



# Elementkoncentrationer i gran utmed en markfuktighetsgradient



**Susanna Isberg**

**Handledare: Erik Karlton**

---

**Examensarbete vid institutionen för skoglig marklära, SLU**

**Uppsala, 2002**

**Nr 2**



**Elementkoncentrationer i gran utmed en  
markfuktighetsgradient**

**Element concentrations in Norway spruce  
along a gradient in soil moisture**

Susanna Isberg



## FÖRORD

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för skoglig marklära, SLU i ämnet Biologi och omfattar 20 poäng på D-nivå. Arbetet har utförts inom ramen för projektet Kretsloppsanpassad massafabrik (KAM) som finansieras av den Miljöstrategiska forskningsstiftelsen (MISTRA). Projektet är också en del i institutionens forskning som syftar till att bättre klarlägga olika elementflöden i skogslandskapet.

Uppsala i januari, 2002

Erik Karlton, handledare



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>Förord</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>5</b>
<b>Inledning</b>	<b>7</b>
Skogen idag- kretsloppstänkande	7
Elementexport med massaved	7
Skogsmarkens näringsupptag	7
<i>Näringstillgång</i>	7
<i>Inverkan av markfuktighet</i>	7
<i>Aciditet och löslighet</i>	8
Elementkoncentrationer i ved, bark, grenar och barr	9
<i>Makronäringsämnen</i>	9
<i>Mikronäringsämnen</i>	9
Syfte	10
<b>Material &amp; metoder</b>	<b>10</b>
Provtagningsområde	10
Provtagning och provberedning	11
Kemisk analys	11
<i>C och N analys</i>	11
<i>Övriga element</i>	11
<i>Biomassa uppskattningar</i>	12
<b>Resultat</b>	<b>12</b>
Elementkoncentrationer i träddelar längs fuktighetsgradienten	12
<i>Stamved</i>	12
<i>Barr</i>	12
<i>Bark</i>	12
<i>Grenar</i>	12
<i>Området kring in och utströmningsområde</i>	12
Jämförelse mellan provtytor på mineraljord och torvmark	13
<i>Bark</i>	13
<i>Barr</i>	14
<i>Grenar</i>	14
<i>Stamved</i>	14
<i>Jämförelse av totalmängder i olika träddelar</i>	15
<b>Diskussion</b>	<b>15</b>
<b>Tack</b>	<b>19</b>
<b>Referenser</b>	<b>19</b>
<b>Appendix</b>	<b>21</b>

**SAMMANFATTNING.** För att skogsbruket skall vara uthålligt på längre sikt är man intresserad av att återföra lika mycket näringsämnen som man tar bort ur ekosystemet vid skörd. En förutsättning för att bestämma hur mycket som förs bort vid skörd är att man vet hur mycket av olika element som träden innehåller och hur de är fördelade i trädet. Syftet med denna studie är att undersöka hur variation i markfuktigheten påverkar koncentrationerna av olika element i ved, bark och grenar hos gran (*Picea abies* (L.) Karst). Materialet till undersökningen insamlades vid Risfallet (60° 21' N, 16° 13' Ö). Provtagningslokalen ligger omkring 220 m ö h i Hedemora kommun. Fem provtytor fördelades längs en sluttning i NV riktning med ett 40-årigt bestånd av gran. Ved, bark, gren och barrprover analyserades med avseende på elementkoncentrationer. De flesta element visade inga tecken på att variera med markfuktigheten, men det fanns några viktiga undantag. Halterna av Ba, Ni, Pb, K och Sr i stamved var signifikant högre på torrare provtytor än på fuktiga provtytor. Koncentrationen av Cd i barr var mer än dubbelt så hög på torvmark än mineraljord och Al och K koncentrationerna var högre i samtliga träddelar på mineraljord jämfört med provtytor på torvmark. Hos K tenderade alla träddelar till att ha den högsta koncentrationen i närheten av gränsen mellan in- och utströmningsområde. Mg tenderade till att ha de högsta koncentrationerna i alla träddelar i utströmningsområdet. Koncentrationen av Ba och Al i bark var signifikant högre på de torrare delarna längs gradienten. Många ämnen visade signifikanta skillnader mellan olika träddelar längs hela fuktighetsgradienten. Cu, N, Fe, P, Zn och K hade signifikant högre koncentrationer i stamveden jämfört med övriga träddelar. Koncentrationen av Pb, Cu och Fe i grenar var signifikant högre jämfört med övriga träddelar. Ämneskoncentrationerna av B, Sr, Na, Si, Cu, Zr, Zn, Mn, N och Ti verkade vara opåverkade av fuktighetsgradienten. Övriga ämnen som studerats (Co, Cr, V, Mg, Ni och Ca) visade tendenser men inte statistisk signifikans.

**SUMMARY.** One key factor in silviculture today is sustainability. In order to achieve sustainability it may be important to restore lost nutrients to the forest after clear-cutting. In order to calculate the removal, you need to know how much of different elements you will find in different tree compartments. The aim of this study was to investigate if the concentration of elements in different tree compartments of spruce (*Picea abies* (L.) Karst) were related to the moisture conditions of the site. Five plots at Risfallet (60° 21' N, 16° 13' E), was placed along a moisture gradient in a 40-year spruce stand. Stemwood, bark, branches and needles were analysed for 25 different elements. Most elements did not show any significant variation with the site moisture but there were some important exceptions. The concentration of Cd in needles was twice as high on peat compared with mineral soil and Al and K in needles had the highest concentration on the mineral soil. K did have the highest concentrations close to the border between groundwater recharge and discharge areas, Mg did have the highest concentrations in the groundwater discharge area. The concentration of the elements B, Sr, Na, Si, Cu, Zr, Zn, Mn, N and Ti did not affect by the moisture in the soil along the gradient. The rest of the elements (Co, Cr, V, Mg, Ni and Ca) showed tendencies to vary with soilmoisture but the observed differences were not statistically significant.



## INLEDNING

### Skogen idag- kretsloppstänkande

Med ett allt intensivare utnyttjande av skogsråvaror ökar behovet av att ersätta exporterade näringsämnen och att sluta kretsloppet. Idag ökar användningen av GROT (gren och topp) till bränsle. Anledningen är att man av miljöskäl vill minimera användningen av fossila bränslen. Enligt Naturvårdsverket och Klimatdelegationen bör Sverige ha minskat utsläppen av koldioxid med 0,9 ton kol/invånare och år till år 2050 (Naturvårdsverket, 2001). Sveriges utsläpp av kol ligger idag på 1,7 ton /invånare.

I motsats till exempelvis olja och kol ger eldning med biobränslen ingen ökning av mängden koldioxid till atmosfären. Detta på grund av att träden binder minst lika mycket kol i biomassan under sin tillväxt som frigörs vid förbränningen. Uttag av GROT för förbränning innebär stora förluster av näringsämnen från skogen, eftersom grenar och trädets topp i många fall innehåller de högsta koncentrationerna av olika näringsämnen (Finér & Kaunisto, 2000; Almberg, 1999; Eriksson & Rosén 1994 ; Hallbäck 1998).

En förutsättning för att bestämma hur mycket som förs bort vid skörd är att man vet hur mycket av olika element som träden innehåller och hur de är fördelade i trädet. Tabell 1 ger en översikt över olika näringsämnens förekomst och funktion i trädcellen.

### Elementexport med massaved

Även om GROT utgör den kanske viktigaste fraktionen för export av näringsämnen, så bidrar också uttaget av massaved till näringsämnesförlusterna. Den största delen av det virke som tas från skogen under en omloppstid används till pappersmassatillverkning. Det innebär att mycket näringsämnen förs bort från skogen med massaveden. Med veden kommer också det som i massaindustrin kallas processfrämmande grundämnen (PFG) och som kan orsaka störningar i produktionen. Exempel på problem som orsakas av PFG är anrikningar i lutcirkulationen av K, Cl, Al, Si, B och V. I kalkcykeln anrikas ämnen som P, Al, Mn och Si medan Mn, Fe, Cu, Zn och Cd är svår-lösliga i grön- och vitlut. Dessa ackumulationer skapar utfällningar, igensättningar i sodapannan, korrosion, störningar vid väteperoxidblekning samt utsläpp till luft och vatten. Halterna av olika PFG i vedråvaran kan variera mycket och beror på trädslag, växtplats och ålder. (Slutrapport-KAM 1, 2000). Det är därför värdefullt att veta var de största elementpoolerna finns och även hur olika ämnena är fördelade i trädet. Vi behöver också mer kunskap om växtplatsens betydelse för

elementkoncentrationer i ved för att förstå variationer i PFG koncentrationerna i inkommande ved.

### Skogsmarkens näringsupptag

#### *Näringstillgång*

Växternas tillgång på växtnäringsämnen styrs bland annat av tillgången på vittringsbara mineral samt vatten. Om mineralsammansättningen är lika blir näringstillgången större i finkorniga jordar som en följd av större sammanlagd partikelyta. Om markvattnet rinner lateralt utefter en lång sluttning och passerar en sammanlagt stor mineralyta kan det också få ett förhållandevis högt näringsinnehåll även om jordarten har en normal mineralsammansättning (Angelstam & Minell, 1997). Växtnäringsupptaget för våra vanligaste skogsträd sker genom den symbios som finrotspsar bildar med mykorrhizasvampar och det mycel som genomväver marken. (Näsholm m. fl., 1998). Mykorrhizan kan bidra till vittringen av markmineral (Jongmans m. fl., 1997).

Upptag av växtnäring kan skilja mellan trädslag. I ett ungsogsbestånd på nedlagd åkermark i Västerbotten var upptaget av kalium hos gran och lärk större än motsvarande upptag hos tall, conorta och björk. De jämförelsevis större kronorna hos gran och lärk förklarar den uppkomna skillnaden. De större upptagen av kalium återspeglas som lägre kaliumförråd i mark och markvegetation. Granen ger en betydligt surare mark än vad exempelvis björken gör. Detta förklaras bland annat av att granen har ett grunt rotsystem som gör att växtnäringsupptaget huvudsakligen sker i humuslagret till skillnad mot förhållandet i ett björkbestånd där en stor del av växtnäringen hämtas från det övre mineraljordslagret genom ett djupare och mer förgrenat rotsystem. Syratillskottet genom växandet fördelas därvid olika i markprofilen i en granskog respektive björkskog. Detta betyder att granen vid växtnäringsupptag avger en mindre andel vätejoner i mineraljorden, där vittringen kan neutralisera dessa vätejoner (Alriksson & Eriksson, 1998).

#### *Inverkan av markfuktighet*

Markfuktigheten påverkar starkt trädens tillväxt och överlevnad. Fuktigheten är beroende av närheten till grundvatten samt jordens textur för dränerbarhet och kapillaritet. Lepp & Dickinson, (1998), visade att upptaget av ämnen i hög grad styrs av vattenflödet. Tillförsel av näringsämnen via diffusion och massflöde av näringsämnen mot rötterna minskar vid låg markfuktighet. Under torka kan rötterna krympa och därmed reducera sin kontaktyta mot marklösningen. Då minskar

Tabell 1. Summering av olika funktioner hos oorganiska näringsämnen hos växter (Raven m. fl., 1992)

Element	Tillgänglig form	Vanlig koncentration	Viktiga funktioner
<i>Makronäringsämnen</i>			
Kol	CO <sub>2</sub>	44%	huvudkomponent i organiska molekyler
Syre	H <sub>2</sub> O el O <sub>2</sub>	44%	viktig komponent i de flesta organiska molekyler
Väte	H <sub>2</sub> O	6%	viktig komponent i de flesta organiska molekyler
Kväve	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> el NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1- 4%	komponent i aminosyror, protein nukleotider, nukleinsyra, klorofyll och koenzym
Kalcium	Ca <sup>2+</sup>	0.2- 3.5%	cellväggskomponent; enzymatisk kofaktor; involverad i cellmembran permeabilitet; komponent av kalmodulin; regulator av membran och enzymaktivitet
Kalium	K <sup>+</sup>	0.5- 6%	deltar i osmos och jonbalans, öppning och stängning av stomata, aktivator i många enzym
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.05- 1%	komponent i vissa aminosyror och protein, ingår i koenzym A
Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	0.1- 0.8%	komponent i klorofyllmolekyl, aktivator av flera enzym
Fosfor	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> el HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.1- 0.8%	energibärare (ATP och ADP), koenzym, fosfolipider och nukleinsyror
<i>Mikronäringsämnen</i>			
Järn	Fe <sup>2+</sup>	25- 300 ppm	nödvändig för klorofyllsyntesen, komponent i cytokrom och nitrogenas
Klor	Cl <sup>-</sup>	100- 10000 ppm	involverad i jonbalans och osmos
Koppar	Cu <sup>2+</sup>	4- 30 ppm	aktivator och komponent i vissa enzym
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	15- 800 ppm	aktivator i vissa enzym, nödvändig för bildandet av kloroplastmembran och för syrets frigörelse i fotosyntesen
Zink	Zn <sup>2+</sup>	15- 100 ppm	aktivator och komponent i många enzym
Molybden	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.1- 5.0 ppm	nödvändig för kvävefixering och nitrat reduktion
Bor	B(OH) <sub>3</sub> el B(OH) <sup>+</sup>	5- 75 ppm	inverkar på tillvaratagandet av Ca <sup>2+</sup> , nukleinsyrasyntes och membran bildning

vatten- och näringsupptagningsförmågan. Tillväxten av rötter hos gamla skogsträd har visat sig öka när man begränsar tillförseln av näringsämnen. (Plamboeck et al., 2000). Vissa arter innehar också en hög fysiologisk plasticitet, det vill säga en förmåga att öka hastigheten i näringsupptaget i existerande rötter under perioder av hög näringstillförsel. Vidare har det visat sig att tall (*Pinus sylvestris* L) reglerar sitt vattenupptagsmönster från markhorizonten med låg vattentillgänglighet till markhorizonten med högre vattentillgänglighet, utan några mätbara förändringar i rotdistribution eller reducerad transpirationshastighet (Plamboeck et al., 2000).

Lätlösliga metaller i marken tas upp av träden genom att metallerna är lösta i markvattnet (Lepp & Dickinson, 1998). Nilsson (pers. komm.) visade att halterna av Al, Ba, och Mn i stamveden oftast är högre på friska marker jämfört med fuktiga marker, medan Ca-halten ofta är högre i stamved på fuktig mark.

#### *Aciditet och löslighet*

Biomassaproduktion på sura skogsjordar resulterar generellt i en netto protonproduktion och en försurning av marken. Trädens rötter tar upp positiva joner lösta i markvattnet och avger väte-

joner. Denna försurning är delvis neutraliserad av nedbrytningsprocesser (Staafl & Olsson, 1991). Försurningen påverkar inte djupare jordlager (B- och C- horisonter), och ökar därmed inte läckaget av aluminium och tungmetaller till grund och ytvatten (Staafl & Olsson, 1991).

Elementens rörlighet i marken styr jonernas laddning. Adsorptionsstyrkan till katjonbyteskomplex blir således följande;  $\text{Na}^+ < \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+}$  (Brady & Weil, 1999). K är därför mer rörligt i marken jämfört med Mg och Ca.

### Elementkoncentrationer i ved, bark, grenar och barr

#### Makronäringsämnen

Idag vet man ganska väl att de största näringspoolerna hos gran (*Picea abies* (L.) Karst) finns i bark, levande grenar och barr. Ämnen som N, P och K translokteras från äldre delar av till exempel stammen till de yngre vävnaderna och även från stambasen upp mot toppen (Almberg, 1999; Merrill & Cowling, 1966; Helmisaari & Siltala, 1989; Wright & Will, 1958; Finér & Seppo, 2000). En studie i Finland visade att fyraåriga barr från *P. sylvestris* L. förlorade 17 % av sin vikt, 69 % av N, 81 % av P och 80 % K innan barren ramlade av. Ämnena var translokerade till bark och ny ved i grenar där

barren tidigare satt (Kimmins, 1996).

#### Mikronäringsämnen

Koncentrationen av Zn, Cu och B är högst i levande grenar, stamved och i små finrötter medan Fe koncentrationen är högst i finrötter och i döda grenar. Stamveden har visat sig ha de lägsta koncentrationerna av näringsämnen (Finér, 1992, Wright & Will, 1958). Värt att notera är att de totala mängderna av olika ämnen kan vara störst i stamveden eftersom stamveden utgör en så stor del av trädet (Tab. 2). Halten av olika ämnen i stamveden kan bero på intensiteten i näringsupptaget, storlek och ålder på trädet. Finér (1991) visade att även om stamvedens viktandel av den totala biomassen inklusive rötter kan utgöra 50%, så utgör de enskilda mineralämnena i stamveden oftast mindre än 25% av den totala mängden av respektive ämne i biomassan. N och P i stamved utgjorde endast 7- 10% av den totala mängden av respektive ämne i biomassan. Ca och Mg i stamved utgjorde 17% och B och Mn i stamved 30%. Alriksson (1998) visade att halterna också skiljer sig mellan arter. Gran (*Picea abies* (L.) Karst) hade en dubbelt så hög koncentration av Ca i grenar som contortatall (*Pinus contorta*), lärk (*Larix sibirica*), vårtbjörk (*Betula pendula*) och tall (*Pinus sylvestris*). Ämneskoncentrationen kan även vara säsongsbunden. Helmisaari & Siltala, (1989) visade

Tabell 2. Tidigare studier av mängder hos olika element och dess fördelning i träddelar hos gran (*Picea abies* (L.) Karst) i  $\text{kg ha}^{-1}$  från Almberg (1999) (a) och Eriksson & Rosén (1994) (e) och Hallbäcken (1998) (h1- h3).

Träddel	Element							
	C	N	K	P	Ca	Mg	Zn	Mn
Barr	6410 <sup>h1</sup>	151 <sup>h1</sup>	48.9 <sup>h1</sup>	18.3 <sup>h1</sup>	68.2 <sup>h1</sup>	13.4 <sup>h1</sup>		
	3970 <sup>h2</sup>	72.0 <sup>h2</sup>	34.4 <sup>h2</sup>	13.2 <sup>h2</sup>	95.0 <sup>h2</sup>	6.21 <sup>h2</sup>		
	1500 <sup>h3</sup>	24.3 <sup>h3</sup>	10.9 <sup>h3</sup>	3.87 <sup>h3</sup>	20.8 <sup>h3</sup>	2.10 <sup>h3</sup>		
Grenar	11400 <sup>h1</sup>	283 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	34.0 <sup>a</sup>	174 <sup>a</sup>	19.6 <sup>h1</sup>		42.1 <sup>a</sup>
	1760 <sup>h2</sup>	218 <sup>h1</sup>	128 <sup>h1</sup>	33.6 <sup>h1</sup>	51.1 <sup>h1</sup>	0.69 <sup>h2</sup>		
	1040 <sup>h3</sup>	9.00 <sup>h2</sup>	2.79 <sup>h2</sup>	0.9 <sup>h2</sup>	14.9 <sup>h2</sup>	0.90 <sup>h3</sup>		
Bark		6.84 <sup>h3</sup>	2.34 <sup>h3</sup>	0.90 <sup>h3</sup>	10.8 <sup>h3</sup>			
	4990 <sup>h1</sup>	46.8 <sup>h1</sup>	25.6 <sup>h1</sup>	5.49 <sup>h1</sup>	96.6 <sup>h1</sup>	10.1 <sup>h1</sup>		
	3970 <sup>h2</sup>	33.8 <sup>h2</sup>	19.5 <sup>h2</sup>	5.7 <sup>h2</sup>	92.1 <sup>h2</sup>	6.67 <sup>h2</sup>		
Stamved	1040 <sup>h3</sup>	6.84 <sup>h3</sup>	3.38 <sup>h3</sup>	0.81 <sup>h3</sup>	20.0 <sup>h3</sup>			
	47700 <sup>h1</sup>	260 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	78.0 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>	12.0 <sup>a</sup>
	29100 <sup>h2</sup>	98.8 <sup>h1</sup>	30.3 <sup>h1</sup>	3.05 <sup>h1</sup>	195 <sup>e</sup>	23.5 <sup>e</sup>		
	5900 <sup>h3</sup>	56.3 <sup>h2</sup>	20.5 <sup>h2</sup>	3.90 <sup>h2</sup>	68.2 <sup>h1</sup>	12.3 <sup>h1</sup>		
		10.6 <sup>h3</sup>	3.12 <sup>h3</sup>	0.54 <sup>h3</sup>	50.5 <sup>h2</sup>	5.52 <sup>h2</sup>		
					8.47 <sup>h3</sup>			

h1 försök FAR 131, h2 försök HEI 113 och h3 försök KEM 113

att koncentrationen av flera ämnen i innerbarken skilde påtagligt men att halterna i stamveden är relativt konstanta året runt. Endast Al uppvisade en signifikant säsongvariation i stamveden, med

Tabell 3. Beståndsdata för Risfallet

Beståndsparameter	
Bonitet	G27
Antal stammar	920 st ha <sup>-1</sup>
Gallring utförd	1987 samt 1999
Stående volym	236 M <sup>3</sup> sk ha <sup>-1</sup>
Medelträdhöjd	18.20 m
Medelgrundyta	26.04 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
Årsmedeltemperatur	(1961- 1990): 5° C
Årsmedelnederbörd	800 mm
Vegetationsperiodens längd	210- 240 dagar
Jordart	morän resp torv
Fältskikt	Lågört på frisk mark
Temperatursumma	1163
Rikets nät X- koord	669197
Rikets nät Y- koord	152232
Lutning	1
Bärighet	3

låga halter under vintern. Liknande resultat har visats av Katainen (1986). Höga halter av växttillgängligt Mn i marken uppträder på fuktiga och blöta marker med lågt pH, upptaget kan då vara mycket högt (Nebe, 1967).

Det finns mycket få studier gjorda på ämneskoncentrationer i stamved, bark, grenar eller barr. De som finns är då företrädesvis på tall (*Pinus*

*sylvestris* L). Endast en preliminär studie är gjord som visar hur mängderna av olika element i granstamved påverkas av fuktighetsförhållandena på växtplatsen (Nilsson, pers. komm.). Resultaten visar att halterna av Al, Ba och Mn i stamved ofta är högre på friska marker jämfört med fuktiga marker. Halten av Ca är däremot ofta högre i stamved på fuktiga marker.

## Syfte

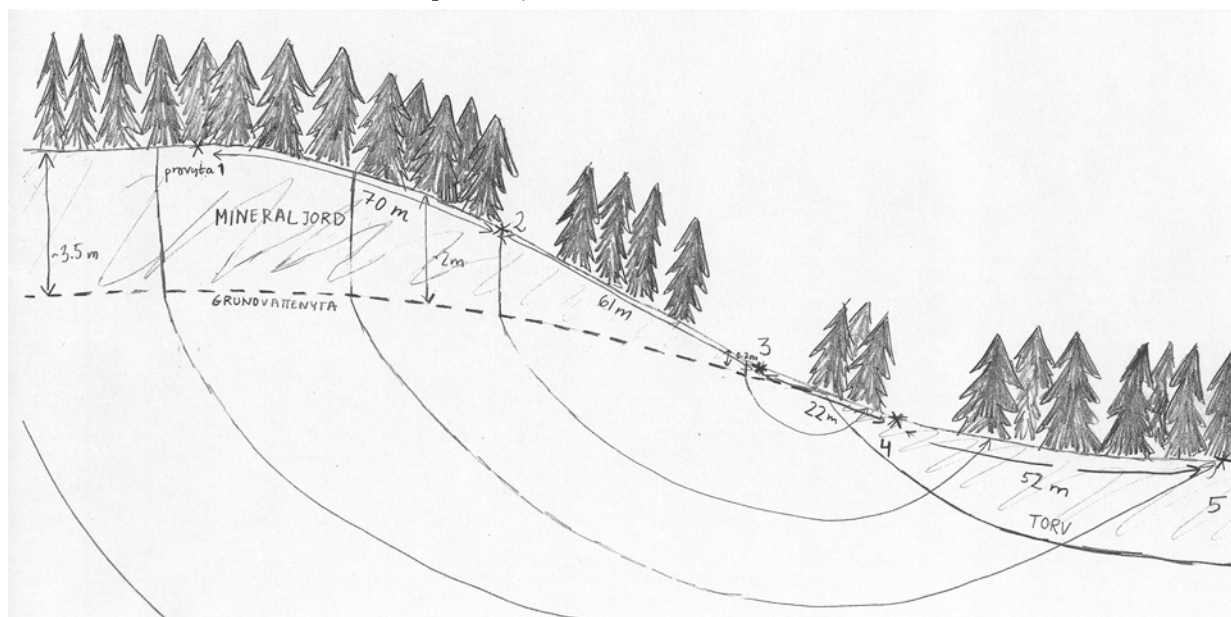
Syftet med denna studie är att undersöka hur variation i markfuktigheten påverkar koncentrationerna av olika element i ved, bark och grenar hos gran (*Picea abies* (L) Karst). Studien är en del i projektet "Den kretsloppsanpassade massafabriken" (KAM), som finansieras av Miljöstrategiska Forskningsstiftelsen (MISTRA).

## MATERIAL & METODER

### Provtagningsområde

Materialet till undersökningen insamlades vid Risfallet (60° 21' N, 16° 13' Ö). Provtagningslokalen ligger över högsta kustlinjen, omkring 220 m ö h i Hedemora kommun. Markägare är Assi Domän Forestry.

Fem provtytor fördelades längs en sluttning i NV riktning med ett 40- årigt bestånd av gran (*Picea abies* (L.) Karst), se Figur 1 och 2. Beståndsdata för Risfallet inhämtades från Gerhard Niebl, Assi Domän Forestry (Tab. 3). Området ligger på gränsen av *limes nordlandicus* (MarkInfo, 2001).



Figur 1. Provtornas läge längs fuktgradienten



Figur 2. Risfallet sett från provyta 3.

Markfuktigheten varierade från torrt högst upp på provtagningsgradienten till frisk-fuktigt längst ner. Jordarten är morän respektive torv. Området domineras av lågört på frisk mark, klassificering enligt Skogshögskolans boniteringssystem. Urvalet av provtytor syftade till att sprida ytorna längs en markfuktighetsgradient, där skogsbeståndet inte skiljer sig åt.

### Provtagning och provberedning

Provtagningen skedde under januari 2001. Avståndet mellan provtytorna var 70 m (provyta 1 och 2), 61 m (provyta 2 och 3), 22 m (provyta 3 och 4) respektive 52 m (provyta 4 och 5). Från varje provyta valdes tre provträd av gran som godtyckligt togs ut som normalträd. Från varje träd togs ett grenprov och fem stycken stammtrissor vid 10, 30, 50, 70 och 90 % höjd (Fig. 3). Enligt Commerford & Leaf (1982) räcker fem provhöjder för att få ett tillräckligt material att uppskatta näringsinnehållet i en stam med 90% konfidens.

Den gröna delen av kronan delades in i tre delar och en gren från varje del bildade tillsammans ett grenprov. Totalt insamlades 15 stamprover och 3 grenprov per provyta. Trädens diameter, stubbytän och trädlängden mättes. Även grön krongräns bestämdes. Från varje provyta mättes höjden på

fem slumpmässigt utvalda träd och grundytan mättes.

Proverna skickades till SLUs försökspark i Jädraås för torkning och malning. Proverna med grenar och barr klipptes och torkades i 85°C i torkskåp i två dygn. Stammvedstrissorna torkades i torkskåp i sju dygn. Efter torkning separerades barken från stamvedstrissorna och barren från grenarna, för att sedan malas i en bänkkvarn av modell Wiley (B. Andersson, pers. komm.) Proverna från de olika höjderna i trädet poolades för stamved och bark där varje trissas delmängd av det poolade provet viktades på grundval av dess ytareal (stamved) eller omkrets (bark).

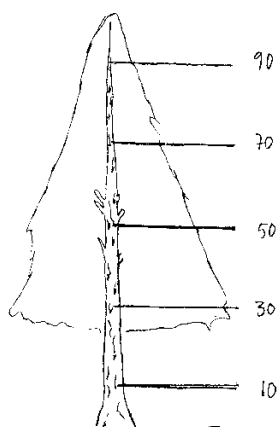
### Kemisk analys

#### *C och N analys*

$1 \pm 0.005$  g av proverna vägdes in på en analytisk våg, Mettler AE 163, och placerades i tennkapslar i väntan på analys. Totalhalterna av C och N bestämdes efter torrförbränning av proverna vid 1250°C i en Leco CNS-1000 totalanalytator.

#### *Övriga element*

Övriga analyser utfördes med hjälp av ICP-MS (plasma-masspektrometri). Proverna förbereddes genom HNO<sub>3</sub>-uppslutning, ca. 0.5 g provmaterial



Figur 3. Trissornas fördelning i trädet.

vägdes in med en noggrannhet på  $\pm 0.005$  g och överfördes till syradiskade uppslutningsrör. Därefter tillsattes 10 ml koncentrerad  $\text{HNO}_3$  och proverna fick stå över natten. Proverna uppslöts därefter i ett aluminiumblock genom att värmas stegvis med en sluttemperatur på  $135^\circ\text{C}$  under fyra timmar. Kvarvarande lösning späddes till 100 ml med Milli-Q vatten. Lösningen filtrerades och överfördes till syradiskade plastflaskor i väntan på analys. Före analys späddes proverna 1:10 och överfördes till plaströr. Provprepareringen utfördes enligt Rodushkin m.fl. (1998).

#### Biomassa uppskattningar

Biomassa uppskattningar gjordes för beräkning av elementhalter i olika träddelar per hektar med hjälp av biomassafunktioner (Marklund, 1988). För beräkning av stamved användes funktion nr G5, för bark funktion nr G9, för levande grenar funktion nr G11 minus nr G15 samt för barr nr G17.

## RESULTAT

### Elementkoncentrationer i träddelar längs fuktighetsgradienten

Ämneskoncentrationerna av Na, Si, Cu, Zr, Zn, Mn, N och Ti verkade vara opåverkade av fuktighetsgradienten i samtliga träddelar.

#### Stamved

Koncentrationerna i stamved var signifikant lägre än i övriga träddelar för de flesta element, exempelvis Cu, N, Fe, P, Zn och K längs hela fuktighetsgradienten. Några undantag finns, däribland Cd där koncentrationerna i ved, är i samma storleksordning som koncentrationerna i barr (Fig. 4). Detsamma gäller koncentrationerna av B för

några provtytor (Fig. 4). Halterna av Ba, Ni, Pb, K och Sr i stamved var signifikant högre på torrare provtytor än på fuktiga (Tab. A. 1). Fe, Ca, C och Cr tenderade till att vara högre längre ner i slutningen utan att skillnaderna var signifikanta. Ba tenderade till att minska längre ner i slutningen.

#### Barr

Koncentrationerna i barr var signifikant högre för N och P än i de övriga träddelarna. Halterna av Al och K i barr var signifikant högre på provtytor med mineraljord än på torvmark vid jämförelse mellan provtytor där provträden beräknades som ett medelträd ( $n=3$ ).

Koncentrationen av B tenderade till att stiga längre ner i slutningen. Koncentrationen av Ni, P, Fe, Co, Cr och V tenderade till att minska längre ner i slutningen (Tab A. 2.).

#### Bark

Koncentrationerna i bark var för flera element de högsta av de olika träddelarna (Cd, B och Zn) (Fig. 4 & 5). Ba och Al var signifikant högre på provtytor i den torrare delen av slutningen medan koncentrationen av Mo var signifikant högre på den blötare delen av slutningen ( $n=3$ ). Koncentrationerna av K sjönk utmed gradienten med undantaget att den mittersta provtytan hade högst koncentrationer. Samma tendens visade fosforhalterna men tendensen var svagare än för K. Zn tenderade till att stiga längre ner i slutningen (Tab. A. 3).

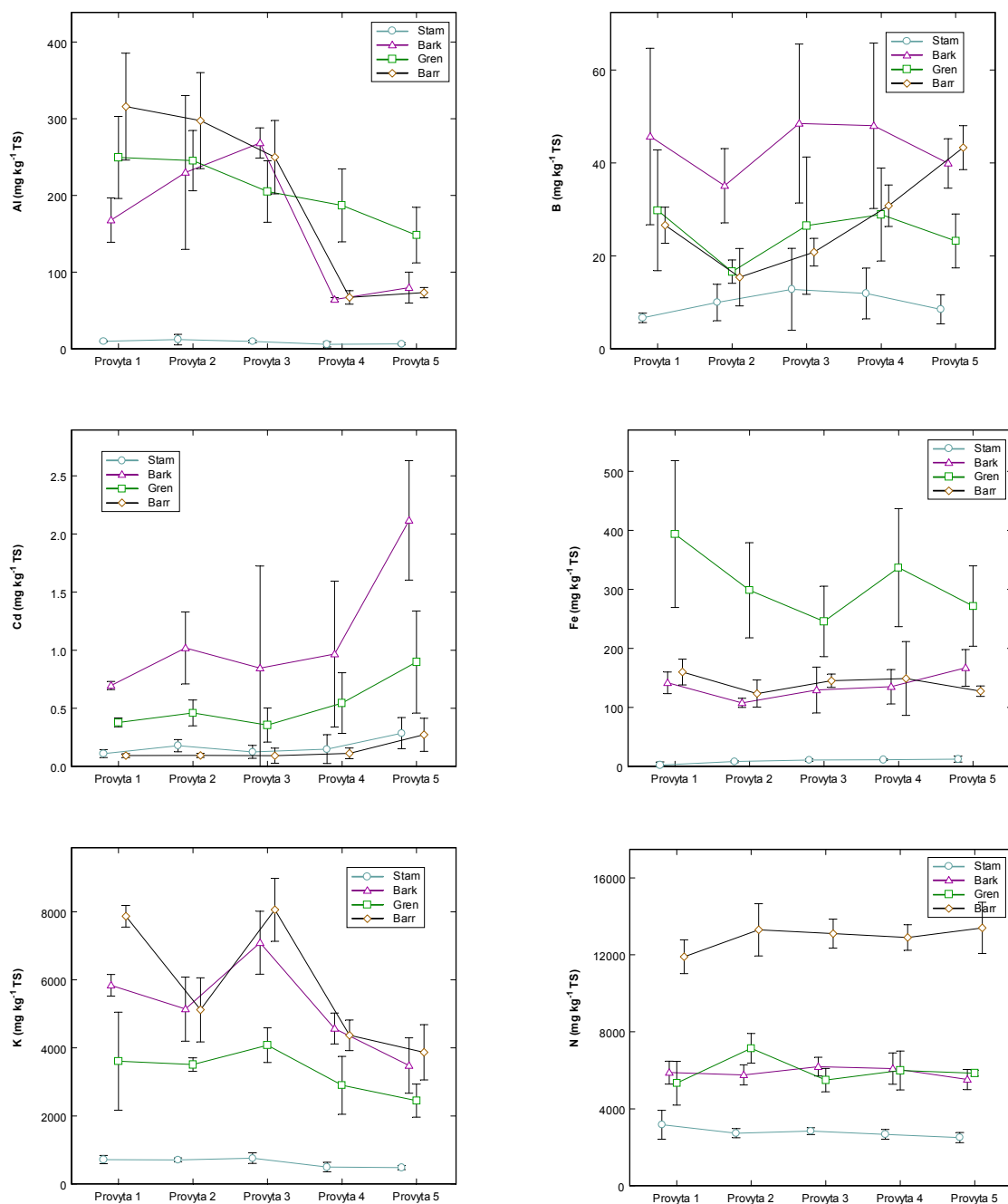
#### Grenar

Koncentrationerna i grenar var för Pb och Fe signifikant högre än de övriga träddelarna längs hela fuktighetsgradienten (Fig. 4 & 5). Koncentrationen av Zn tenderade till att stiga längre ner i slutningen. Al och Ba tenderade till att minska längre ner i slutningen (Tab. A. 4).

#### Området kring in och utströmningsområde

Hos K (Fig. 4) tenderade alla träddelar till att ha den högsta koncentrationen straxt över gränsen mellan in och utströmningsområde.

Mg och Zn (Fig. 5) tenderade till att ha de högsta koncentrationerna i alla träddelar straxt under gränsen mellan in och utströmningsområde. Koncentrationerna av Al (Fig. 4) och P (Fig. 5) tenderade till att minska längre ner i slutningen. Cd (Fig. 4) koncentrationerna tenderade till att stiga längre ner i slutningen. Pb (Fig. 5) och Fe (Fig. 4) tenderade till att minska längre ner i slutningen med en ökning straxt under gränsen mellan in och utströmningsområde.



Figur 4. Koncentrationen av Al, B, Cd, Fe, K och N i olika träddeklar längs fuktighetsgradienten. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall ( $n=3$ ).

B (Fig. 4) tenderade till att ha de högsta koncentrationerna vid gränsen mellan in och utströmningsområdet.

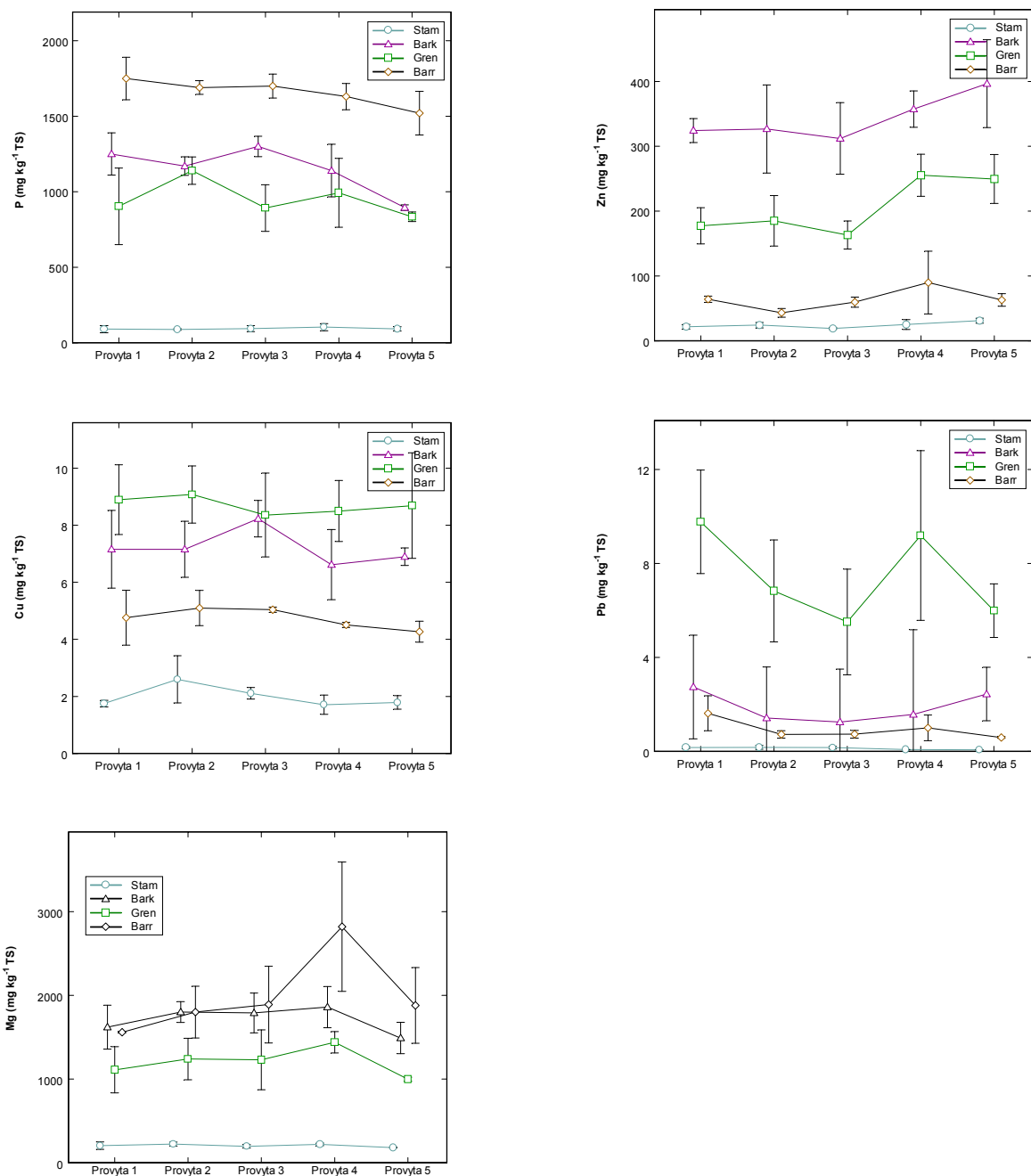
### Jämförelse mellan provytor på mineraljord och torvmark

Eftersom flera element visade skillnader mellan de översta 3 provytorna som ligger på mineraljord och de 2 nedersta där det finns ett torvlager gjordes en statistisk analys där koncentrationerna på de två torvytorna ( $n=6$ ) jämfördes med

koncentrationerna från de tre ytor som låg på mineraljord ( $n=9$ ).

### Bark

I bark var det bara Al och K som visade signifikant högre koncentrationer på marker med mineraljord och Mo som visade signifikant lägre koncentrationer (Tab. 4).



Figur 5. Koncentrationen av Mg, N, P, Pb och Cu i olika trädeldar längs fuktighetsgradienten. Felstaplar anger 98 % konfidensintervall ( $n = 3$ )

#### Barr

I barr var ämnena Al, K, P och Cd signifikant högre på mineraljord. Koncentrationerna av Cd och B var signifikant högre på torvmark (Tab. 5). Medelvärdet för Al, K, P och Cu i barr var i nämnd ordning 304%, 70%, 9% och 13% högre på mineraljord än på torvmark. Medelvärdet för Cd och B i barr var 106% respektive 77% högre på torvmark jämfört med ytor på mineraljord.

#### Grenar

I grenar var Cd och Zn signifikant högre på torvmark medan Al och K var signifikant högre på marker med mineraljord (Tab. 6).

#### Stamved

Vid jämförelse mellan träden som växer på mineraljord respektive torv visade sig ämnena Al, K och Pb vara signifikant högre på marker med



Tabell 4. Jämförelse av elementinnehåll i bark från provytor stående på mineraljord och torvmark. Medelvärdet är beräknat på antal träd per marktyp, för mineraljord (n= 9) och för torv (n= 6). KI anger 95% konfidensintervall. Medelvärden markerade är signifikant skilda åt (p<0.05). Alla koncentrationerna är angivna i mg kg TS<sup>-1</sup> utom C som är angett i g kg TS<sup>-1</sup>

Element	Mineraljord		Torv	
	Medel±	KI	Medel±	KI
Al*	222±	42.0	72.0±	11.4
B	43.1±	8.70	43.9±	9.03
C	499±	3.95	499±	2.90
Ca	15700±	2990	17000±	1000
Cd	0.853±	0.284	1.54±	0.621
Cr	1.94±	0.343	1.75±	0.106
Cu	7.51±	0.625	6.76±	0.581
Fe	126±	15.9	151±	23.7
K*	6020±	767	4030±	679
Mg	1740±	123	1670±	215
Mn	1860±	472	1720±	585
Mo*	0.113±	0.0345	0.263±	0.0924
N	5940±	296	5800±	497
Na	82.1±	24.0	67.4±	20.6
P	1240±	60.3	1020±	132
Pb	1.80±	0.521	2.00±	0.639
Si	168±	18.3	148±	10.4
Zn	321±	26.2	377±	37.0

\*signifikans

mineraljord. Medelvärdet för Al, K och Pb på ytorna med mineraljord var i nämnd ordning; 69%, 49%, 131% högre än ytor på torvmark (Tab. 7).

#### Jämförelse av totalmängder i olika trädskikt

Mängderna per hektar är beräknade utifrån beståndet som uppskattats på provytorna. Provytorna får därmed olika mängd biomassa och resultaten visar således inte en effekt av markfuktighetsgradienten. Värdena är framräknade med hjälp av Marklunds biomassafunktioner (Marklund, 1988). Den totala mängden (kg ha<sup>-1</sup>) av C, N och Si var högst i stamved. Exempelvis var totala mängden N per hektar 328 kg i stamved jämfört med 179 kg i barr, 54.7 kg i bark och 207 kg i grenar. Resterande ämnen av intresse för denna studie (P, K, Ca, Mg, B, Na, Zn, Cu, Mo, Fe, Mn, Cr, Pb, Al och Cd) hade de högsta totala mängderna i grenarna (Tab.8- 11)

På grund av få antal provträd ger resultatet ett stort konfidensintervall och därmed få signifikanta skillnader. Det förekommer en stor variation längs gradienten.

Tabell 5. Jämförelse av elementinnehåll i barr från provytor stående på mineraljord och torvmark. Medelvärdet är beräknat på antal träd per marktyp, för mineraljord (n= 9) och för torv (n= 6). KI anger 95% konfidensintervall. Medelvärden markerade är signifikant skilda åt (p<0.05). Alla koncentrationerna är angivna i mg kg TS<sup>-1</sup> utom C som är angett i g kg TS<sup>-1</sup>

Element	Mineraljord		Torv	
	Medel±	KI	Medel±	KI
Al*	288±	35.9	71.3±	5.24
B*	20.9±	3.89	37.0±	6.19
C	510±	2.71	511±	4.14
Ca	12100±	2090	16200±	5110
Cd*	0.0930±	0.0200	0.192±	0.0969
Cr	2.47±	0.341	1.95±	0.195
Cu*	4.97±	0.348	4.39±	0.199
Fe	143±	14.2	138±	29.8
K*	7020±	1010	4120±	470
Mg	1750±	186	2350±	575
Mn	3010±	739	3130±	1110
Mo*	0.252±	0.0716	0.176±	0.0275
N	12700±	670	13100±	706
Na	116±	13.5	141±	41.4
P*	1710±	51.9	1570±	89.9
Pb	1.02±	0.369	0.797±	0.305
Si	152±	11.3	150±	5.76
Zn	55.7±	7.05	76.4±	25.0

\*signifikans

## DISKUSSION

Vid infiltration passerar nederbörden först markens översta skikt, som består av mer eller mindre nedbrutet organiskt material. Detta humusskikt innehåller stora mängder utbytbara väte- och metalljoner som kan bytas ut mot joner i nederbördsvattnet. Genom vittring tillförs markvattnet ytterligare metalljoner. Växterna tar genom sina rötter upp näringsämnen och vatten och avger vid andningen koldioxid till rotzonen. Koldioxid bildas också vid nedbrytningen av organiskt material i marken. När koldioxiden löses i markvattnet bildas kolsyra. Denna bidrar till fortsatt vittring och markvattnets halt av många joner ökar därför successivt under markvattnets transport genom markprofilen (Grip & Rodhe, 1994).

Kväve (N) tillförs avrinningsområdet främst som ammoniumjoner (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) eller nitratjoner (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) lösta i nederbörden. Genom biologisk kvävefixering kan dessutom vissa mikroorganismer i avrinningsområdet tillgodogöra sig N direkt ur luften. De positiva jonerna kalcium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), natrium (Na<sup>+</sup>) och kalium (K<sup>+</sup>) tillförs avrinningsområdet löst i nederbörden

Tabell 6. Jämförelse av elementinnehåll i grenar från provtytor stående på mineraljord och torvmark. Medelvärden är beräknat på antal träd per marktyp, för mineraljord (n= 9) och för torv (n= 6). KI anger 95% konfidensintervall. Medelvärden markerade är signifikant skilda åt (p<0.05). Alla koncentrationerna är angivna i mg kg TS<sup>-1</sup> utom C som är angett i g kg TS<sup>-1</sup>

Element	Mineraljord		Torv	
	Medel±	KI	Medel±	KI
Al*	233±	26.4	168±	31.7
B	24.3±	6.93	26.1±	5.74
C	510±	3.13	511±	2.88
Ca	7510±	1030	9540±	1410
Cd*	0.398±	0.0625	0.721±	0.276
Cr	2.82±	0.297	2.85±	0.449
Cu	8.78±	0.658	8.59±	0.958
Fe	313±	62.7	304±	61.2
K*	3730±	476	2670±	481
Mg	1190±	154	1220±	203.6
Mn	1270±	309	1200±	244
Mo	0.501±	0.109	0.651±	0.187
N	5990±	713	5920±	461
Na	100±	16.9	103±	16.3
P	980±	120	914±	124
Pb	7.37±	1.65	7.59±	2.20
Si	194±	7.90	195±	7.60
Zn*	175±	16.4	252±	22.3

\*signifikans

(våtdeposition). Förutom våtdeposition och vitt-ring mineraliserar avsevärda mängder näringsämnen vid nedbrytningen av döda växtdelar som fallit till marken. Dessa har tidigare tagits upp från rotzonen (Grip & Rodhe, 1994).

Med hänsyn till vattnets anrikning av näringsämnen genom marken ned mot ett avrinningsområde är halterna högre i nedre delen av sluttningen än i början. Det gäller särskilt i det område där utströmning av grundvatten sker under någon gång under året. Träden kan ta upp mer näringsämnen vid än de behöver, så kallad lyxkonsumtion, då tillgången är hög. En följd av detta skulle kunna vara högre halter av vissa näringsämnen i de olika träddelarna längre ner längs fuktighetsgradienten. Ämnena skulle vara fördelade olika beroende på var i trädet de olika elementen har sin huvudsakliga funktion (Kimmins, 1996).

Längst ner i sluttningen har vi torvmark. Vattenledningsförmågan i torv varierar starkt beroende på torvens humifieringsgrad men gemensamt för alla torvmarker är att marken är vattenmättad och det sker ingen grundvattengenomströmning (Simonsson, 1989). Detta skulle kunna förklara varför träden inte har tagit upp mer näringsämnen på torvmarken trots att de befinner sig längst ner

Tabell 7. Jämförelse av elementinnehåll i stamved från provtytor stående på mineraljord och torvmark. Medelvärden är beräknat på antal träd per marktyp, för mineraljord (n= 9) och för torv (n= 6). KI anger 95% konfidensintervall. Medelvärden markerade är signifikant skilda åt (p<0.05). Alla koncentrationerna är angivna i mg kg TS<sup>-1</sup> utom C som är angett i g kg TS<sup>-1</sup>

Element	Mineraljord		Torv	
	Medel±	KI	Medel±	KI
Al*	10.5*±	2.22*	6.21±	1.66
B	9.81±	3.30	10.2±	3.19
C	486±	2.83	479±	1.54
Ca	1240±	92.1	1320±	89.7
Cd	0.138±	0.0316	0.217±	0.102
Cr	0.42±	0.0789	0.449±	0.0706
Cu	2.16±	0.347	1.75±	0.188
Fe	6.98±	3.06	11.8±	2.40
K*	728*±	60.8*	489±	69.1
Mg	208±	17.7	200±	18.5
Mn	274±	60.3	237±	78.3
Mo	0.0334±	0.00543	0.0304±	0.00606
N	2910±	266	2590±	177
Na	87.5±	66.7	55.9±	42.1
P	91.4±	9.34	98.3±	13.3
Pb*	0.165±	0.0313	0.0713±	0.00565
Si	110±	11.1	125±	25.1
Zn	21.6±	2.23	28.1±	4.59

\*signifikans

vid en sluttning. Det näringsrika vattnet har troligen inte kommit träden tillgodo. Några ämnen tenderar till att ha de högsta koncentrationerna vid gränsen mellan in och utströmningsområdet (provtyta 3 och 4), vilket stöder teorin om att koncentrationen av näringsämnen i markvattnet är högre längst ner i sluttningen.

B koncentrationen i barr, Fe, Ca och Cr i stamved samt Zn i grenar och bark tenderade till att stiga längre ner i sluttningen. Detta kan således bero på att koncentrationen av olika näringsämnen i markvattnet är högre längre ner i sluttningen. Koncentrationen av Ni, P, Fe, Co, Cr och V i barr, Al och Ba i grenar samt Ba i stamved och grenar tenderade till att minska längre ner i sluttningen

I likhet med tidigare studier visar denna studie att Al har en signifikant högre koncentration i stamved på mineraljord jämfört med torvmark. Ca hade en avsevärt högre koncentration på fuktig mark vilket också har observerats tidigare (Nilsson, pers. komm.). Koncentrationen av Mn var också högre på fuktig mark. Intressant är att C, N och Si var de enda element som hade den högsta totalmängden per träddel i stamveden jämfört med resterande undersökta element som hade de

Tabell 8. Totala mängden av olika element i kg hektar<sup>-1</sup> för *stamved* fördelat på provvyterna. Fetstil indikerar de högsta totalmängderna jämfört med de olika träddelarna.

	Element	Provyta				
		1	2	3	4	5
<b>Makronäringsämnen</b>	C	50400	56400	60900	44200	85100
	N	328	321	360	246	444
	P	9.38	10.4	12.0	9.61	16.4
	K	74.1	83.6	96.5	46.0	85.1
	Ca	139	130	163	120	238
	Mg	21.1	26.4	24.9	20.3	32.0
<b>Mikronäringsämnen</b>	B	0.690	1.17	1.63	1.10	1.50
	Na	3.04	20.0	8.09	3.66	12.8
	Zn	2.25	2.86	2.41	2.31	5.50
	Cu	0.181	0.307	0.268	0.158	0.32
	Mo	0.00405	0.00425	0.00319	0.00226	0.00644
	Fe	0.212	0.966	1.36	1.04	2.18
	Mn	27.7	43.6	23.5	14.0	57.2
<b>Övriga ämnen</b>	Si	10.7	13.0	14.9	9.31	26.3
	Cr	0.0328	0.0496	0.0664	0.0439	0.0750
	Pb	0.0170	0.0203	0.0202	0.00691	0.0120
	Al	1.02	1.419	1.21	0.543	1.157
	Cd	0.0114	0.0210	0.0159	0.0137	0.0507

Tabell 9. Totala mängden av olika element i kg hektar<sup>-1</sup> för *barr* fördelat på provvyterna.

	Element	Provyta				
		1	2	3	4	5
<b>Makronäringsämnen</b>	C	7670	5920	8710	8540	19000
	N	179	154	224	214	501
	P	26.3	19.5	29.1	27.1	56.8
	K	118	59.3	138	72.7	145
	Ca	178	111	255	314	503
	Mg	23.5	20.8	32.3	46.9	70.2
<b>Mikronäringsämnen</b>	B	0.400	0.179	0.356	0.513	1.62
	Na	1.77	1.42	1.83	2.32	5.32
	Zn	0.966	0.500	1.02	1.49	2.36
	Cu	0.0716	0.0591	0.0864	0.0750	0.160
	Mo	0.00434	0.00216	0.00479	0.00280	0.00685
	Fe	2.41	1.43	2.49	2.48	4.769
	Mn	44.9	47.0	34.1	34.5	157
<b>Övriga ämnen</b>	Si	2.47	1.60	2.63	2.53	5.53
	Cr	0.0458	0.0248	0.0381	0.0346	0.0678
	Pb	0.0244	0.00831	0.0125	0.0167	0.0221
	Al	4.76	3.44	4.28	1.15	2.74
	Cd	0.00140	0.00109	0.00158	0.00186	0.0101

högsta totalmängderna i grenarna. Detta är något förvånansvärt eftersom grenarna utgör en relativt liten del (ungefär en tredjedel) i massa jämfört med stamved. Ämneskoncentrationerna av Na, Si, Cu, Mo, Zr, Zn, Mn, N och Ti verkade vara opåverkade av fuktighetsgradienten men visar en stor

variation. Detta gäller för samtliga träddelar. I denna studie finns inget som tyder på att markfuktigheten skulle påverka upptaget av dessa element.

Tabell 10. Totala mängden av olika element i kg hektar<sup>-1</sup> för bark fördelat på provvytorna.

	Element	Provyta				
		1	2	3	4	5
<b>Makronäringsämnen</b>	C	4650	5360	5680	4418	8790
	N	54.7	62.3	70.0	54.1	96.9
	P	11.7	12.7	14.7	10.1	15.7
	K	54.3	55.6	80.2	40.7	61.1
	Ca	133	156	208	145	309
	Mg	15.0	19.5	20.2	16.6	26.1
<b>Mikronäringsämnen</b>	B	0.425	0.380	0.549	0.427	0.701
	Na	0.950	0.617	0.984	0.419	1.54
	Zn	3.02	3.53	3.53	3.18	6.96
	Cu	0.0666	0.0775	0.0931	0.0589	0.121
	Mo	0.00163	0.00099	0.00082	0.00157	0.00611
	Fe	1.32	1.16	1.47	1.20	2.93
	Mn	16.1	29.1	13.2	10.0	40.6
<b>Övriga ämnen</b>	Si	1.53	1.72	2.05	1.31	2.61
	Cr	0.0206	0.0158	0.0244	0.0149	0.0319
	Pb	0.0255	0.0154	0.0142	0.0139	0.0428
	Al	1.56	2.49	3.04	0.571	1.40
	Cd	0.00647	0.0110	0.00956	0.00860	0.037

Tabell 11. Totala mängden av olika element i kg hektar<sup>-1</sup> för grenar fördelat på provvytorna. Fetstil indikerar de högsta totalmängderna jämfört med de olika träddelarna.

	Element	Provyta				
		1	2	3	4	5
<b>Makronäringsämnen</b>	C	19900	17200	21200	22200	54300
	N	207	243	228	261	622
	P	<b>35.1</b>	<b>39.0</b>	<b>37.0</b>	<b>43.2</b>	<b>88.6</b>
	K	140	120	169	127	260
	Ca	<b>256</b>	<b>241</b>	<b>367</b>	<b>446</b>	<b>937</b>
	Mg	<b>43.1</b>	<b>42.1</b>	<b>50.9</b>	<b>62.8</b>	106
<b>Mikronäringsämnen</b>	B	1.16	0.567	1.10	1.26	2.47
	Na	4.88	2.67	4.03	4.23	11.6
	Zn	6.89	6.31	6.76	11.1	26.5
	Cu	0.345	0.310	0.346	0.370	0.922
	Mo	0.0247	0.0166	0.0157	0.0310	0.0621
	Fe	15.29	10.2	10.2	14.6	28.9
	Mn	47.1	60.2	34.1	40.7	150
<b>Övriga ämnen</b>	Si	7.71	6.56	7.88	8.69	20.1
	Cr	0.121	0.0943	0.107	0.127	0.296
	Pb	0.379	0.233	0.228	0.400	0.636
	Al	9.69	8.36	8.50	8.13	15.8
	Cd	0.0147	0.0157	0.0148	0.0237	0.0954

Det finns inga tidigare studier av elementkoncentrationer hos gran längs en markfuktighetsgradient. Endast ett fåtal studier är gjorda på detta område och då på tall. Vid jämförelse av olika koncentrationer i stamved hos gran stämmer resultaten väl överens med tidigare studier exempelvis Almberg Å, 1999 med ett par undantag. Kon-

centrationerna av Si, Cr och Ti var en tiopotens högre och V en tiopotens lägre i min studie.

## TACK

Stort tack till Erik Karlton, Caroline Rothpfeffer, Jan Edelsjö, Fredrik Munter, Kjell Larsson, Ann-Christine Jansson m.fl. på institutionen för skoglig marklära, SLU och Gerhard Niebl, produktionschef, Assi Domän Forestry för tillstånd för avverkning av provträd i Risfallet.

## REFERENSER

- Angelstam, P. & Minell, H. 1997. Vegetationens förutsättningar och fördelning. *Marken i skogslandskapet*. 1:a upplagan. Skogsstyrelsen. Jönköping, Sverige. 204 sid.
- Athley, K., Ulmgren, P. & Öhman, L.-O. 2000. *Oorganiska störsubstanser i hårt slutna massabruk*. Slutrapport KAM1, KAM-rapport nr A31. 225 sid.
- Almberg, Å. 1999. *Elementhalter i gran- och tallved, variation med boniteten och längs trädstammen*. SLU, Institutionen för skoglig marklära, Rapport 81.
- Alriksson, A. 1998. Afforestation of Farmland Soil changes and the uptake of heavy metals and nutrients by trees. I: *SLU, Silvestria* 57.
- Alriksson, A. & Eriksson, H. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden. I: *SLU, Silvestria* 57.
- Bishop, K. & Dambrine, E. 1995. Localization of tree water uptake in Scots pine and Norway spruce with hydrological tracers. *Canadian Journal of Forest Research* 25, 286-297.
- Brady, N. & Weil, R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. Twelfth edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 881 sid.
- Börjesson, P. 1999. Miljöekonomisk värdering av skogsbränsleuttag med näringskompensation. *Vattenfall AB Rapport* 1.
- Comerford, N B. & Leaf, A L. 1982. Sampling the Crown for Total Nutrient Content. An Evaluation of Techniques for Sampling Forest Tree Nutrient Content. Part 1. *Forest Science*. 28, 471-480.
- Comerford, N B. & Leaf, A L. 1982. Sampling for Stem Nutrient Content. An Evaluation of Techniques for Sampling Forest Tree Nutrient Content. Part 2. *Forest Science*. 28, 481-487.
- Eriksson, H. & Rosén, K. 1994. Nutrient distribution in a Swedish tree species experiment. *Plant and Soil* 164, 51-59.
- Finér, L. & Kaunisto, S. 2000. Variation in Stemwood Nutrient Concentrations in Scots Pine Growing on Peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15, 424-432.
- Finér, L. 1992. Nutrient Concentrations in *Pinus sylvestris* Growing on an Ombrotrophic Pine Bog, and the Effects of PK and NPK Fertilization. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7, 205-218.
- Hallbäck, L. Appendix 5. Nutrition and growth of Norway spruce forest in a Nordic climatic and deposition gradient. Nordic council of Ministers.. *TemaNord* 1998: 566.
- Helmisaari, H. S. 1990. Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2, 177-193.
- Helmisaari, H. S. 1992. Long term forest fertilization experiments in Finland and Sweden- their use for vitality and nutrient balance studies. *Naturvårdsverkets rapport* 4099.
- Helmisaari, H. and Siltala, T. 1989. Variation in Nutrient Concentrations of *Pinus sylvestris* Stems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4, 443-451.
- Jongmans, A.G., van Breemen, N., Lundström, U., van Hees, P.A.W., Finlay, R.D., Sirinivasan, M., Unestam, T., Giesler, R., Melkerud, P.A. & Olsson, M., 1997. Rock-eating fungi. *Nature* 389, 682-683.
- Katainen, H. S. 1986. Nutrient retranslocation within foliage of Scots pine. *Mimeographed*. Department of Silviculture, University of Helsinki.
- Kimmins, J. P. 1996. The biochemical cycle within plants. *Forest ecology; a foundation for sustainable management*. 2: a upplagan. Upper Saddle River. New Jersey. USA. 596 sid.
- Lepp, N. & Dickinson, N. 1998. Biological Interactions: the role of woody plants in phytoremediation. I: *Metal-Contaminated Soils* 67-73. Red: Vangronsveld J and Cunningham S D.
- Lim, M. T. & Cousens, J. E. 1986. The Internal Transfer of Nutrients in a Scots Pine Stand. 1 Biomass Components, Current Growth and their Nutrient Content. *Forestry* 59, 1-16..
- Näsholm, T., Ekblad, A., Nordin, A., Giesler, R., Höglberg, M. & Höglberg, P. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature* 392, 914-916.
- Marklund, L. G. 1988. Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige. *SLU, Institutionen för skogstaxering, Rapport* 45.
- Nebe, W. 1967. Zur Manganernährung der Fichte. *Archives für Forstwesen* 16, 109-118
- Plamboeck, A. H., Grip, H. & Nygren, U. 1999. A hydrological tracer study of water uptake depth in a Scots pine forest under two different water regimes. *Oecologia* 119, 452-460.
- Plamboeck, A. H., Grip, H. & Nygren, U. 2000. Uptake of cations under two different water regimes in a boreal Scots pine forest. *Science of the Total Environment* 256, 175-183.

Raven, P. H. 1992.. Plant nutrition and soil, *Biology of Plants*. 6: e upplagan. W. H. Freeman. cop. New York. USA. 944 sid.

Raven, P. H. et al. 1992. Secondary Growth in Stems. *Biology of Plants*. 6: e upplagan. W. H. Freeman. cop. New York. USA. 944 sid.

Rodushkin, I., Ruth, T. & Huhtasaari, Å. 1999. Comparison of two digestion methods for elemental determinations in plant material by ICP techniques. *Analytica Chimica Acta* 378, 191- 200.

Simonsson, P. 1989. Den våta marken. Skogs- och myrdikningens miljökonsekvenser. *SNV rapport* 3270.

Staaf, H. & Olsson, B. 1991. Acidity in Four Coniferous Forest Soils after Different Harvesting Regimes of Logging Slash. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 6: 19- 29.

Wright, T .W. & Will, G. M. 1958. The nutrient content of Scots and Corsican pines growing on sand dunes. *Forestry* 31, 13- 25.

### Muntlig kommunikation och stenciler

Andersson Bertil, Jädraås försökspark, SLU, Jädraås

Niebl Gerhard, Assi Domän Forestry

Nilsson Torbjörn. Inverkan av ståndortsfaktorer och läge i stam på innehållet av olika grundämnen i stamved hos gran och tall. En sammanställning.

Nilsson Torbjörn. PFG i trädbiomassa, Markfuktighetens inverkan. Kretsloppsanpassad massafabrik.

**Information via nätet**  
[http://www. MarkInfo.se//](http://www.MarkInfo.se//)

Naturvårdsvarket. 2001. Naturvårdsverkets information om klimat. Naturvårdsverket. Stockholm

## APPENDIX

Tabell A.1. Data från Risfallet, ämneskoncentrationer i stamved mg/Kg TS per provyta förutom C som är angivet i g/Kg TS

	Stam				
	Provyta 1	Provyta 2	Provyta 3	Provyta 4	Provyta 5
Al	9.89 ± 0.760	12.0 ± 6.95	9.50 ± 1.79	5.88 ± 3.36	6.53 ± 1.42
B	6.66 ± 1.01	9.97 ± 3.93	12.8 ± 8.83	11.9 ± 5.46	8.49 ± 3.14
Ba	14.8 ± 2.51	16.4 ± 5.84	13.2 ± 3.51	7.01 ± 2.27	7.61 ± 2.18
C	487 ± 3.27	478 ± 0.346	479 ± 1.36	478 ± 2.15	480 ± 1.83
Ca	1340 ± 74.9	1100 ± 137	1280 ± 131	1300 ± 182	1340 ± 73.8
Cd	0.110 ± 0.0341	0.178 ± 0.0524	0.125 ± 0.0555	0.148 ± 0.124	0.286 ± 0.134
Co	0.0423 ± 0.0101	0.0458 ± 0.0177	0.0502 ± 0.00702	0.0343 ± 0.0242	0.0273 ± 0.00713
Cr	0.317 ± 0.0690	0.421 ± 0.113	0.522 ± 0.128	0.475 ± 0.143	0.423 ± 0.0446
Cu	1.75 ± 0.115	2.60 ± 0.829	2.11 ± 0.201	1.71 ± 0.336	1.79 ± 0.238
Fe	2.05 ± 5.32	8.20 ± 1.84	10.7 ± 2.11	11.3 ± 1.59	12.3 ± 5.01
K	716 ± 120	709 ± 58.2	759 ± 154	498 ± 142	480 ± 59.4
Mg	204 ± 44.3	224 ± 23.5	196 ± 20.4	220 ± 15.0	181 ± 5.86
Mn	267 ± 49.5	370 ± 49.0	185 ± 74.2	151 ± 29.6	323 ± 37.8
Mo	0.0391 ± 0.0113	0.0361 ± 0.00359	0.0251 ± 0.00242	0.0244 ± 0.00478	0.0364 ± 0.00491
N	3170 ± 750	2730 ± 238	2840 ± 176	2670 ± 250	2500 ± 264
Na	29.3 ± 7.85	170 ± 181	63.7 ± 5.83	39.6 ± 7.16	72.1 ± 88.2
Ni	0.382 ± 0.115	0.697 ± 0.446	0.459 ± 0.0732	0.258 ± 0.0371	0.259 ± 0.125
P	90.6 ± 24.0	88.7 ± 5.67	94.8 ± 20.0	104 ± 23.7	92.6 ± 14.0
Pb	0.165 ± 0.0442	0.172 ± 0.0826	0.159 ± 0.0532	0.0747 ± 0.00742	0.0679 ± 0.00767
Si	103 ± 10.3	111 ± 25.4	117 ± 22.8	101 ± 17.2	148 ± 26.0
Sr	6.86 ± 0.432	7.75 ± 1.36	7.04 ± 0.401	4.65 ± 0.274	5.45 ± 0.686
Ti	0.335 ± 0.125	0.314 ± 0.0883	0.309 ± 0.100	0.331 ± 0.115	0.442 ± 0.182
V	0.00699 ± 0.00382	0.00763 ± 0.00136	0.00628 ± 0.00206	0.00838 ± 0.00233	0.00769 ± 0.00137
Zn	21.7 ± 3.58	24.3 ± 4.19	18.9 ± 1.50	25.1 ± 7.54	31.1 ± 3.77
Zr	0.0583 ± 0.0203	0.0465 ± 0.00591	0.0534 ± 0.0120	0.0391 ± 0.0160	0.0707 ± 0.00834

Tabell A. 2. Data från Risfallet, ämneskoncentrationer i barr mg/Kg TS per provyta förutom C som är angivet i g/Kg TS

	Barr				
	Provyta 1	Provyta 2	Provyta 3	Provyta 4	Provyta 5
Al	316 ± 69.7	298 ± 62.5	250 ± 47.9	67.0 ± 8.88	73.2 ± 6.62
B	26.6 ± 3.87	15.4 ± 6.17	20.8 ± 2.98	30.8 ± 4.46	43.3 ± 4.72
Ba	35.7 ± 6.00	33.1 ± 15.3	41.1 ± 15.2	24.1 ± 8.04	24.9 ± 8.07
C	509 ± 3.97	511 ± 7.53	508 ± 2.61	513 ± 7.19	509 ± 3.64
Ca	11800 ± 2080.00	9660 ± 2630	14900 ± 3850.00	18900 ± 9380	13400 ± 3740
Cd	0.0932 ± 0.0169	0.0938 ± 0.0174	0.0922 ± 0.0648	0.112 ± 0.0457	0.272 ± 0.142
Co	0.195 ± 0.0350	0.163 ± 0.0540	0.185 ± 0.0559	0.120 ± 0.0205	0.118 ± 0.0581
Cr	3.04 ± 0.556	2.14 ± 0.247	2.23 ± 0.283	2.08 ± 0.290	1.81 ± 0.190
Cu	4.76 ± 0.963	5.10 ± 0.618	5.04 ± 0.0930	4.51 ± 0.0890	4.27 ± 0.368
Fe	160 ± 21.9	123 ± 23.0	145 ± 11.3	149 ± 62.5	127 ± 8.93
K	7870 ± 317	5120.0 ± 941	8060 ± 924	4370 ± 452	3870 ± 812
Mg	1560 ± 8.90	1800 ± 309	1890 ± 458	2820 ± 773	1880 ± 452
Mn	2980 ± 350	4060 ± 1370	1990 ± 636	2070 ± 936	4200 ± 997
Mo	0.289 ± 0.0204	0.187 ± 0.0451	0.280 ± 0.216	0.169 ± 0.0579	0.183 ± 0.0150
N	11700 ± 879	13300 ± 1360	13100 ± 753	12900 ± 663	13400 ± 1330
Na	118 ± 30.5	122 ± 25.8	107 ± 18.9	139 ± 89.7	142 ± 22.4
Ni	3.84 ± 0.582	3.29 ± 0.747	2.76 ± 0.0358	2.28 ± 0.683	1.98 ± 0.0612
P	1750 ± 141	1690 ± 45.1	1700 ± 79.1	1630 ± 87.1	1520 ± 144
Pb	1.62 ± 0.743	0.717 ± 0.157	0.729 ± 0.162	1.00 ± 0.548	0.591 ± 0.0347
Si	164 ± 8.56	138 ± 20.5	153 ± 19.6	152 ± 4.97	148 ± 11.1
Sr	31.5 ± 4.59	37.3 ± 8.74	40.3 ± 5.37	27.3 ± 11.4	30.1 ± 4.33
Ti	7.10 ± 0.851	6.46 ± 0.0844	7.47 ± 1.87	6.76 ± 0.522	6.02 ± 0.413
V	0.220 ± 0.0467	0.192 ± 0.0325	0.215 ± 0.0557	0.180 ± 0.0691	0.143 ± 0.00617
Zn	64.2 ± 4.80	43.2 ± 6.82	59.6 ± 7.80	89.8 ± 48.5	63.0 ± 9.66
Zr	0.0751 ± 0.0186	0.0672 ± 0.000382	0.140 ± 0.134	0.109 ± 0.096	0.0634 ± 0.00753



Tabell A. 3. Data från Risfallet, ämneskoncentrationer i bark mg/ Kg TS per provyta förutom Cs som är angivet i g/ Kg TS  
Bark

	Provyta 1	Provyta 2	Provyta 3	Provyta 4	Provyta 5
Al	168 ± 28.9	230 ± 100	268 ± 19.7	64.2 ± 2.43	79.8 ± 20.2
B	45.7 ± 19.0	35.1 ± 8.00	48.5 ± 17.1	48.0 ± 17.8	39.9 ± 5.33
Ba	249 ± 53.6	342 ± 140	252 ± 70.6	94.1 ± 65.7	78.4 ± 16.1
C	500 ± 7.31	495 ± 8.96	50.2 ± 2.61	497 ± 2720	501 ± 4.33
Ca	14300 ± 3100	14400 ± 1430	18400 ± 8650.0	16300 ± 1590	17600 ± 977
Cd	0.696 ± 0.0351	1.02 ± 0.309	0.845 ± 0.879	0.967 ± 0.628	2.12 ± 0.514
Co	0.489 ± 0.0410	0.491 ± 0.162	0.655 ± 0.336	0.410 ± 0.367	0.264 ± 0.0584
Cr	2.21 ± 0.595	1.46 ± 0.143	2.16 ± 0.605	1.68 ± 0.176	1.82 ± 0.0787
Cu	7.16 ± 1.36	7.16 ± 0.981	8.23 ± 0.643	6.62 ± 1.23	6.90 ± 0.309
Fe	142 ± 18.3	108 ± 7.61	130 ± 38.7	135 ± 29.3	167 ± 31.0
K	5840 ± 1100	5140 ± 790	7090 ± 1190	4570 ± 866	3480 ± 646
Mg	1620 ± 262	1800 ± 125	1790 ± 238	1860 ± 246	1490 ± 187
Mn	1730 ± 154	2690 ± 423	1170 ± 452	1130 ± 262	2310 ± 545
Mo	0.175 ± 0.0232	0.0924 ± 0.0322	0.0728 ± 0.0368	0.177 ± 0.0492	0.349 ± 0.109
N	5880 ± 591	5760 ± 5220	6190 ± 491	6090 ± 814	5520 ± 519
Na	102 ± 46.4	57.0 ± 9.30	87.0 ± 51.3	47.1 ± 15.2	87.7 ± 17.6
Ni	9.77 ± 3.53	4.85 ± 0.948	9.19 ± 4.56	4.09 ± 0.288	2.30 ± 0.351
P	1250 ± 140	1170 ± 61.3	1300 ± 67.2	1140 ± 174	895 ± 18.8
Pb	2.74 ± 0.727	1.42 ± 0.412	1.25 ± 0.143	1.57 ± 0.706	2.44 ± 0.902
Si	164 ± 33.5	159 ± 38.8	182 ± 29.2	147 ± 21.2	149 ± 9.25
Sr	49.2 ± 7.58	74.2 ± 19.8	60.1 ± 27.2	32.4 ± 4.63	41.8 ± 3.40
Ti	5.50 ± 0.419	4.70 ± 0.312	5.29 ± 0.648	4.93 ± 0.445	4.93 ± 0.561
V	0.326 ± 0.0547	0.290 ± 0.101	0.311 ± 0.0659	0.295 ± 0.143	0.515 ± 0.239
Zn	324 ± 18.5	327 ± 68.0	312 ± 55.2	357 ± 28.0	396 ± 67.7
Zr	0.109 ± 0.0657	0.0434 ± 0.00601	0.0546 ± 0.0105	0.0536 ± 0.00266	0.0732 ± 0.0202

Tabell A. 4. Data från Risfallet, ämneskoncentrationer i grenar mg/Kg TS per provyta förutom C som är angivet i g / Kg TS

	Grenar				
	Provyta 1	Provyta 2	Provyta 3	Provyta 4	Provyta 5
Al	250 ± 53.6	245 ± 39.4	205 ± 40.1	187 ± 47.6	148 ± 36.3
B	29.8 ± 13.0	16.6 ± 2.51	26.5 ± 14.8	28.9 ± 9.99	23.2 ± 5.80
Ba	88.6 ± 47.5	89.7 ± 42.2	68.5 ± 11.7	44.1 ± 8.03	42.8 ± 19.2
C	513 ± 0.653	505 ± 6.23	512 ± 2.36	511 ± 5.99	511 ± 2.36
Ca	6590 ± 2206	7060 ± 1360	8880 ± 542	10300 ± 2120	8820 ± 1880
Cd	0.378 ± 0.0378	0.460 ± 0.111	0.356 ± 0.147	0.545 ± 0.261	0.898 ± 0.439
Co	0.416 ± 0.0338	0.433 ± 0.0641	0.458 ± 0.0838	0.347 ± 0.181	0.259 ± 0.0711
Cr	3.12 ± 0.716	2.77 ± 0.421	2.58 ± 0.293	2.92 ± 0.595	2.78 ± 0.798
Cu	8.90 ± 1.22	9.08 ± 1.00	8.36 ± 1.47	8.50 ± 1.07	8.69 ± 1.85
Fe	394 ± 124	298 ± 80.6	246 ± 59.7	337 ± 100	272 ± 68.0
K	3610 ± 1440	3510 ± 199	4080 ± 509	2900 ± 849	2450 ± 486
Mg	1110 ± 277	1240 ± 248	1230 ± 357	1440 ± 128	998 ± 24.0
Mn	1210 ± 279	1770 ± 444	823 ± 83.8	936 ± 200	1410 ± 193
Mo	0.636 ± 0.189	0.486 ± 0.163	0.380 ± 0.126	0.713 ± 0.339	0.588 ± 0.211
N	5330 ± 1140	7140 ± 766	5490 ± 605	5990 ± 1010	5850 ± 152
Na	126 ± 13.3	78.3 ± 15.6	97.2 ± 28.6	97.3 ± 14.0	110 ± 31.4
Ni	4.85 ± 0.279	4.40 ± 0.904	3.43 ± 0.624	4.04 ± 0.264	3.53 ± 0.738
P	903 ± 253	1140 ± 90.7	892 ± 154	993 ± 228	834 ± 31.4
Pb	9.77 ± 2.20	6.83 ± 2.17	5.51 ± 2.25	9.19 ± 3.61	5.99 ± 1.14
Si	199 ± 6.54	193 ± 4.53	190 ± 24.7	200 ± 11.1	189 ± 7.39
Sr	30.3 ± 4.71	38.9 ± 5.00	35.0 ± 4.53	25.2 ± 0.947	26.5 ± 6.95
Ti	11.9 ± 2.57	11.1 ± 2.49	8.82 ± 2.02	11.2 ± 2.07	9.06 ± 1.90
V	1.07 ± 0.229	1.06 ± 0.329	0.853 ± 0.258	1.31 ± 0.448	0.892 ± 0.244
Zn	177 ± 27.8	185 ± 38.8	163 ± 21.7	255 ± 32.4	250 ± 37.6
Zr	0.150 ± 0.0803	0.125 ± 0.0309	0.131 ± 0.0208	0.149 ± 0.0175	0.123 ± 0.0341

EXAMENSARBETEN UTFÖRDA OCH PUBLICERADE VID  
INSTITUTIONEN FÖR SKOGLIG MARKLÄRA, SLU FR O M ÅR 2001

1. Gustafsson, Maria. 2001. Carbon loss after forest drainage of three peatlands in southern Sweden.
2. Isberg, Susanna. 2002. Elementkoncentrationer i gran utmed en markfuktighetsgradient.

I denna serie publiceras examensarbeten utförda vid institutionen för skoglig marklära, SLU. Tidigare nummer i serien kan i mån av tillgång beställas från institutionen. De kan också laddas ner från institutionens hemsida: [www.sml.slu.se](http://www.sml.slu.se).

---

Institutionen för skoglig marklära  
SLU  
Box 7001  
750 07 Uppsala

---

**ISSN 1650-7223**  
**ISBN 91-576-6144-8**

---

**Institutionen för skoglig marklära**  
**SLU**  
**Box 7001**  
**750 07 Uppsala**

---