



Swedish University of  
Agricultural Sciences

# Kolsänkor Norrbotten

**Beskrivning av en försöksserie med skogsgödsling för ökad koldioxidbindning hos Sveaskog i Norrbotten, anlagd 2006-2008 och reviderad 2009-2011.**

**Kenneth Sahlén**

# Förord

Denna rapport beskriver genomförande och resultat fram till 2012 från de 22 försöksbestånd med gödsling, som anlades på Sveaskogs mark i Norrbotten under åren 2006-2008. Den försöksserien var en del av projektet "Kolsänkor Norrbotten", med syfte att öka träd tillväxten, dvs upptagningen och bindningen av koldioxid, som ett sätt att motverka den accelererande växthuseffekten. År 2009 fortsatte verksamheten i projekt Arctic Boreal Climate Development (ABCD) med Övertorneå kommun som projektägare. I projektet har även ett förslag till handelssystem med skogliga utsläppskrediter utarbetats och presenterats 2011. Tillämpningen av detta handelssystem i praktisk skala via tillväxthöjande skogsskötselåtgärder, har testats hos Sveaskog och privata markägare i Norrbotten under 2009-2012

Umeå 1 november 2012

Kenneth Sahlén

SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Umeå.

## Innehåll

|                                            |                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Förord .....                               | 1                                         |
| Sammanfattning .....                       | 3                                         |
| Syfte .....                                | 5                                         |
| Organisation .....                         | 5                                         |
| Finansiärer .....                          | 5                                         |
| Markägare.....                             | 5                                         |
| Projektledning .....                       | 5                                         |
| Styrgrupp .....                            | 5                                         |
| Genomförande .....                         | 6                                         |
| Beståndsbeskrivning.....                   | 6                                         |
| Geografiskt område .....                   | 7                                         |
| Försöksdesign.....                         | 8                                         |
| Gödsling .....                             | 9                                         |
| Undersökningar och resultat.....           | 14                                        |
| Trädbiomassaproduktion .....               | 14                                        |
| Näringsinnehåll i barr .....               | 16                                        |
| Kemiskt innehåll i markvatten .....        | 22                                        |
| Tungmetallinnehåll i bär .....             | 24                                        |
| Undersökningar av humustäcket .....        | 26                                        |
| Halter av syntetiska organiska ämnen ..... | 27                                        |
| Fortsatt verksamhet .....                  | 29                                        |
| 2012.....                                  | 29                                        |
| 2013-2014.....                             | 29                                        |
| På ännu längre sikt .....                  | 30                                        |
| Referenser.....                            | 30                                        |
| Kartbilaga .....                           | <b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b> |

# Sammanfattning

## Syfte

Syftet med de undersökningar som beskrivs i denna rapport är att skapa kunskapsunderlag för uppskattning av effekter av näringstillförsel på näringsstatus, tillväxtökning och ökad upptagning och bindning av koldioxid hos skogsträd, samt miljöeffekter i skogsekosystemet efter tillförsel av mineralgödsel och Bionäring i boreal barrskog med varierande trädslagssammansättning och ålder.

## Projektledning

Kenneth Sahlén, SLU, Umeå har, på uppdrag av Sveaskog, varit ansvarig projektledare med ansvar för planering, genomförande, uppföljning och utvärdering av de anlagda fältförsök, som beskrivs här.

## Genomförande

Under 2006-2008 har försök anlagts i 22 skogsbestånd av varierande trädslagssammansättning och ålder, med behandlingarna ogödslad, och gödslad med mineralgödsel (SkogCan) och Bionäring. Bionäring är torkad, granulerad eller pelletterad rötrest efter rötning av avloppsslam, med en kvävehalt på 3-4%. Gödslingarna har utförts med skotarburen spridare i doseringarna 150 kg N/ha för SkogCan och 350-800 kg N/ha för Bionäring, motsvarande 6-19,5 ton gödsel/ha. Gödslingen med mineralgödsel upprepades i alla bestånd tre år efter den första gödslingen.

## Resultat

### Träd tillväxt och koldioxidbindning

Biomassaproduktionen under två år efter gödsling registrerades via diametermätning av alla träd på systematiskt utlagda provytor i varje behandlingsdel av bestånden. Med hjälp av biomassafunktioner beräknades biomassan av stam, krona och rötter för varje träd. Gödslingsbehandlingarna resulterade i signifikant ökad tillväxt i 16 av de 22 bestånden för mineralnäring och Bionäring. Tillväxteffekten under två år var i medeltal lika stor för båda gödselmedlen, 1,7 -1,8 ton biomassa/ha, motsvarande ca 3,3 ton CO<sub>2</sub>/ha, men varierade mycket mellan bestånd. I ett ungt gran/björk-bestånd på delvis försumpad mark gav gödslingen ingen tillväxteffekt. De högsta absoluta tillväxtökningarna efter gödsling erhöles för mineralnäring i tre tallbestånd och ett nära 80-årigt granbestånd med 3,3 -3,9 ton biomassa/ha, motsvarande 6,1 – 7,2 ton upptagen och bunden CO<sub>2</sub>. För Bionäring var tillväxtökningarna störst i ett 40-årigt och i ett 80-årigt tallbestånd med 3,4 resp. 4 ton biomassa/ha, motsvarande 6,3 och 7,2 ton CO<sub>2</sub>/ha.

### Näringsstatus i träden

Tre år efter gödsling var kvävehalten i barren 1-1,4 % för ogödslade träd av alla barrträdslag. Efter gödsling var i de flesta bestånden kvävehalten signifikant förhöjd hos gran och tall till 1,4 -1,9 %, men ej hos contortatall. I blandbestånd var kvävehalten i allmänhet högre för gran än för tall efter mineralgödsling, men ej efter gödsling med Bionäring.

Halten i barren av andra näringsämnen i förhållande till kväve (kvävekvoten) låg i de flesta bestånden nära eller över det önskade värdet (målvärdet) för alla näringsämnen i ogödslade träd. Efter gödsling sjönk kvävekvoten för alla näringsämnen utom för bor, där det gödslats med den borhaltiga mineralnäringen. De sänkta kvävekvoterna efter gödsling bedöms inte vara till men för träd tillväxten, men en mera fördjupad analys av trädens tillväxt och näringsstatus planeras.

## Markvattenkemi

I markvattenprover från 50 cm djup, på ytor gödslade med Bionäring, var det möjligt att påvisa nitratkväve i markvattnet i endast 8 av 59 insamlade vattenprover, och nitratkvävehalten för dessa 8 prover var i medeltal endast 1,3 mg NO<sub>3</sub>-N/l, trots att den tillförda mängden kväve översteg 800 kg/ha på några av provytorna. Inte heller för fosfor eller tungmetaller som kadmium, kvicksilver och bly, var det möjligt att påvisa några signifikant förhöjda halter efter gödsling med Bionäring. Risken för utlakning av nitratkväve och fosfor (=övergödning) samt tungmetaller vid praktisk gödsling, med den dosering på 450 kg N/ha (ca 11 ton gödsel/ha), som sannolikt kommer att tillämpas då, bedöms därför i stort sett obefintlig.

## Tungmetaller i bär

Halterna av kadmium, kvicksilver och bly i blåbär och lingon från ytor, gödslade med Bionäring, låg i många fall under detektionsgränsen och nådde som högst 0,6-3% av EU:s övre gränsvärde för tillåtet innehåll i livsmedel. Inte heller för metallerna Cr, Cu, Mn, Ni och Zn var halterna i bär signifikant förhöjda på gödslade ytor. Ur metallförgiftningssynpunkt är det således ingen risk att plocka och äta bär från mark, som gödslats med Bionäring.

## Markkol

Ingen signifikant skillnad i humustäckets tjocklek eller relativt kolinnehåll kunde påvisas mellan ogödslade och gödslade ytor i tre bestånd, fem år efter gödsling 2006. Kolinnehållet i finfraktion (< 3mm) av humustäcket varierade mellan 0,6 och 1,9 kg/m<sup>2</sup>

## Syntetiska organiska ämnen

I samband med gödsling med Bionäring undersöktes förekomst och spridning av antibiotika, bakteriedödande ämnen, hormoner, polybromerade difenyletrar (PBDE), polyklorerade bifenyler (PCB) och polyaromatiska kolväten (PAH) i tre av försöksbestånden. Resultaten visade att inga av de undersökta ämnena kunde påvisas i luft eller på barr i samband med gödsling eller i markvatten eller mineraljorden upp till 4 år efter gödsling. I humustäcket fanns förhöjda halter av triclosan, PCB och PBDE, två år efter gödsling med 14 ton/ha. Efter fyra år var PCB-halten i humustäcket 3 µg/kg, väl under gränsvärdet för "känslig markanvändning". Vid en tänkt dosering på 10 ton Bionäring/ha vid praktisk gödsling kommer PCB-halten i humustäcket med stor sannolikhet inte att innebära någon som helst inskränkning i markanvändningen, ett par år efter gödsling. Fortsatt utvärdering av resultaten pågår.

## Fortsatt uppföljning

De anlagda och väldokumenterade 22 försöksbestånden utgör en stor och värdefull resurs för en fortsatt och långsiktig utvärdering av tillväxt- och miljöeffekter i bestånd av varierande ålder och trädslagssammansättning, efter näringstillförsel med både oorganiskt och organiskt gödselmedel. Det senare som ett naturligt steg i utveckling av samhället mot ökad hållbarhet. I första hand är det angeläget att inventeringar görs 2013 och 2014, så att resultat avseende tillväxt, koldioxidbindning och miljöeffekter efter fem år, erhålls för samtliga bestånd. I ett längre perspektiv ger försöksbeståndens storlek möjlighet att t ex jämföra utfallet av olika gallringsmetoder mellan behandlingar i samma bestånd. Ett annat motiv till en fortsatt långsiktig uppföljning av försöken, är att kartlägga gödslingseffektens varaktighet för Bionäring. Mycket tyder på att den varaktigheten kan uppgå till åtminstone 15 år

# Syfte

Syftet med de undersökningar som beskrivs i denna rapport är att skapa kunskapsunderlag för uppskattning av effekter av näringstillförsel på näringsstatus, tillväxtökning och ökad upptagning och bindning av koldioxid hos skogsträd, samt miljöeffekter i skogsekosystemet efter tillförsel av mineralgödsel och Bionäring i boreal barrskog med varierande trädslagssammansättning och ålder.

## Organisation

### Finansiärer

Projektet har finansierats av:

- Sveaskog
- LKAB
- Landstinget i Norrbotten
- Länsstyrelsen i Norrbotten
- SLU
- SYVAB
- LRF Norrbotten
- Övertorneå kommun

### Markägare

Sveaskog

### Projektledning

Kenneth Sahlén, SLU, Umeå har, på uppdrag av Sveaskog, varit ansvarig projektledare med ansvar för planering, genomförande, uppföljning och utvärdering av de anlagda fältförsök, som beskrivs här. Han har även deltagit i utformningen av mät- och verifieringssystem för uppskattning av ökad koldioxidbindning efter tillväxthöjande skogsskötselåtgärder.

### Styrgrupp

Projektets styrgrupp består f n av följande personer:

- Hans Winsa, Sveaskog
- Anders Resin, NLL/Kalix Naturbruksgymnasium
- Kenneth Sahlén, SLU
- Anders Lundkvist, LKAB
- Martin Gavelius, Öhrlings PWC
- Nils-Olof Lindfors, LRF
- Stig Kerttu, Övertorneå kommun
- Anna Andersson, Övertorneå kommun
- Anders Aronsson, SYVAB

# Genomförande

## Beståndsbeskrivning

Målsättningen var att undersökningarna skulle omfatta bestånd med ålder från ungskog till slutavverkningsmogen skog, samt bestånd dominerade av tall, gran respektive contortatall, samt även bestånd med stort inslag av björk. Från Sveaskogs beståndsregister valdes ett antal bestånd ut. Efter fältrekognosering valdes 22 bestånd ut för försöken. Försöksbestånden låg mellan latitud 66° och 67°, och höjden över havet varierade mellan 80 och 250 m (Tabell 1). Samtliga bestånd var av frisk markfuktighetsklass, och den dominerande vegetationstypen var lingon/blåbär. Ståndortsindex var mellan T18/G15 och T22/G18. Åldersklassfördelningen var 0-20 år, 1 bestånd; 21-40 år, 6 bestånd; 41-60 år, 11 bestånd och 61-80 år, 4 bestånd.

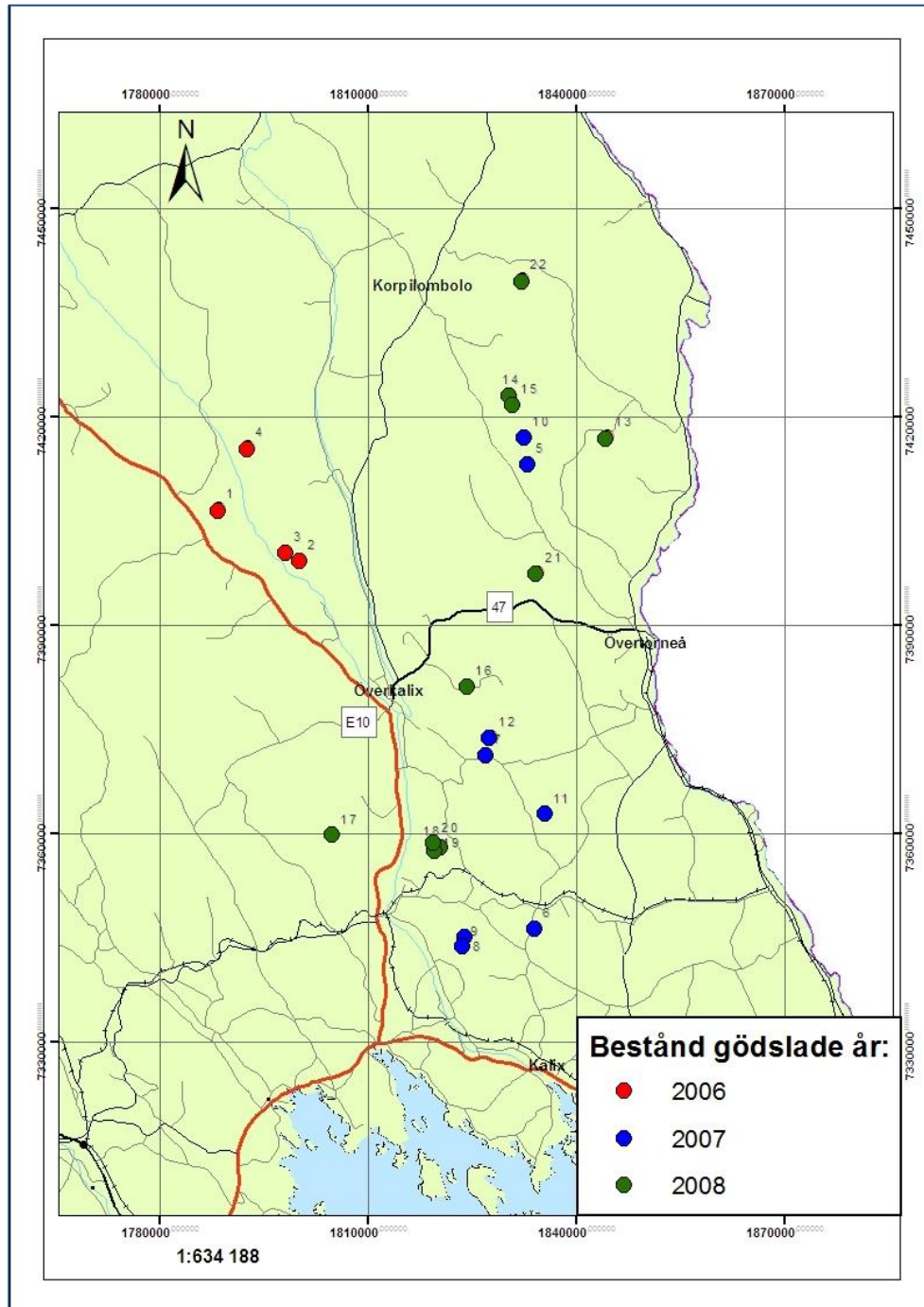
Tabell 1. Försöksbestånden med numrering 1-22, som hänvisar till Figur 1

| Bestånd nr              | Namn                 | X-Koordinat <sup>2</sup> | Y-Koordinat <sup>2</sup> | Latitud, <sup>1</sup><br>° | Altitud,<br>m | Mark-Fukt | Veg-typ <sup>3</sup> | SI,<br>H <sup>100</sup><br>m | Ålder <sup>4</sup> |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|-----------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>2006<sup>1</sup></b> |                      |                          |                          |                            |               |           |                      |                              |                    |
| 1                       | Hällberget           | 1788500                  | 7406600                  | 66,62                      | 246           | Frisk     | L                    | T19                          | 19                 |
| 2                       | Furuberget           | 1800200                  | 7399300                  | 66,54                      | 95            | Frisk     | L                    | T20                          | 55                 |
| 3                       | Mörttjärn            | 1798200                  | 7400500                  | 66,56                      | 83            | Frisk     | L                    | T18                          | 77                 |
| 4                       | Näverberget          | 1792700                  | 7415500                  | 66,69                      | 245           | Frisk     | L                    | T20                          | 64                 |
| <b>2007<sup>1</sup></b> |                      |                          |                          |                            |               |           |                      |                              |                    |
| 5                       | Ansavaara            | 1833100                  | 7413200                  | 66,63                      | 220           | Frisk     | Lö/G                 | G17                          | 40                 |
| 6                       | Aspvattnet           | 1834200                  | 7346300                  | 66,04                      | 106           | Frisk     | B/L                  | T19                          | 50                 |
| 7                       | Snårberget           | 1827100                  | 7371300                  | 66,26                      | 146           | Frisk     | B                    | T19                          | 44                 |
| 8                       | Tällberget 5         | 1824100                  | 7345000                  | 66,03                      | 81            | Frisk     | Lö                   | T22                          | 37                 |
| 9                       | Tällberget 6         | 1823800                  | 7343700                  | 66,02                      | 101           | Frisk     | G sm                 | T22                          | 32                 |
| 10                      | Hautamaa             | 1832700                  | 7417100                  | 66,66                      | 200           | Frisk     | G                    | G18                          | 31                 |
| 11                      | Peuravaara           | 1835700                  | 7362800                  | 66,18                      | 115           | Frisk     | B/Lö                 | T18                          | 37                 |
| <b>2008<sup>1</sup></b> |                      |                          |                          |                            |               |           |                      |                              |                    |
| 12                      | Alkusjärvi           | 1827700                  | 7373800                  | 66,29                      | 151           | Frisk     | L                    | T19                          | 42                 |
| 13                      | Keroniemi            | 1844500                  | 7417000                  | 66,65                      | 180           | Frisk     | Lö                   | G18                          | 78                 |
| 14                      | Korkeanpäänsaajo 8   | 1830400                  | 7423100                  | 66,72                      | 214           | Frisk     | B                    | T19                          | 44                 |
| 15                      | Korkeanpäänsaajo 20  | 1831000                  | 7421800                  | 66,70                      | 207           | Frisk     | B/L                  | T19                          | 42                 |
| 16                      | Lappudden            | 1824400                  | 7381200                  | 66,36                      | 201           | Frisk     | B/L                  | T20                          | 43                 |
| 17                      | Mellanlandet         | 1804900                  | 7359800                  | 66,18                      | 126           | Frisk     | G                    | T19                          | 27                 |
| 18                      | Räktjärnberget 36/37 | 1820500                  | 7358000                  | 66,15                      | 85            | Frisk     | B/L                  | T20                          | 41                 |
| 19                      | Räktjärnberget 39    | 1819700                  | 7357500                  | 66,15                      | 101           | Frisk     | B/L                  | T19                          | 43                 |
| 20                      | Räktjärnberget 40    | 1819600                  | 7358600                  | 66,16                      | 135           | Frisk     | B/L                  | T20                          | 41                 |
| 21                      | Vittakero            | 1834400                  | 7397400                  | 66,49                      | 185           | Frisk     | Lö                   | G16                          | 45                 |
| 22                      | Vittikovaara         | 1832300                  | 7439700                  | 66,86                      | 237           | Frisk     | B                    | G15                          | 75                 |

<sup>1</sup> Gödslingsår. <sup>2</sup> Koordinatsystem RT90. <sup>3</sup> B=blåbär; L=lingon; G=gräs (sm= smalbaldigt); Lö= lågört. <sup>4</sup> Ålder hösten 2006.

## Geografiskt område

Försöksbestånden som gödslades 2006 låg mellan Överkalix och Lansjärv (Figur 1). Bestånden som gödslades 2007 och 2008 låg längre österut, ungefär mellan Kamlunge i söder och Korpilombolo i norr.



Figur 1. De 22 försöksbeståndens lokalisering

## Försöksdesign

Varje bestånd indelades i tre sammanhängande delar med behandlingarna Kontroll, Mineralgödsling och gödsling med Bionäring, så att delarna var så lika varandra som möjligt i fråga om trädslagsblandning, grundyta, trädålder och bonitet. I vissa fall var det nödvändigt att göra ännu fler delar på grund av skillnader i trädslagsblandning, bonitet eller insprängda impediment. För gödslingsbehandlingarna märktes med snitselband de gallringsvägar ut, som gränsade mot annan behandling. Gränserna mellan behandlingar markerades även ut på en beståndskarta, försedd med inlagt koordinatsystem. Tre av bestånden saknade gallringsvägar. I två av dem, Hällberget och Hautamaa, röjdes gallringsvägar fram med röjsåg. I det tredje, Furuberget, togs vägar upp med skördare.

## Provyteutläggning

För uppskattning av träd tillväxt, lades provytor ut i alla behandlingar. Provytorna markerades först på en beståndskarta med inlagt koordinatsystem n-s och o-v, så att 100x100 m rutor bildades. Provytornas fördelades först med en provyta per ruta. Inom varje ruta slumpades sedan provytornas läge ut och markerades. Antalet provytor per behandling varierade med som lägst 1 provyta/ha i mycket homogena bestånd i fråga om trädslagsfördelning, grundyta och bonitet. I bestånd med större variationer, ökades antalet provytor proportionellt mot den ökade variationen. För dessa tillkommande provytor slumpades det i vilka 100x100 m rutor de skulle placeras, och exakta läget slumpades och markerades som tidigare. Provyteutläggningen i fält utgick från ovan nämnda beståndskarta, med i förväg markerade lägen för ytorna. Vid provyteutläggningen uppsöktes med hjälp av GPS lägena för dessa punkter i terrängen. Provytorna placerades sedan på närmaste stickväg från dessa punkter. Provytornas placering var således en kombination av systematiskt och slumpat val av plats.

## Provyteform och -storlek

För att minimera variationen i grundyta mellan provytorna, gjordes dessa rektangulära, med centrum mitt i gallringsvägarna och bredden lika med medelavståndet mellan gallringsvägarna. Detta avstånd bestämdes med stegning mellan sammanlagt 15 gallringsvägar inom varje behandlingsdel. Längden på provytorna var alltid 20 m, längs stickvägen, och bredden varierade mellan 20 och 26 m, dvs provytearealen varierade mellan 400 och 520 m<sup>2</sup>. Provytornas hörn markerades med hjälp av vinkelprisma och måttband. Storleken kontrollerades därefter med hjälp av diagonalmätning.

## Märkning av träd och provytor

Alla levande träd inom provytorna märktes med målat +-tecken på stammen på 1,3 m höjd (brösthöjd) från marken. Alla träd med brösthöjdsdiameter > 1cm märktes. Vid provytegränsen räknades alla träd in på provytan, om mer än halva diametern bedömdes ligga innanför provytans syftade gränslinje. För träd med svårbedömt läge, togs vartannat med på provytan och markerades. Provytans verkliga GPS-koordinater registrerades och provytans behandling och nummer markerades på ytan med plaströr med etikett.

## Gödsling

### Gödselmedel och dosering

Tre olika gödselmedel användes, SkogCan (Yara AB) , Bionäring SYVAB och Bionäring UMEVA (Figur 2; Tabell 2). Bionäring definieras som torkad, hygieniserad och pelletterad eller granulerad rest efter rötning av organiskt material (Henriksson *et al* 2012). I detta fall var det rest efter rötning av avloppsslam. SkogCan består av ammoniumnitrat med tillsats av magnesium, kalcium och bor och används för skogsgödsling i praktisk skala i Sverige på ca 50 000 ha årligen. Bionäring SYVAB är granulerad (Torkapparater AB) rötrest från biogasanläggningen i Himmerfjärden. Bionäring UMEVA är samma typ av rötrest, från Umeå reningsverk, som torkats och pelletterats (Innoplana Ag). Den typen har bara använts i två bestånd (se Tabell 5). Kvävehalten är 27% i SkogCan, och drygt 4 och 3%, respektive, i Bionäring från SYVAB och Umeå. Av kvävet i Bionäring är 10-15% lösligt ammoniumkväve. Bionäring innehåller alla nödvändiga näringsämnen för växter. Volymvikten var 715 kg ts/m<sup>3</sup> och ca 500 kg ts/m<sup>3</sup>, respektive för Bionäring från SYVAB och UMEVA. Den allmänt tillämpade doseringen på 150 kg N/ha för SkogCan var målet vid mineralgödslingen. För Bionäring varierade måldoseringen mellan gödslingsår. 2006 och 2007 var måldoseringen 550 kg N/ha och 2008 var målet 450 kg N/ha, dvs den maximalt tillåtna kvävemängden per ha under en omloppstid.



Figur 2. Bionäring från SYVAB (vänster) och UMEVA (höger)

Tabell 2. Medelhalter, enligt analysprotokoll, av näringsämnena i Bionäring som använts vid gödsling

| Bionäring | År   | Ts <sup>1</sup> | GF <sup>2</sup> | pH             | N   | NH <sub>4</sub> -N | P   | K     | Ca             | Mg    | S              | B              |
|-----------|------|-----------------|-----------------|----------------|-----|--------------------|-----|-------|----------------|-------|----------------|----------------|
|           |      | %               | %               |                | %   | %                  | %   | mg/kg | mg/kg          | mg/kg | mg/kg          | mg/kg          |
| UMEVA     | 2006 | 94,6            | 55              | 6,3            | 3,3 | 0,48               | 3,2 | 1633  | - <sup>3</sup> | 2267  | - <sup>3</sup> | 8,8            |
|           | 2007 | 94,7            | 54              | 6,7            | 3,3 | 0,50               | 3,2 | 1467  | - <sup>3</sup> | 2167  | - <sup>3</sup> | 10             |
| SYVAB     | 2006 | 92,3            | 61              | 6,8            | 4,2 | 0,46               | 3,2 | 2100  | 2200           | 3400  | - <sup>3</sup> | - <sup>3</sup> |
|           | 2007 | 95,6            | 61              | 6,9            | 4,1 | 0,38               | 3,0 | 1500  | 2500           | 3200  | 11000          | - <sup>3</sup> |
|           | 2008 | 96,7            | 58              | 7,1            | 4,1 | 0,52               | 3,1 | 1400  | 2300           | 3600  | - <sup>3</sup> | - <sup>3</sup> |
| SkogCan   | Alla | - <sup>3</sup>  | - <sup>3</sup>  | - <sup>3</sup> | 27  | 13,5               | 0   | 0     | 50000          | 24000 | 0              | 2000           |

<sup>1</sup>Torrsubstanshalt; <sup>2</sup>Halten av organiskt material; <sup>3</sup>Uppgift saknas

SkogCan innehåller inga tungmetaller, syntetiska organiska ämnen eller organiskt material, vilket finns i Bionäring (Tabell 3). Halterna av tungmetaller och syntetiska organiska ämnen i Bionäring ligger under gränsvärdena för tillåten användning på jordbruksmark, och mycket under Skogsstyrelsens övre gränsvärden för tungmetaller i den träaska som rekommenderas vid askåterföring på skogsmark. För kadmium, kvicksilver och bly är halterna i Bionäring mellan 1/30 och 1/4 av vad som tillåts i aska vid askåterföring.

Tabell 3. Medelhalter, enligt analysprotokoll, av tungmetaller och syntetiska organiska ämnen i Bionäring, som använts vid gödsling, samt övre gränsvärden för tillåten användning av avloppsslam på åkermark och övre gränsvärden för metallinnehåll i träaska vid askåterföring på skogsmark.

|                                            | År   | Cd    | Co             | Cr    | Cu    | Hg    | Ni    | Pb    | Zn    | Nonyl-fenol <sup>2</sup> | PAH <sup>2</sup> | PCB <sub>7</sub> <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------|------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|------------------|-------------------------------|
|                                            |      | mg/kg | mg/kg          | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg                    | mg/kg            | mg/kg                         |
| <b>Bionäring</b>                           | 2006 | 0,80  | 12             | 25    | 113   | 0,69  | 28    | 22    | 507   | 5,7                      | 0,42             | 0,022                         |
| <b>UMEVA</b>                               | 2007 | 0,69  | 11             | 24    | 110   | 0,84  | 26    | 20    | 513   | 9,5                      | 0,34             | 0,038                         |
| <b>Bionäring</b>                           | 2006 | 0,85  | 12             | 35    | 290   | 0,84  | 24    | 41    | 680   | 10,4                     | 0,35             | 0,034                         |
| <b>SYVAB</b>                               | 2007 | 0,95  | 8,9            | 28    | 310   | 0,71  | 22    | 22    | 660   | 9,6                      | 0,33             | 0,038                         |
|                                            | 2008 | 0,98  | - <sup>3</sup> | 40    | 350   | 0,73  | 39    | 43    | 710   | 12                       | <0,3             | 0,041                         |
| <b>Gränsvärde för träaska<sup>4</sup></b>  |      | 30    | - <sup>3</sup> | 100   | 400   | 3     | 70    | 300   | 7000  | . <sup>3</sup>           | . <sup>3</sup>   | . <sup>3</sup>                |
| <b>Gränsvärde för åkermark<sup>4</sup></b> |      | 1,3   | - <sup>3</sup> | 100   | 600   | 1     | 50    | 100   | 800   | 50                       | 3                | 0,4                           |

<sup>1</sup>Enligt Naturvårdsverkets förslag till slamförordning; <sup>2</sup>Riktvärden enligt Naturvårdsverkets Rapport 5214; <sup>3</sup>Uppgift saknas; <sup>4</sup>Enligt tabell 2, Skogsstyrelsens Rapport 2008:2.

## Gödslingsutrustning och -metod

Gödslingen utfördes med en skotare med påbyggt gödslingsaggregat av tallrikstyp (Bredal konstgödselspridare för jordbruk) (Figur 3). Spridaren har en rektangulär gödselbehållare som rymmer ca 7 m<sup>3</sup>. I botten på den sitter ett transportband som rör sig bakåt med en hastighet som är reglerbar och proportionell mot traktorns körhastighet. Bandet transporterar gödseln mot en öppning längst bak, där den ramlar ner på två roterande tallrikar som kastar gödseln bakåt och åt sidorna. Doseringen regleras via transportbandets hastighet och spridningsbredden med tallrikarnas rotationshastighet. Före försöksgödslingarna testades spridningsjämnhet och – bredd med Bionäring från SYVAB på ett fält i Västergötland. Liknande undersökningar av spridningsjämnhet gjordes 2006 i försöken i Hällberget och Furuberget. Vid mineralgödsling i försöksbestånden, spreds det enligt praxis från varannan gallringsväg. För Bionäring spreds det från varje gallringsväg. Den höga doseringen med Bionäring medförde dessutom att spridningen måste delas upp på tre körningar, för att avsedd mängd/ha skulle erhållas. Spridartallrikarna orkade inte kasta iväg gödseln om matningsmängden blev för hög. Vid gödslingen 2006 var traktorn försedd med GPS-utrustning som markerade körstråken under gödslingen. Sådan utrustning fanns ej 2007 eller 2008. För Bionäring gjordes för varje bestånd en beräkning och inställning av doseringen vid gödsling efter vägavstånd, kvävehalt och antal körningar. Som underlag för korrekt inställning av spridaren, fick entreprenören för varje bestånd uppgift om

antal körningar och hur lång körväg en säck Bionäring skulle räcka. Det var sedan entreprenörens ansvar att ställa in spridningsutrustningen så att rätt dosering erhöles. Som en ytterligare kontroll, redovisade entreprenören antalet tömda gödselsäckar för varje bestånd, både för Bionäring och för mineralnäring. Den genomsnittliga gödseldosen/ha beräknades som spriden mängd totalt (antal säckar) dividerat med den markerade och gödslade arealen. Gödslingsentreprenören ansvarade för att hela den markerade arealen på beståndskartan gödslades, och att rapportera eventuella avvikelser från det.

## Gödsling 2006-2008

Gödslingen utfördes av Brunos Skogstjänster AB.

### 2006

2006 års gödsling utfördes mellan 10/8 och 8/9 (Tabell 5). Gödseldosen för mineralgödsel blev mellan 130 och 180 kg N/ha och för Bionäring mellan 12 och 15 ton ts/ha, motsvarande 500-620 kg N/ha. I försöken i Hällberget, Furuberget och Näverberget anlades för Bionäring 5-8 dubbla provtytor (A och B) på 30 m avstånd från varandra. På provyta A var doseringen densamma som för hela området, medan doseringen på provyta B var 33% högre, genom att traktorn backade tillbaka och spred en extra fjärde gång på dessa ytor (Tabell 4).

Tabell 4. Dosering för Bionäring A och B i tre av bestånden från 2006

|           | Hällberget  |             | Furuberget  |             | Näverberget |             |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Dosering  | Bionäring A | Bionäring B | Bionäring A | Bionäring B | Bionäring A | Bionäring B |
| Ton ts/ha | 13,4        | 17,8        | 14,7        | 19,5        | 14,5        | 19,3        |
| Kg N/ha   | 562         | 747         | 617         | 821         | 609         | 810         |

### 2007

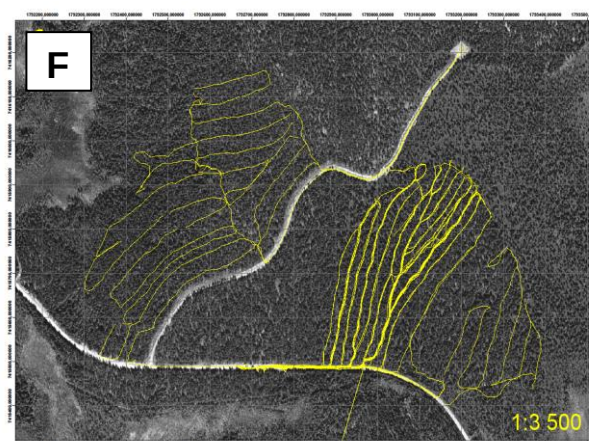
2007 års gödsling gjordes mellan 14/8 och 26/9. Doseringen av mineralgödsel varierade mellan 100 och 147 kg N/ha och för Bionäring mellan 10 och 17 ton/ha, motsvarande 420-700 kg N/ha. Doseringen blev i medeltal ungefär densamma som 2006. Kraftiga regn gjorde att gödslingen i Peuravaara och Hautamaa fick avbrytas på grund av dålig bärighet. Dessa bestånd gödslades klart 8-16/7 2008.

### 2008

2008 års gödsling gjordes 3-16/7 och 11/8-17/9. Doseringen av Bionäring var sänkt till 450 kg N/ha eller 10,7 ton ts/ha. Det innebar att spridningen kunde göras med två körningar istället för tre för Bionäring från SYVAB. Bionäring från UMEVA gödslades i Alkusjärvi och Vittikovaara, och där gjordes spridningen med tre körningar. För mineralgödseln varierade doseringen mellan 117 och 175 kg N/ha, och för Bionäring mellan 350 och 560 kg N/ha. I medeltal blev det 11,4 ton/ha, motsvarande 439 kg N/ha.

## Gödsling 2009-2011

Under 2009-2011, dvs tre år efter den första gödslingen, har mineralgödslingen upprepats med 150 kg N/ha på de tidigare mineralgödslade behandlingarna. Dessa gödslingar har utförts av RL Gallringsservice AB.



Figur 3. A: Påfyllning av Bionäring i spridarens gödselbehållare. B. Spridartallrikar, som roterar och kastar gödseln bakåt och åt sidorna. C. Undersökning av spridningsjämnhet. D Uppsamlingshåvar för bestämning av spridningsjämnhet med Bionäring. E. Mängd Bionäring på marken vid dosering 14 ton/ha. F. GPS-registrering av gödslingsvägar. Till vänster mineralgödsling med spridning från varannan gallringsväg. Till höger spridning av Bionäring, med spridning från varje väg, och med tre körningar. I mitten det ogödslade kontrollområdet.

Tabell 5. Försöksled, arealer och gödslingstidpunkter för projektets 22 försöksbestånd.

|                      | Kon-<br>troll | Gödsling               | Bionäring     |             |                  | Mineralnäring     |            |             |
|----------------------|---------------|------------------------|---------------|-------------|------------------|-------------------|------------|-------------|
|                      | Areal<br>(ha) | Gödslings-<br>tidpunkt | Areal<br>(ha) | Dosering    |                  | Areal<br>(ha)     | Dosering   |             |
|                      |               |                        |               | Ton/ ha     | Kg N/<br>ha      |                   | Kg/<br>ha  | Kg N/<br>ha |
| 2006                 |               |                        |               |             |                  |                   |            |             |
| Hällberget           | 25,2          | 17-23/8                | 31,4          | 13,4        | 562              | 44,1              | 522        | 142         |
| Furuberget           | 12,8          | 10-16/8                | 11,1          | 14,7        | 617              | 16,4              | 488        | 132         |
| Mörttjärn            | 15,0          | 1-8/9                  | 20,3          | 12,1        | 507              | 20,5              | 585        | 158         |
| Näverberget          | 10,9          | 26-31/8                | 14,2          | 14,5        | 609              | 19,9              | 653        | 176         |
| Summa/mv             | <b>63,9</b>   |                        | <b>77,0</b>   | <b>13,7</b> | <b>574</b>       | <b>100,9</b>      | <b>562</b> | <b>152</b>  |
| 2007                 |               |                        |               |             |                  |                   |            |             |
| Ansavaara            | 14,6          | 29/8-19/9              | 36,3          | 14,0        | 574              | 16,2              | 494        | 133         |
| Aspvattnet           | 5,8           | 24-26/9                | 10,4          | 16,9        | 694              | 8,0               | 375        | 101         |
| Snårberget           | 7,8           | 19-24/9                | 10,7          | 13,4        | 548              | 12,9              | 543        | 147         |
| Tällberget 5         | 5,3           | 14-23/8                | 7,8           | 13,6        | 557              | 9,4               | 532        | 144         |
| Tälberget 6          | 7,5           | 16-23/8                | 12,0          | 15,8        | 649              | 9,9               | 505        | 136         |
| Hautamaa             | 10,7          | 28/8 <sup>1</sup>      | 15,7          | 13,4        | 551              | 15,9 <sup>1</sup> | 503        | 136         |
| Peuravaara           | 6,4           | 23/8 <sup>2</sup>      | 15,1          | 10,0        | 410              | 12,8 <sup>2</sup> | 476        | 129         |
| Summa /mv            | <b>58,1</b>   |                        | <b>108,0</b>  | <b>13,9</b> | <b>569</b>       | <b>85,1</b>       | <b>490</b> | <b>132</b>  |
| 2008                 |               |                        |               |             |                  |                   |            |             |
| Alkusjärvi           | 5,1           | 29/8-5/9               | 10,0          | 11,2        | 358 <sup>3</sup> | 6,6               | 606        | 164         |
| Keroniemi            | 3,8           | 10/9                   | 4,4           | 11,1        | 457              | 3,1               | 645        | 174         |
| Korkeanpäänsaajo 8   | 9,9           | 10-11/9                | 8,3           | 13,5        | 553              | 9,6               | 625        | 169         |
| Korkeanpäänsaajo 20  | 15,2          | 12-16/9                | 18,0          | 8,5         | 348              | 39,3              | 433        | 117         |
| Lappudden            | 5,8           | 27-28/8                | 7,6           | 10,9        | 448              | 7,9               | 506        | 137         |
| Mellanlandet         | 10,3          | 11-14/8                | 15,5          | 13,6        | 558              | 13,7              | 511        | 138         |
| Räktjärvberget 36/37 | 10,4          | 21-26/8                | 9,6           | 13,0        | 534              | 12,1              | 579        | 156         |
| Räktjärvberget 39    | 15,4          | 3-7/7                  | 12,2          | 10,7        | 440              | 19,9              | 503        | 136         |
| Räktjärvberget 40    | 12,6          | 17/9                   | 3,0           | 5,8         | 350              | 23,6              | 446        | 126         |
| Vittakero            | 8,8           | 18-20/8                | 11,9          | 10,2        | 417              | 13,2              | 455        | 123         |
| Vittikovaara         | 7,3           | 8-10/9                 | 7,5           | 11,6        | 371 <sup>3</sup> | 6,7               | 597        | 161         |
| Summa/mv             | <b>104,6</b>  |                        | <b>108,0</b>  | <b>11,4</b> | <b>439</b>       | <b>156</b>        | <b>537</b> | <b>146</b>  |
| Totalt               | <b>227</b>    |                        | <b>293</b>    |             |                  | <b>342</b>        |            |             |

<sup>1</sup>Enbart del av Bionäring, gödslades klart 8-10/7 2008, inklusive hela mineralnärringsområdet.

<sup>2</sup>Enbart del av Bionäring, gödslades klart 14-16/7 2008, inklusive hela mineralnärringsområdet.

<sup>3</sup>Bionäring från UMEVA

# Undersökningar och resultat

## Trädbiomassaproduktion

### *Trädmätning*

Alla bestånd mättes in på hösten (fr o m 1/8), ett år efter gödsling. Av praktiska skäl var det inte möjligt att göra det tidigare. Erfarenheter av träds reaktion på gödsling är att ingen tillväxtreaktion erhålls under den första vegetationsperioden efter gödsling. Därför är det osannolikt att någon tillväxtökning skulle bli registrerad av den anledningen. På alla tidigare färgmarkerade träd mättes brösthöjdsdiametern (korsklavning) i mm med dataklave, uppdelat på trädslagen tall, gran, contortatall, björk och övriga lövträd. På 4-6 träd per provyta mättes även höjden och grönkrongränsen, för beräkning av höjd/diameter samband och för ev. framtida undersökningar av effekter av gödsling, stamformsförändringar efter gödsling, och som tänkbara variabler vid framtida beräkningar av trädbiomassa. Trädmätningen upprepades den tredje hösten efter gödsling.

### *Beräkning av trädbiomassa och koldioxidbindning*

Med hjälp av biomassafunktioner med trädslag (tall, gran, björk) och tr addediameter som oberoende variabler, beräknades den totala biomassan för alla inmätta träd på varje provyta från den första och andra inmätningen. För biomassan ovan stubbe användes Marklunds biomassafunktioner (Marklund 1988) och för uppskattning av biomassan i stubbe och rötter användes funktioner av Peterson & Ståhl (2007). För övriga lövträd användes funktionerna för björk och för contortatall användes funktionerna för tall. Biomassatillväxten beräknades som skillnaden i beräknad trädbiomassa mellan andra och första mätningen för varje provyta. Medelvärdet av tillväxten, för alla provytor per behandling, räknades sedan om till medeltillväxt i ton biomassa per ha. Kolinnehållet i biomassan beräknades som  $0,5 \cdot \text{biomassan}$ , och den motsvarande bundna mängden koldioxid beräknades som kolinnehållet dividerat med 0,27 (vikten av kol i en  $\text{CO}_2$ -molekyl).

## *Resultat*

### **Bestånd gödslade 2006**

Enbart tallbestånd gödslades 2006. Tillväxtresultatet i tre av bestånden har tidigare redovisats i ett examensarbete av jägmästare Johan Lundbäck (Lundbäck 2010). Tillväxten för ogödslad skog varierade mellan 1 och 4 ton biomassa/ha ( $1,8 - 7,4 \text{ ton CO}_2$ ) (Figur 4). Biomassaproduktionen efter gödsling var signifikant högre i alla bestånd och för båda gödselmedlen, än där det var ogödslat. En mer än fördubblad tillväxt erhöles i Hällberget, Furuberget och Mörttjärn. Den högsta tillväxten, nästan 8 ton/ha ( $14,8 \text{ ton CO}_2$ ), nåddes för mineralgödsling i Näverberget, medan den största relativa tillväxtökningen, med 3-4 gånger högre tillväxt efter gödsling, uppmättes i Mörttjärn. Tillväxtökningen var ungefär densamma för mineralnäring och Bionäring.

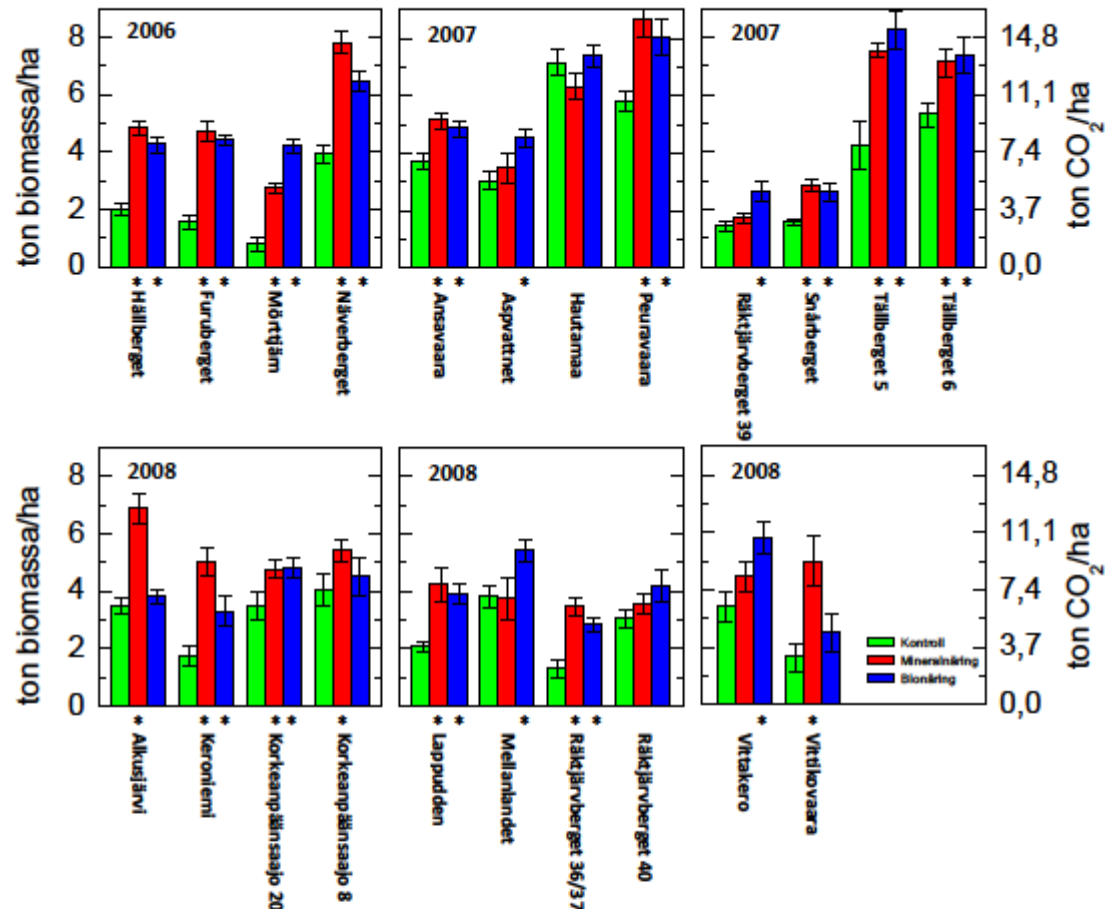
### **Bestånd gödslade 2007**

2007 års gödslingsbestånd innehöll tall, gran och contortatall. Tillväxtökningarna efter gödsling var mindre än i 2006 års gödslingsbestånd, och i Aspvattnet, Hautamaa och Råktjärnberget 39 gav mineralnäring ingen signifikant tillväxtökning alls. För Bionäring var tillväxtökningen

signifikant i alla bestånd utom Hautamaa. De största absoluta ökningarna av biomassatillväxten erhöles i Peuravaara (2,8 ton/ha; 5,2 ton CO<sub>2</sub>/ha), Tällberget 5 (4 ton/ha; 7,4 ton CO<sub>2</sub>/ha) och Tällberget 6 (2 ton/ha; 3,7 ton CO<sub>2</sub>/ha), motsvarande en tillväxtökning på mellan 40 och 95%. Tillväxtökningen var i genomsnitt 1,3 ton biomassa/ha eller 2,4 ton CO<sub>2</sub> (33%) för mineralnäring och 1,6 ton biomassa/ha eller 3,4 ton CO<sub>2</sub> (41%) för Bionäring.

### Bestånd gödslade 2008

Tillväxten för ogödslad behandling varierade mellan 1,3 ton biomassa eller 2,4 ton CO<sub>2</sub>/ha (Räktjärnberget 36/37) och 4,5 ton biomassa eller 8,3 CO<sub>2</sub>/ha (Korkeapäänsaajo). Mineralnäring gav en signifikant tillväxtökning i 6 av de 12 bestånden på mellan 1,4 och 3,4 ton biomassa/ha (2,6-6,3 ton CO<sub>2</sub>). Tillväxtökningen var hög, ca 3,4 ton biomassa eller 6,3 ton CO<sub>2</sub>/ha, motsvarande 200% i de båda nära 80-åriga granbestånden i Keroniemi och Vittikovaara. I det contortadominerade Mellanlandet gav mineralnäring ingen tillväxtökning, medan Bionäring resulterade i en signifikant tillväxtökning på 40% eller 1,6 ton biomassa/ha. Den genomsnittliga tillväxtökningen i förhållande till ogödslat var 1,8 ton biomassa/ha eller 65% för mineralnäring och 1,3 ton biomassa/ha eller 46% för Bionäring.



Figur 4. Trädbiomassaproduktion (vänster y-axel) och bunden CO<sub>2</sub> (höger y-axel) under två år efter gödsling för alla bestånd. Medelfel för medelvärde av alla provtytor är angivet som "error bar" på varje stapel. \* under staplar som avser gödsling anger signifikant ( $p < 0,05$ ) skilt värde i förhållande till Kontroll.

# Näringsinnehåll i barr

## Provtagning och analyser

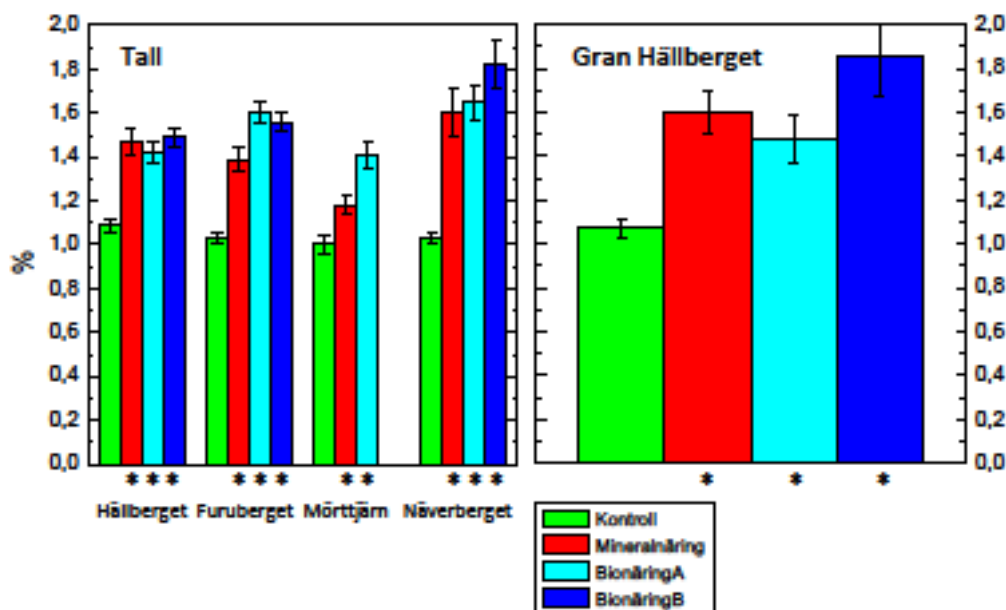
För bestämning av behandlingarnas effekt på trädens näringsstatus, insamlades barrprover från härskande och medhärskande barrträd på ett antal provytor för varje behandling, i samband med den andra inmätningen. Barrproverna togs med stångsekatör från den övre tredjedelen av trädkronan och från fjolårets skott. Alla barrprov från samma yta slogs ihop till ett prov. Proven torkades vid 85 grader i 48 timmar, rensades, maldes i kulkvarn och analyserades sedan vid Helsingfors universitet med avseende på makronäringsämnen, bor och vissa metaller. Följande element bestämdes: C, N, P, K, Ca, Mg, C, B, Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Si, Zn. C och N bestämdes med förbränningsmetod på varioMax CN (elementar Analysensysteme GmbH, Tyskland). Övriga element bestämdes med Termo Scientific icap 6000 serie ICP\_OES (metod EPA 3051). Kvoterna i % mellan halterna av ett antal näringsämnen och kvävehalten, beräknades för jämförelse med rekommenderade lägsta målvärden för dessa kvoter (kvävekvoter) enligt Linder (1995). Barrprov togs från mellan 6 och 9 provytor från varje behandling,

## Resultat

### 2006 års gödsling

#### Kvävehalt

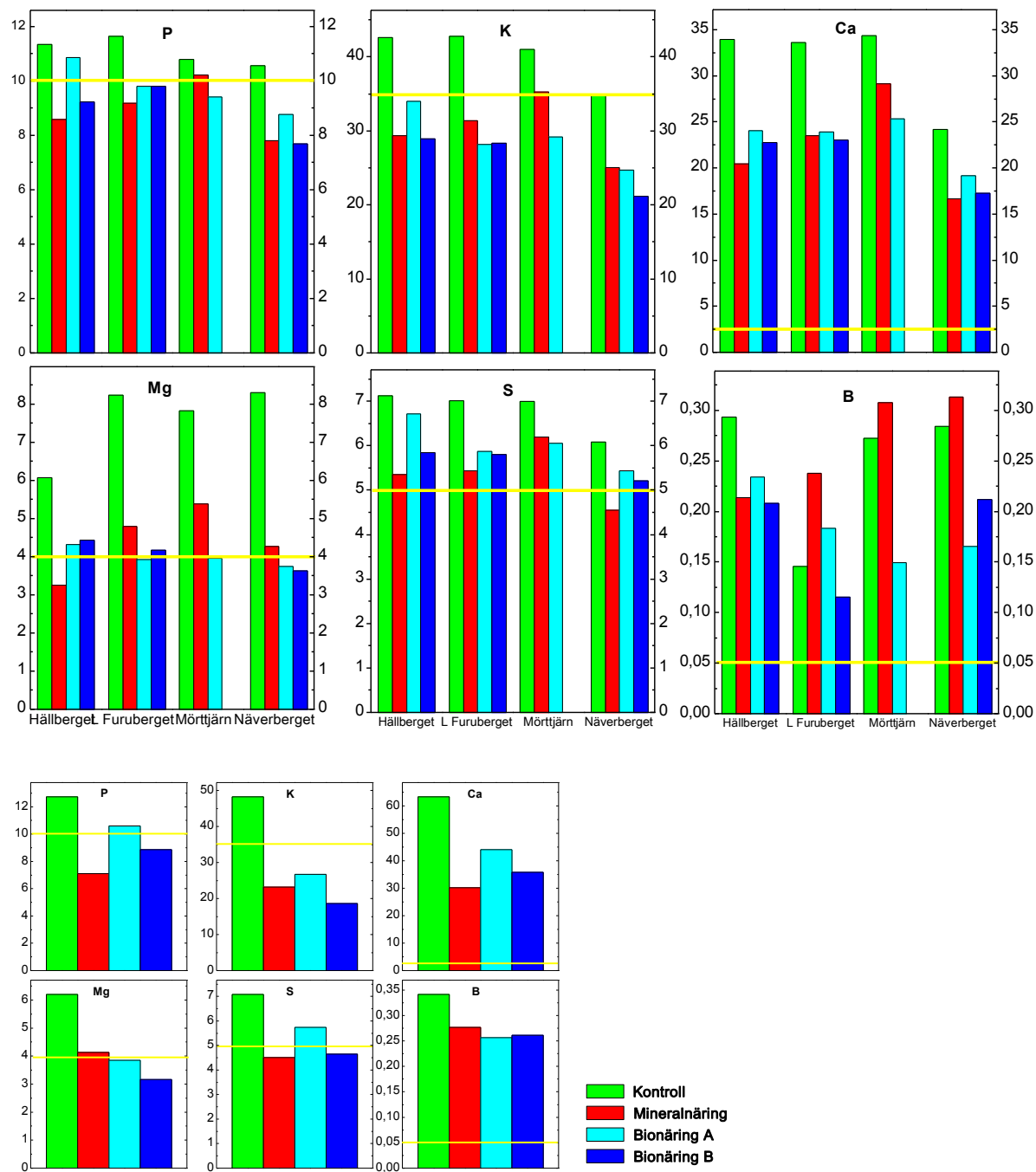
Kvävehalten för ogödslade träd var ca 1% (Figur 5). Efter gödsling var kvävehalten signifikant förhöjd i tallarnas barr för alla gödslingsbehandlingar och i alla bestånd. Kvävehalten nådde som högst 1,8 % för Bionäring i Näverberget. Granarnas reaktion på gödsling i Hällberget var liknande den för tall med signifikant förhöjda barrkvävehalter upp mot 1,8% för Bionäring.



Figur 5. Kvävehalt i barr två år efter gödsling. \* anger halter efter gödsling som är signifikant skilda från halterna för den ogödslade kontrollen

## Kvävekvot

Kvävekvoten (Kvk) för ogödslade träd nådde minst målvärdet för alla bestånd, näringsämnen och trädslag (Figur 6). Målvärdet för Ca och B nåddes för såväl gödslade som ogödslad tall i alla bestånd. För gödslad tall och gran var Kvk i de flesta fall under målvärdet för fosfor och kalium, men bara i Näverberget understeg Kvk 80% av målvärdet. För magnesium och svavel låg Kvk nära målvärdet för de flesta gödslingsbehandlingarna för både gran och tall.

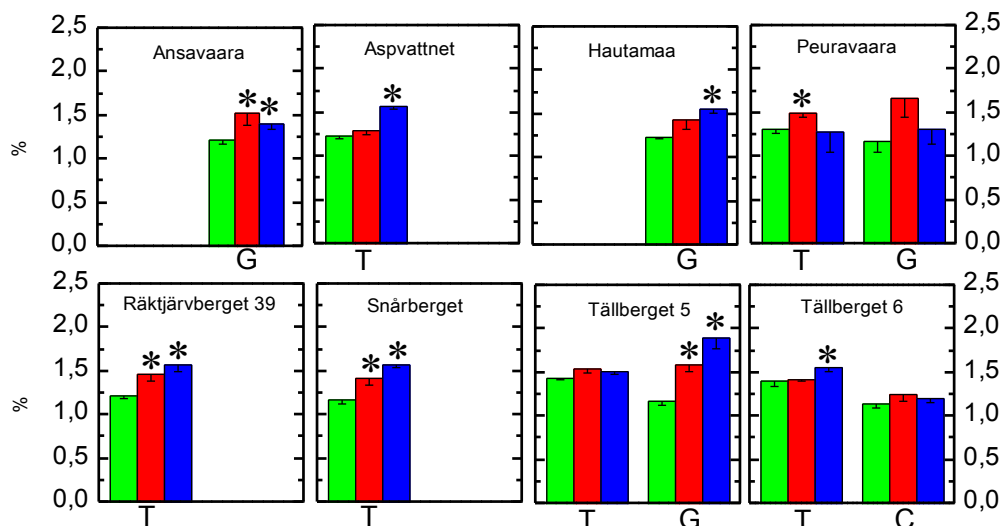


Figur 6. Kvot mellan halt av näringsämnen och kväve i % för tall (överst) och för gran (nedan) i Hällberget, gödslad 2006. Den gula linjen visar målvärdet.

## 2007 års gödsling

### Kvävehalt

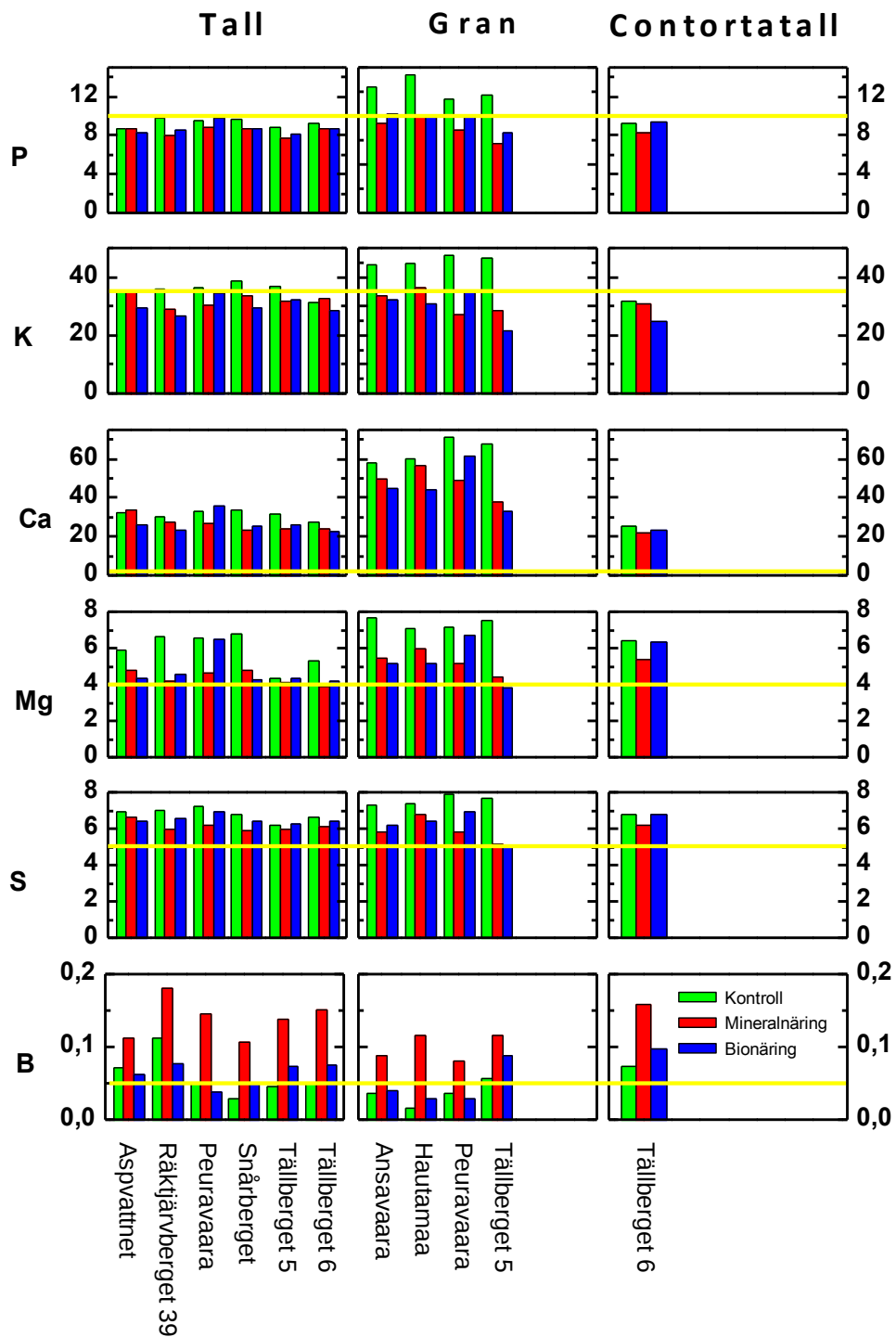
I ogödslade tallbestånd var kvävehalten i barren 1,2-1,4% (Figur 7). För de 4 granbestånden var halten ca 1,2%. Efter mineralgödsling ökade halten för gran till 1,4-1,6% och efter gödsling med Bionäring till 1,3-1,9% (Tällberget 5). För tall var motsvarande halter efter gödsling 1,3-1,5% för mineralnäring och 1,3-1,6% för Bionäring. Bionäring resulterade i en signifikant höjd kvävehalt i 7 av de 8 bestånden, medan den positiva effekten av mineralnäring var signifikant i ungefär hälften av bestånden. Kvävehalten var 1,2% i ogödslad contortatall och förändrades inte nämnvärt efter gödsling.



Figur 7. Kvävehalt i barr två år efter gödsling i bestånd gödslade 2007. T=tall; G=gran; C= contortatall. \*anger signifikant skillnad jämfört med ogödslad kontroll.

### Kvävekvalitet

Kvk för fosfor var ca 9 för tall och 12-14 för gran i ogödslade träd (Figur 8). Efter gödsling sjönk den till 8-10 för båda trädslagen och gödselmedlen. För kalium var Kvk i ogödslade träd 45 för gran och drygt 30 för tall. Efter gödsling var Kvk för tall strax under eller nära målvärdet för både mineralnäring och Bionäring. För gran var Kvk högre för mineralnäring (27-37) än för Bionäring (22-35). För kalcium låg Kvk långt över målvärdet. Kvk för magnesium var klart över målvärdet i ogödslade träd av alla tre trädslagen. Efter gödsling var Kvk lägre, men fortfarande på eller över målvärdet 4. Även för svavel låg Kvk över målvärdet för både ogödslade och gödslade träd. För bor var Kvk i ogödslade träd i flera fall under målvärdet för både gran och tall. Efter mineralgödsling ökade Kvk till långt över målvärdet, medan Kvk efter gödsling med Bionäring i flera fall låg under målvärdet för både gran och tall.

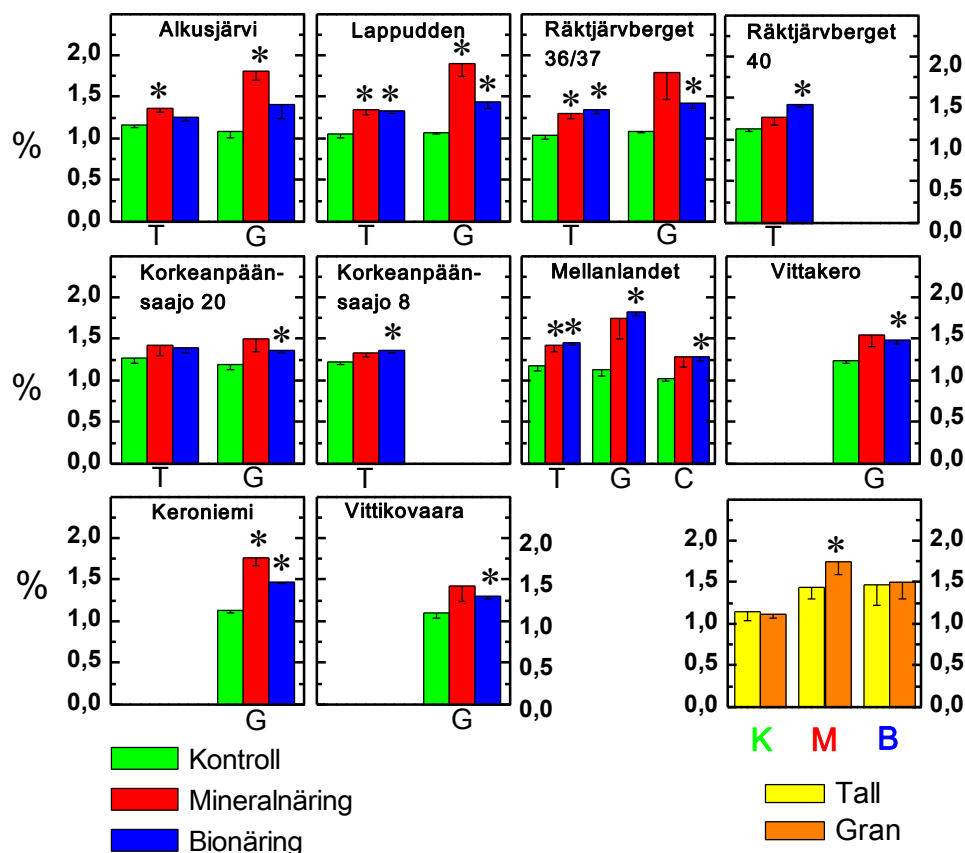


Figur 8. Kvot mellan halt av näringsämnen och kväve i % för bestånd gödslade 2007/2008. Gul linje anger målvärde.

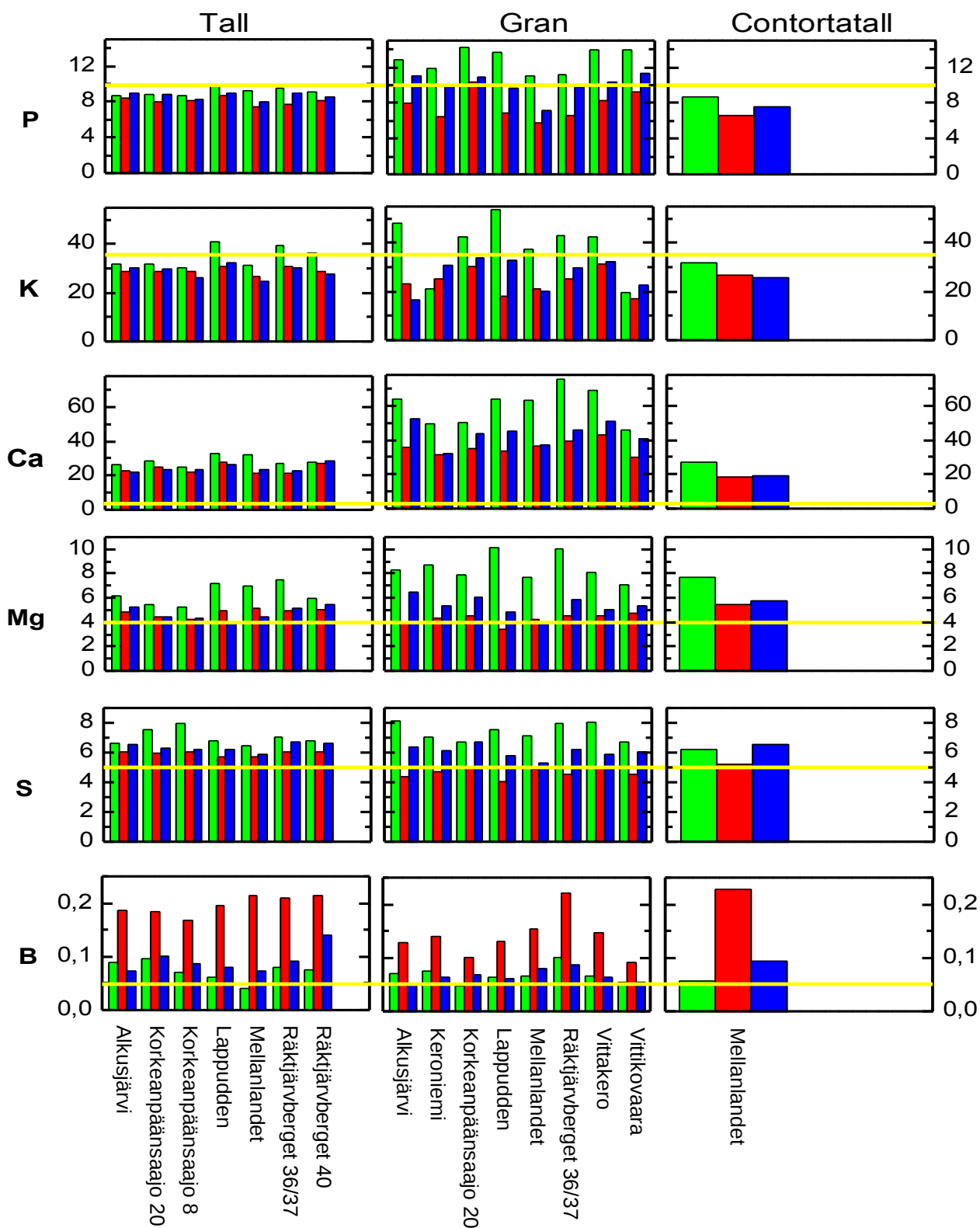
## Gödsling 2008

### Kvävehalt

Kvävehalten i barr från ogödslade träd låg mellan 1 och 1,2% för såväl tall, gran som contortatall (Figur 9). För gödslade träd var kvävehalten för tall mellan 1,3 och 1,4% och för gran mellan 1,5 och 1,9% efter gödsling med mineralgödsel. Gödsling med Bionäring resulterade i kvävehalter på 1,3-1,4% för tall och 1,4-1,8% för gran. Variationen i kvävehalt mellan provtyper inom bestånd var generellt större för mineralgödsling med medelfel på 7% (tall) och 10% (gran) av medelvärdet än för Bionäring med medelfel på 4% av medelvärdet. Den stora variationen för mineralgödsling resulterade i att statistiskt signifikant förhöjd kvävehalt i förhållande till ej gödslade träd bara erhöles i 7 fall för mineralgödsel mot i 13 fall för Bionäring, trots att mineralgödslingen resulterade i en högre genomsnittlig kvävehalt än gödsling med Bionäring. Gödslingsreaktionen mätt som höjd kvävehalt, varierade inte mycket mellan tallbestånden. För granbestånden, däremot var höjningen av kvävehalten mycket kraftig i flera bestånd (Alkusjärvi, Lappudden, Råktjärnberget 36/37 och Mellanlandet, medan reaktionen i Vittakero, Vittikovaara och Korkeanpäänsaajo 20 var mera blygsam. En jämförelse mellan tall och gran i de bestånd där båda trädslagen fanns, visade en signifikant större höjning av kvävehalten för gran än för tall efter mineralgödsling, men inte efter gödsling med Bionäring.



Figur 9. Kvävehalt i barr två år efter gödsling i bestånd gödslade 2008. T=tall; G=gran; C=contortatall.\* anger signifikant skillnad jämfört med ogödslad kontroll. Till höger längst ner jämförelse mellan tall och gran för de 5 bestånd som hade båda trädslagen.



Figur 10. Kvot mellan halt av näringsämnen och kväve i % för bestånd gödslade 2008. Gul linje anger målvärde.

### **Kväveknot**

Kvk för fosfor var i medeltal ca 9 och 14 resp för tall och gran för ogödslade träd (Figur 10). Efter mineralgödsling sjönk Kvk under målvärdet till 6- 8 för tall och 7-10 för gran. För Bionäring var Kvk högre, 9 för tall och 8-12 för gran. För kalium var Kvk i många av de ogödslade behandlingarna under målvärdet 35. Efter gödsling sjönk Kvk ner till som lägst omkring 20 för gran. Kvk för kalcium var långt över målvärdet, oberoende av trädslag och behandling. För magnesium och svavel var Kvk i allmänhet högre för ogödslade än för gödslade träd, men ändå nästan alltid över målvärdet efter gödsling. Kvk för bor var högst och mycket över målvärdet efter mineralgödsling.

## **Kemiskt innehåll i markvatten**

### ***Provtagning och analyser***

För bestämning av effekter av gödsling med Bionäring på markvattnets kemiska innehåll (och därmed risken för utlakning av näringsämnen och tungmetaller), sattes undertryckslysimetrar ut på 50 cm djup i marken i Hällberget, Furuberget och Näverberget på behandlingarna Kontroll, Bionäring A och Bionäring B, på 5-8 provytor per behandling. Vattenundersökningar gjordes ej efter mineralgödsling, eftersom det redan är en ur utlakningssynpunkt accepterad gödslingsmetod. På varje provyta sattes två lysimetrar, och totalt sattes 120 lysimetrar ut sommaren 2007. Vattenprover insamlades i juni 2008 och augusti 2010 och analyserades med avseende på kemisk sammansättning. Inte alla lysimetrar gav vatten vid varje insamlingstillfälle. Därför varierar antalet prover som analyserats från varje insamling.

### ***Resultat***

#### **Ammonium och nitrathalt (Tabell 6):**

Furuberget: Ammoniumkvävehalten låg under detektionsgränsen 0,05 mg N/l i samtliga prov från både ogödslade och gödslade ytor. Detsamma gällde för nitratkvävehalten i prover, insamlade 2010. För prover insamlade 2008, låg nitratkvävehalten över detektionsgränsen på tre av 8 gödslade provytor, på vilka halten i medeltal var 1,3 mg N/l.

Hällberget: Ammoniumkvävehalten låg under detektionsgränsen i samtliga prov från ogödslade provytor, och från alla provytor utom två av de sammanlagt 25 gödslade ytorna. På dessa var halten som högst ca 0,4 mg N/l. På dessa översteg även nitratkvävehalten detektionsgränsen och var som högst ca 2,5 mg N/l.

Näverberget: Halten av ammonium- och nitratkväve låg under detektionsgränsen på alla ogödslade ytor och på alla gödslade ytor utom två, där nitratkvävehalten som högst var 1,3 mg N/l.

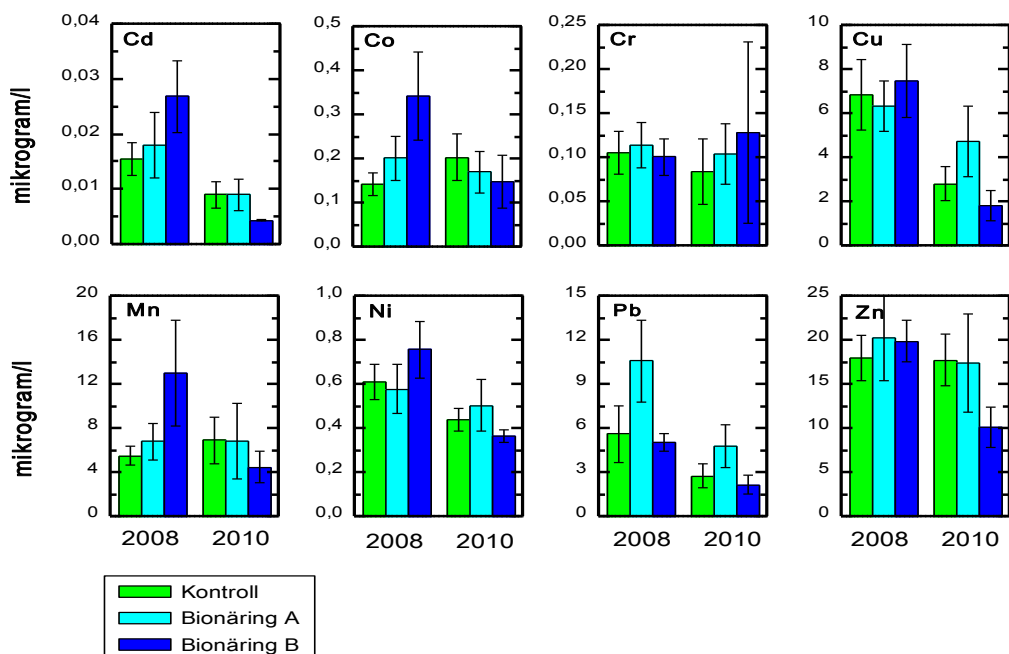
Sammanfattningsvis var det möjligt att påvisa nitratkväve i markvattnet i endast 8 av de 59 vattenproverna från gödslade ytor, och nitratkvävehalten för dessa 8 prov var i medeltal ca 1,3 mg N/l, trots att kvävegivan översteg 800 kg/ha på några av provytorna. Inte heller var det möjligt att påvisa signifikant höjda halter av fosfor i markvattnet efter gödsling med Bionäring.

Tabell 6. Innehåll av ammoniumkväve och nitratkväve i markvatten på 50 cm djup i tre bestånd, gödslade på hösten 2006. Doseringen av Bionäring är för A mellan 560 och 620 kg N/ha och för B mellan 750 och 820 kg N/ha. Detektionsgränsen är <0,05 mg N/l.

|             |             |                  | NH <sub>4</sub> -N, mg/l |            |            | NO <sub>3</sub> -N, mg/l |            |       |
|-------------|-------------|------------------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|-------|
|             |             |                  | <0,05 <sup>1</sup>       |            | >0,05      | <0,05                    |            | >0,05 |
|             |             |                  | Antal ytor               | Antal ytor |            | Antal ytor               | Antal ytor |       |
|             |             |                  | mv                       |            |            | mv                       |            |       |
| Furuberget  | 2008        | Kontroll         | 3                        | 0          | -          | 3                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 6                        | 0          | -          | 4                        | 2          | 1,67  |
|             |             | Bionäring B      | 5                        | 0          | -          | 4                        | 1          | 0,5   |
|             | 2010        | Kontroll         | 1                        | 0          | -          | 1                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 2                        | 0          | -          | 2                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring B      | 6                        | 0          | -          | 6                        | 0          | -     |
|             |             |                  |                          |            |            |                          |            |       |
| Hällberget  | 2008        | Kontroll         | 6                        | 0          | -          | 6                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 7                        | 1          | 0,17       | 7                        | 1          | 0,09  |
|             |             | Bionäring B      | 7                        | 1          | 0,37       | 6                        | 2          | 2,47  |
|             | 2010        | Kontroll         | 6                        | 0          | -          | 6                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 5                        | 0          | -          | 5                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring B      | 6                        | 0          | -          | 6                        | 0          | -     |
|             |             |                  |                          |            |            |                          |            |       |
| Näverberget | 2008        | Kontroll         | 5                        | 0          | -          | 5                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 3                        | 0          | -          | 2                        | 1          | 1,35  |
|             |             | Bionäring B      | 3                        | 0          | -          | 2                        | 1          | 0,37  |
|             | 2010        | Kontroll         | 4                        | 0          | -          | 4                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring A      | 5                        | 0          | -          | 5                        | 0          | -     |
|             |             | Bionäring B      | 4                        | 0          | -          | 4                        | 0          | -     |
|             |             |                  |                          |            |            |                          |            |       |
|             |             | Antal prov-tagn. | Antal ytor               | mv         | Antal ytor | Antal ytor               | mv         |       |
| Totalt      | Kontroll    |                  | 25                       | 0          | -          | 25                       | 0          | -     |
|             | Bionäring A |                  | 28                       | 1          | 0,17       | 25                       | 4          | 1,20  |
|             | Bionäring B |                  | 31                       | 1          | 0,37       | 28                       | 4          | 1,45  |
|             |             |                  |                          |            |            |                          |            |       |

## Metallinnehåll

Variationen i halter av de analyserade metallerna var mycket stor och halterna var låga. Inga signifikant förhöjda halter av metaller efter gödsling, kunde påvisas i de vattenprover som analyserades från 2008 och 2010 (Figur 11). För kvicksilver låg halterna under detektionsgränsen 0,004 mikrogram /liter i alla insamlade prover.



Figur 11. Innehåll av metaller i markvatten i tre bestånd gödslade hösten 2006.

## Tungmetallinnehåll i bär

Kadmiumhalten låg under detektionsgränsen 0,0004 mg/kg i 7 av 17 (41%) insamlade bärprover från ogödslade ytor (Tabell 7). Från ytor gödslade med Bionäring var motsvarande antal 17 av 40 prover, d v s 42%. Kadmiumhalten för Bionäring var som högst 0,001 mg/kg, dvs 2% av gränsvärdet för livsmedel, och för ogödslat 0,0008 mg/kg.

Tabell 7. Innehåll av kadmium, kvicksilver och bly i bär, plockade på hösten 2007 i bestånd gödslade på hösten 2006

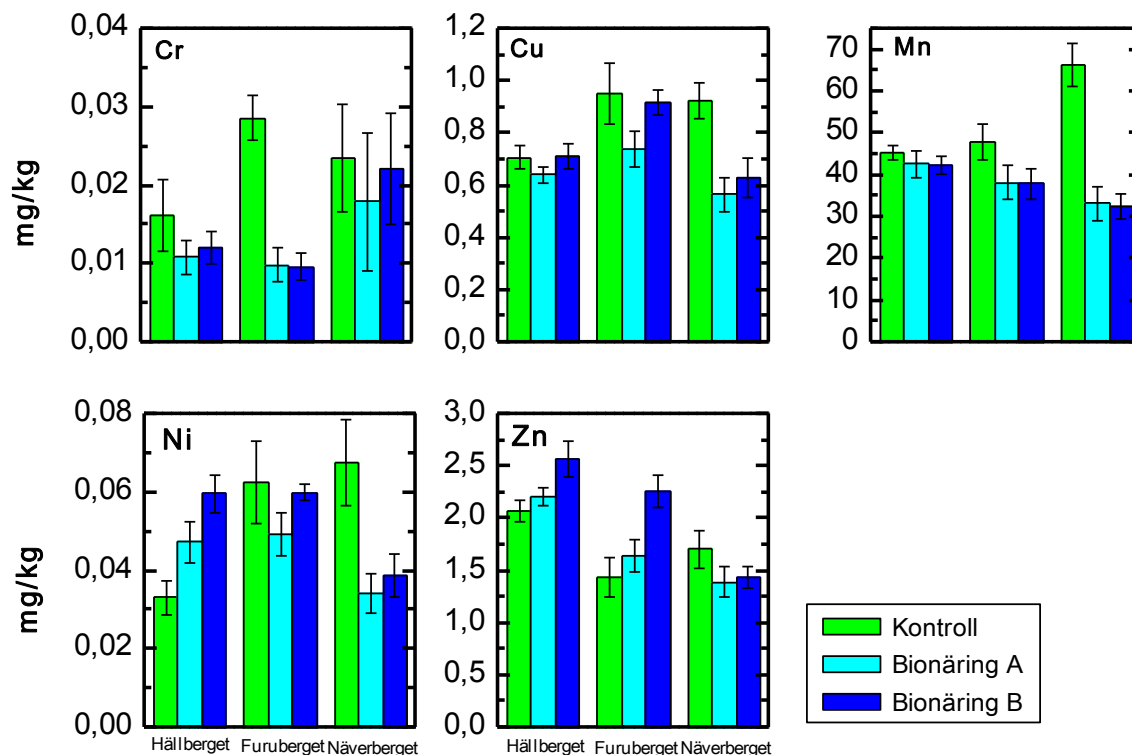
|                                                     |             | Kadmium               |                          |                      | Kvicksilver              |                      | Bly                     |                      |
|-----------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Detektionsgräns på frisk vikt, mg/kg <sup>1</sup>   |             | <0,0004               |                          |                      | <0,0008                  |                      | <0,004                  |                      |
| Gränsvärde för halt i livsmedel, mg/kg <sup>2</sup> |             | <0,05                 |                          |                      | <0,5                     |                      | <0,2                    |                      |
|                                                     |             | Antal prov-ytor (py.) | Antal py. med halt < dg. | Mv för py >dg, mg/kg | Antal py. med halt < dg. | Mv för py >dg, mg/kg | Antal py. med halt < dg | Mv för py >dg, mg/kg |
| <b>Hällberget</b>                                   | Kontroll    | 6                     | 4                        | 0,00075              | 6                        | -                    | 6                       | -                    |
| <b>Lingon</b>                                       | Bionäring A | 8                     | 4                        | 0,00093              | 4                        | 0,0026               | 6                       | 0,0058               |
|                                                     | Bionäring B | 8                     | 5                        | 0,00117              | 3                        | 0,0031               | 7                       | 0,0047               |
| <b>Furuberget</b>                                   | Kontroll    | 5                     | 0                        | 0,00062              | 5                        | -                    | 5                       | -                    |
| <b>Blåbär</b>                                       | Bionäring A | 5                     | 3                        | 0,00081              | 0                        | 0,0028               | 3                       | 0,0061               |
|                                                     | Bionäring B | 5                     | 0                        | 0,00104              | 0                        | 0,0024               | 4                       | 0,0057               |
| <b>Näverberget</b>                                  | Kontroll    | 6                     | 3                        | 0,00082              | 6                        | -                    | 6                       | -                    |
| <b>Blåbär</b>                                       | Bionäring A | 7                     | 2                        | 0,00079              | 7                        | -                    | 4                       | 0,0052               |
|                                                     | Bionäring B | 7                     | 3                        | 0,00056              | 7                        | -                    | 6                       | 0,0046               |

<sup>1</sup>Detektionsgränsen anger hur låga halter det är möjligt att påvisa med använd analysmetod. Den är omräknad från torr vikt till frisk vikt. <sup>2</sup>Enligt EU-kommissionens förordning nr 1881/2006.

Halten kvicksilver översteg inte detektionsgränsen för något av bärproverna från ogödslade ytor. För Bionäring var halterna under den gränsen i hälften av bärproverna. Den högsta uppmätta medelhalten var 0,003 mg/kg, 0,6 % av gränsvärdet för livsmedel.

Även för bly var halten under detektionsgränsen i alla bärprov från ogödslade ytor. För gödslade ytor var motsvarande antal 30 prov av 40, och högsta medelhalten nådde ca 3% av gränsvärdet för livsmedel.

För övriga analyserade metaller finns inte motsvarande gränsvärden för livsmedel. Halterna var mycket låga, och variationen mellan proven inom varje behandling var stor (Figur 12). Därför var det inte möjligt att påvisa några signifikanta skillnader i metallhalter mellan bärprover från ogödslade och prover från gödslade ytor. Tendensen var snarast att metallhalterna var högre i bär som plockats på ogödslade ytor.



Figur 12. Metallinnehåll i bär från samma bestånd och tidpunkt som i tabell 7. Halterna är beräknade på torr vikt.

# Undersökningar av humustäcket

## Provtagning

Humusprover insamlades i juli 2011 från tre slumpvis valda provytor från alla behandlingar i Hällberget, Furuberget och Näverberget, som gödslades i augusti 2006. Med ett rörformigt skarptandat tunt rör med diameter 100 mm, borrades genom humustäcket ner till mineraljorden, efter att den levande vegetationen först tagits bort. Den erhållna humusproppen rensades från levande vegetation och stenar och mineraljord. Efter provtagningen mättes humustäckets tjocklek i det borrarade hålet. Humusproverna packades i separata plastpåsar, och frystes in efter avslutad provtagning. Sammanlagt 9 humusproppar togs från systematiskt bestämda punkter på varje provyta. Tre prover togs mitt i stickvägen och tre togs mitt emellan stickvägens kant och provytans ytterkant på vardera sidan av stickvägen.

## Bearbetning

Hösten 2012 tinades humuspropparna, rensades ytterligare och smulades genom ett 3 mm såll, så att grövre rötter mm togs bort. Sedan slogs alla prover i, respektive utanför stickvägen ihop till ett prov, som vägdes och bestämdes TS-halt och glödförlust (halt av organiskt material) på. Med hjälp av dessa data beräknades sedan kolinnehållet i det finfördelade humustäcket (dvs det organiska material som passerade genom sållet).

## Analyser

### Respiration

För kartläggning av effekterna av de olika behandlingarna på mikroorganismernas aktivitet i humustäcket har ett respirationsförsök påbörjats vid SLU, där koldioxidavgivningen mäts från de insamlade och bearbetade humusproverna.

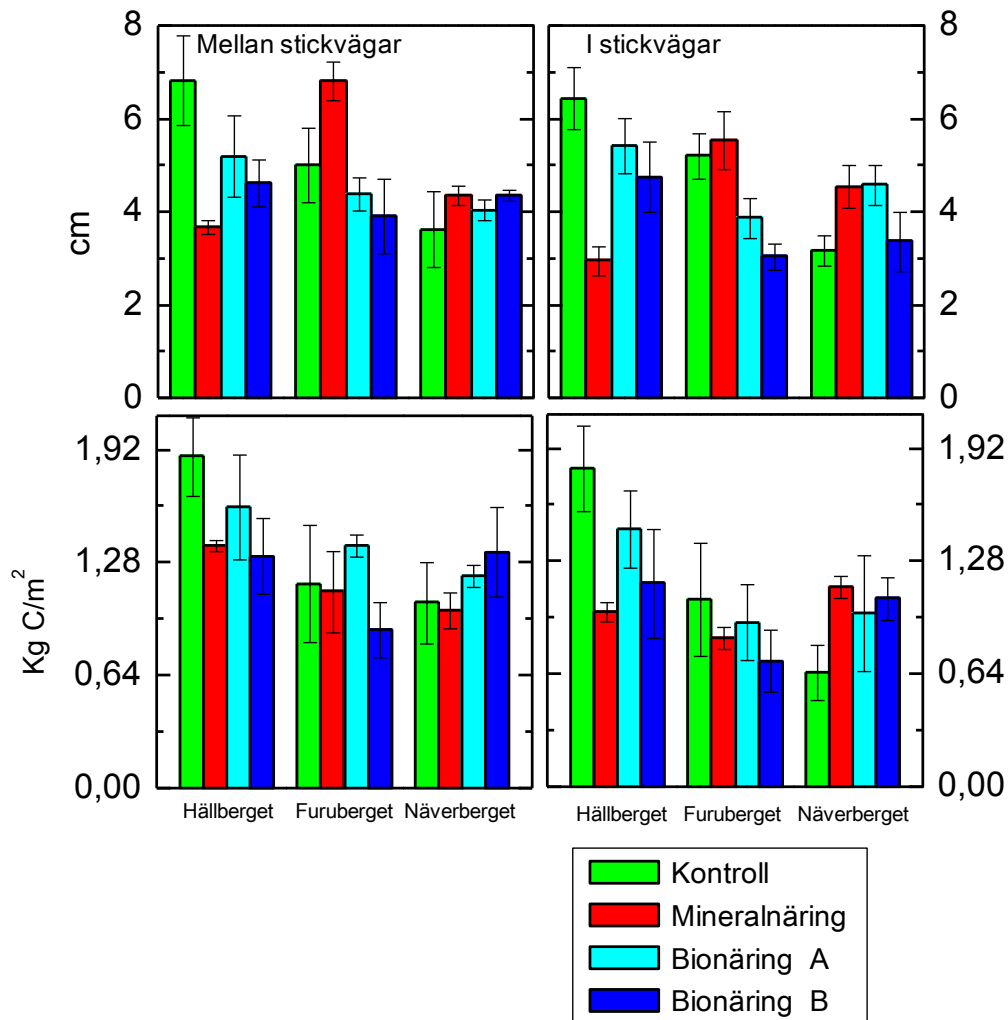
### Kemisk sammansättning

Analys av humustäckets innehåll av näringsämnen och tungmetaller kommer att utföras under slutet av 2012.

## Resultat

### Humustäckets tjocklek och kolinnehåll

Humustäcket var tjockast, ca 7 cm i Hällberget ogödslat och i Furuberget efter mineralgödsling (Figur 13). På övriga punkter mellan stickvägarna var tjockleken mellan 4 och 5 cm. Variationen mellan provytor inom behandling var stor, och inga behandlingar avvek signifikant från de andra. Humustjockleken var ungefär densamma mellan som i stickvägar. Den beräknade kolmängden per m<sup>2</sup> var mellan 0,6 och 1,9 kg och var något lägre i stickvägarna än mellan. Kolmängden var störst i Hällberget mellan stickvägarna (ca 1,3 kg/m<sup>2</sup>) och minst i Näverberget och Furuberget i stickvägarna (ca 0,9 kg/m<sup>2</sup>). Variationen mellan provytorna var stor och inga behandlingar avvek signifikant från de andra.



Figur 13. Humustäckets tjocklek och beräknad mängd kol i finfördelad fraktion av humustäcket

## Halter av syntetiska organiska ämnen

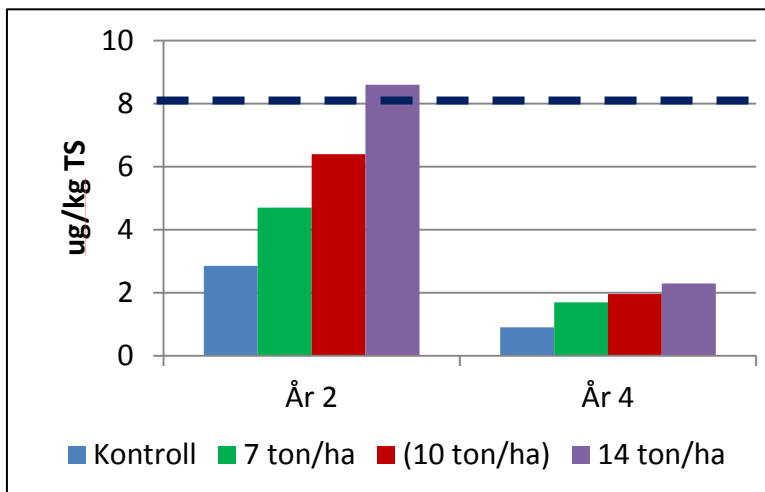
Med Professor Mats Tysklind och Dr Richard Lindberg vid kemiska institutionen vid Umeå universitet som ansvariga och med Energimyndigheten som finansiär, har förekomsten av syntetiska organiska ämnen efter gödsling med Bionäring undersökts 2008-2011 (Lindberg *et al. in prep*). Undersökningarna har utförts i följande bestånd:

- Råktjärnberget 39 (förekomst i luft i samband med gödsling och på barr omedelbart efter gödsling)
- Snårberget (förekomst i humus och mineraljord vid doseringarna 0, 7 och 14 ton/ha) av Bionäring, kontrollerat försök, upprepade provtagning)
- Furuberget (förekomst i markvatten, humus och mineraljord vid olika dosering (0 och 20 ton/ha) av Bionäring, praktisk gödsling).

De ämnen som analyserades var antibiotika, bakteriedödande ämnen, hormoner, polybromerade difenyletrar (PBDE), polyklorerade bifenyler (PCB) och polyaromatiska kolväten (PAH).

Resultaten visade att :

- Inga av de undersökta ämnena kunde påvisas i luft eller på barr i samband med gödsling eller i mineraljorden upp till 4 år efter gödsling.
- I humustäcket fanns förhöjda halter av triclosan, PCB och PBDE, två år efter gödsling.
- Två år efter gödsling var halten av PCB i humustäcket i närheten av gränsvärdet 8 ug/kg, för "känslig markanvändning" vid dosering 14 ton Bionäring/ha (Figur 14).
- Efter fyra år hade halten PCB reducerats till 2 ug/kg för den doseringen.
- PCB-halten i humustäcket var 2,9 respektive 0,9 ug/kg för den ogödslade kontrollen, två och fyra år efter gödsling.
- Vid en dosering på 10 ton Bionäring/ha kommer PCB-halten i humustäcket med stor sannolikhet inte att innebära någon som helst inskränkning i markanvändningen, ett par år efter gödsling.



Figur 14. Halt av PCB i humustäcket två och fyra år för ogödslad kontroll och efter gödsling med Bionäring i doserna 7 och 14 ton/ha. Den gröna stapeln representerar den dosering som tillämpas vid gödsling i praktisk skala och visar den beräknade PCB-halten vid den doseringen. Den streckade linjen visar övre gränsvärdet för "känslig markanvändning". Känslig markanvändning (KM) innebär att markkvaliteten inte begränsar valet av markanvändning. Alla grupper av människor (barn, vuxna, äldre) kan vistas permanent inom området under en livstid. De flesta mark ekosystem samt grundvatten och ytvatten skyddas. (Naturvårdsverket 2008).

## Fortsatt verksamhet

### 2012

#### *Trädens biomassaproduktion och näringsstatus*

Under hösten 2012 har de fyra bestånd som gödslades 2006, åter inventerats. Efter sammanställning och bearbetning, kan således effekten på tillväxt och koldioxidbindning av näringstillförseln efter fem år beräknas. I samband med inventeringen har även nya barrprover samlats in, samt de målade markeringarna på provyteträden förnyats.

#### *Humusanalyser*

Resultaten från påbörjade respirationsförsök med humusprover kommer att ge en uppfattning om hur markens mikroorganismer påverkats av gödsling med organiskt och oorganiskt gödselmedel. Resultaten från planerade kemiska analyser kommer dessutom att visa hur markens näringsstatus, C/N-kvot och tungmetallinnehåll har påverkats av gödslingarna.

### 2013-2014

#### *Trädens biomassaproduktion och näringsstatus*

Under vintern 2013 görs en mera ingående analys av insamlade träddata från 2009-2011 vad avser samband mellan bl a ståndortsfaktorer, grundyta, trädslag, gödselmedel, dosering och tillväxteffekt. Ett examensarbete planeras under 2013, där näringsstatus i barr och humus analyseras och sambandet mellan dessa data och trädtiltväxten utvärderas. Hösten 2013 och 2014 inventeras bestånd gödslade 2007 och 2008, så att tillväxtdata efter 5 år finns för samtliga 22 bestånd. Då tas även nya barrprover, för analys av trädens näringsstatus. Då restaureras även alla markeringar på provytor och träd med ny färg, så att fortsatt uppföljning efter ytterligare några år är möjlig. Databasen med insamlade träddata från de sammanlagt 800 provytorna organiseras för överföring till lämplig forskningsinstitution som en garanti för att fortsatt uppföljning/utnyttjande av försöken blir möjlig. I slutet av 2014 görs en slutrapport över samtliga resultat från försöken.

#### *Humusanalyser*

Nya humusprover insamlas sommaren 2014 och analyseras med avseende på näringsämnen, tungmetaller och kol för bestämning av effekter av gödsling på kolmängd och näringsstatus i humustäcket.

#### *Vegetationskartering*

Under 2014 görs en vegetationskartering i ett urval av bestånden för jämförelse av vegetationssammansättningen mellan ogödslade och gödslade behandlingar.

#### *Markvattenanalyser*

Provtagning och analyser av markvatten från befintliga lysimetrar genomförs 2014 (8 år efter gödsling) för bestämning av risk för utlakning av näringsämnen och tungmetaller.

## På ännu längre sikt

De anlagda försöken är unika så till vida att de är utförda i praktisk skala, samtidigt som de är väldokumenterade i fråga om mängd tillförd gödsel och gödselmedlens sammansättning. Gödseldoseringarna för Bionäring har medvetet valts avsevärt högre än vad som är realistiskt vid en praktisk tillämpning i skogsbruket. Syftet med det har varit att möjliggöra en bedömning av riskerna för eventuella oacceptabelt negativa miljöeffekter, med stora säkerhetsmarginaler. Erfarenheter från liknande organiska gödselmedel som Bionäring visar att den positiva gödslingseffekten på trädutväxten har avsevärt längre varaktighet (minst 15 år) än efter mineralgödsling (7 år). Det innebär att den traditionella strategin att gödsla 10 år före slutavverkning inte gäller för Bionäring. Förmodligen kan/bör gödsling göras så tidigt som i samband med den första gallringen. Hittills finns det inte så gamla gödslingsförsök med Bionäring att tillväxteffektens varaktighet har kunnat bestämmas.

Det stora antalet provtytor med markerade och inmätta träd samt den databas med träddata som finns, utgör ett utmärkt underlag för fortsatta uppföljningar av tillväxteffekterna och trädens näringsstatus. På ett stort antal träd finns dessutom både diameter och höjd registrerade. Dessa data har ännu inte utnyttjats, men utgör en resurs för eventuella framtida beräkningar av t ex stamformsförändringar efter gödsling eller utveckling/tillämpning av nya/modifierade trädbiomassafunktioner.

Sammanfattningsvis utgör de nu anlagda försöken en viktig resurs för framtiden för att:

- de innehåller flera olika trädslag och trädåldrar
- jämförelse av tillväxt- och miljöeffekter för olika gödselmedel kan göras på lång sikt
- effekterna för olika trädslag kan, i vissa av bestånden, jämföras i samma bestånd.
- försöksbeståndens storlek medger att olika skogsskötselmetoder ( tex olika form, styrka och tidpunkt för gallring) kan praktiskt tillämpas, och effekterna av dessa på tillväxt mm, kan jämföras mellan behandlingar inom samma bestånd.

## Referenser

EU-KOMMISSIONEN 2006. Förordning (EG) nr 1881/2006 av den 19 december 2006 om fastställande av gränsvärden för vissa främmande ämnen i livsmedel.

Henriksson, G. Palm, O., Davidsson, K., Ljung, E., Sager, A. 2012. Rätt slam på rätt plats. WASTE REFINERY, Projekt nummer WR-41.

Lindberg, R., Sahlen, K., Tysklind, M. In prep. Occurrence and distribution of synthetic organic substances in boreal conifer forest soils fertilized with hygienized and dried municipal sewage sludge.

Linder, S. 1995. Foliar analysis for detection and correction nutrient imbalances in Norway spruce. Ecological Bulletins 44:178-190.

Lundbäck, J. 2010. Stamtillväxt, biomassaproduktion och koldioxidbindning i Norrbotten efter gödsling med mineralnäring och bionäring i tallskog. SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel. Examensarbete nr 2010:25.

Marklund, L-G. (1988) Biomassafunktioner för Tall, Gran och Björk i Sverige. Institutionen för skogstaxering. Rapport 45. Umeå.

Naturvårdsverket 2003. Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp. Rapport 5214.

Naturvårdsverket 2008.<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Fororenade-omraden/Att-utreda-och-efterbehandla-fororenade-omraden/Riktvarden-for-fororenad-mark/Tabell-over-generella-riktvarden/>

Naturvårdsverket\_2010.[http://www.naturvardsverket.se/upload/30\\_global\\_meny/02\\_aktuellt/yttranden/Sa\\_har\\_vill\\_vi\\_aterfora\\_mer\\_fosfor\\_till\\_kretsloppet/Uppdatering\\_av\\_Aktionsplan\\_for\\_aterforing\\_av\\_fosfor\\_ur\\_avlopp.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/30_global_meny/02_aktuellt/yttranden/Sa_har_vill_vi_aterfora_mer_fosfor_till_kretsloppet/Uppdatering_av_Aktionsplan_for_aterforing_av_fosfor_ur_avlopp.pdf)

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.

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

Skogsstyrelsen 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Rapport 2:2008.