

Från bioavfall till bionäring

Hållbara kretslopp med
rötning och gödsling

Kenneth Sahlén

Thomas Andersson

Nina Åkerback



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Henrik Kant	Göteborg Vatten
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Från bioavfall till bionäring – hållbara kretslopp med rötning och gödsling
Title of the report:	From bio waste to Bio nutrient– sustainable recycling with digestion and fertilization
Författare:	Kenneth Sahlén, Inst. för skogens ekologi och skötsel, SLU, Umeå; Thomas Andersson och Nina Åkerback, Yrkeshögskolan NOVA, Vasa, Finland
Rapportnummer:	2013-24
Antal sidor:	42
Sammandrag:	Rötning i lab-skala av olika substrat har undersökts, liksom effekter av skogsgödsling med torkad rötrest. Skogsgödsling ger 40–50 % tillväxtökning, utan risk för utlakning av näringsämnen och tungmetaller. Gödsling med 1 ton Bionäring (torkad rötrest) ökar koldioxidupptagningen i träden med 6 ton och motverkar således växthuseffekten.
Abstract:	Digestion in lab scale of different substrates is investigated as well as effects of forest fertilization with dried digestate. Fertilization gives 40–50 % growth increase, without risk for leaching of nutrients or heavy metals. One ton of Bio nutrient (dried digestate) increases tree growth corresponding to six tons of CO ₂ sequestration.
Sökord:	Skog, gödsling, rötrest, miljö, tillväxt
Keywords:	Forest, fertilization, digestate, environment, growth
Målgrupper:	Kommuner, biogasanläggningar, skogsbruket, miljömyndigheter
Omslagsbild:	Pelletterad rötrest från ETAPPI, Ilmajoki, Finland. Foto Markus Sundell, Yrkeshögskolan NOVA
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2013
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	SVU 28-105
Projektets namn:	Från bioavfall till bionäring – hållbara kretslopp med rötning och gödsling
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Skellefteå kommun, UMEVA, MittSverige Vatten, Länsstyrelsen Västerbotten, SLU, Österbottens Förbund och Yrkeshögskolan NOVA, Vasa, EU:s strukturfonder (Botnia Atlantica programmet).

Förord

Alla växter behöver näringsämnen för sin metabolism och tillväxt. Några av dessa näringsämnen finns i begränsad mängd som t ex fosfor, eller orsakar utsläpp av växthusgaser vid tillverkning. En återanvändning av de näringsämnen som en gång bundits i organiskt material har sedan urminnes tider varit och är fortfarande ett naturligt inslag i ett hållbart utnyttjande av våra naturresurser. I det organiska materialet finns även bunden solenergi, som kan utvinnas som metan genom rötning. Den rest som blir kvar kan sedan återanvändas som växtnäring. I detta projekt har rötning och tillväxt- och miljöeffekterna av användningen av rötresten som näring i boreal barrskog, undersökts.

Kenneth Sahlén

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund till projektet.....	8
1.1 Skogsgödsling med organisk rötrest – miljömässiga fördelar.....	9
1.2 Nya och förädlade organiska rötrester	9
1.3 Skogsgödslingsförsök	9
2 Syfte.....	10
3 Organisation och arbetssätt.....	11
3.1 Projekttid	11
3.2 Finansiärer och samarbetspartners	11
4 Genomförande och resultat	12
5 Vad är Bionäring?.....	13
6 Skogligen gödslingsförsök – syfte och genomförande	15
6.1 Anlagda skogsgödslingsförsök	16
7 Undersökningar i tidigare anlagda skogsgödslingsförsök.....	22
7.1 Träd tillväxt	23
7.2 Näringsstatus i trädens barr	24
7.3 Markvatteninnehåll – kväve	27
7.4 Markvatteninnehåll – fosfor, kalium, magnesium	28
7.5 Markvatteninnehåll – tungmetaller	29
8 Markrespiration efter gödsling med Bionäring	31
9 Sekventiell lakning av Bionäring	33
10 Utformning av certifieringsregler	34
11 Miljöeffekter	35
11.1 Koldioxidbindning i skog.....	35
11.2 Utlakning av kväve och fosfor	35
11.3 Utlakning av tungmetaller	36
11.4 Skador på mikroorganismer i marken	36
11.5 Övriga miljöeffekter	36
12 Slutsatser	37
13 Referenser.....	38

Sammanfattning

I samhällets utveckling mot ekologisk hållbarhet ingår bl a ökad återanvändning av material och näringsresurser samt minskad användning av fosfils baserade råvaror för tillverkning av produkter och energiframställning. I biogasanläggningar utvinns energi från organiskt material som avloppsslam och matavfall. Den rötrest som återstår utgör en växtnäringsresurs.

Syftet med detta projekt har varit att undersöka effekter av typ av organiskt material på gasproduktionen vid rötning och rötrestens egenskaper, samt att undersöka tillväxt- och miljöeffekter av användning av torkad granulerad/pelletterad rötrest som skogsgödsel. Gödslingseffekterna undersöktes i skogsgödslingsförsök med torkad och granulerad/pelletterad rötrest, anlagda mellan 2001 och 2011 i både försöksskala på små provytor och praktisk skala med traktorspridning i Sverige och Finland. Begreppet Bionäring, med specificerade egenskapskrav, infördes för den använda rötresten.

Kvävehalten i Bionäringen varierade mellan 1,1 och 4,8 % och fosforhalten mellan 1,2 och 4,2 %. Halten av tungmetaller låg under gränsvärdet för tillåten användning av avloppsslam på åkermark i Sverige. Doseringen vid gödsling varierade mellan 4 och 20 ton/ha, motsvarande mellan 150 och 900 kg N/ha.

Träd tillväxten ökade med upp till 160 % efter 2–3 år i gödslingsförsök anlagda 2009–2011. I ett av åtta bestånd erhöles ingen ökad tillväxt. I tre försök i provyteskala från 2001–2006 var tillväxtökningen efter 7–12 år i genomsnitt 15–30 % för mineralgödsel och 30–65 % för Bionäring med dosering 300–600 kg N/ha. Träaska gav 7 % tillväxtökning. Barranalyser visade en förhöjd halt av både kväve och fosfor under 2–8 år efter gödsling med Bionäring.

Halterna av $\text{NH}_4\text{-N}$ och $\text{NO}_3\text{-N}$ i markvattnet på 50 cm djup var som högst 0,7 resp. 0,2 mg/l med Bionäring i dosering 522 kg N/ha. Inga förhöjda halter av Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb och Zn kunde påvisas i markvattnet. Markrespirationsförsök visade ingen effekt av gödsling på markmikroorganismernas aktivitet. Försök med sekventiell lakning i laboratorieskala av Bionäring, visade ingen förhöjd risk för utlakning av kadmium och koppar i skog i jämförelse med träaska.

Tillförsel av Bionäring i praktisk skala till skog förväntas resultera i en ökad koldioxidbindning på 6 ton per ton Bionäring, och dessutom minskade CO_2 -utsläpp från tillverkning, när konstgödsel ersätts. Förhoppningsvis kan resultaten från bl a detta projekt utgöra tillräckligt underlag för berörda myndigheter att tillåta att skogsgödsling med Bionäring kan tillämpas i praktisk skala.

Summary

The society development towards ecological sustainability includes increased reuse of material and nutrient resources and reduced use of fossil based raw material for production of energy and products. In biogas plants, energy is extracted from organic matter as sewage sludge and food waste. The remaining digestate constitutes a plant nutrient resource.

The objective of this project was to investigate effects of type of organic matter on gas production and digestate characteristics, and to investigate the growth- and environmental effects of using dried and granulated/pelletized digestate as forest fertilizer.

Anaerobic digestion experiments were carried out in laboratory scale with different mixes of pig manure, fish waste, waste plant material and a waste product from xylen extraction. Thru optimization of the C/N ratio, both gas production and digestate nutrient content could be increased. The digestion process ran more effectively if the substrate mixture was controlled and kept at a certain optimal level. Fertilization effects were investigated in forest experiments on small sample plots, and in practical scale with tractor application in Sweden and Finland between 2001 and 2011.

The term "Bionäring" (Bionutrient), was introduced for the dried and granulated/pelletized digestate, that was used in the experiments. Nitrogen contents varied between 1,1 and 4,8 % and phosphorus contents between 1,2 and 4,2 %. Heavy metal concentration was below the limit value in Sweden for the use of sewage sludge on agriculture land. Application rate varied between 4 and 20 dry tons/ha, corresponding to between 150 and 900 kg N/ha.

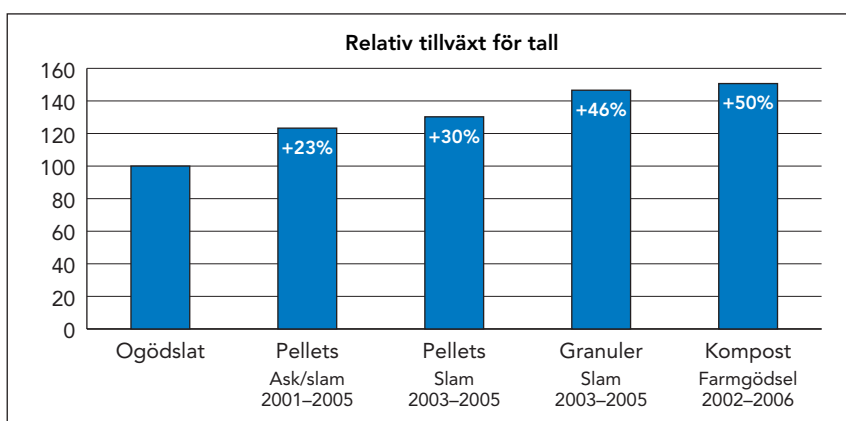
Tree growth increased by up to 160 % after 2–3 years in practical scale experiments established 2009–2011. In sample plot experiments from 2001–2006, the growth increase after 7–12 years was 15–30 % for mineral fertilizer and 30–65 % for Bio nutrient at application rates of 300–600 kg N/ha. Application of wood ash resulted in 7 % growth increase. Needle concentration of both N and P increased during 2–8 years after fertilization with Bio nutrient.

Concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in the soil water at 50 cm depth, were as highest 0,7 and 0,2 mg/l, respectively, during 8 years after fertilization, at an application rate of 520 kg N/ha. No increased concentrations were detectable for Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn in the soil water. Soil respiration experiments showed no influence of Bio nutrient application on the forest soil microbial activity. Sequential leaching of Bio nutrient and wood ash in laboratory scale showed no higher risk for leaching of cadmium and copper from Bio nutrient than from wood ash.

Bio nutrient forest application in practical scale is estimated to result in an increased CO_2 sequestration in the tree biomass of 6 tons of CO_2 /ton of Bio nutrient. Hopefully, the results from this project will constitute a sufficient base for an authority approval of Bio nutrient forest fertilization in practical scale.

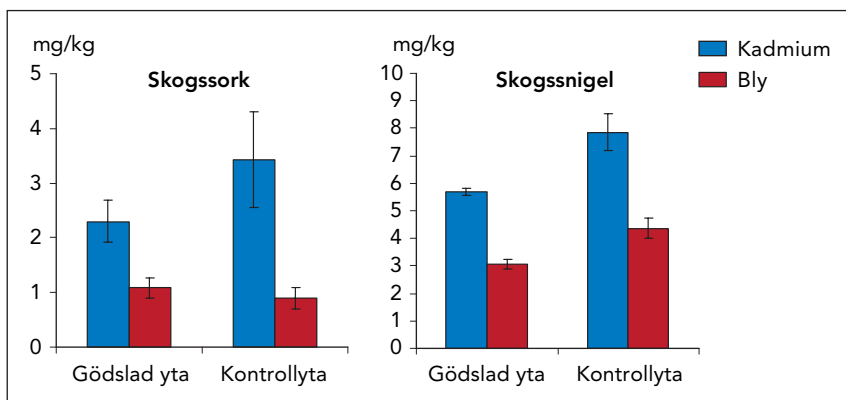
1 Bakgrund till projektet

Bakgrunden till projektet var ett av Interreg IIIA Kvarken–MittSkandia EU-finansierat projekt. Projektet *Näringsrika restprodukter i ett skogligt kretslopp* genomfördes åren 2001–2006 av Svenska yrkeshögskolan och Sveriges Lantbruksuniversitet. I projektet testades i liten försöksskala tänkbara metoder för produktion och spridning av gödselmedel baserade på komposterad mink- och rävgödsel och rötat avloppsslam. Även miljö- och tillväxteffekterna av dessa gödselmedel i skogen undersöktes. Skogsgödslingen i försöksskala utfördes på små provtytor, för hand, i Sverige med torkat och granulerat eller pelleterat avloppsslam och i Finland med komposterad och pelleterad pålsdjurgödsel. Resultaten visade att träd tillväxten under en femårsperiod kan öka med 30–50 % efter gödsling med upp till motsvarande 500 kg N/ha (figur 1-1).



Figur 1-1 Tillväxteffekter på provtytor gödslade med olika restprodukter (från Åkerback 2007).

Inga förhöjda halter av tungmetaller uppmättes, vare sig i bär eller svamp från gödslade ytor, eller i njurar från smågnagare och sniglar som fångats på gödslade ytor (figur 1-2).



Figur 1-2 Halterna av kadmium och bly alten i njurar från skogssork (shrew) och sniglar (snail) från provtytor gödslade med 14 ton biogödsel/hektar och från kontrolltytor. (Enström 2007).

I markvatten på 50 cm djup, kunde ingen utlakning av kväve påvisas efter gödsling. Det slam och den gödselkompost som användes var hygieniserat genom upphettning så att eventuella smittsamma mikroorganismer var avdödade.

1.1 Skogsgödsling med organisk rötrest – miljömässiga fördelar

Det slam som erhålls vid avloppsvattenrening och som rötrest efter rötning av organiskt material i biogasanläggningar, innehåller alla nödvändiga näringsämnen för trädttillväxt. Slutsatserna av ett stort antal skogsgödslingsförsök med avloppsslam, som utförts i de nordiska länderna och Nordamerika, är att avsevärda tillväxtökningar kan erhållas i skog och att gödsling kan utföras utan att någon negativ miljöpåverkan kunnat konstateras.

Återanvändning av slam som skogsgödsel i stället för industriellt producerad mineralgödsel, innebär minskade utsläpp av växthusgaser vid gödselframställning och från slamdeponier, samt ökad upptagning och bindning av koldioxid i skogsekosystemet till följd av ökad skogstillväxt. Ökad tillgång på skogsråvara innebär att fossilt baserade råvaror kan ersättas i större utsträckning, vilket reducerar utsläppen av koldioxid.

1.2 Nya och förädlade organiska rötrest

För att en ökad andel av de rötrest som produceras, ska återanvändas som växnäring i enlighet med samhällets hållbarhetsmål, krävs att en positiv tillväxteffekt erhålls och att skadliga miljöeffekterna inte uppstår. Rötrestens gödslingsegenskaper kan förmodligen påverkas och förbättras med varierad blandning och sammansättning av de organiska restprodukter som rötas.

1.3 Skogsgödslingsförsök

För att användningen av rötrest som näringsresurs i skog skall bli praktiskt tillämpbart, behöver tillväxt- och miljöeffekterna undersökas både i provyteskala och vid skogsgödsling i större praktisk skala. Dessutom behöver de mera långsiktiga effekterna kartläggas.

2 Syfte

Projektets övergripande mål var att skapa praktiskt tillämpbara och miljö-riktiga system, som möjliggör att en stor andel av den näringsresurs, i form av rötrest från rötningsanläggningar, ska återanvändas för ökad produktion av förnyelsebar skogsråvara, och ersätta industriellt producerad mineral-näring.

Projektet hade följande syften:

- med hjälp av rötning i experimentell skala av olika blandningar av organiskt material, förbättra gödslingsegenskaperna hos rötresten
- experimentellt testa rötrestens gödslingsegenskaper efter rötning/biogasframställning av olika av organiska restprodukter
- introducera/testa system för skogsgödsling i praktisk skala
- skapa/vidmakthålla en internationellt hög kompetens i Botnia-Atlantica området inom återanvändning av restprodukter som växtnäring.

3 Organisation och arbetssätt

Yrkeshögskolan Novia/Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi har varit projektägare och Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå och Finlands Skogscentral i Vasa har varit parter i projektet. Projektet hade en gemensam ledning, bestående av en huvudprojektledare som under tiden 2009-01-15 – 2011-12-31 var Nina Åkerback och under tiden 2012-01-01 – 2013-03-01 Thomas Andersson. Kenneth Sahlén har varit projektledare i Sverige under hela projektiden. En styrgrupp bestående av representanter för finansiärerna och projektledningen ledde övergripande projektets verksamhet.

3.1 *Projekttid*

Den ursprungliga projekttiden var 2009-01-15 – 2011-12-31. Den förlängdes senare till 2013-03-31, med reviderad projektplan, på grund av att projektet inte kunde genomföras som planerat till följd av bland annat myndighetsbeslut.

3.2 *Finansiärer och samarbetspartners*

Projektet har finansierats av det EU-finansierade programmet Botnia-Atlantica. Den nationella finansieringen svarade Österbottens Förbund i Finland och Länsstyrelsen i Västerbottens län i Sverige för. Övriga offentliga medfinansiärer var Sveriges Lantbruksuniversitet, Ab Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi (Yrkeshögskolan Novia), Skellefteå kommun, UMEVA, MittSverige Vatten och Svenskt Vatten Utveckling.

Våra samarbetspartners har varit SYVAB, Sveaskog, Käppalaförbundet, Mellanskog, Norra skogsägarna, Skellefteå Kraft, ETAPPI Oy, FA Forest Oy och Ab Stormossen Oy.

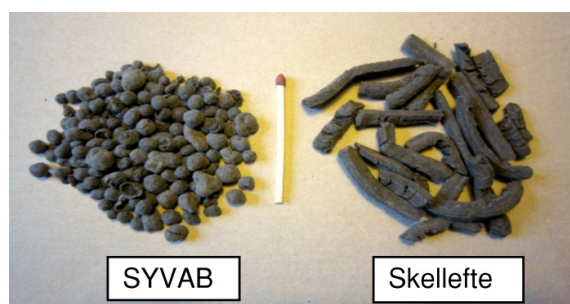
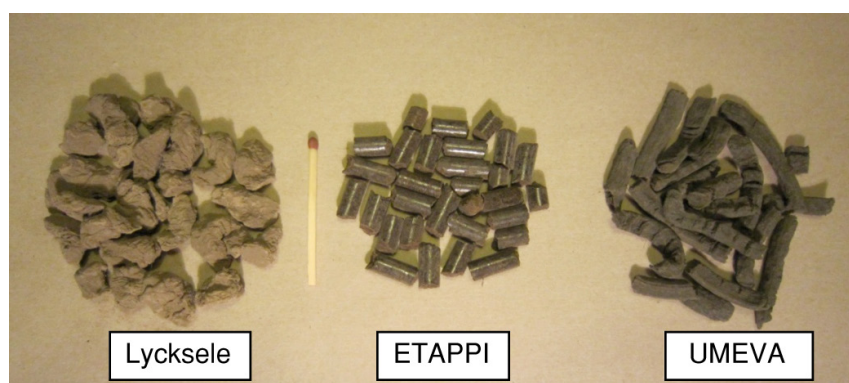
Vi vill rikta ett tack till våra finansiärer och samarbetspartners som gjorde projektet möjligt att genomföra.

4 Genomförande och resultat

I denna rapport presenteras resultaten från de skogliga gödslingsförsöken med Bionäring. Resultaten från rötningsförsöken finns i projektets slutrapport på <http://biobio.novia.fi/>. Rötningsförsöken utfördes i laboratorieskala med olika blandningar av grisgödsel, fiskrens, hushållsavfall, växthusrestprodukter och en restprodukt från xylanutvinning. Genom optimering av kol-kväveknoten kunde gasproduktionen ökas och näringsförluster i rötresten minimeras.

5 Vad är Bionäring?

Det finns en skepsis i samhället mot återanvändning av näring från rötrest efter rötning av organiskt material som t ex avloppsslam och matavfall, i jord- och skogsbruket. Denna skepsis grundar sig delvis på okunskap om vilka positiva och negativa effekter en sådan användning kan medföra. I samband med de skogsgödslingsförsök som utförts, har det ibland påståtts att vi gödslar skogen med "slam". Med slam avses vanligen avvattnat rötat slam från kommunala reningsverk, med en vattenhalt på ca 75 %. Sådant slam har inte använts vid den försöksverksamhet i skog som bedrivits av SLU. Det organiska gödselmedel vi testat och som vi anser kan vara lämpligt för närings-tillförsel i skog är torkad (< 10 % vatten), hygieniserad och pelletterad eller granulerad rötrest efter rötning av organiskt material som t ex avloppsslam eller matavfall. Beteckningen Bionäring har införts på denna produkt för att förtydliga att det inte är "slam" (figur 5-1). Efter en idé från Stefan Johansson, Skellefteå kommun, togs en logotyp för Bionäring fram av SYVAB, i samråd med övriga projektdeltagare (figur 5-2). Logotypen skall vara fri att använda på säckar etc. av alla som framställer en produkt som uppfyller kraven.



Figur 5-1
Olika typer av Bionäring som testats i skogsgödslingsförsök.



Figur 5-2
Logotyp för Bionäring i Sverige.

För Bionäring gäller följande krav på egenskaper, med kursiverade förklaringar:

- Torkad och granulerad eller pelleterad eller på liknande sätt behandlad rötrest efter rötning av organiskt material, som t ex matavfall eller avloppsslam, eventuellt berikad med ett eller flera näringsämnen.
Gödselmedlet ska vara spridbart med på marknaden befintlig spridningsutrustning utan att damma. Näringsämnena som t ex kväve kan tillsättas för högre gödslings effekt och förbättrad spridningsekonomi.

- Torrsubstanshalt > 90 %
För att gödslingen inte ska förhindra normalt friluftsliv måste gödseln vara torr och inte klibba. För lagring krävs en hög ts-halt för att inte Bionäringen ska självupphetta på grund av ökad mikrobiell aktivitet.
- Kvävehalt > 3 %
Kvävet är det viktigaste näringsämnet för ökad trädttillväxt. Krav på en lägsta kvävehalt säkerställer att det blir en positiv tillväxteffekt, så att inte spridning i skog görs av kvittblivningsskäl.
- Uppfyller samma krav på högsta halt av vissa tungmetaller och syntetiska organiska ämnen som gäller för användning av avloppsslam på åkermark.
Det ska vara minst lika stränga krav på högsta halt av oönskade ämnen i skog som i jordbruket där livsmedel produceras.
- Torkningen genomförs på sådant sätt att kraven för hygienisering uppfylls.
Skogsgödsling med Bionäring får inte innebära risk för smittspridning i naturen. Därför måste tillverknings- och hanteringsprocessen utformas så att de högsta myndighetskraven för hygienisering tillgodoses.

Bionäring föreslås vara det enda rötrestbaserade organiska gödselmedel som är tillåtet att använda på skogsmark. Ovanstående egenskapskrav för Bionäring är införda i utredningen "Rätt slam på rätt plats".

6 Skogliga gödslingsförsök – syfte och genomförande

Syftet med de skogliga gödslingsförsöken var i detta projekt att undersöka tillväxt- och miljöeffekter vid praktisk tillämpning av skogsgödsling med Bionäring.

Den planerade gödslingsarealen under projekttiden var 300 ha, företrädesvis hos privatskogsbruket, motsvarande ca 30 skogsbestånd i Västerbotten, Västernorrland och Gävleborgs län. För gödslingen skulle Bionäring från SYVAB, UMEVA och Skellefteå kommun användas.

Endast en mindre mängd Bionäring fanns tillgänglig, och ett bestånd på 11 ha kunde gödslas i Mårtensboda i Västerbotten i september 2009.

Inför sommaren 2010 planerades och anmäldes därför 10 skogsbestånd till Skogsstyrelsen för gödsling i Västerbotten i samarbete med Norra Skogsägarna (projekt Bioenergigårdar i ett nytt landskap) och Skellefteå kraft AB. I överenskommelsen med privatskogsbruket ingick att markägarna själva skulle delfinansiera gödslingarna. På våren 2010 stoppade Skogsstyrelsen mot vite, de planerade gödslingarna i praktisk skala och tillät enbart en hektar gödsling per bestånd. Som skäl angavs att det skulle innebära alltför stora miljörisker att gödsla hela bestånd, samt att det inte fanns behov av så stora försök. Skogsstyrelsen satte dock inte någon gräns för hur många bestånd som fick gödslas. Det lämnades ingen dokumentation som visade vilka undersökningar denna bedömning grundade sig på. Skogsstyrelsen förbjöd även de två försök med vintergödsling med Bionäring, som planerats med motiveringen att gödsling med oorganisk kväve-mineralgödsel inte är tillåten vintertid. Bionäring är ett organiskt gödselmedel. I markägarnas namn överklagade projektet Skogsstyrelsens beslut till Miljödomstolen som avslog överklagandet i januari 2011.

Skogsstyrelsens beslut hade tyvärr nu helt förändrat förutsättningarna för projektets genomförande enligt den ursprungliga planen, så att de delar som behandlade praktiska gödslingsförsök och undersökningar av logistik mm, inte längre kunde genomföras. Projektplanen reviderades därför och godkändes av finansiärerna i början av 2011. Förändringen innebar att endast några få gödslingsförsök skulle utföras under 2011, som demonstrationsförsök och i enlighet med Skogsstyrelsens regler om högst en hektar gödsling per bestånd. Projekttiden förlängdes även med drygt ett år t o m 2013-03, eftersom återstående projektmedel bedömdes räcka till det. I juni 2011 hölls ett möte om skogsgödsling med representanter för Landsbyggsdepartementet, Miljödepartementet, Skogsstyrelsen, Svenskt Vatten, SYVAB, MittSverige Vatten, Sveaskog och SLU. Då redovisades projektets verksamhet och resultat samt tidigare erfarenheter av skogsgödsling med Bionäring. I december 2011 hölls ytterligare ett möte mellan Skogsstyrelsen, Sveaskog och SLU, med syfte att få tillstånd att genomföra praktiska gödslingsförsök under 2012. Skogsstyrelsens ståndpunkt att tillåta högst en hektar stora gödslingsytor per bestånd, stod dock fast, vilket innebar att inga praktiska gödslingsförsök kunde genomföras 2012.

Under dialogen med Skogsstyrelsen framkom att myndigheten ansåg att resultat från undersökningar i försöksskala kan utgöra tillräckligt underlag för bedömning av tillväxt- och miljöeffekter efter skogsgödsling med Bionäring, och för utformning av riktlinjer för under vilka förutsättningar denna typ av åtgärd kan tillåtas i praktisk skala i skogsbruket. Riskerna för att kvittblivning av slam skulle maskeras som skogsgödsling med Bionäring, betonades även. Skogsstyrelsen framförde dessutom önskemål om kompletterande undersökningar av:

- effekterna på markens mikroorganismer
- risker för utlakning av tungmetaller efter slutavverkning av gödslade bestånd

Undersökningarna i redan befintliga gödslingsförsök utökades därför och försök med markrespiration och sekventiell lakning genomfördes.

I Finland kunde de två gödslingsförsöken utföras med gödsling i praktisk skala enligt den försöksplan som utarbetats.

6.1 Anlagda skogsgödslingsförsök

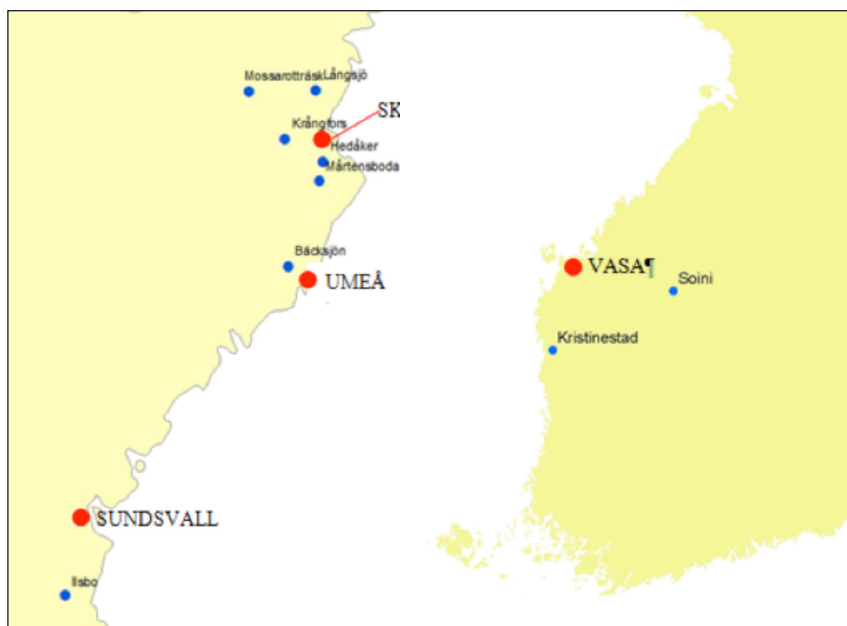
I Sverige anlades ett skogsgödslingsförsök med gödsling i praktisk skala 2009 i Mårtensboda och sex demonstrationsförsök i juli 2011 i Västerbotten och Hälsingland, (figur 6-1, tabell 6-1). Alla försök anlades i tallskog hos privata markägare och gödslades med traktorspridare. Fyra av bestånden var i åldern 50–60 år och 15–17 m höjd, medan två, Bäcksjön och Krångfors var 15–25-årig ungskog. I demonstrationsförsöken gödslades en hektar, som delades i två delar med olika gödseldosering. Doseringen av Bionäring varierade mellan 180 och 600 kg N/ha. I Finland anlades ett demonstrationsförsök 2009 i Soini och ett försök 2011 i närheten av Kristinestad (figur 6-1). I Soini var doseringarna av Bionäring mellan 150 och 450 kg N/ha och i Kristinestad 300 och 600 kgN/ha.

Som gödselmedel användes Bionäring från Skellefteå kommun i två bestånd, från SYVAB i fyra bestånd och från Etapp i i de två finska försöken. Lakeuden Etappi Oy sköter lagstadgad avfallshantering för sina 11 ägarkommuner med totalt knappa 140 000 invånare. Företaget har en egen biogasanläggning, vilken är en av Finlands största. I Skellefteå består Bionäringen av torkad, pelleterad rötrest från rötning av matavfall. Råvaran till SYVAB:s Bionäring är rötat avloppsslam och till Etappis jordförbättringsmedel en blandning av avloppsslam och matavfall. Kvävehalten var 4,8 % i SYVAB:s Bionäring, ca 3 % i Bionäringen från Skellefteå och 3,5 % i Etappi:s (tabell 6-2). Fosforhalten var ca 3 % i alla tre typerna av Bionäring. Halterna av tungmetaller i Bionäringen från Sverige låg avsevärt under de svenska gränsvärdena för tillåten användning av slam på åkermark och för träaska vid spridning i skog (tabell 6-3). Även för jordförbättringsmedlet från Etappi var tungmetallhalterna lägre än de finska gränsvärdena.

FA Forest Oy är ett företag i Ahonkylä (Östra Finland) som jobbar med gödsel i form av aska och organiskt avfall. Företaget producerar gödsel och jordförbättringsmedel av märket Ecolan för jord- och skogsbruket. Företaget marknadsför och säljer Etappis pellets under namnet Ecolan BIO-2000

och de har tillhandahållit projektet den gödsel som behövdes till de finska försöken, samt ställt upp med gödslingsmaskiner och chaufförer.

Före gödsling lades cirkelformade provytor ut, inom vilka trädens diameter och höjd mättes för beräkning av träd tillväxten. För provtagning av markvatten grävdes undertryckslysimetrar ner på 50 cm djup på gödslade och ogödslade provytor. Uppmätning av tillväxt och analys av näringsstatus i trädens barr gjordes hösten 2012



Figur 6-1 Anlagda skogsgödslingsförsök i projektet 2009-2011.

Tabell 6-1 Beskrivning av anlagda skogsgödslingsförsök med Bionäring i Sverige och Finland.

Plats	Soini	Kristi- nestad	Mårtens- boda	Bäck- sjön	Långsjö	Mossa- rotträsk	Hedåker	Krång- fors	Ilso
Land	SF	SF	S	S	S	S	S	S	S
x-koordinat ¹	326240	218410	1748227	1724269	1745985	1697567	1750242	1723092	1697648
y-koordinat ¹	6984866	6917124	7160705	7099022	7225201	7225224	7174334	7225201	6189365
Trädslag	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall	Tall
Medeldiameter, cm	18,1	20,3	18,9	7,0	22,3	20,6	8,0	19,9	19,2
Höjd på provträd, m	16,7	17,7	16,1	5,0	15,9	15,9	7,1	16,2	15,4
Grundyta, m ² /ha ⁴	19,8	15,1	23,9	8,4	16,3	15,4	15,3	17,3	16,1
Bionäring typ	Etappi, pellets	Etappi, pellets	SYVAB, granuler	SYVAB, granuler	SYVAB, granuler	SYVAB, granuler	Skellefteå pellets	Skellefteå pellets	SYVAB, granuler
Gödsling tidpunkt	2010- 06-17	2011- 09-20	2009- 09-18	2011- 07-10	2011- 07-05	2011- 07-05	2011- 07-05	2011- 07-04	2011- 07-26
Areal bionäring, ha	4,2	3,6	10,7	1	1	1	1	1	1
Bionäring dos 1, kg N/ha	150	300	430	360	300	260	280	265	180
Bionäring dos 2, kg N/ ha	300	600	-3	-3	600	510	560	530	360
Bionäring dos 3, kg N/ha	450	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³
Mineralnäring, dos kg N/ha	600 ²	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³

¹ I Sverige koordinatsystemet RT 90; I Finland koordinatsystemet Euref-Fin.

² Doseringen blev inte den avsedda 300 kg N/ha.

³ Ej utfört.

⁴ Den sammanlagda genomskärningsytan på ett hektar av alla träd på 130 cm höjd.

Tabell 6-2 Egenskaper och innehåll av näringsämnen i använda gödselmedel.

		Ts ¹	GF ²	pH	N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn
		%	%		%	%	%	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg
Bionäring	Skellefteå	95	- ³	- ³	3,1	0,31	2,8	1 600	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³
Bionäring	SYVAB	95	64	6,8	4,8	0,69	3,2	1 700	2 500	3 500	14 000	- ³	- ³
Bionäring	ETAPPI	94	46	- ³	3,5	- ³	2,5	2 100	- ³	- ³	- ³	- ³	- ³
Mineral- näring	SkogNP1, %	- ³	0	- ³	25	12,5	2	0	5,5	1	0	0,15	0,1

¹ Torrsubstanshalt.

² Glödförlust (innehåll av organiskt material).

³ Uppgift saknas.

Tabell 6-3 Innehåll av metaller och syntetiska organiska ämnen i använda gödeslmedel i anlagda försök.

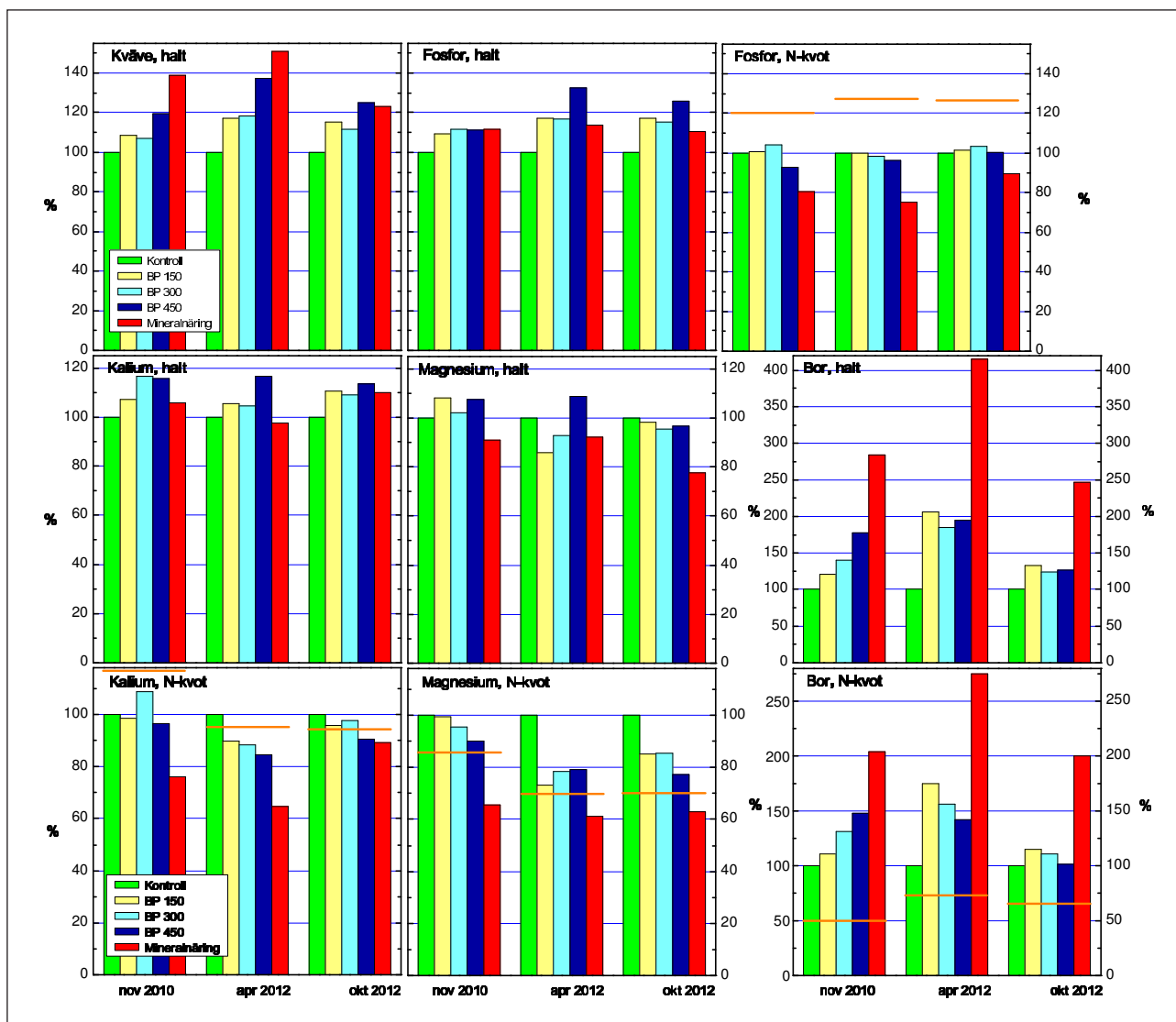
Bionäring	Cd mg/ kg	Co mg/ kg	Cr mg/ kg	Cu mg/ kg	Hg mg/ kg	Ni mg/ kg	Pb mg/ kg	Zn mg/ kg	Nonyl- fenol mg/ kg	PAH mg/ kg	PCB, mg/ kg
Skellefteå	1,2	.. ³	32	260	0,60	20	17	645	.. ³	.. ³	.. ³
SYVAB	0,70	.. ³	28	350	0,45	23	18	680	8,2	0,51	0,038
ETAPPI	1,2	.. ³	160	250	0,4	35	16	620	.. ³	.. ³	.. ³
Gränsvärde för träaska i Sverige	30	.. ³	100	400	3	70	300	7 000	.. ³	.. ³	.. ³
Gränsvärde för åkermark i Sverige	1,3	.. ³	100	600	1	50	100	800	50	3	0,4
Gränsvärde för träaska i Finland	17,5	.. ³	300	700	1	150	150	4 500	.. ³	.. ³	.. ³
Gränsvärde för åkermark i Finland	2,5	.. ³	300	600	1	100	100	1 500	.. ³	.. ³	.. ³

³ Uppgift saknas.

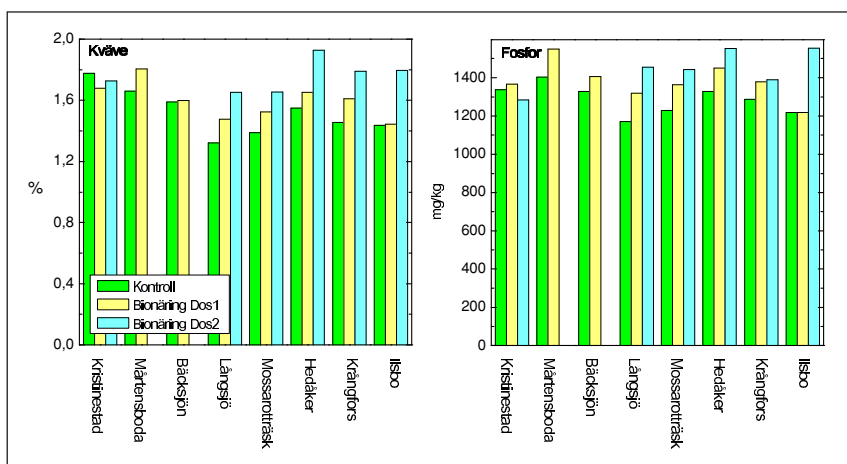
6.1.1 Näringsstatus i trädens barr

Kvävehalten i barren ökade under den första vegetationsperioden och var i november 2010 förhöjd med 10–20 % för Bionäring och 40 % för mineralgödsling i Soini (figur 6-2). Den ökade ytterligare till 50 % för mineralnäring och 20–40 % för Bionäring efter två år men sjönk sedan något. Fosforhalten var förhöjd med 20–30 % 2–3 år efter gödsling för Bionäring, och mera förhöjd än för mineralgödsel. Även kaliumhalten ökade mer för Bionäring än för mineralgödsel. För magnesium var halterna sänkta efter mineralgödsling och på samma nivå som ogödslat för Bionäring. Borhalten ökade mycket kraftigt efter mineralgödsling med över 150 %, medan ökningen för Bionäring var ca 40 % under de två första åren. N-kvoten (kvoten i % mellan halten av ett visst näringsämne och kvävehalten) för fosfor var 20 % lägre för mineralgödsling än för Bionäring och ogödslat, och låg nästan 40 % under målvärdet. För Bionäring och ogödslat var N-kvoten ca 20 % under målvärdet. N-kvoten för kalium och magnesium var ungefär densamma för ogödslat och Bionäring och klart över målvärdet för magnesium. För mineralgödsling däremot låg N-kvoten under målvärdet för båda näringsämnena och för alla insamlingar. För bor var N-kvoten över målvärdet för alla behandlingar och förhöjt med 10–60 % för Bionäring och med 100–180 % för mineralnäring.

I övriga nyanlagda gödslingsförsök var kvävehalten tydligt förhöjd 2–3 år efter gödsling med Bionäring, och mera förhöjd efter högre gödseldosering (figur 6-3). Även fosforhalten var förhöjd på liknande sätt för de flesta försöken. I försöket i Kristinestad hade varken kväve- eller fosforhalten påverkats i gödslade träd, troligen beroende på att tiden mellan gödsling och barrprovtagning bara var en vegetationsperiod.



Figur 6-2 Närringsstatus i tallbarr från gödslingsförsöket i Soini, gödslat i juni 2010. Figuren visar relativa värden i % i förhållande till den ogödslade kontrollen, som alltid har värdet 100 %. N-kvoten är halten av varje näringsämne i förhållande till kvävehalten. Den optimala N-kvoten (målvärdet) är markerad med en horisontell orange linje för varje N-kvot och insamlingsstillfälle.



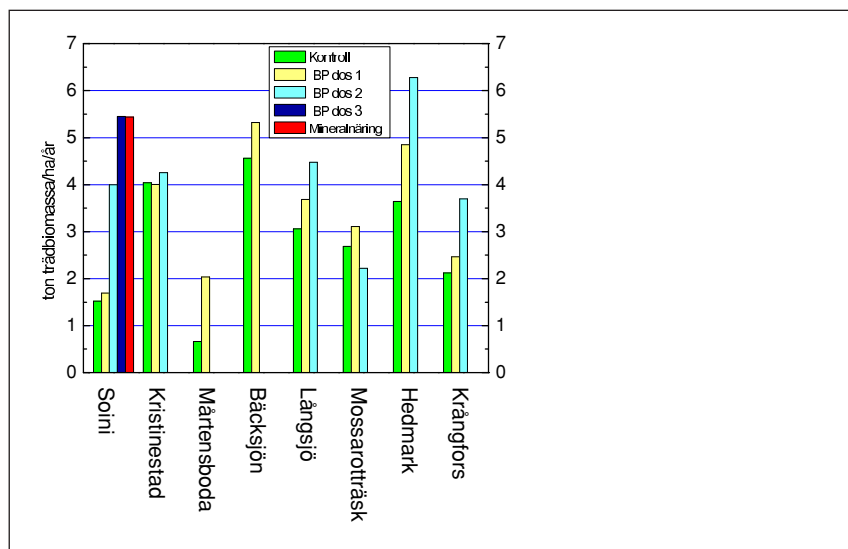
Figur 6-3 Innehåll av kväve och fosfor i ettåriga tallbarr hösten 2012 i demonstrationsförsöken med gödsling med Bionäring, gödslade hösten 2009 (Mårtensboda), hösten 2011 (Kristinestad) och i juli 2011 (övriga). För dosering av Bionäring, se tabell 6-1.

6.1.2 Markvattenprovtagningar

I de finska gödslingsförsöken togs markvattenprover vid ett par tillfällen. Vatten erhöles inte från alla behandlingar. Konduktivitetsvärdena låg i allmänhet under 100 µS/cm, vilket tyder på liten eller ingen utlakning av nitratkväve. I de flesta svenska demonstrationsförsöken gjordes en markvattenprovtagning i samband med gödslingen i juli 2011. De installerade lysimetrarna möjliggör framtida kontroller av markvattnets kemiska sammansättning.

6.1.3 Träd tillväxt

Träd tillväxten blev tre gånger så stor i Soini efter gödsling med BP 450 och mineralgödsel under de två första åren efter gödsling (figur 6-4). För BP 300 fördubblades tillväxten. Området med behandling BP 150 drabbades av insektskador, vilket satte ner tillväxten. Beståndet i Kristinestad gödslades sent på hösten 2011, vilket var orsaken till att ingen positiv gödslingsreaktion kunde påvisas ett år senare. I Mårtensboda var tillväxten under de tre första åren efter gödsling 2,6 gånger så stor som där det inte var gödslat. I demonstrationsförsöken som gödslades hösten 2010 i Sverige var tillväxtökningarna under två år efter gödsling mellan 0 och 90 %. Den minsta gödslingseffekten registrerades i Mossaroträsk. Försöket i Ilsbo skadades så mycket av snö och blåst, att det måste läggas ner.



Figur 6-4 Årlig trädbiomassatillväxt fram till hösten 2012 i gödslingsförsök anlagda 2009-2011 i Finland och Sverige. För dosering av Bio-närning, se tabell 6-1.

7 Undersökningar i tidigare anlagda skogsgödslingsförsök

För uppskattning av mera långsiktiga tillväxt- och miljöeffekter har mätningar provtagningar och analyser gjorts i skogsgödslingsförsök anlagda mellan 2001 och 2006 (tabell 7-1). Försöken är anlagda i trakten av Lycksele (Hemberget), Umeå (Bäcksjön), Jädraås och Överkalix (Hällberget, Furuberget och Näverberget) med Bionäring av olika typ. I Lycksele var det Bionäring tillverkad av orötat avloppsslam och träaska, hos UMEVA pletterad rötrest från avloppsslam och hos SYVAB granulerad rötrest från avloppsslam. I alla försök finns jämförelse med mineralgödsel (SkogCan) i dosering 550 kg/ha och med 27 % kvävehalt (ammoniumnitrat), 2,4 % magnesium, 5 % kalcium och 0,2 % bor. Innehåll av näringsämnen och tungmetaller i använd Bionäring redovisas i tabell 7-2 och 7-3.

Tabell 7-1 Tidigare anlagda skogsgödslingsförsök med Bionäring som undersökts inom projektet.

Plats	Län	Typ av försök	Gödslings tidpunkt	Trädslag	Bionäring från	Doseringar av Bionäring	
						kg N/ ha	ton ts/ha
Hemberget	AC	Provytor ¹	juni 2001	Tall	Lycksele	0; 64; 127; 254	0; 5,8; 11,6; 23,2
Bäcksjön	AC	Provytor	maj 2003	Tall	SYVAB UMEVA	0; 160; 174; 479; 522	0; 4,5; 5,4; 13,6; 16,1
Jädraås	X	Provytor	juni 2006	Tall	SYVAB	0; 300; 600; 900	0; 6,7; 13,3; 26,6
Hällberget	BD	Praktiskt ²	aug 2006	Tall	SYVAB	0; 562; 747	0; 13,4; 17,8
Furuberget	BD	Praktiskt	aug 2006	Tall	SYVAB	0; 617; 821	0; 14,7; 19,5
Näverberget	BD	Praktiskt	aug 2006	Tall	SYVAB	0; 609; 810	0; 14,5; 19,3

¹ Försöken är anlagda på 46x46 m stora provytor som gödslats för hand.

² Försöken är anlagda i bestånd som gödslats med traktorspridare.

Tabell 7-2 Egenskaper och innehåll av näringsämnen för gödselmedel, använda i tidigare anlagda försök.

Försöksplats	Gödsel	Ts ¹	GF ²	pH	N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S	B
		%	%	-3	%	%	%	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg
Hemberget	Lycksele	95	45	8,0	1,1	- ³	1,2	27 000	95 000	9 200	3 900	1,6
Bäcksjön	SYVAB	95	57	7,9	3,8	0,72	4,2	2 000	2 500	5 200	10 000	0,8
	UMEVA	95	55	6,3	3,0	0,20	4,1	930	1 800	2 600	13 200	0,3
Jädraås	SYVAB	92	61	6,8	4,5	0,46	3,2	2 100	2 200	3 400	- ³	- ³
	Träaska	61	11	12,5	0	0	1,2	50 000	150 000	13 000	19 300	190
Hällberget m fl	SYVAB	96	61	6,9	4,1	0,38	3,0	1 500	2 500	3 200	11 000	- ³

¹ Torrsubstanshalt.

² Glödförlust = halt av organiskt material.

³ Uppgift saknas.

Tabell 7-3 Innehåll av tungmetaller i Bionäring, använd i tidigare anlagda gödslingsförsök.

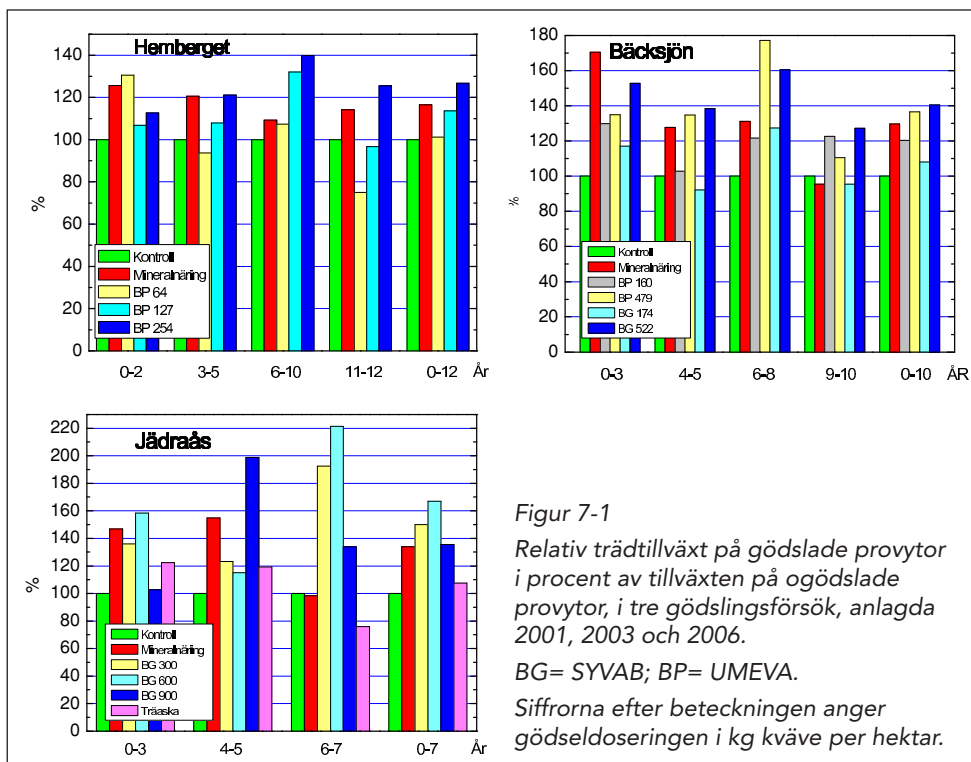
Plats	Bionäring	Cd mg /kg	Co mg /kg	Cr mg /kg	Cu mg /kg	Hg mg /kg	Ni mg /kg	Pb mg /kg	Zn mg /kg
Hemberget	Lycksele	5,5	11,0	71	275	- ¹	17	140	120
Bäcksjön	SYVAB	1,3	8,0	41	390	- ¹	24	32	880
	UMEVA	0,9	8,6	18	133	- ¹	19	14	445
Jädraås	SYVAB	0,85	- ¹	35	290	0,84	23	39	670
	Träaska	10	5	28	56	0,35	11	58	2 000
Hällberget m fl	SYVAB	0,85	12	35	290	0,84	24	41	680

1 Uppgift saknas.

7.1 Träd tillväxt

Under de 2–3 första åren efter gödsling ökade tillväxten med 40–70 % efter mineralgödsling på de tre platserna (figur 7-1). Tillväxten ökade även efter gödsling med Bionäring, men mindre, mellan 10 och 60 %. Tillväxtökningen avtog med tiden för mineralgödsling, och var efter 7–10 år mellan 0 och 10 %. För Bionäring med doseringar över 250 kg N/ha var då tillväxtökningen fortfarande tydlig, i Hemberget 20–40 %, i Bäcksjön ca 20 % och i Jädraås efter 7 år 35–120 %.

Den genomsnittliga tillväxtökningen under 12 år var i Hemberget 15 % för mineralgödsling, och 0, 12 och 28 %, respektive för Bionäring i doseringarna 64, 127 och 254 kg N/ha. I Bäcksjön var tillväxtökningen 30 % för mineralnäring under den tioåriga försöksperioden. För Bionäring blev tillväxtökningen 10–20 % för de två lägsta gödseldoseringarna. För doseringarna över 480 kg N/ha blev tillväxtökningen närmare 40 %, och ungefär



Figur 7-1

Relativ träd tillväxt på gödslade provtytor i procent av tillväxten på ogödslade provtytor, i tre gödslingsförsök, anlagda 2001, 2003 och 2006.

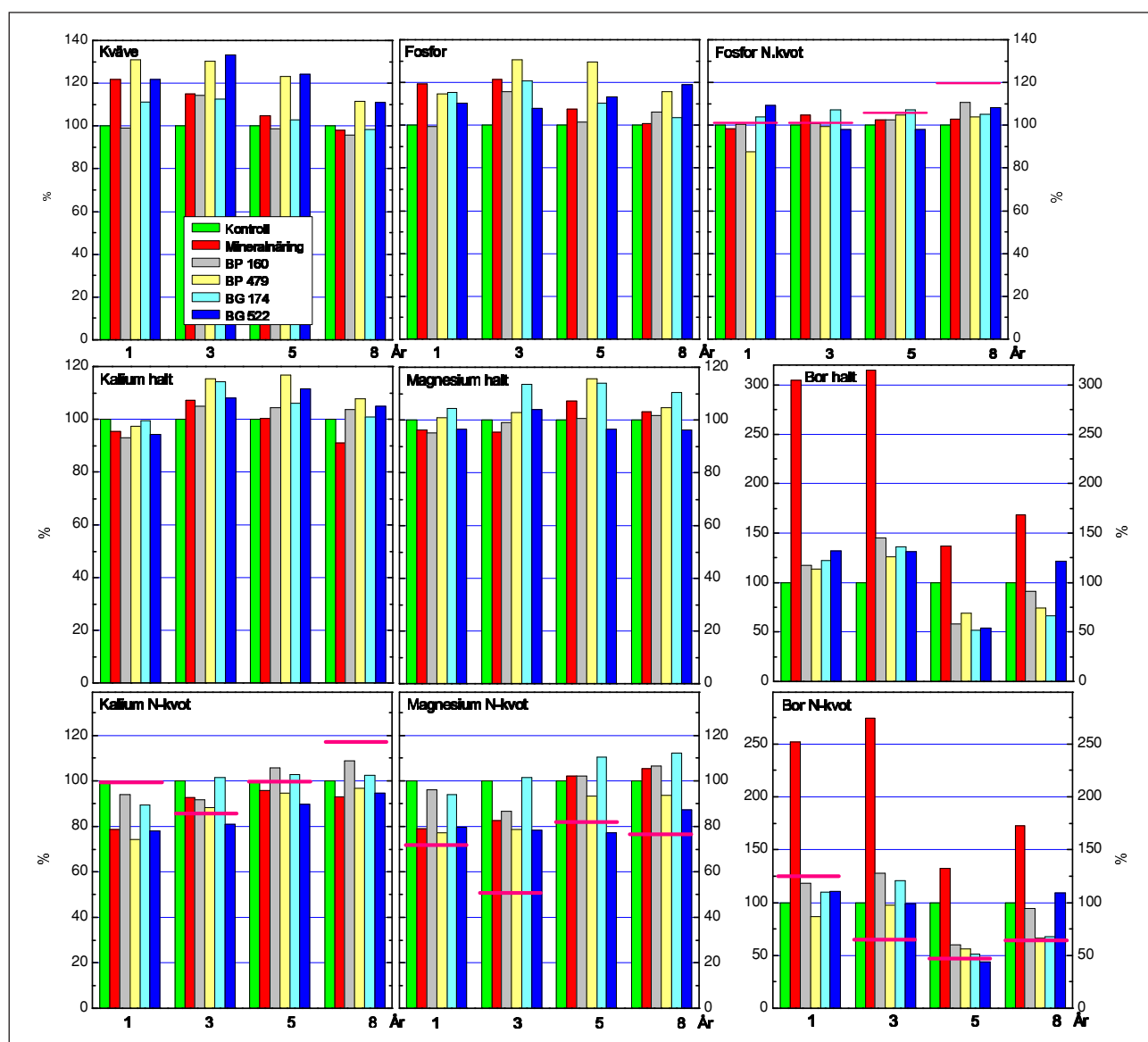
BG= SYVAB; BP= UMEVA.

Siffrorna efter beteckningen anger gödseldoseringen i kg kväve per hektar.

lika stor för Bionäring från UMEVA och SYVAB. I Jädraås där försöksperioden var kortare, 7 år, blev den genomsnittliga tillväxtökningen för mineralnäring ca 30 %. För Bionäring med doseringarna 300 och 600 kg N/ha var tillväxtökningen 50–65 %, och för doseringen 900 kgN/ha 35 %. Gödsling med tre ton träaska resulterade i en tillväxtökning på ca 20 % under de fem första åren, men sedan en tillväxtsänkning med 25 % år 6 och 7. I genomsnitt blev det en ökad tillväxt på 7 % i jämförelse med ej gödsling.

7.2 Näringsstatus i trädens barr

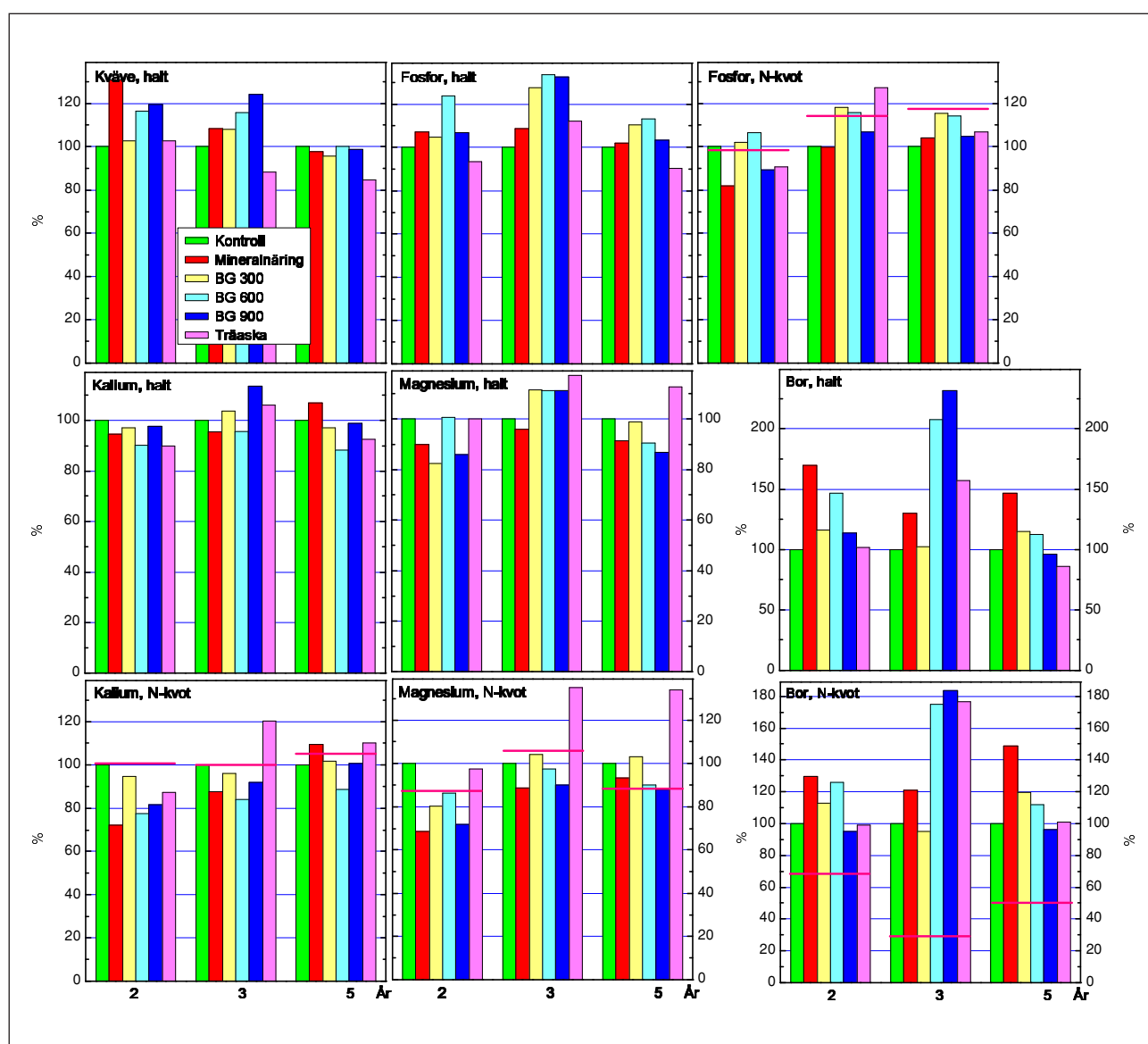
Kvävehalten var förhöjd med 20 % ett år efter gödsling med mineralnäring i Bäcksjön (figur 7-2). Halten sjönk senare successivt och var efter 5 år på samma nivå som i ögödslade träd. För Bionäring i de två högsta doserna höjdes kvävehalten med 20–30 % under de 5 första åren, och var fortfarande 10 % förhöjda efter 8 år. För doserna omkring 170 kg N/ha var kvä-



Figur 7-2 Näringsstatus i ettåriga tallbarr insamlade i Bäcksjön. Horisontella rosa linjer anger målvärde för N-kvoterna.

vehalterna bara marginellt förhöjda under de tre första åren efter gödsling. Även fosforhalten höjdes för samtliga gödselmedel med upp till 30 % under de tre första åren, men låg därefter kvar på en nivå på 15–30 % över ogödslade träd bara för de två högsta doseringarna av Bionäring. Halterna av kalium och magnesium var förhöjda med 5–15 % för Bionäring 3–8 år efter gödsling, medan halterna efter mineralgödsling i stort sett var desamma som för ogödslade träd.

N-kvoterna för magnesium översteg målvärdet för samtliga gödslingsbehandlingar, medan det för kalium låg mellan 0 och 20 % under målvärdet. De lägsta två doseringarna av Bionäring avvek minst negativt från målvärdet. Borhalten ökade mycket kraftigt med 200 % under de första åren efter mineralgödsling, och var fortfarande 8 år efter gödsling 50 % högre än för ogödslade träd. Även för Bionäring ökade borhalten i början, med i genomsnitt ca 25 %. Senare låg den under halten för ogödslade träd. N-kvoten för bor låg på eller över målvärdet för alla behandlingar och provtagningar,



Figur 7-3 Näringstatus i ettåriga tallbarr i gödslingsförsöket i Jädraås. I övrigt som figur 7-2.

utom det första året efter gödsling, då kvoten bara översteg målvärdet för mineralnäring.

Två år efter gödsling i Jädraås, var kvävehalten i barren förhöjd med 30 % för mineralnäring och ca 20 % för de två högsta doserna av Bionäring (figur 7-3). Efter fem år var den för Bionäring och mineralnäring på samma nivå som ogödslade träd. Träaska resulterade i en sänkning av barrkvävehalten med ca 15 %. Fosforhalten höjdes mest för Bionäring, med drygt 25 % efter tre år. För mineralnäring och träaska var skillnaden i förhållande till ogödslat mindre och för aska även negativ. För kalium och magnesium var skillnaden i halt till ogödslat ± 10 % efter gödsling. För träaska var magnesiumhalten ca 15 % förhöjd efter tre år. Borhalten var förhöjd med 30–70 % för mineralnäring och 0–125 % för Bionäring under försöksperioden. N-kvoten för fosfor var högre än för ogödslat, och nära målvärdet för de två lägsta doserna av Bionäring. För den högsta doseringen var N-kvoten ca 10 % lägre än målvärdet. För mineralnäring låg N-kvoten 15–20 % under målvärdet och för träaska var den som lägst 10 % under målvärdet. N-kvoten för kalium låg på målvärdet för ogödslat, För samtliga gödslingsbehandlingar var N-kvoten ca 20 % under målvärdet efter två år, men ökade sedan och nådde målvärdet efter fem år. För magnesium låg N-kvoten mycket över målvärdet för träaska, och nådde även målvärdet för ogödslat. För mineralnäring och Bionäring låg N-kvoten i allmänhet strax under målvärdet. N-kvoten för bor var klart över målvärdet för samtliga behandlingar, och kraftigt förhöjd för mineralnäring (20–50 %) och för Bionäring med dosering 600 och 900 kg N/ha och träaska efter tre år (80 %).

7.3 Markvatteninnehåll – kväve

Både i Bäcksjön och Jädraås låg halterna av ammonium- och nitratkväve under detektionsgränsen 0,05 mg/liter för alla provtagningar på ogödslade ytor (tabell 7-4 och 7-5). På ytor gödslade med mineralnäring överskreds detektionsgränsen i sammanlagt 2 av 15 prover för ammoniumkväve och i 3 av 14 prover för nitratkväve. De uppmätta nitrathalterna var som högst 0,57 mg/liter. För Bionäring var ammoniumkvävehalten över detektionsgränsen i 11 av 35 prover från Bäcksjön och i ett av 15 prover från Jädraås. Medelhalterna i dessa prover varierade i Bäcksjön mellan 0,2 och 0,7 mg/liter. Nitratkvävehalterna översteg detektionsgränsen i 3 av 35 prover i Bäcksjön med medelhalter på som mest 0,2 mg/l. I Jädraås var den uppmätta halten nitratkväve efter gödning med Bionäring 0,08 mg/liter för den högsta doseringen. För träaska uppmättes inga värden över detektionsgränsen.

Tabell 7-4 Halter av kväve i markvatten från 50 cm djup i Bäcksjön, gödlat 2003-05

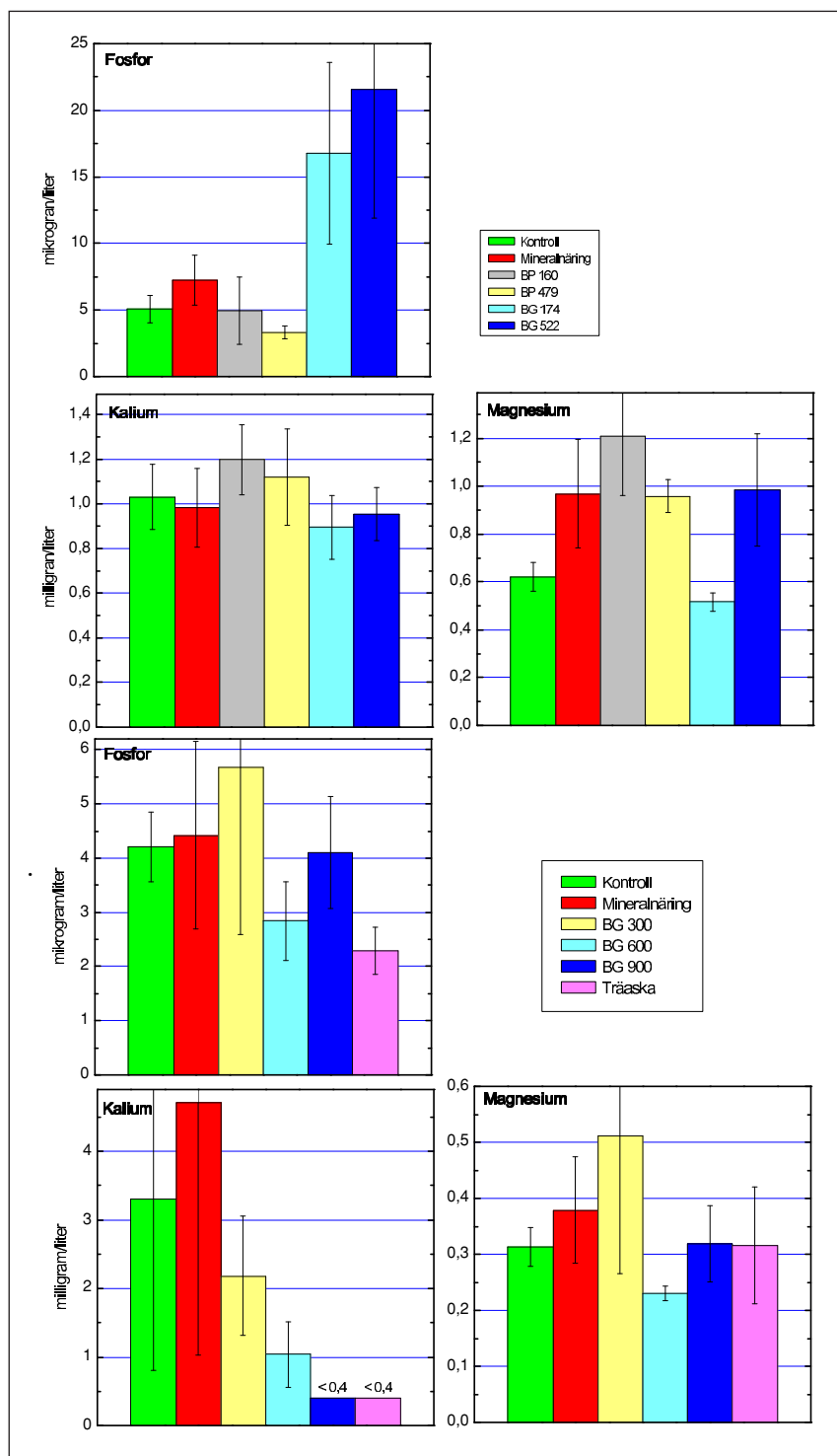
Provtagningstid	Behandling	NH ₄ -N, mg/l			NO ₃ -N, mg/l		
		<0,05	>0,05	mv	<0,05	>0,05	mv
2004-06	Kontroll	9	0	-	9	0	-
2004-09	Mineralnäring	9	1	0,05	9	1	0,06
2005-08	BG 174	5	3	0,19	8	0	-
2007-09	BG 522	5	3	0,71	5	3	0,21
2010-09	BP 160	7	2	0,23	9	0	-
	BP 479	7	3	0,74	10	0	-

Tabell 7-5 Halter av kväve i markvatten från 50 cm djup i Jädraås, gödlat 2006-06

Provtagningstid	Behandling	NH ₄ -N, mg/l			NO ₃ -N, mg/l		
		<0,05	>0,05	mv	<0,05	>0,05	mv
2006-07	Kontroll	5	0	-	4	0	-
2006-09	Mineralnäring	4	1	0,09	2	2	0,57
2007-09	BG 300	5	0	-	4	0	-
2008-10	BG 600	5	0	-	5	0	-
2010-10	BP 900	4	1	0,05	3	2	0,08
	Träaska 3000	5	0	-	5	0	-

7.4 Markvatteninnehåll – fosfor, kalium, magnesium

Fosforhalten i markvattnet var i medeltal 5 µg/liter för alla provtagningar i Bäcksjön för ogödslat, mineralnäring och Bionäring från UMEVA (figur 7-4). För Bionäring från SYVAB var variationen i fosforhalt stor och i medeltal 17–21 µg/liter. I Jädraås var fosforhalten avsevärt lägre, 2-7 µg/



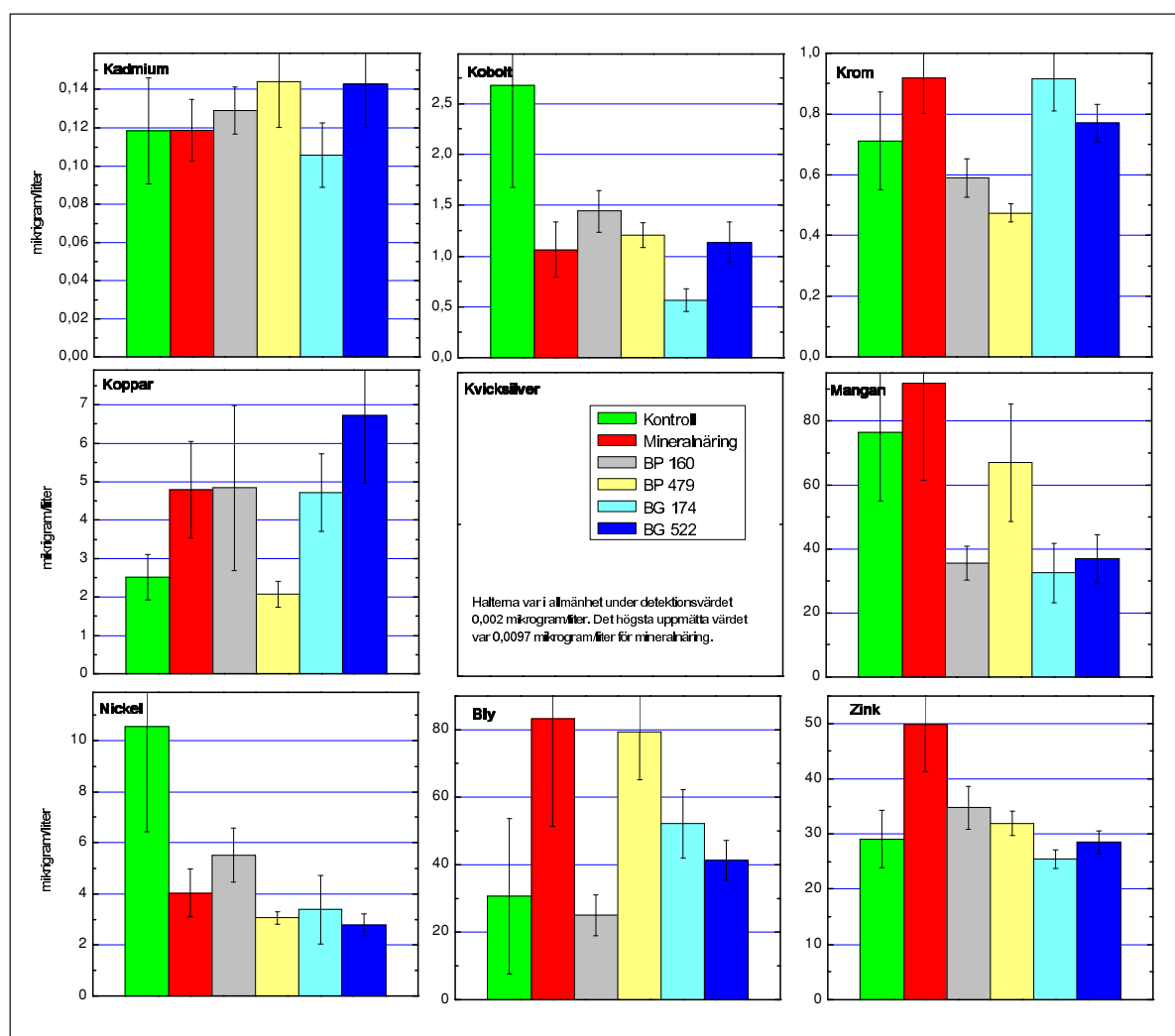
Figur 7-4 Halter av P, K och Mg i markvatten från 50 cm djup från Bäcksjön (längst upp) och Jädraås (längst ner)

liter för alla behandlingar, och 3–4 µg/liter för så hög dos som 900 kg N/ha av Bionäring från SYVAB, motsvarande 20 ton Bionäring per hektar. Kaliumhalten var ungefär densamma för alla behandlingar i Bäcksjön, ca 1 mg/liter, medan halterna och variationen var avsevärt större i Jädraås, 3 mg/liter för ogödslat, 4,5 mg/liter för mineralnäring och < 0,4–2 mg/l för Bionäring. Kaliumhalten var lägst för träaska.

I Bäcksjön var magnesiumhalten 0,6 mg/l g för ogödslat och 1–1,2 mg/liter för de flesta gödslingsbehandlingarna. I Jädraås var magnesiumhalten bara hälften så hög, 0,3–0,5 mg/liter och med obetydlig skillnad mellan behandlingarna.

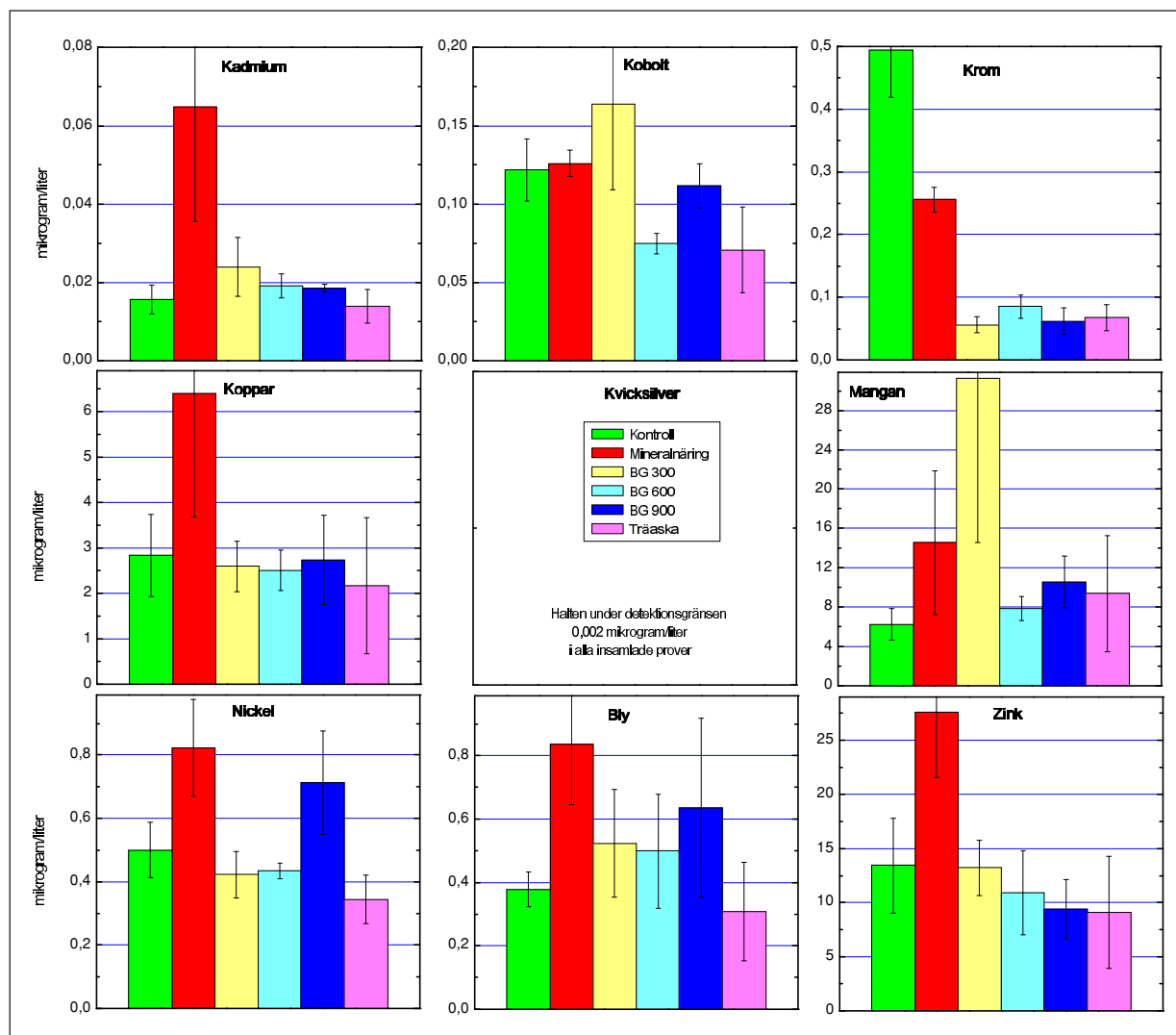
7.5 Markvatteninnehåll – tungmetaller

Kadmiumhalten i markvattnet var i medeltal 0,10–0,14 µg/liter för alla provtagningar i Bäcksjön, och det var ingen skillnad mellan behandlingarna (figur 7-5). Inga förhöjda halter av kobolt, krom, koppar, kvicksilver, mangan, nickel, bly och zink kunde påvisas i förhållande till halterna för ogödslat och eller gödsling med mineralnäring.



Figur 7-5 Halter av tungmetaller i markvattnet på 50 cm djup i Bäcksjön. Medelvärden av 8–10 provtagningar under ett till sju år efter gödsling.

I Jädraås var kadmiumhalten i medeltal ca 0,02 µg/liter för alla behandlingar utom mineralnäring (figur 7-6). För kobolt, krom, koppar, kvicksilver, mangan, nickel, bly och zink kunde inga förhöjda halter påvisas i förhållande till metallhalterna för ogödslat och eller gödning med mineralnäring eller träaska.



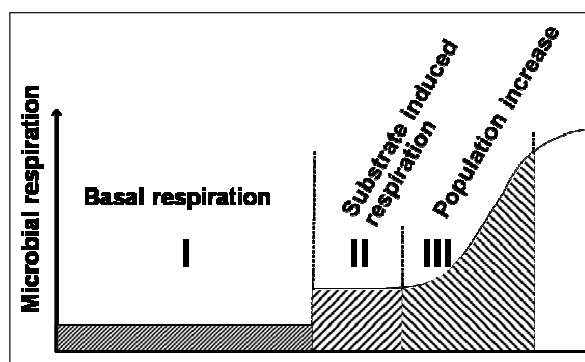
Figur 7-6 Halter av tungmetaller i markvattnet på 50 cm djup i Jädraås. Medelvärden av 5 provtagningar under två till fem år efter gödning.

8 Markrespiration efter gödsling med Bionäring

Skogsstyrelsen framförde, vid samråden 2010 om de praktiska gödslingsförsöken, farhågor för att gödsling med Bionäring skulle kunna vara skadlig för markens mikroorganismer. Framförallt var det tillförd koppar som ansågs utgöra en skaderisk. Önskemål framfördes att markrespirationsundersökningar skulle genomföras för att detta skulle klargöras. I juli 2011 insamlades därför humusprover från alla behandlingar i de praktiska gödslingarna med Bionäring i Hällberget, Näverberget och Furuberget i Norrbotten. Sex humusproppar togs från vardera tre slumpvis valda provytor av varje behandling. Behandlingarna var på varje plats kontroll, mineralgödsling med 150 kg N/ha och Bionäring A och B. Doseringarna varierade mellan 13,4 och 14,7 ton ts/ha för Bionäring A och mellan 17,8 och 19,5 ton ts/ha för Bionäring B. Humusproverna frystes in efter insamling. Humusprover samlades dessutom in hösten 2012 från försöket i Bäcksjön, nära Umeå, gödlat i maj 2003 och där behandlingarna var kontroll, Bionäring från UMEVA i två doseringar, Bionäring från SYVAB i två doseringar och mineralgödsel (SkogCan) med 150 kg N/ha. Kemisk sammansättning på använd Bionäring i försöksbestånden framgår av tabell 7-2 och 7-3.

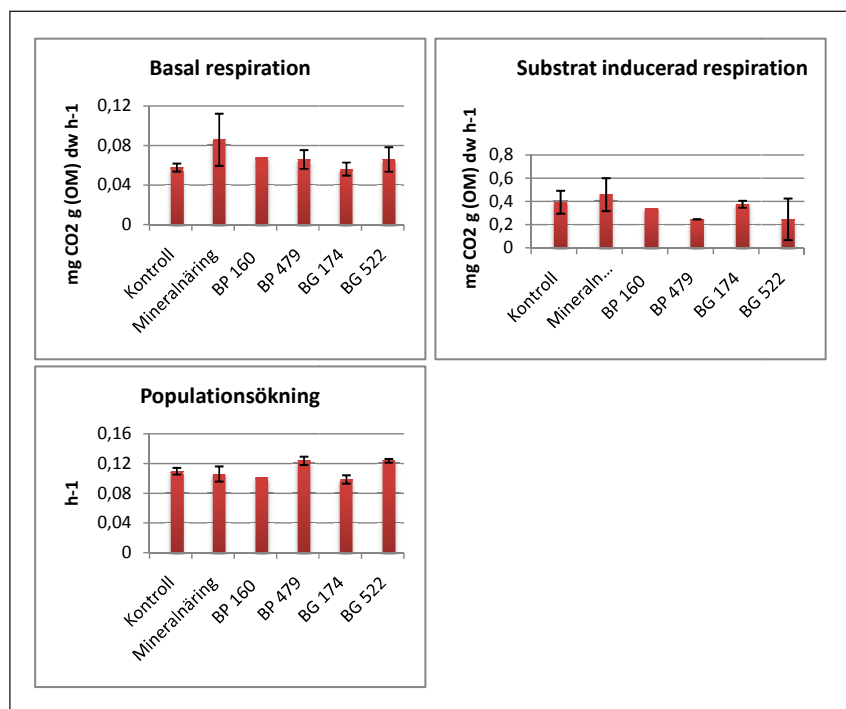
Respirationsförsöken utfördes i december 2012 på SLU i Umeå av Margareta Söderström med hjälp av den utrustning (RESPICOND) som utvecklats vid SLU för sådana undersökningar. Metodiken bygger på att mikroorganismernas andning och aktivitet mäts genom att mäta mängden koldioxid som avgetts från varje prov. Försöket genomfördes och utvärderades med professor Mats Nilsson och doktorand Björn Erhagen vid SLU som sakkunniga. Tre aktivitetsmått registrerades (figur 8-1):

- Fas I* Basal respiration (BR) är den mikrobiella respirationen som baseras på det inkuberade organiska materialet.
- Fas II* Substratinducerad respiration (SIR) är den mikrobiella respirationen efter tillsats av lättillgängligt kol och näring (glukos, kväve och fosfor). Används som en indikator på den aktiva mängden mikroorganismer i det organiska materialet.
- Fas III* Den specifika tillväxt hastigheten efter tillsats av substrat. Under denna fas tillväxer mikroorganismerna exponentiellt på det tillsatta substratet.



Figur 8-1
Principfigur över
respirationsförloppet
under undersökningen.

Resultaten utvärderades för varje bestånd med hjälp av envägs Anova med behandling som oberoende variabel och respirationsvariablerna som responsvariabler. Hypotesen var att de tre olika måtten på respiration är oberoende av gödslingsbehandling. Resultaten för Bäcksjön visas i figur 8-2. Inte för något av de tre respirationsmåtten var det signifikant effekt av gödslingsbehandling. Inte heller för de andra försöksbestånden var det någon signifikant effekt av behandling. Gödslingen med Bionäring har alltså inte påverkat mikroorganismernas aktivitet i marken, vare sig negativt eller positivt, vid gödslingsgivor upp till 20 ton/ha, och 5 respektive 10 år efter gödsling.



Figur 8-2 Resultat från respirationsförsök för humusprover från försöket i Bäcksjön. BP=UMEVA; BG=SYVAB; Talen efter förkortningarna anger dosering i kg N/ha.

9 Sekventiell lakning av Bionäring

Skogsstyrelsen har även ifrågasatt om det finns risk för utlakning av de tungmetaller som finns i Bionäringen när gödslade bestånd slutavverkas. För att uppskatta den risken har försök med sekventiell lakning genomförts med de typer av Bionäring som använts i projektet (SYVAB, Skellefteå, ETAPPI) samt härdad och ohärdad bioaska, vid Luleå Tekniska Universitet av universitetslektor Jurate Kumpiene och doktorand Evelina Brännvall. Arbetet har utförts inom ramen för projekt North Waste Infrastructure. Undersökningen är ännu inte vetenskapligt publicerad, men huvudresultaten beträffande utlakningsrisker för metaller kan sammanfattas som:

”Lead leached mostly from bio SYVAB and Bio1 SYVAB pellets, however the amounts of water soluble Pb were insignificant, as well as total amounts of Pb were far below the limit values in studied materials. The studied materials had similar fractions of exchangeable Cd (10–17 % of the total Cd). Since the total Cd concentration was significantly lower in all the biosolid materials, the concentration of Cd released to soil solution due to ion exchange reactions is expected to be substantially smaller than that released from ashes.

The risk of increased Cu concentrations in soil solution from the biosolids or ashes, which is often related with the possible increase in toxic effects to microorganisms, is low. Only a small fraction of total Cu (few percent) was exchangeable in all the materials, except for fresh ash. Three out of four studied biosolid materials (Bio SYVAB, Bio1 SYVAB and FSP) had the largest Cu concentration in the residual fraction, i.e. the least soluble Cu form. The studied ashes also had substantial amount of residual Cu, but this fraction was significantly smaller than in the three biosolid materials. This suggests that when applied to soil, biosolid materials would release Cu slower than ashes.”

Citerat från: Brännvall, E. & Jurate Kumpiene. In prep. *Chemical composition, leaching behavior and chemical element speciation in various materials.*

Slutsatsen från undersökningen är således att risken för utlakning av metaller som bly, kadmium och koppar är mindre för Bionäring än för härdad träaska.

10 Utformning av certifieringsregler

Som en förstärkt kvalitetssäkring av användningen av Bionäring som skogsgödsel, föreslås att endast Bionäring från certifierade anläggningar ska vara tillåtna på skogsmark. Ett preliminärt förslag till certifieringsregler har utformats, som bygger på det befintliga certifieringssystemet REWAQ för jordbruksanvändning. Vidare utveckling av detta kommer att göras när skogsgödsling med Bionäring blivit accepterat av myndigheterna som en praktiskt tillämpbar skogsskötselåtgärd.

11 Miljöeffekter

11.1 Koldioxidbindning i skog

Tillförsel av Bionäring till skog resulterade i en tillväxtökning på ca 40 % under en tioårsperiod i de tre försök som redovisas här, om resultaten interpoleras till att gälla för en tänkt gödseldos på 450 kg N/ha, dvs. den högsta tillåtna sammanlagda kvävedosen under en omloppstid. Tillväxtökningen för gödsling med mineralnäring med dos 150 kg N/ha under samma tid, blev i dessa försök ca 25 %. För mineralnäringen (SkogCan) syns en tydligt avtagande tillväxtreaktion mot slutet av försöksperioden, vilket överensstämmer med tidigare erfarenheter. Någon ytterligare tillväxtökning är alltså inte att vänta framledes. För Bionäring kan den positiva tillväxteffekten förväntas bestå under ytterligare ett antal år. I försök i Norge och Nordamerika har organiskt slam, med liknande sammansättning som i Bionäring gett tillväxtökning i minst 15 år efter gödsling.

En traditionell mineralgödsling beräknas ge en tillväxtökning på 15–20 m³/ha, eller motsvarande 0,115 m³/kg N. Det motsvarar en koldioxidbindning i trädbiomassan på ca 23 ton/ha. På grund av att en stor del av kvävet i Bionäring är organiskt bundet, beräknas gödslingseffekten/kg N för Bionäring vara 15 % lägre än för mineralnäring. Den sammanlagda ökade koldioxidbindningen beräknas bli i genomsnitt 60 ton/ha efter en gödsling med Bionäring i dosen 450 kg N/ha.

11.2 Utlakning av kväve och fosfor

Höga kvävegivor vid gödsling i kombination med nitrifikation kan resultera i utlakning av nitratkväve. Resultaten från Bäcksjön och Jädraås visade att nitrathalterna i markvattnet på 50 cm djup låg under analysinstrumentets detektionsgräns 0,05 mg/liter i de allra flesta proverna, (tabell 7-4 och 7-5). Den högsta halten ca 0,6 mg/liter uppmättes efter mineralgödsling. För ammoniumkväve var halten under detektionsgränsen i 2/3 av proverna från Bäcksjön och i alla prov utom ett i Jädraås. Den högsta halten var drygt 0,7 mg/l. De uppmätta halterna var således mycket låga, och det finns därför ingen risk för övergödning till följd av kväveutlakning.

Fosforhalten i markvattnet efter gödsling med Bionäring var inte förhöjd i Jädraås i jämförelse med ogödslat eller mineralnäring (figur 7-4). Inte heller i Bäcksjön var den förhöjd för Bionäring från UMEVA, medan den var förhöjd för Bionäring från SYVAB. Halten var ändå mycket låg, ca 20 µg/liter, så även för fosfor innebär gödsling med Bionäring att risken för övergödning är mycket låg.

11.3 Utlakning av tungmetaller

Ingen ökad utlakning i förhållande till ogödslat och mineralnäring kan förväntas av tungmetallerna kadmium, kobolt, krom, koppar, kvicksilver, mangan, nickel, bly och zink under 10 år efter gödsling (figur 7-5 och 7-6). Inte heller efter slutavverkning av gödslade bestånd, bedöms utlakningsrisken av kadmium, bly och koppar vara större än där träaska spridits.

11.4 Skador på mikroorganismer i marken

Det finns inget som tyder på att skogsmarkens mikroorganismer skulle påverkas negativt av gödsling med Bionäring (figur 8-2).

11.5 Övriga miljöeffekter

Övriga miljöeffekter i samband med skogsgödsling med Bionäring, erhållna vid andra undersökningar, har redovisats i ett PM där resultaten från alla utförda försök med skogsgödsling med Bionäring sammanfattats. Detta PM har skickats till Skogsstyrelsen som underlag till det utredningsuppdrag man fått från Naturvårdverket angående näringsåterföring till skog.

12 Slutsatser

Slutsatserna från genomförda undersökningar av tillväxt- och miljöeffekter efter skogsgödsling med Bionäring är att :

- Skogstillväxten ökar med i genomsnitt 40 % under en tioårsperiod efter gödsling
- Gödsling med 450 kg N/ha beräknas resultera i ökad koldioxidbindning i träden med 60 ton/ha.
- Halterna av kväve och fosfor i barren ökar tydligt efter gödsling
- Gödsling i doser upp till 900 kg N/ha (20 ton Bionäring) leder inte till ökad utlakning av kväve och fosfor eller av kobolt, krom, koppar, kvicksilver, mangan, nickel, bly och zink.
- Aktiviteten hos skogsmarkens mikroorganismer (markandningen) påverkas inte negativt för gödseldoseringar upp till 20 ton/ha.
- Risken för utlakning av tungmetallerna bly, kadmium och koppar från Bionäring är lägre än för samma metaller från träaska.

13 Referenser

Brännvall, E. & Jurate Kumpiene. In prep. *Chemical composition, leaching behavior and chemical element speciation in various materials.*

Eklund, O., Åkerback, N., Sahlén, K. (2005). *Miljöriktigt tillvaratagande av ammoniumkväve – AMMONIUM; Ammoniumin ympäristömyönteinen talteenotto; Environmentally friendly recovery of ammonium nitrogen.*

In: Streams – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa 2001–2004.

Loppuraportti TEKES. Teknologiaohjelmaraaportti 5/2005, Libris oy, Helsinki 2005. p.195–204.

Enström, N. 2007. Heavy metal accumulation in voles, shrews and snails after fertilisation with pelletized and granulated municipal sewage sludge. SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Umeå. Examensarbete.

Sahlén, K., (2005). Sewage sludge fertilization of conifer forest in the Nordic countries and North America. Köpenhamn. Nordic Council of ministers.

Sahlén, K. (2013). PM angående tillväxt- och miljöeffekter av skogsgödsling med Bionäring.

Åkerback, N. (2007). Näringsrika restprodukter i ett skogligt kretslopp. Slutrapport, Interreg IIIA Kvarken-MittSkandia Dnr IKM3.4-19-01

Finlands författningssamling

Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselproduktion
13.2.2007 (12/07). Läst 7.5.2012

Elektroniska källor

Miljöportalen: <http://www.miljoportalen.se/luft/vaexthusgaser/vaexthuseffekt-och-vaexthusgaser-vad-aer-det-egentligen>
(hämtat 2012-11-28)

Rummukainen, Markku: Växthuseffekten (SMHI, Meteorologi nr 119, 2005) http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.1795!meteorologi_119_webb%5B1%5D.pdf

(hämtat 2012-11-28)

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844>

(hämtat 2013-01-25)

<http://www.svensktvatten.se/Aktuellt/Nyheter/Avlopp-och-Miljo-nyhetslista/Miljodepartementet-antar-inte-Naturvardsverkets-forslag-till-slamforordning/>

(hämtat 2012-11-28)



Box 47607, 117 94 Stockholm
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se