olika ristyper. Jordmånen var av podsoltyp och bestod av grovkornig morän. Hällberget och Näverberget ligger på ca 240 meters höjd över havet, Lillfuruberget ligger på ca 100 meters höjd över havet.

Tabell 1. Ståndortsdata enligt Sveaskogs beståndsregister 2007

	Ålder	SI	Latitud	Altitud	Markfuktighet	Vegetationstyp	Temperatursumma
Näverberget	62	T19	66,62	246	Frisk	Lingon	823
Lillfuruberget	55	T20	66,54	95	Frisk	Lingon	917
Hällberget	18	T20	66,69	245	Frisk	Lingon	776

2.2 Beståndsdata

Bestånden i försöket var i olika utvecklingsfaser. Hällberget var ca 100 ha det yngsta beståndet och det mest ojämna (Tabell 1 och 2). Ojämnheten följer en lutningsgradient och beror till viss del på stora betesskador av älg. Tall var det dominerande trädslaget med inslag av löv inom en del fuktigare områden (Tabell 3 och 4). Lillfuruberget var ett välslutet ungskogsbestånd på totalt 41,2 ha. Beståndet var jämt och välslutet med små variationer. Varken Hällbergets eller Lillfurubergets bestånd har inte tidigare gallrats därför har stickvägar huggits upp inom bestånden för att möjliggöra gödsling och för att samtliga försöksområden ska vara lika behandlade. Näverberget var ca 45 ha, gallrat och tidigare gödslat en gång innan, stickvägar fanns därför tillgängliga i hela beståndet.

Tabell 2. Beståndsdata beräknad från 2007 års klavningsdata redovisade per bestånd och gödseltyp

		Grundyta, m ² /ha			Grundytevägd trädslagsblandning i %		
		Tall	Gran	Löv	Tall	Gran	Löv
Näverberget	Kontroll	16,5	0,1	0,0	99,5	0,5	0,0
	Mineral	15,3	0,2	0,1	98,2	1,1	0,7
	Bionäring	16,3	0,5	0,0	96,6	3,2	0,2
Lillfuruberget	Kontroll	15,7	0,6	0,4	94,3	3,3	2,4
	Mineral	17,9	0,4	0,4	95,9	2,0	2,0
	Bionäring	17,5	0,0	0,0	99,8	0,0	0,1
Hällberget	Kontroll	2,3	2,8	1,4	35,4	43,7	20,9
	Mineral	4,3	1,9	1,9	53,4	23,3	23,2
	Bionäring	3,5	6,2	0,8	33,3	59,1	7,7

Tabell 3. Beståndsdata beräknade från 2007 års klavningsdata redovisade per bestånd och gödseltyp

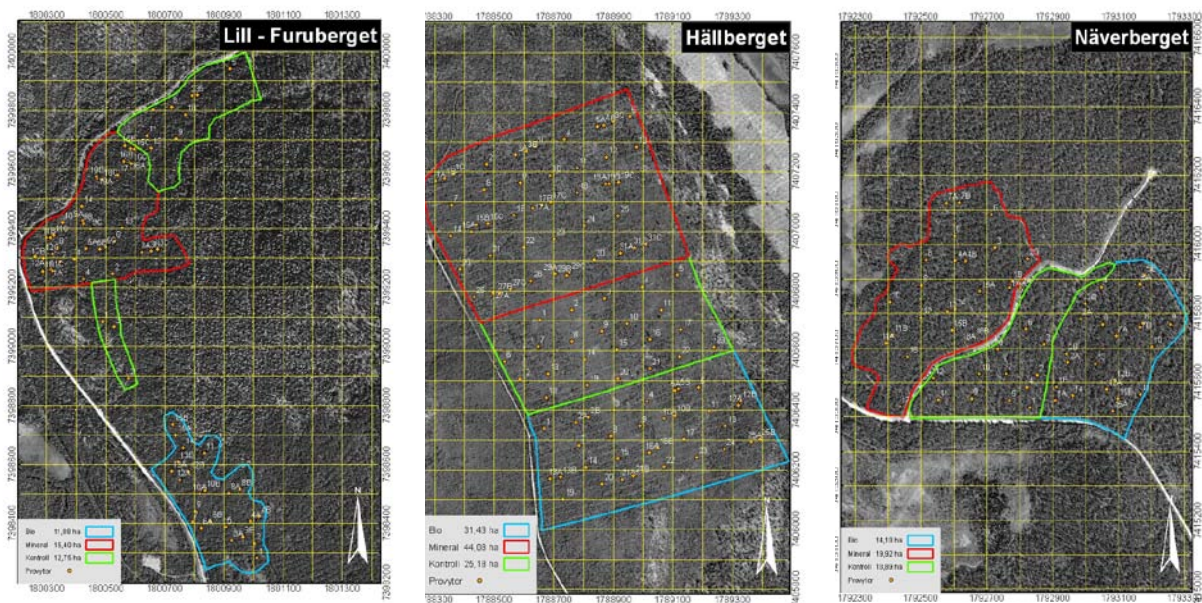
		Stam antal/ha			Volym, m ³ sk/ha		
		Tall	Gran	Löv	Tall	Gran	Löv
Näverberget	Kontroll	815	65	6	107,6	0,3	0,0
	Mineral	860	88	28	75,7	0,4	0,4
	Bionäring	734	127	13	103,3	2,7	0,2
Lillfuruberget	Kontroll	1677	167	196	85,7	2,2	2,9
	Mineral	1711	77	190	98,0	1,7	3,0
	Bionäring	1271	15	23	103,3	0,0	0,1
Hällberget	Kontroll	979	202	556	11,2	0,9	0,5
	Mineral	1132	53	89	19,8	0,6	0,4
	Bionäring	1131,25	339	551	15,8	2,3	0,5

Tabell 4. Beståndsdata beräknade från 2007 års klavningsdata redovisade per bestånd och gödseltyp

		Volym medelstam, m ³ sk		
		Tall	Gran	Löv
Näverberget	Kontroll	0,1321	0,0039	0,0019
	Mineral	0,0880	0,0042	0,0151
	Bionäring	0,1407	0,0212	0,0199
Lillfuruberget	Kontroll	0,0511	0,0129	0,0146
	Mineral	0,0573	0,0219	0,0156
	Bionäring	0,0813	0,0015	0,0058
Hällberget	Kontroll	0,0114	0,0045	0,0009
	Mineral	0,0175	0,0116	0,0050
	Bionäring	0,0140	0,0067	0,0009

2.3 Försöksdesign

Försöket består av tre bestånd. Bestånden har delats upp i tre block som har lottats ut till de olika gödseltyperna (figur 1). Fördelningen av behandlingarna på Hällberget var 25,2 ha kontroll, 44,1 ha var mineralgödslat, 31,4 ha var biogödslat, på Lillfuruberget var 13,7 ha kontroll, 16,4 ha var mineralgödslat, 11,1 ha var gödslat med bionäring och på Näverberget var 10,7 ha kontrollområde, 19,9 ha var gödslat med mineralnäring och 14,2 ha var gödslat med bionäring. Därefter slumpades provtytor (Tabell 5) ut i stickvägsnätet och på de områdena med bionäring slumpades vissa provtytor ut till att gödslas med den högre givan om ca 700kg N/ha för att skapa behandling bionäring b.



Figur 1. Bilderna visar beståndens utformning och uppdelning i olika gödseltyper. Grönmarkerade områden är obehandlade kontrollområden, röda områden är gödslade med mineralnäring och de blå områdena är gödslade med bionäring.

Försöket bestod av fyra behandlingstyper som listas nedan med den mängd kväve som har spridits. Ett område i varje bestånd var kontroll som var ogödslad, en del var mineralgödslad med en giva om 520kg SkogCan/ha (mineral), två delar var gödslade med bionäring vilket var slamgranuler från SYVABs reningsverk i Himmelfjärden. Av bionäringsdelen har merparten spridits med en giva om 13,3 ton biogödsel/ha (bio a) och vissa provytor har spridits med en giva om 17,4 ton bionäring/ha (bio b). Givan av mineralgödsel var 150 kg N/ha och givan var 541kg N/ha på bio a och på bio b kvävegivan 709kg N/ha.

- Kontroll, ogödslad del
- Mineral 150kg N/ha
- Bio a 541kg N/ha (61kg ammonium/ha)
- Bio b 709kg N/ha (80kg ammonium/ha)

Alla stickvägar loggades med GPS som underlag för gödslingskotaren.

Tabell 5. Antalet provytor per behandling och bestånd

	Kontroll	Mineral	Bio a	Bio b
Näverberget	12	26	15	7
Lillfuruberget	12	36	18	5
Hällberget	23	49	25	8
Summa	47	111	58	20

2.4 Gödselmedel

I denna studie har det traditionella skogsgödselmedlet SkogCan (tabell 6) använts på en av behandlingstyperna och bionäring i form av slamgranuler (tabell 7) på två av behandlingstyperna.

Tabell 6. Innehållet av växtnäringsämnen i gödselmedlet SkogCan

Innehåll av växtnäring (viktprocent)	
Totalkväve mängd (N)	27,2
Varav: Nitratkväve	13,6
Ammoniumkväve	13,6
Magnesium	2,3
Kalcium	4,7
Bor	0,2

Tabell 7. Innehållet av växtnäringsämnen i bionäringen

Innehåll av växtnäring (viktprocent av TS)	
Totalkväve mängd (N)	4,10
Varav: Ammoniumkväve	0,46
Mineralnäringsämnen (viktprocent av TS)	
TS	92,30
Magnesium	0,36
Kalcium	2,30
Kalium	0,25
Natrium	0,07
Fosfor	3,30

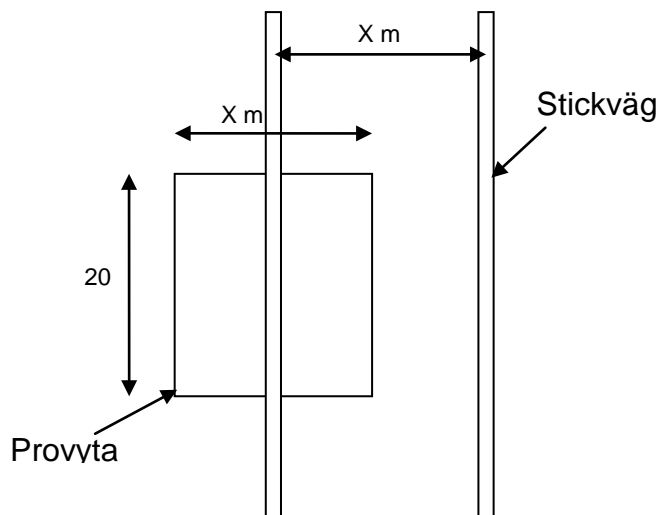
2.5 Gödslingsutförande

Gödslingen av dessa bestånd genomfördes 2006 och ingick i ett större kolsänkeförsök som sträcker sig fram till 2012. Detta försök omfattade ca 140ha gödslad areal och därtill ca 50ha kontrollareal. Gödslingen av dessa bestånd skedde från 10 augusti 2006 till 8 september 2006. All gödsling genomfördes med traktorspridning, det vill säga med en skotare som körde längs med stickvägarna och spred gödseln med en centrifugalspridare. Mineralgödseln spreds på varannan stickväg med en spridningsbredd på 35-40 m beroende på stickvägsavståndet. Bionäringen spreds från varje stickväg med två till tre körningar per stickväg beroende på behandling.

2.6 Provyteutläggning

Provyterna märktes ut i skogen efter det att gödslingen var utförd. Alla träd inom provytan (figur 2) var märkta med ett kors i brösthöjd. Bestämningen av ytans position har gjorts med hjälp av GPS och bestämningen av dess storlek var gjord med ett måttband. För att bestämma ytans form och storlek användes ett måttband, ett vinkelprisma och sex trästolpar. Utstakningen av ytan börjades alltid med att mäta ut provytans längd längs med stickvägen, när detta gjorts sattes en stolpe fast mitt på stickvägen där provytans kant skulle komma att vara. Därefter användes vinkelprismet för att sikta en rät vinkel från stolparna mitt på stickvägen mot det första hörnet. Efter detta siktades mellan stolparna med hjälp av måttbandet mot nästa hörn

på motsatt sida om stickvägen. Samma procedur upprepades sedan i den andra änden av provytan.



Figur 2. Beskrivning av provytornas storlek i förhållande till stickvägsavståndet.

2.7 Klavning

Alla träd har korsklavats över det dimålade korset vid första och andra klavningen. Klavningen har skett med dataklave av märket Haglöf för att mäta diametern i mm, och en digital höjdmätare har använts för att bestämma höjden och krongränshöjden på provträden i dm. Provträden valdes ut subjektivt enligt ett fastställt schema beroende på höjdspridningen. Kontrollmätningen utfördes under hösten 2007 innan gödslingen bör ha påverkat stamtillväxten. Den andra klavningen utfördes efter 1 augusti 2009 efter samma instruktioner och till viss del av samma personer.

2.8 Bearbetning av data och kontroll av trädantal

Bearbetningen av data har skett på samma sätt efter bägge klavningarna för att resultaten ska vara jämförbara. Textfilerna från klavningen konverterades till excelfiler. Vid konverteringen till excelfiler utfördes en kontroll av datamaterialet utifrån minnesanteckningar från klavningen. Fel som har förekom i datamaterialet korrigerades utifrån anteckningarna. En typ av fel som förekom är dubbla registreringar i klaven som upptäckts men inte var möjliga att åtgärda i fält. Dessa har korrigerats utifrån anteckningarna med hjälp av vilket nummer den felaktiga registreringen hade. Ett annat fel som åtgärdats är de fall när det bara fanns en registrerad diameter tillhörande ett träd. Detta har uppmärksammats i excel när registreringarna har uppgått till ett ojämnt antal per provyta. Detta fel åtgärdades genom att manuellt söka genom registreringarna och därigenom hitta den plats i datamaterialet där skillnaderna mellan registreringarna var onormalt stora, i detta fall har 2 cm använts som tumregel. Därefter sorterades datamaterialet efter behandling och provytenummer. Sedan har de bägge klavningarna från samtliga provytor jämförts med varandra för att se om något uppenbart stort fel förekommit, exempelvis att en provyta varit märkt med fel nummer i fält eller på kartan. Detta undersöktes så att man med säkerhet jämförde rätt provytor med varandra mellan klavningstillfällena. Denna kontroll gjordes genom att jämföra antalet träd inklavade vid de olika klavningstillfällena. Skillnaden mellan inklavningarna har varierat mellan 0 och 69 träd (tabell 8). Oftast har skillnaden varit liten, men för vissa provytor på Hällberget

där betestrycket varit hårt har skillnaden varit större. Trots dessa variationer utfördes ingen korrigerig då det inte gick att utifrån datamaterialet utvärdera vilket träd som kan ha fallit bort eller tillkommit. Dessa skillnader var slumpmässiga och kom inte att påverka resultatet mer än att medelfelet borde ha blivit något större. Det fanns två provtyper som hade ett ovanligt högt antal inklavade träd 2009. Den ökningen av antal inklavade träd skedde i diameterspannet 0,5-5cm och var främst lövträd.

Tabell 8. Skillnader i antal inklavade träd mellan 2007 och 2009. Negativa tal visar att färre träd inklavades 2009 än 2007 och positiva tal att fler träd 2009 än 2007. Siffran i tabellen visar antalet provtyper med ovan givet antal felklavningar

Hällberget	60	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-8	-10	-13
Kontroll			1	1	5	3	6	4	2						1
Mineral	1	2	1	2	3	7	18	9	4	1					1
Bio a			1	1	1	3	6	4	4	2	1	1	1		
Bio b						2	3	2	1						

Lillfuruberget	39	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
Kontroll					1	1	3	2	4	1		
Mineral	1	2	3	1		2	1	15	6	3	1	1
Bio a					1	1	4	10	2			
Bio b						2	2	1				

Näverberget	2	1	0	-1	-2	-3	-7
Kontroll		2	10				
Mineral		3	16	4		2	1
Bio a	2	1	10	1	1		
Bio b		1	5	1			

2.9 Beräkning av stamtillväxt

För att göra beräkningarna på enskilda träd krävdes, enligt de enklaste funktionerna, diameter och höjd. Eftersom endast diametern registrerades på merparten av alla inklavade träd utfördes en regressionsanalys för att skapa funktioner där endast diametern var den beroende variabeln. För att skapa en sådan funktion användes data från provträden för att skatta deras volym med Näslunds mindre volymfunktioner (Näslund och Hagberg 1952). Att Näslunds mindre volymfunktioner valdes för att först bestämma volymen på provträden beror på att de var tillämpbara på träd under 5 cm. För att genomföra regressionsanalysen användes statistikprogrammet Minitab i vilket en linjär regression genomfördes. Först beräknades volymen för samtliga provträd med Näslunds mindre funktioner för olika trädslag Tall, Gran och Björk (med funktionen för björk beräknades alla lövträds volym). Utifrån provträdens skattade volym och diameter skapades funktioner tillämpbara på Tall, Gran och Löv med endast diameter som beroende variabel. Därefter tillämpades funktionen på alla inklavade träd för att skatta varje träds enskilda volym i m³sk, därefter korrigerades alla värden för logaritmisk bias detta för att undvika systematiska fel som uppstår i samband med regressionsanalysen (Holm pers. med. 2010).

2.10 Beräkning av biomassa tillväxt och koldioxidbindning

För att beräkna varje träds enskilda biomassa har Marklunds biomassafunktioner för ovanjordsdelen använts (Marklund 1988). För underjord delen har Petterssons biomassafunktioner använts (Pettersson och Ståhl 2007). Att Petterssons biomassafunktioner har använts till rotberäkningarna istället för Marklunds beror på att Petterssons funktioner tar med rötter ända ner till en diameter om 2 mm till skillnad mot Marklunds som slutar vid 5 mm i diameter. Både Marklund och Pettersson har en mängd olika funktioner men de funktioner jag har använt är de absolut enklaste där endast diameter var den beroende variabeln. Detta på grund av att diametern var den variabla faktor som inmätts på hela försöket. Funktionerna har tillämpats på alla träd och sedan summerats för att få en skattning av varje enskilt träds torrsvikt. Utifrån trädets torrsvikt har den totala mängden kol uppskattats till 50 % av erfarenhetsmässiga tal från andra studier. Därefter har kolmängden omvandlats till CO₂ genom att multiplicera med 3,64 vilket är förhållandet i vikt mellan kol och CO₂ (Hunt 2009).

2.11 Statistik

Den statistiska analysen har genomförts med en variansanalys (ANOVA). ANOVA testar olika behandlingars medelvärde mot varandra och ifall eventuella skillnader är signifikanta inom varje bestånd. Försöket är upplagts som ett randomiserat blockförsök med modellen.

$$Y_{ij} = \mu\alpha_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Där Y_{ij} = tillväxt på behandling i på provyta nr j ($j=1, n(i)$)

μ_i = är grand mean

α_{ij} = är behandlingseffekt på behandling i och provyta nr j ($j=1, n(i)$)

ε_{ij} = är slumpmässiga avvikelser på behandling i och provyta nr j ($j=1, n(i)$).

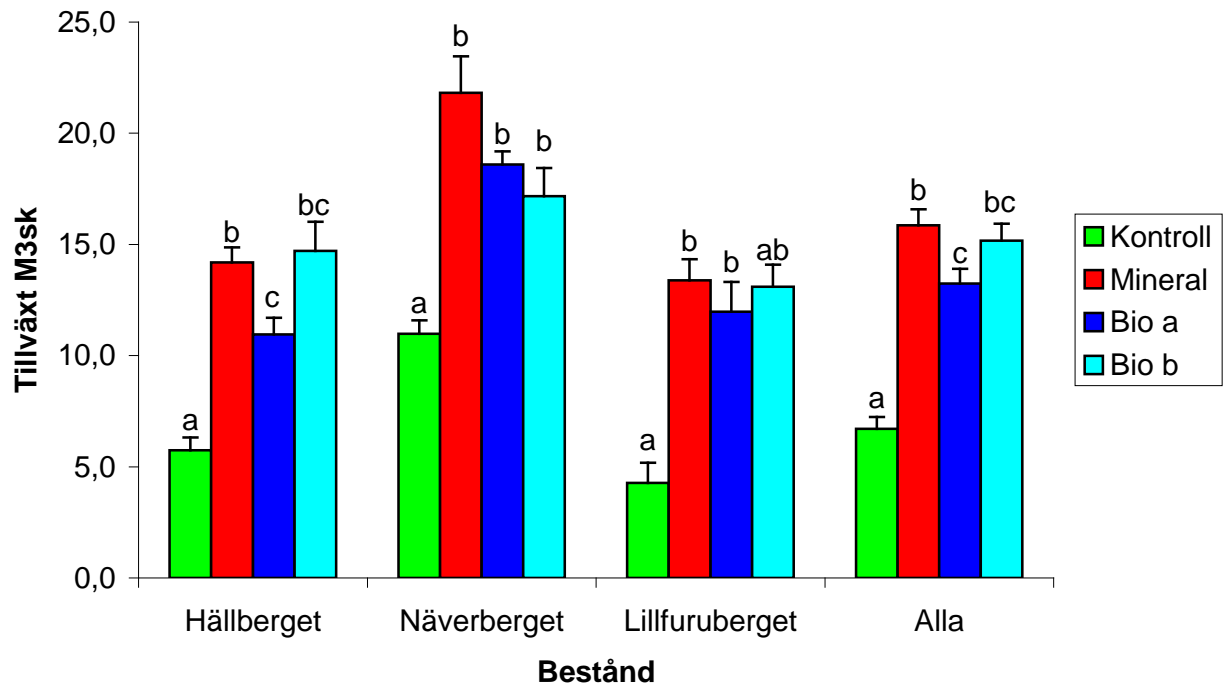
I och med att provytorna från en behandling var utlagda i samma parcell (pseudoreplikat) kunde man inte på rent statistiska grunder påvisa att skillnaden beror på behandlingen även om skillnaden var signifikant. Beräkningarna har gjorts med hjälp av statistikprogrammet Minitab och verktyget ANOVA. Uppställningen av variansanalysen skedde som en GLM (general linear model) detta för att försöket är obalanserat i antal provytor per behandling. Eventuella signifikanta skillnader i medeltillväxt mellan behandlingarna bestämdes med Tukey's multipel comparison test. P-värdet 0,05 användes som gräns för bestämning om signifikanta skillnader i medeltillväxt förelåg.

Varje provyta har vid beräkningarna antagits vara en upprepning av försöket. Antalet provytor varierar mellan behandlingarna vilket leder till att det naturliga medelfelet blir större inom de behandlingar där antalet provytor var mindre. Ett större medelfel gör det svårare att bevisa signifikanta skillnader mellan medelvärdena.

3 Resultat

3.1 Stamvedstillväxt

Stamvedstillväxten under dessa två år redovisas nedan (figur 3). Resultaten av variansanalysen redovisas på nästkommande sida (tabell 9). På kontrollbehandlingen varierar medeltillväxten mellan 4,3 och 10,7 m³sk/ha för de olika bestånden, för mineralgödslingen varierar medeltillväxten mellan 13,4 och 21,8 m³sk/ha, för Bio a varierar medeltillväxten mellan 10,6 och 18,9 m³sk/ha och för Bio b har medeltillväxten varierat mellan 13,1 och 17,2 m³sk/ha.



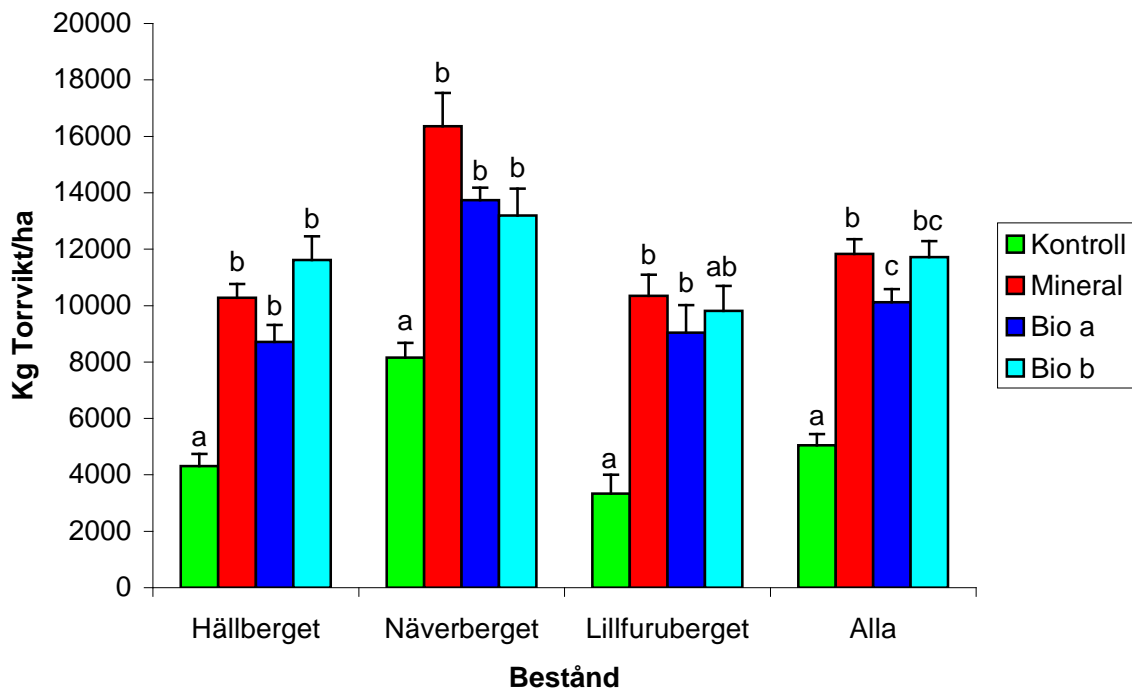
Figur 3. Medelstamtillväxten för varje bestånd och behandling med dess medelfel. Staplarna med lika bokstavsindex är ej signifikant åtskilda och olika bokstavsindex anger signifikant skillnad mellan behandlingarna.

Tabell 9. Effekter på stamtillväxten vid de olika gödslingsbehandlingarna enligt ANOVA samt gödslingsbehandlingarnas p-värde i jämförelse mot kontrollbehandlingen

Stamtillväxt					
Faktor	DF	Varsians	F	p	
Hällberget					
Behandling	3	1208	24,51	0	
Error	101	1660			
Total	104				
Lillfuruberget					
Behandling	3	770	4,86	0,004	
Error	67	3537			
Total	70				
Näverberget					
Behandling	3	977	16,44	0	
Error	56	1109			
Total	59				
Alla					
Behandling	3	3772,5	30,02	0	
Error	232	9716,7			
Total	235				

3.2 Biomassatillväxt

Biomassatillväxten under dessa två år redovisas nedan som torrsvikt/ha (figur 4). Resultatet av variansanalysen redovisas på nästkommande sida (tabell 10). På kontrollbehandlingen varierar medeltillväxten mellan 3,3 och 8,1 ton/ha för de olika bestånden, för mineralgödslingen varierar medeltillväxten mellan 10,3 och 16,4 ton/ha, för Bio a varierar medeltillväxten mellan 8,7 och 13,7 ton/ha och för Bio b har medeltillväxten varierat mellan 9,8 och 13,2 ton/ha.



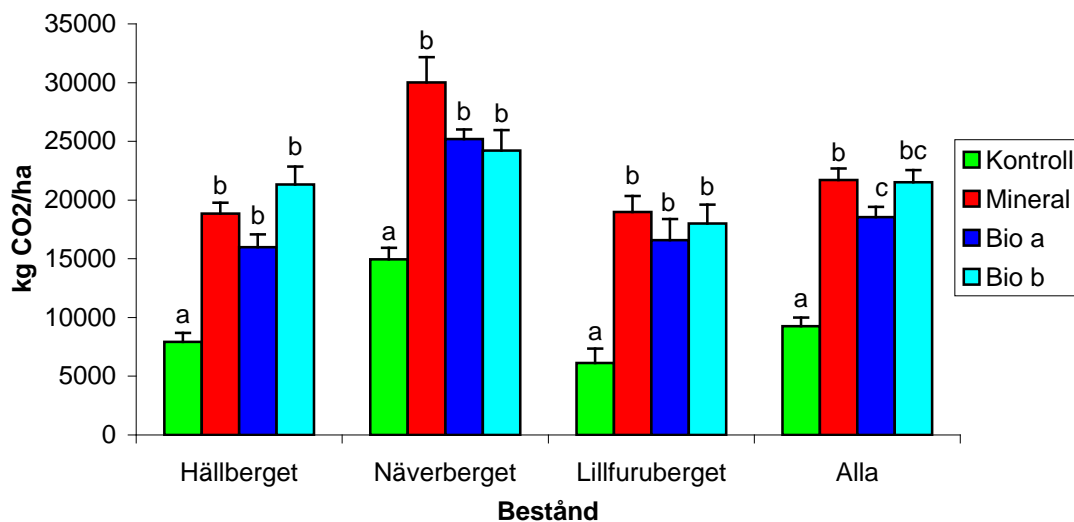
Figur 4. Medeltillväxten för varje bestånd och behandling med dess medelfel. Staplarna med lika bokstavsindex är ej signifikant åtskilda och olika bokstavsindex anger signifikant skillnad mellan behandlingarna.

Tabell 10. Effekter på biomassatillväxten vid de olika gödslingsbehandlingarna enligt ANOVA samt gödslingsbehandlingarnas p-värde i jämförelse mot kontrollbehandlingen

Biomassatillväxt				
Faktor	DF	Varians	F	p
Hällberget				
Behandling	3	632524901	23,27	0
Error	101	915144012		
Total	104			
Lillfuruberget				
Behandling	3	450228738	5,4	0,002
Error	67	1847134100		
Total	70			
Näverberget				
Behandling	3	555067188	15,99	0
Error	56	648057871		
Total	59			
Alla				
Behandling	3	1924994325	27,88	0
Error	232	5340132151		
Total	235			

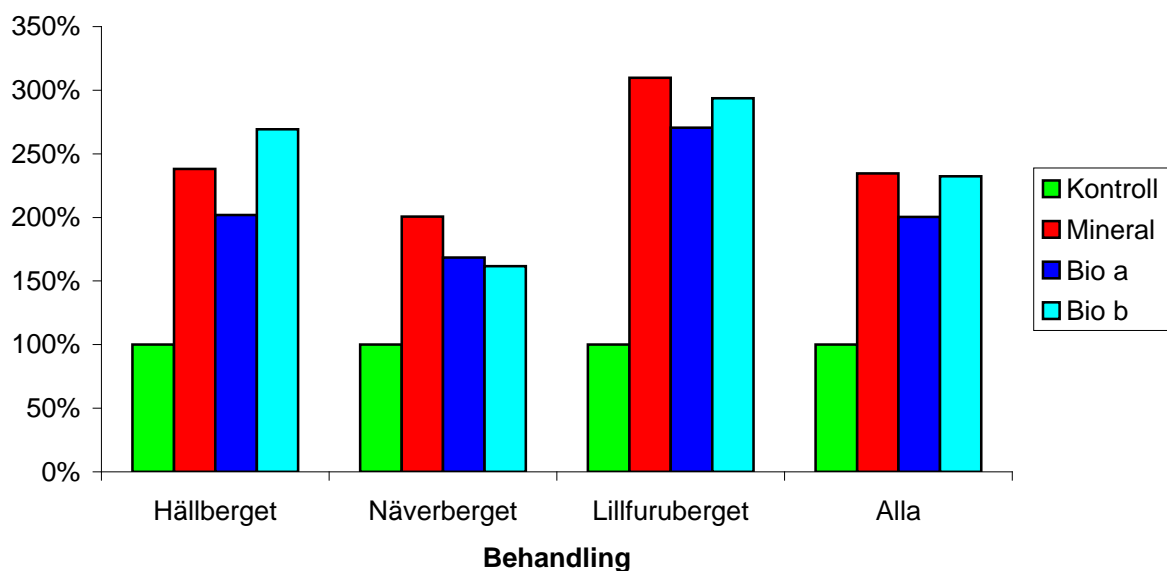
3.3 Koldioxidbindning

CO₂-bindningen för dessa två år redovisas nedan som ton/ha (figur 5) och på nästkommande sida i relativa tal jämfört mot kontrollen (figur 6). Resultaten av variansanalysen redovisas på nästkommande sida (tabell 11). På kontrollbehandlingen varierar medeltillväxten mellan 6,1 och 14,9 ton/ha för de olika bestånden, för mineralgödslingen varierar medeltillväxten mellan 18,9 och 30,0 ton/ha, för Bio a varierar medeltillväxten mellan 16,0 och 25,2 ton/ha och för Bio b har medeltillväxten varierat mellan 18,0 och 24,2 ton/ha.



Figur 5. Medeltillväxten för varje bestånd och behandling med dess medelfel. Staplarna med lika bokstavsindex är ej signifikant åtskilda och olika bokstavsindex anger signifikant skillnad mellan behandlingarna.

Den relativa CO₂-bindningen redovisas nedan för att ge en bättre uppfattning om tillväxtskillnaden mot kontrollen mellan de olika bestånden.



Figur 6. Figuren visar den relativa ökningen av koldioxidbindning för samtliga bestånd var för sig och för alla sammanslagna.

Tabell 11. Effekter på koldioxidbindningen vid de olika gödslingsbehandlingarna enligt ANOVA samt gödslingsbehandlingarnas p-värde i jämförelse mot kontrollbehandlingen

Koldioxidbindning				
Faktor	DF	Varsians	F	p
Hällberget				
Behandling	3	2129853659	23,27	0
Error	101	3081495795		
Total	104			
Lillfuruberget				
Behandling	3	1516021464	5,4	0,002
Error	67	6219716120		
Total	70			
Näverberget				
Behandling	3	1869036113	15,99	0
Error	56	2182156665		
Total	59			
Alla				
Behandling	2	6376351203	27,88	0
Error	232	17688653737		
Total	235			

4 Diskussion

4.1 Motiv och syfte

Skogens roll som kolsänka är en viktig del i det kommande klimatarbetet. Hur skötsel av skog påverkar eventuell extra upplagring av kol är förhållandevis okänt. Detta medför att studier inom skogsbruket är nödvändiga för att skaffa sig en bra uppfattning om hur olika skötselmetoder faktiskt påverkar skogens CO₂-bindning. I detta försök har den faktiska uppbindningen skattats utifrån torrsviktstillväxten, vilket har resulterat i ett medelvärde på hur stor mängd koldioxid tallskog i olika utvecklingsfaser kan väntas binda vid olika typer av gödslingsbehandling under en tid på två år. Syftet med detta projekt var att undersöka om hur mycket konventionell mineralgödsling ökar CO₂-bindningen och om gödsling med bionäring kan öka CO₂-bindningen under en tid av två år.

4.2 Val av bestånd, metodik och osäkerhet i data

Bestånden har valts utifrån olika typer av utvecklingsfas. Hällberget befinner sig i en fas där beståndet håller på att sluta sig och går från röjningsbestånd till förstagallringsbestånd. Lillfuruberget är ett bestånd som har slutit sig och är i behov av en förstagallring. Näverberget har genomgått en gallring och en gödsling. Rent statistiskt hade det varit bättre att säkerställa tillväxteffekten direkt till gödslingen ifall varje provyta hade lottats med en behandling. Rent teoretiskt skulle alltså tillväxtökningen inom blocken kunna bero på andra variationer än just gödslingen.

CO₂-bindningen har skattats utifrån torrsviktstillväxten det beror på att beräkningen av torrsviktstillväxten görs på en så stor del av trädet som möjligt dvs rötter från och med 2 mm i diameter upp till barr och grenar. Detta ger en god skattning av den totala mängden uppbunden koldioxid.

Variationen i data mellan inklavningarna hade kunnat vara mindre. Variationen är störst på Hällberget och Lillfuruberget där variationen av antal inklavade stammar är störst mellan 2007 och 2009 men även medelfelet för tillväxtökningen. Det finns två ytor som i den andra klavningen som sticker ut från mängden. Dessa har 39 respektive 60 fler inklavningar än året innan. Ser man till helheten har 93 stammar fler klavats in 2009 än 2007 och majoriteten av dessa har skett på Lillfuruberget och Hällberget. De extra träd som är inklavade på alla ytor är företrädesvis löv under 3 cm vilket mycket väl kan bero på inväxtning och otydliga markeringar på vad som tidigare år har klavats. För att minska skillnaden mellan inklavningarna hade det krävts tydligare markeringar från den första klavningen.

Värt att påpeka är att gödsling i Norrland ger högre tillväxteffekt än i södra Sverige vilket inte gör dessa resultat tillämpbara över hela landet.

4.3 Koldioxidbindningen

Samtliga gödslade områden har ökat CO₂-bindningen med mellan 50 och 200 % under försöksperioden. Den relativa ökningen har varit störst på Lillfuruberget (figur 6) och den absoluta ökningen har varit störst på Näverberget (Figur 5).

Koldioxidbindningen har ökat med ca 4-7,9 ton/ha och år under denna försöksperiod beroende på gödselmedel och typ av bestånd som har gödslats. Störst har ökningen varit på Näverberget på det mineralgödslade området där CO₂-bindningen har ökat med 15 ton/ha under försöksperioden. Tidigare försök med slampelletts med en giva i samma storlek som behandlingen bio a har visat på en likartad tillväxtökning som mineralgödslingen under en femårsperiod (Engström 2007). Under denna försöksperiod är tillväxten på bio b likartad som på mineral delen och bio a något under. Samtliga gödslingsbehandlingarna har ökat uppbindningen av CO₂ i jämförelse med kontrollbehandlingen och förhoppningen med biobehandlingarna är att slampelletsen ska brytas ned under en längre period och skapa en långsiktig tillväxteffekt i samma storleksordning som vid mineralgödsling vilket har visats sig vid andra typer och mindre slamgödslingsförsök. (Sahlén 2005; Kovanen 2007).

Sveaskogs utsläpp av CO₂ från fossila källor var under 2008 och 2009 227 000 ton. Medelvärdet för den ökade CO₂-bindningen var för mineralgödslingen 12,4 ton/ha och 9,3 ton/ha för bio a. Detta innebär att om Sveaskog hade gödslat 18 300 ha med mineralnäring 2007 eller om 24 400 ha hade gödslats med samma giva bionäring som vid bio a hade den ökade tillväxten varit lika stor kolsänka som deras fossila utsläpp.

Idag sker merparten av gödslingen i medelålders skog, dessa försök visar dock på en ökad tillväxt även i yngre bestånd med lägre grundyta. Idag finns det inga ekonomiska incitament för att gödsla i yngre bestånd eftersom avkastningen inkasseras för långt fram i tiden. Skulle markägaren få betalt för den ökade uppbindningen skulle yngre skog vara en stor potentiell kolsänka.

I slutet av 2009 hade priset på en utsläppsrätt motsvarande ett ton CO₂ stabiliserat sig kring 15 euro/ton + moms (Statens energimyndighet 2009), om ett ton utsläpp skulle värderas lika högt som ett ton extra inbunden CO₂ vid gödsling skulle all skogsgödsling vara lönsam. Totalt har dessa tre bestånd under två år bundit 2786 ton CO₂. Med ett pris lika som en utsläppsrätt motsvarar det 41787 Euro + moms för hela försöket. Dock finns de många osäkerheter angående stående skog som kolsänka, t ex stormar och avverkning. Men en ökad tillväxt innebär ett ökat virkesförråd på nationell nivå vilket medför en långsiktig kolsänka samtidigt som mer förnyelsebar råvara blir tillgänglig för att ersätta fossila råvaror.

4.4 Biogödsling

I Sverige produceras årligen 240 000 ton avvattnat slam och sedan 2005 får inte slam deponeras (Naturvårdsverket 2009). Pelletering eller granulering av slam skapar ett gödselmedel med stor möjlighet till lagring, spridning och utveckling av själva gödselmedlet. En ytterligare fördel med gödsling i form av bionäring är återföringen av näringsämnen till kretsloppet på ett effektivt och hållbart sätt (Hånell et al. 1996). Studier genomförda med slamgödsling visar på en positiv tillväxteffekt och förbättrade markegenskaper. (Bramryd 2001; Kovanen 2007) I detta försök har bionäringen inte öka tillväxten lika mycket som mineralnäringen. Detta var väntat eftersom givan lättillgängligt kväve var lägre. Om allt avvattnat slam skulle användas till skogsgödsling skulle det med givan i behandling bio a räcka till att gödsla ca 18 000 ha med den mängd slam som producerades 2005. Det innebär att man skulle kunna ersätta 30 % av arealen som gödslades med mineralnäring 2008 med bionäring.

5 Slutsatser

Gödsling ökar tillväxten vilket ökar CO₂-bindningen.

Under en tid av två år är mineralgödsling effektivare än gödsling med bionäring

Gödsling av yngre tall skog ökar koldioxidbindningen med ca 10 ton/ha.

Gödslingen med bionäring ger en tydlig tillväxteffekt redan inom 2 år.

Högst tillväxt och koldioxidbindning sker i välsluten medelåldersskog.

Referenser

- Bergkvist, B., (2008) Kolet, klimatet och skogen, Så kan skogen påverka. Lustra. SLU/Repro 2008. ISBN: 978-91-85911-16-5
- Enström, N., (2008). Heavy metal accumulation in voles, shrews and snails after fertilisation with pelletized and granulated municipal sewage sludge. ISSN: 1654-1898.
- Eriksson, E., (2006). The potential for forestry to reduce net CO2 emissions. SLU/repro, Uppsala 2006. ISBN: 91-576-7252-0
- Frost, K., och Jönsson, M., (2005) Användning av avloppsslam och gödsel i närheten av vattendrag – en studie av negativa effekter. Lunds Universitet
- Hallet, R.A., Bowden, W.B. and C.T., Smith. (1999) Nitrogen dynamics in forest soils after municipal sludge additions. Water, Air and Soil Pollution 112: 259-278.
- Hånell, B., Magnusson, T., Modig, T., (1996) Pelletering av slam. Fakta skog 1996 nr 11
- Holm, S., (2010) Pers. Med., SLU skoglig resursanalys, Umeå, muntligt 2010
- Hunt, C.A.G., (2009) Carbon sinks and climate change, Forests in the fight against global warming. The university of Queensland, Australia. ISBN: 9781 84720 977 1
- Jacobsson, J., (2010) Pers. Med., Manager, Pricewaterhousecoopers, Stockholm, Mail 2010
- Kovanen, M., (2007) Growth responses in Swedish boreal coniferus forests after addition of nitrogen as sewage sludge pellets. ISSN: 1654-1898
- Larsson, D.G.J., Adolfsson-Erici, M., Parkkonen, J., Pettersson, M., Berg, A.H., Olsson, P.E., Forlin, L. (1999) Ethinyloestradiol – An undesired fish contraceptive? Aquatic Toxicology, 45:91-97.
- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, (2007) Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Morén, A-S. (2007) Kolet, Klimatet och skogen Så funkår det. SLU/repro. ISBN: 978-91-85911-15-8.
- Marklund, L-G. (1988) Biomassafunktioner för Tall, Gran och Björk i Sverige. Institutionen för skogstaxering. Rapport 45. Umeå. ISBN: 91-576-3524-2.
- Maslin, M. (2002). Global warming. China. Voyageur Press, Inc. ISBN: 0-89658-587-5.
- Mälkönen, E., (1990) Estimation of nitrogen saturation on the basis of long-term fertilization experiments. [Nederländerdna] Plant and soil 128: 75-82
- Naturvårdsverket. (2009) Hemsida. [online] (2009-07-31). Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Avlopp/Avloppsslam/Regler-for-avloppsslam/> [2009-11-05]
- Näslund, M., Hagberg, .E., (1952) Skogsforskningsinstitutets större tabeller för kubering av stående träd, Tall, gran och björk i norra Sverige. Svenska skogsvårdsförenings förlag Stockholm.

Petersson, H., Ståhl, G., (2007) Functions for below ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Scandinavian Journal of Forest Research, 21:1, 84 – 93. Umeå. ISSN: 1651-1891

Sahlén, K., (2005) Sewage sludge fertilization of conifer forest in the Nordic countries and North America. Köpenhamn. Nordic Council of ministers. ISBN: 92-893-1280-7.

Statens Energimyndighet, (2009) Energiläget 2009, Hemsida, [online] (2010-04-29) www.energimyndigheten.se

Stripple, H., (2002) Tillämpningar av klimatmål och Kyotoprotokollet – en allmän analys med bransch exempel, IVL rapport. B, 1454. IVL svenska miljöinstitutet, Stockholm

Svensktvatten. (2009) Hemsida. [online] (2009-11-05). Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/web/Slamhantering.aspx> [2009-11-09]

Svensktvatten. (2004) Slamkostnader i Sverige 2004. [online] (2009-11-05) Available from: http://www.svensktvatten.se/web/Hanteringskostnader_for_slam.aspx

Utrikesdepartementet, (2002) Sveriges internationella överenskommelser, SÖ 2002:41, Stockholm, ISSN:1102-3716

Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D. J., Dokken, D. J., (2000) Cambridge university press. United states of America. ISBN:0 521 80083 8

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2010:09 Författare: Emma Palmgren
Hur mycket naturbetesmarker har vi idag? Skattning av areal via nationella, stickprovsbaserade inventeringar samt jämförelse mot befintliga informationskällor
- 2010:10 Författare: Johan Ledin
Planteringsförbandets betydelse för kvalitetsegenskaper i contortatall (*Pinus contorta* var. *latifolia*)
- 2010:11 Författare: Anna-Maria Rautio
De norrländska svältsnörena – en skogshistorisk analys av cykelstigsutbyggnaden under 1900-talet
- 2010:12 Författare: Linda Bylund
Tungmetaller i marken vid träimpregnering i Hede, Härjedalen
- 2010:13 Författare: Ewa Weise
Blå vägens glasbjörkar – från groning till allé
- 2010:14 Författare: Amanda Eriksson
Browsing effects on stand development after fire at Tyresta National Park, Southern Sweden
- 2010:15 Författare: Therése Knutsson
Optimering vid nyttjande av röntgenutrustning hos Moelven Valåsen AB
- 2010:16 Författare: Emil Strömberg
Angrepp av snytbagge och svart granbastborre i Norrland. Skadeläget på SCA's marker en vegetationsperiod efter plantering
- 2010:17 Författare: Emilie Westman
Growth response of eucalyptus hybrid clone when planted in agroforestry systems. An approach to mitigate social land conflicts and sustain rural livelihood
- 2010:18 Författare: Victoria Forsmark
Räcker det med en röjning i tallbestånd i norra Sverige?
- 2010:19 Författare: Kevin Oliver Del Rey Morris
Comparison of growth, basal area and survival rates in ten exotic and native species in Northern Sweden
- 2010:20 Författare: Viveca Luc
Effects of ten year old enrichment plantings in a secondary dipterocarp rainforest. A case study of stem and species distribution in Sabah, Malaysia
- 2010:21 Författare: Gustav Mellgren
Ekens inspridning och tidiga tillväxt på bränd mark. Etablering inom 1999 års brandfält i Tyresta nationalpark
- 2010:22 Författare: Paulina Enoksson
Naturliga skogsbränder i Sverige. – Spatiala mönster och samband med markens uttorkning
- 2010:23 Författare: Álvaro Valle Millán
The effect of forest cover for the dynamics of a snowpack. Linking snow water equivalents, meltwater contributions and evaporative loss
- 2010:24 Författare: Jenny Lindman
Evaluation of an ectomycorrhizal macrofungi as an indicator species of high conservation value pine-heath forests in northern Sweden

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se