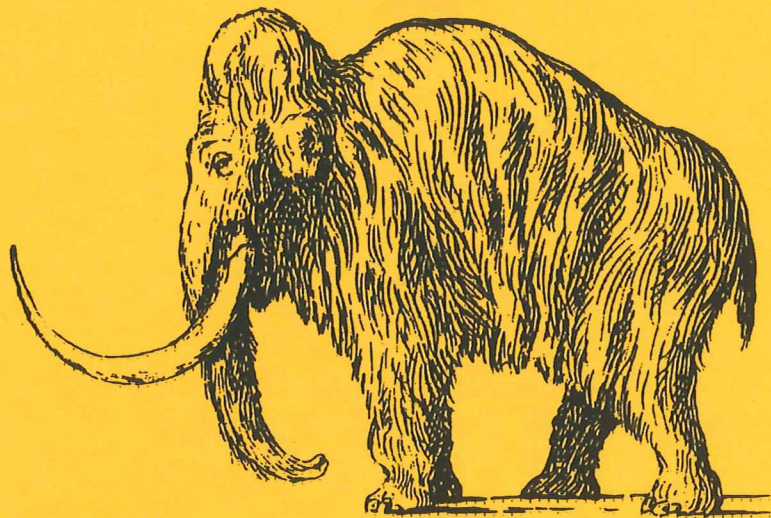


# EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET  
GEOBIBLIOTEKET  
PERIODICA

## Kvartärgeologi

---



**Granens markpåverkan - en studie av markkemi,  
jordmånsbildning och lermineralogi i gran- och  
lövskogsbestånd i södra Småland**

**Fredrik Nordborg**

---

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

600955227

Examen  
mensarbete, 20 p  
Institutionen, Lunds Universitet

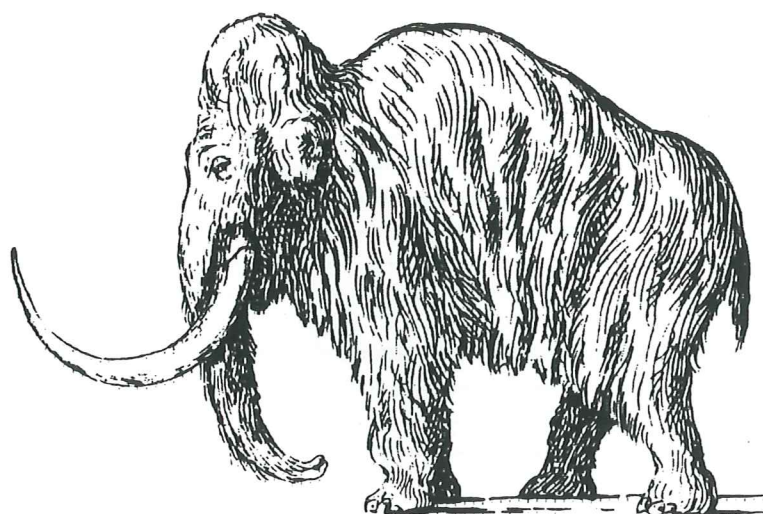
Nr 90

# EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

**Kvartärgeologi**

---

LUNDS UNIVERSITET  
GEOBIBLIOTEKET  
PERIODICA



**Granens markpåverkan - en studie av markkemi,  
jordmånsbildning och lermineralogi i gran- och  
lövskogsbestånd i södra Småland**

**Fredrik Nordborg**

---

# Innehållsförteckning

Abstract .....	1
<b>1 Inledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2 markkemiska processer</b> .....	<b>2</b>
2.1 Mineralupplösning och mineralomvandling .....	2
2.2 Ytkomplex .....	3
2.3 Katjonbyte .....	3
2.4 Katjonbyteskapacitet och basmättnadsgrad .....	3
2.5 Organiska föreningar i jordar .....	3
<b>3 Trädslagens inverkan på de jordmånsbildande processerna</b> .....	<b>4</b>
3.1 Klimat .....	4
3.2 Förna .....	4
3.3 Rotaktivitet .....	4
3.4 Markmineralogi .....	5
3.5 Baskatjonpoolen .....	5
3.6 Podsolering .....	5
<b>4 Undersökningens syfte</b> .....	<b>6</b>
<b>5 Undersökningsområde</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Provtagning och analysmetoder</b> .....	<b>9</b>
<b>7 Resultat</b> .....	<b>10</b>
<b>8 Diskussion</b> .....	<b>19</b>
8.1 Ökar granen markens aciditet? .....	19
8.2 Minskar granen baskatjonpoolen? .....	19
8.3 Ökar granen podsoleringen? .....	20
8.4 Ökar granen mineralvittringshastigheten och har mineralsammansättningen förändrats? .....	20
<b>9 Slutsatser</b> .....	<b>22</b>
<b>10 Tackord</b> .....	<b>22</b>
<b>11 Referenser</b> .....	<b>23</b>

## Abstract

Chemical and mineralogical studies of forest soils were made in four Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and broadleaf stands in Asa in southern Sweden. The aim of the study was to investigate the differences in soil forming processes between stands of coniferous (spruce) and broad-leaved trees. The investigation did not show any differences in soil acidity, which was measured by  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , exchangeable and titratable acidity. The cation exchange capacity in the soil of

the two stand types was similar but there was an indication for difference in base saturation. A number of soil properties showed a higher degree of podzolisation in the spruce forest. The mineralogical study was made on the clay fraction of the soil. Total dissolution or transformation of chlorite and presence of smectite in the spruce forest indicate that the weathering rate is higher in the spruce forest.

# 1 Inledning

De senaste åren har försurningsforskningen varit intensiv, men intresset har främst varit inriktat på det atmosfäriska nedfallets miljöpåverkan. Dock påverkas markmiljön även av markanvändningsformen och dess intensitet. Inom skogsbruket har det sedan länge varit känt att gran påverkar markens pH-värde negativt jämfört med björk. Det är mera sparsamt med jämförande studier som belyser hur markens aciditet, bas-kationpool, jordmånsförändringar, markmineralogi samt vittring förändras vid trädslagsbyten. För ett hålligt markanvändande är kunskapen om olika trädslags påverkan på markmiljön dock nödvändig.

## 2 Markkemiska processer

### 2.1 Mineralupplösning och mineralomvandling

Källan till markens förråd av mineralnäringsämnen, såsom kalcium, kalium, magnesium och natrium, är de lösa minerogena avlagringarna och vittringen är den process som lösgör dem.

De mineral som bildas i jordskorpan genom magmatiska och metamorfa processer kallas för primärmineral och de som bildas genom vittring och mineralomvandling i till exempel jordmåner kallas för sekundärmineral (tabell 1). Sekundärmineralen är vanligen lermineral eller oxider (Wiklander 1976).

Primärmineralen bildas i en miljö som skiljer sig avsevärt från den på jorden, både vad gäller tryck och temperatur. Primärmineralen är därför termodynamiskt labila till mycket labila i marken. Anledningen till att de ej löses upp eller omvandlas i större omfattning än vad som är fallet beror på att vittringsreaktionerna är kinetiskt hämmade, vilket innebär att det är reaktionshastigheten som är begränsande.

Upplösningskinetiken kan vara transportkontrollerad. Jonkoncentrationen intill mineralytan är då så hög att den hämmar upplösningen. Detta uppstår då jondiffusionen i markvätskan är långsammare än mineralupplösningen. Detta är ofta fallet för lättlösliga mineral karaktäriserade av jonbindningar, till exempel kalcit ( $\text{CaCO}_3$ ) och halit ( $\text{NaCl}$ ). Kinetiken kan också vara ytkontrollerad, vilket innebär att själva upplösningsreaktionen är begränsande och de lösta jonernas diffusionshastighet spelar mindre roll. Ytkontrollerad upplösningskinetik är ofta kännetecknande för silikater och oxider, vilka är de absolut dominerande mineralen i naturen (Sparks 1995).

Upplösningshastigheten för mineral med

En undersökning där trädslagsbytet skett av skogliga orsaker i vårt århundrade kan även användas som indikation på vad som hänt med markmiljön vid granens invandring till Sverige under Holocen. Vid tidpunkten för granens invandring hade Sydsverige varit isfritt i drygt 10000 år så jordmånerna var redan välutvecklade och mineralvittringen hade pågått sedan länge.

Föreliggande arbete avser att jämföra markkemi, jordmånsbildning och markmineralogi mellan granbestånd och lövskogsbestånd. Undersökningen gjordes i södra Småland.

ytkontrollerad upplösningskinetik är en funktion av temperatur, tryck, yta, vätejonkoncentration och koncentrationen av komplexbildande ligander. När vätejonerna och liganderna bildar ytkomplex med mineralet är bindningarna till komplexen starkare än mineralets inre bindningar och detta bidrar till en snabbare upplösning (Sparks 1995, Sverdrup 1990).

Mineralupplösningen sker genom att ett aktiverat ytkomplex bildas som sedan bildar de slutliga vittringsprodukterna. Vittringsreaktionen sker i flera steg med sitt eget aktiverade komplex (Sverdrup 1990). Total mineralupplösning och nybildning av sekundärmineral kännetecknar vittringen av tektosilikat (kvarts och fältspat) och inosilikat (amfiboler och pyroxener) medan de flesta fyllosilikat (biotit, muskovit och klorit) kännetecknas av mineralomvandling, det vill säga partiell upplösning, till sekundära lermineral (April & Newton 1992).

Tabell 1. Indelning av i jordmåner vanligt förekommande mineral.

Primärmineral	Sekundärmineral
Kvarts, fältspat, plagioklas, pyroxener, amfiboler, muskovit, biotit, klorit.	Kaolinit, halloysit, illit, vermikulit, smektit, järn- och aluminiumoxider.

## 2.2 Ytkomplex

En partikel kan adsorbera joner genom tre olika processer:

- Innersfärskomplexbindning som innebär att jonen binds till ytan genom kemisk bindning (kovalent- eller jonbindning) eller en komplexbindning.
- Yttersfärskomplex som har en blandning av elektrostatisk attraktionskraft och kemisk- eller komplexbindning. Hydratiserade metallkomplex har intakta komplexbindningar.
- Elektrostatiske attraktionskrafter som bildar det diffusa dubbelskiktet av joner runt partikeln.

De flesta markpartiklar såsom lerpartiklar och oxider har negativ permanent laddning, men partiklarnas laddning är starkt beroende av pH-värdet då vätejone-erna bildar innersfärskomplex på mineralytan (Sparks 1995).

## 2.3 Katjonbyte

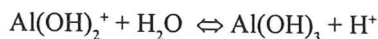
Katjonernas attraktion till en mineralpartikel beror på jonladdningen, jonstorleken och markvattnets totala jonkoncentration. Ju större jonladdningen är, desto större är jonens attraktion till ytan. Vid lika stor jonladdning har en mindre jon fler hydrationsvatten knutna till sig på grund av större laddningstäthet, vilket medför att det hydratiserade komplexet är större för en mindre jon än för en större jon med samma laddning. Vid större jonstyrka har jonladdningen mindre betydelse och joner med olika laddning konkurrerar mer på lika villkor. (Sparks 1995, Wiklander 1976).

## 2.4 Katjonbyteskapacitet och basmättnadsgrad

En jords totala förmåga att binda katjoner kallas katjonbyteskapacitet, eng. Cation Exchange Capacity som förkortas CEC (Wiklander 1976). CEC anges i detta arbete i enheten cmol/kgts, d.v.s centimol laddningar per kilogram torr jord. Olika mineral har olika CEC, som dessutom varierar med pH. Kornstorleksfördelningen i en jordart påverkar också dess CEC genom att små partiklar har större yta per viktsenhet och att de flesta mineral och oxider med höga CEC finns i de finare fraktionerna. Lermineral, oxider och humusämnen har så stor specifik yta och CEC att det är dessa som karaktäriserar en jords totala katjonbyteskapacitet (tabell 2).

Basmättnadsgraden är ett mått på hur stor del av CEC som utgörs av baskatjonerna  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  och  $\text{K}^+$  (Wiklander 1976). Övriga katjoner av betydelse som binder till mineralytorna och humusämnena är  $\text{Al}^{3+}$  och  $\text{H}^+$  och ett mått på dessa är den utbytbara och titrerbara aciditeten.  $\text{Al}^{3+}$  och  $\text{H}^+$  kallas ofta för "sura katjoner" då dessa bidrar till en jords aciditet. Vätejonekoncentrationen är per definition ett mått på acidite-

ten men aluminiums hydrolys med vatten bidrar också till aciditeten, vilket visas med nedanstående reaktionsformler.



## 2.5 Organiska föreningar i jordar

Humus kallas det organiska material i marken, som inte har kvar sin ursprungliga struktur och sitt utseende. Det döda material som man fortfarande kan urskilja ursprunget på kallas förna. Humus är med andra ord det totala organiska materialet minus förnan minus den mikrobiella biomassan.

Humus kan också sägas vara ett kontinuum mellan biomolekyler från det levande materialet, och humusämnen, som är rester av nedbrytning i olika stadier. Biomolekyler är organiska syror, aminosyror, kolhydrater och ligniner. Humusämnen (humussyror, fulvosyror och huminer) kännetecknas av att de är högmolekylära, svårnedbrytbara och har många funktionella grupper med sur reaktion. De viktigaste funktionella grupperna är karboxyl- och fenolgrupperna.

Då humusämnena är negativt laddade vid naturligt förekommande pH-värden har de en stor förmåga att attrahera katjoner. Denna förmåga ökar med ökat pH då karboxylgrupperna dissocierar. Upp till 80% av CEC i en jord kan härstamma från humusämnena. Det är också vanligt att humusämnena bildar komplex med oxider och lermineral (Sparks 1995). Under granbestånd är markens CEC starkt korrelerad till kolmängden, det vill säga mängden organiskt material i marken (Alriksson & Olsson 1995).

Tabell 2. Olika markkomponenters katjonbyteskapacitet (CEC). Efter Sparks (1995).

Markkomponent	CEC (cmol <sub>c</sub> /kgts)
Lermineral:	
Kaolinit	2-15
halloysit	10-40
talk	<1
montmorillonit	80-150
dioktaedrisk vermikulit	10-150
trioktaedrisk vermikulit	100-200
glimmer, illit	10-40
klorit	10-40
allofan	5-350
Humusämnena:	150-300

# 3 Trädslagets inverkan på de jordmånsbildande processerna

Till de jordmånsbildande faktorerna räknas klimat, topografi, organismerna och deras aktivitet, jordens textur och mineralogiska egenskaper samt tiden (Jenny 1980). Till organismerna räknas både växter, djur och mikroorganismer ovan och under markytan.

## 3.1 Klimat

Makroklimatet, temperatur och nederbörd på regional nivå, styr vilka växt- och djursamhällen som kan finnas på ståndorten. Trädskiktet påverkar dock mikroklimatet genom skärmverkan och vattenupptag.

Skillnaden mellan olika trädslags klimatpåverkan beror i stor utsträckning deras olika förmåga att släppa in kortvågig strålning, solstrålning, och ut långvågig strålning. I skogsbestånd som domineras av trädslag som har stor ljusgenomsläpplighet är temperatursvängningarna större än i bestånd med tätare bladverk och stamtäthet. Dock tenderar de mer tätslutna bestånden att ha en lägre medeltemperatur vid markytan. En lägre marktemperatur medför lägre aktivitet hos mikroorganismerna vilket leder till lägre nedbrytningshastighet för det organiska materialet (Lundmark 1986). Lägre temperatur leder även till lägre kemisk aktivitet.

Av de undersökta beståndstyperna är monokultur av gran den tätaste och släpper därmed ner mindre solstrålning än den blandade lövskogen. Detta leder till en lägre medeltemperatur i granskogen.

## 3.2 Förna

Olika trädslag ger olika kemisk sammansättning på sin förna, vars nedbrytningshastighet också skiljer sig åt. Barrförna har lägre pH och basmättnadsgrad än björkförna (*Betula sp.*). Barrhumusen skiljer sig från björkens humus genom att den ackumulerar i högre grad hög- och lågmolekylära organiska syror, vilka bildas vid nedbrytningen. Björk- och granförna har ganska lika näringsinnehåll. Parvisa studier av vilket trädslags förna som har högst näringsinnehåll har gett varierande resultat (Liljelund et al. 1986).

Nedbrytningshastigheten under de två första åren är snabbare för björkförna än för barrförna. Genom att ha en sammansättning och ett klimat som gynnar markgrävande organismer kommer björkförnan att kunna transporteras ned i profilen och blandas med mineraljord, vilket kan ge upphov till en mull (Liljelund et al. 1986). Nedbrytningshastigheten för granrötter är snabbare än för björkrötter (Johansson & Lundmark 1986).

Den surare förnan hos barrträden är en av faktorerna som leder till att granjordmåner har lägre pH än löv-

skogar vilket är visat i många undersökningar ( bl.a. Binkley & Valentine 1991; Frank & Borchgrevink 1982; Liljelund et al. 1986; Johansson & Lundmark 1986; Nihlgård 1971).

## 3.3 Rotaktivitet

Rötternas främsta funktion är att ta upp näring och vatten. Trädrötterna exuderar vätejoner ut i markvätskan i utbyte mot positivt laddade näringsämnen såsom baskatjoner och ammoniumjoner. Detta medför att träden avger mer vätejoner till marken om tillväxten och därmed näringsupptagningen är hög. På mark med likartade näringsförhållanden har ofta granen en högre tillväxt än björk och andra naturligt förekommande lövträd. Därmed tillförs mer vätejoner till marken i granbestånd än i lövbestånd (Braastad 1985).

Rötternas arkitektur skiljer sig åt mellan olika trädslag. Björk har ett djupare rotsystem än gran (Sirén 1955). Barrträdens finrötter har en större diameter än lövträdens vilket kan vara fördelaktigt när det gäller att ta upp näring från minerogent material. Lövträden med sitt stora antal tunna finrötter tar lättare upp näring från det organiska materialet, och koloniserar därför lättare välutbildade jordmånsprofiler (Voigt 1968).

Rötterna påverkar även marken fysikaliskt. Vid rot-tillväxten arrangeras fyllosilikaterna (ler- och glimmermineralen) så att den största ytan är orienterad mot roten. Det har även observerats att rötter har böjt fyllosilikater (April & Keller 1990). Samma författare har även noterat en större uppsprickning och upplösning av mineralkornsytor som gränsar till rötter.

Då mineralupplösningen går fortare vid låga pH-värden kommer mineralsammansättningen att påverkas av vilket trädslag och vilken tillväxthastighet trädslaget har. Organiska syror ökar upplösningshastigheten mycket jämfört med saltsyra vid låga pH-värden. Då gran (*Picea abies* (L.) Karst) producerar mer än dubbelt så mycket organiska syror som bok (*Fagus sylvatica* L.) och ek (*Quercus robur* L.) är vittringen snabbare under gran, medan vittringen är lika snabb under bok och ek (Raulund-Rasmussen et al. 1994). Hallsby (1995) visade i ett försök där man jämförde vittringen i krukor med eller utan granplantor att försöksledet med plantor hade den snabbaste vittringen. Den ökade vittringen berodde troligtvis på rötternas aktivitet och ökad mikrobiell aktivitet gynnad av plantornas närvaro. April och Keller (1990) har observerat att biotit omvandlas till vermikulit snabbare i den av rötterna påverkade jorden.

### 3.4 Markmineralogi

När markens miljö förändras genom t.ex. ett trädslagsbyte kommer stabiliteten för vissa sekundära mineral att minska och andra kommer att bildas. Upplösningshastigheten för de primära mineralen ändras också vid ändrad markmiljö.

En fransk undersökning visade att vittringshastigheten för primärmineral var högre under granskogar än under bokskogar (Dupraz et al. 1986).

Madsen och Nørnberg (1995) observerade däremot inga skillnader i mineralogi i marken under 60 årig ek, gran och ljunghed (*Calluna vulgaris* L.) med samma historia. Granen gav dock en stark podsoleringsmen eftersom man markberett så hade de övre lagren sammanblandats. Sammanblandningen medförde en transport av ovittrat material upp i profilen. En undersökning i belgiska Ardennerna visade att klorit vittrar snabbare under gran än under bok, vid en jämförelsetid på 80 år (Sohet et al. 1988).

Melkerud (1985) visade på smektitbildning, från klorit och vermikulit, i E-horisonten på marker som överförts till granskog i Skåne. Omvandlingen hade skett under de senaste 100 åren.

### 3.5 Baskatjonpoolen

Vid en förändring av det dominerande trädslaget på en ståndort kommer markmiljön att förändras. Markpartiklarnas CEC är, som sagts ovan, beroende av markens aciditet som i sin tur förändras vid trädslagsbyte. Katjonbytesreaktioner uppstår också vid en vegetationsförändring till följd av att koncentrationen av olika joner i markvätskan förändras.

Vid en jämförelse mellan gran och grön ask (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh), som planterats på åkermark 50 år tidigare, fann man att granmarken hade hälften så stort innehåll av  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  och  $\text{K}^{+}$  som askmarken i nivån 0-15 cm. Baskatjonerna hade ersatts av  $\text{Al}^{3+}$  (Binkley & Valentine 1991). Hallbäcken (1992) fann vid en jämförelse mellan gran och bok att baskatjonförrådet hade minskat med 56-74% för granen och 57-60% för boken, ner till 70 cm djup, mellan åren 1927 och 1984. Den biologiskt tillförda aciditeten beräknades ha orsakat 50-60% av baskatjonminskningen. Av den utbytbara baskatjonpoolen var det kalium- och kalciumjonerna som minskade mest i de övre markskikten vid ett byte från bok till gran

(Nihlgård 1971).

I en norsk jämförelse mellan gran och asp (*Populus tremula* L.) hade Ah horisonten under gran lägre basmättnadsgrad än den under asp. Ah horisonten under asp hade signifikant högre innehåll av kalium-, magnesium och kalciumjoner än motsvarande horisont i granskogen men natriuminnehållet skilde sig inte åt (Frank & Borchgrevink 1982).

Vid en studie på nedlagd åkermark, planterad med gran, kunde man konstatera att basmättnadsgraden och CEC i de övre horisonterna var högre i äldre bestånd (55 år) än i yngre (20 år). Det högre baskatjoninnehållet i de övre horisonterna förklaras med att det sker ett näringsämnesupptag av träden i de djupare horisonterna. Näringen som ackumuleras i trädens biomassa återförs sedan till marken som förna, och som följd av att det sker en ackumulation av organiskt material på barrskogens markyta så kommer baskatjoninnehållet att öka i den organiska horisonten (Alriksson & Olsson 1995).

### 3.6 Podsolering

Podsoler kännetecknas av en ljus urlakningshorisont (E-horisonten), en till några centimeter tjock, som överlagrar en rödaktig eller rostbrun anrikningshorisont (B-horisonten). Nedåt övergår B-horisonten i det opåverkade underlaget (C-horisonten), dock ofta med en övergångshorisont kallad BC-horisonten. Den ljusa E-horisonten får sin färg av de mjölkvita kornen av kvarts som utgör huvuddelen av de resistent mineral som blir kvar efter urlakningen. Den rostbruna färgen i B-horisonten ges av järnoxider som anrikas i denna horisont.

Podsolering är en process som drivs av urlakade organiska ämnen från måren, det översta organiska lagret i en podsol. På grund av en sur miljö samt stark kelatkomplexbildning vittrar mineralerna snabbt i E-horisonten. Den nedåtgående vattentransporten i marken transporterar ned humuspartiklar, järn- och aluminiumoxider till B-horisonten där de fälls ut på grund av en förändring i pH- och redoxförhållanden. Eftersom podsoleringsprocessen kräver en nedåtgående vattentransport är podsolerna ofta knutna till humida områden (Troedsson & Nykvist 1973).

Flera undersökningar visar att granen ger en starkare podsolering än bok, björk, ek samt blandade lövskogsbestånd (Sohet et al. 1988 ; Nihlgård 1971 ; Johansson & Lundmark 1986 ; Liljelund et al. 1986 ; Nys 1981 ; Nørnberg et al. 1993)



## 4 Undersökningens syfte

Syftet med följande studie är att jämföra granmonokulturers och blandade lövskogars påverkan på den kemiska markmiljön samt mineralvittringen. Resultatet kan appliceras på nutida skoglig markanvändning, för att få en indikation på vad gran- respektive lövbestånd har för påverkan på näringstillgång och markvittring. Undersökningen kan dessutom ge svar på paleoekologiska frågeställningar som rör granens invandring och markpåverkan under Holocen och andra interglacialer.

Två områden med två intilliggande bestånd av gran- respektive lövskog, vid Asa försökspark undersöktes. Båda områdena hade använts som betesmark och har sedan fått växa igen till en lövskog. Av olika anledningar planterade man gran på delar av marken för ca 35 respektive 70 år sedan. De kvarvarande lövskogsbestånden har använts som referensytor till granbestånden.

I området kring Asa har granen varit etablerad i 1200

till 800 år och dominerat området de 100 senaste åren, som följd av dess ekonomiska värde som virkesproducerande trädslag (Björkman 1996 ; Lagerås 1996 ; Andersson 1996). Det finns inga historiska belägg för att det skulle ha vuxit gran på de undersökta områdena före de senaste planteringarna.

Arbetet avser att testa följande hypoteser:

- Vid trädslagsbyte från löv till gran ökar markens och markvattnets aciditet.
- Vid trädslagsbyte från löv till gran minskar markens baskatjonpool.
- Vid trädslagsbyte från löv till gran ökar podsoleringen.
- Vid trädslagsbyte från löv till gran ökar mineralvittringshastigheten i marken, vilket leder till en ny mineralsammansättning i lerfraktionen.

## 5 Undersökningsområde

Provområdena, Sandvik och Oxafällan, är belägna i anslutning till Asa försökspark (57°08' N och 14°47' E) som är belägen i Växjö kommun i Kronobergs län, 180-250 meter över havet (figur 1). Asa försökspark är en skoglig försökspark i Sveriges lantbruksuniversitetets regi, med syfte att erbjuda skog och personal för forskning i låghumida och frostlanta områden. Oxafällan ligger precis i anslutning till Asa försökspark på Asa kronopark och Sandvik ligger 25 km från Oxafällan i VNV riktning på sjön Ruskens östra strand.

För att undersökningen skulle vara optimalt relevant ställdes följande krav på försöksområdena:

- likartad markanvändning före trädslagsbytet samt känd tidpunkt för detta.
- likartad geologi, hydrologi och lokalklimat.
- homogen jordart med urbergsdominerad mineralogi för att möjliggöra ett så allmängiltigt resultat som möjligt för granens naturliga utbredningsområde i Skandinavien.
- låg atmosfärisk deposition av luftföroreningar för att inte dessa skall överskugga de olika trädslagens påverkan på marken.
- att granbeståndet i varje försöksområde är första generationens granskog, vilket gör det möjligt att studera granens påverkan på marker där den invandrar. Detta är intressant bland annat ur paleoekologisk synvinkel.

Ovanstående krav och önskemål på försöksmark gjorde att valet föll på Asa försökspark.

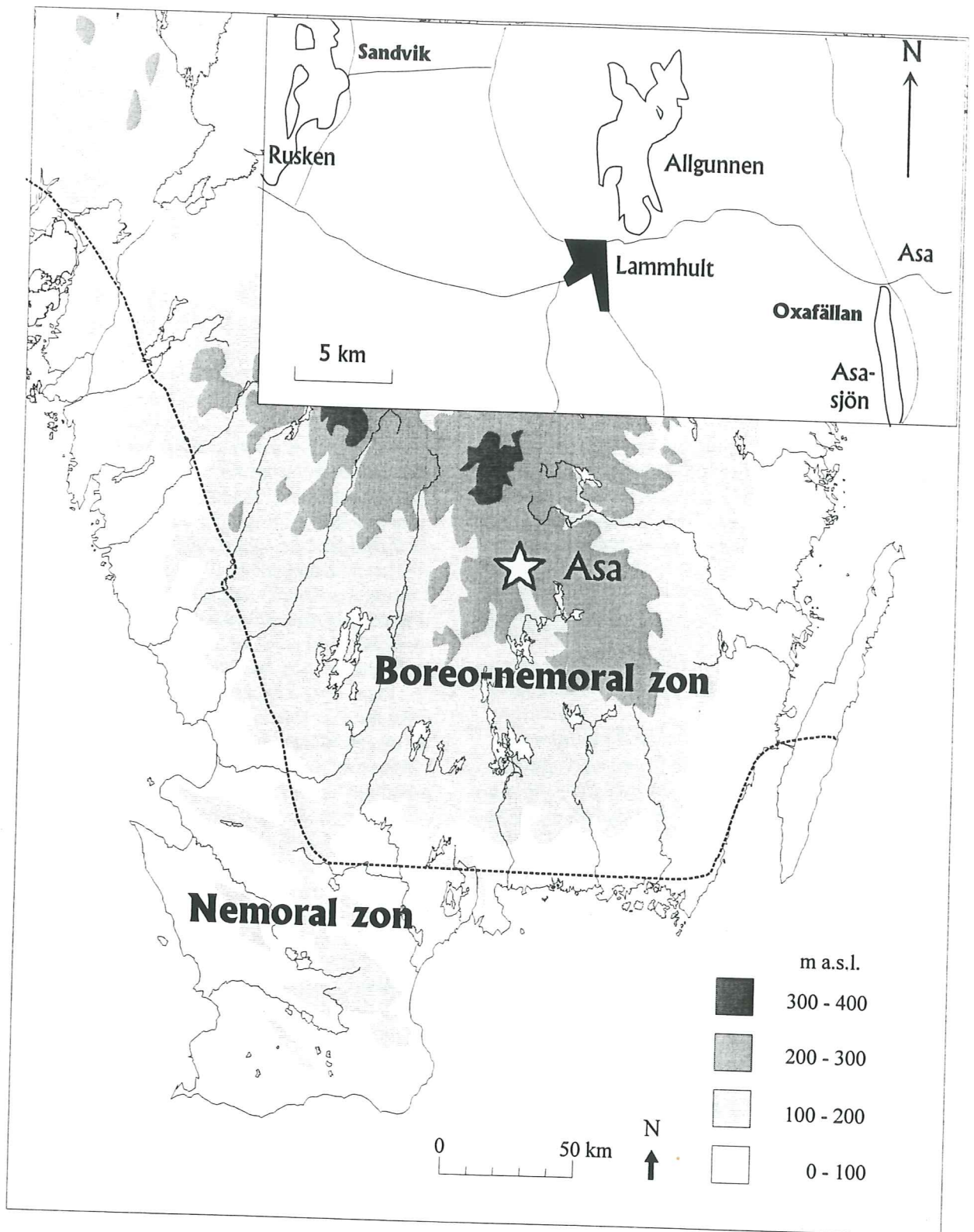
Inom provområdena valdes två intilliggande bestånd med gran- respektive lövskog, vars historia var kända.

Sandvik var betesmark till för 70 år sedan då de ytor som idag är be vuxna med gran (*Picea abies* (L.) Karst) planterades igen. Lövbeståndet ligger närmre fastighetens boningshus och fick växa igen fritt och bilda dagens bestånd med asp (*Populus tremula* L.), björk (*Betula* sp.) och ek (*Quercus robur* L.).

Oxafällan är en ekhage som fått växa igen till en lövblandskog. I början på 1960-talet planterades stora delar av området igen med gran, men dåvarande kronojägare sparade, av naturvårdsskäl, en del av lövbeståndet, vilket använts som referens till granytan i föreliggande undersökning.

Lövbeståndet består av asp, ek, gran, hassel (*Corylus avelana* L.) och lönn (*Acer platanoides* L.). En ståndortsbeskrivning, innehållande grundyta (trädstammarnas tvärsnittsytta på 1,3 m höjd över marken, här angiven i m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), stamantal och medeldiameter för varje trädslag gjordes samt en ståndortsbonitering enligt Skogshögskolans boniteringssystem (Hägglund & Lundmark 1977). Beståndsdata redovisas i tabell 3.

Områdets berggrund kännetecknas av Smålands-Värmlandsgranit och sura vulkaniska bergarter (Lundqvist 1994). Den dominerande jordarten är morän, som ofta är blockig och har ett minerogent innehåll präglat av den lokala berggrunden. I området finns även isälvsavlagringar och jordtäcknet kan på sina ställen vara tunt (Fredén 1994).



Figur 1. Karta över försöksområdena samt gräns mellan nemoral och boreo-nemoral zon (efter Sjörs 1963).

Tabell 3. Beståndsdata för de studerade bestånden. Ståndortsindex är ett bestånds höjdtillväxt i meter under de första åren, i detta fall med gran som huvudträdsdrag. SMGR är smalbladig grästyp, UF är mark utan fältskikt och LÖ är lågörtstyp.

	Sandvik					Oxafällan					
	Gran		Löv			Gran	Löv				
	Gran	Ek	Asp	Björk	Ek	Gran	Asp	Ek	Gran	Hassel buske	Lönn
Grundyta (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	47.1	0.4	2.6	4.9	6.5	39.5	3.2	13.7	0.2		3.0
Medeldiameter (cm)	27	10	20	22	21	21	52	28	7		18
Stamantal (ha <sup>-1</sup> )	751	50	105	120	180	1150	15	150	60	165	105
Ålder (år)	70					35					
Vegetationstyp	SMGR		SMGR			UF	LÖ				
Ståndortsindex	G30					G33					

Jordarten i provgroparna har klassificerats efter den djupast liggande horisonten, vilken bör vara den nivå som påverkats minst av postglacial vittring (tabell 4). Alla provgroparna består av morän. Moränen är blockig på alla ytorna, men blockhalten har ej registrerats närmre.

Tabell 4. Provgroparnas jordart. Klassningarna gjordes i den djupast liggande horisonten.

Lokal	Träd- slag	Grop	Jordart
Oxafällan	gran	1	Sandig morän
Oxafällan	gran	2	Grusig sandig morän
Oxafällan	löv	1	Grusig sandig morän
Oxafällan	löv	2	Grusig sandig morän
Sandvik	gran	1	Sandig morän
Sandvik	gran	2	Siltig sandig morän
Sandvik	löv	1	Sandig morän
Sandvik	löv	2	Siltig sandig morän

Området tillhör den södra barrskogsregionen (boreo-nemoral zon), som kännetecknas av en blandning av barr och lövskog där också ädla lövträd kan förekomma. Regionens södra gräns är granens naturliga sydgräns och den norra gränsen utgörs av ekens nordgräns (Sjörs 1963). Zonens utbredning visas i figur 1.

Med hjälp av pollenanalys visar Björkman (1996) att granen kom naturligt till centrala Småland 1200 till 900 år före nutid (BP). Undersökningar från små torvmarker, som speglar vegetationshistoriken på beståndsnivå, visar på en senare invandring av granen till området (Björkman 1996). Lagerås (1996) visar att granen började expandera ordentligt 1200 BP i Jönköpingstrakten, och då granen har invandrat till området från norr bör expansionen i Jönköpingstrakten vara tidigare än i Växjötrakten.

På Asa har en skogshistorisk studie genomförts av Andersson (1996). Dateringen i detta arbete var lite osäker så tidpunkten för granens invandring bör jämföras med ovanstående arbeten i ämnet. I sitt material har han kunnat urskilja tre huvudfaser i skogens utveckling sedan 2200 BP:

- Blandskog med betydande inslag av lind, ek och hassel: 2200 - 1700 BP.
- Aldominerad blandskog: 1700 - 700 BP.
- Barrträdsdominans 700 BP - nutid.

Granen vandrade in i området 1700 BP men var ej etablerad som betydelsefullt skogsträd förrän omkring 700 BP. Under tiden 700 BP till nutid var slåtter och bete vanligt och 100 BP når pollen från arter som indikerar detta sin kulmen. Efter 100 BP minskar alen och ökar barrträden kraftigt, vilket kan tyda på en återbeskoning, som också är historiskt belagd.

## 4 Provtagning och analysmetoder

Två provgropar per bestånd grävdes, det vill säga totalt åtta stycken. Provgroparna lades ut slumpmässigt inom ett avstånd på 50 m från beståndsgränsen, men ej närmre gränsen än 10 m. Varje provgrop indelades i jordmåns horisonter enligt FAO systemet (Fitzpatrick 1986). I de en meter djupa groparna togs sex till sju prover så jämnt utspridda som möjligt. Provtagningen gjordes så att varje jordmåns horisont är representerad och ingen provtagning är gjord över horisontsgränserna.

pH mättes i markextrakt, spätt med antingen destillerat vatten eller en KCl lösning. Frisk jord finare än 2 mm blandades med destillerat vatten ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) respektive 0,2 M KCl ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) i viktförhållandet (prov:vätska) 1:2. Blandningen skakades och ställdes sedan att sedimentera. Markextraktet dekanterades och pH mättes med pH meter med KCl-elektrod (Baize 1993).

Den utbytbara aciditeten bestämdes genom att jord, finare än 2 mm, från varje nivå behandlades med 1 M KCl. Efter tillsats av fenolftalein titrerades provet med 0,05 M NaOH till indikatorn gav ett färgomslag, vilket sker då all  $\text{H}_3\text{O}^+$  neutraliserats och alla Al-OH komplex föreligger som  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Denna titrering ger den totala utbytbara aciditeten (Baize 1993).

Till provet sattes 1 M NaF, vilket binder  $\text{Al}^{3+}$  joner som  $\text{AlF}_3$ -komplex och frigör hydroxidjonerna. För att bestämma den utbytbara Al-aciditeten titrerades nu provet tillbaka till färgomslag. Utbytbar  $\text{H}^+$  aciditet är total utbytbar aciditet subtraherat med Al-aciditeten, under antagandet att endast  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  och  $\text{H}_3\text{O}^+$  bidrar till aciditeten (Sparks 1995).

Den titrerbara aciditeten bestämdes på samma sätt som den utbytbara men KCl lösningen ersattes med 1 M ammoniumacetat ( $\text{NH}_4\text{Ac}$ ), buffrat till pH 7. pH mättes i obehandlade blanker. Till detta pH värde titrerades sedan jordextrakten varigenom den titrerbara aciditeten kunde beräknas.

Koncentrationen av baskatjoner ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  och  $\text{K}^+$ ) samt Al mättes i ammoniumacetatextraktet med hjälp av en plasmaspktrometer (ICP-AES ARL 3520). Katjonbyteskapaciteten (CEC) är det totala antalet negativa laddningar som finns i jordprovet. Två olika CEC kan beräknas beroende på om man använder utbytbar eller titrerbar aciditet vid beräkningarna. Man får då effektiv CEC respektive effektiv CEC vid pH 7 (Sparks 1995 ; Baize 1993).

$$\text{CEC}_{\text{eff}} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + \text{Utbytbar aciditet}$$

$$\text{CEC}_{\text{eff pH7}} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + \text{Titrerbar aciditet}$$

Basmättnadsgraden (BS) beräknas genom att dividera den totala mängden baskatjoner med CEC. Man

kan relatera till både  $\text{CEC}_{\text{eff}}$  och  $\text{CEC}_{\text{eff pH7}}$ , vilket ger  $\text{BS}_{\text{eff}}$  och  $\text{BS}_{\text{eff pH7}}$  (Sparks 1995 ; Baize 1993).

$$\text{BS}_{\text{eff}} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]) / \text{CEC}_{\text{eff}}$$

$$\text{BS}_{\text{eff pH7}} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]) / \text{CEC}_{\text{eff pH7}}$$

Kornstorleksfördelningen bestämdes genom torr-siktning för fraktionen över 60 mm och med Sedi-Graph<sup>®</sup> 5000 ET (Micromeritics) för fraktionen där- under (Anon 1993). Prover rika på organiskt material kokades i 15 till 20 %-ig väteperoxid, vilket oxiderar bort det organiska materialet och lämnar det minerogena finmaterialet i oförstört skick (Jackson 1975).

Järn extraherades i fraktionen < 2 mm med hjälp av citrat-bikarbonat-ditionit-metoden, CBD-metoden enligt Mehra & Jackson (1960). Ditioniten ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) reducerar de fria järnoxiderna och bildar  $\text{Fe}^{2+}$  joner som komplex- eller kelatbinds av citratet. Natriumbikarbonaten buffrar lösningen till pH 7,3. Järnhalten bestämdes med hjälp av ICP.

För kolanalys användes fraktionen < 2 mm. Kolhalten mättes i kolanalysator (Leco multiphase carbon determinator RC-412). Resultaten anges som viktandelen kol.

Lerfraktionens mineralogi bestämdes med hjälp av röntgendiffraktion (XRD) på prov från A- och C-horisonten i en grop per bestånd. Orienterade röntgenpreparat bereddes enligt "filter-membrane peel-off" tekniken (Drever 1973). Fraktionen < 2 mm uppsamlades efter centrifugering. Varvtal och tid beräknades med hjälp av den integrerade formen av Stokes lag.

Allt material förbehandlades enligt CBD-metoden för att avlägsna fria järnoxider (Mehra & Jackson 1960). Alla proven mättades dessutom med magnesiumjoner före vidare behandling.

Fyra behandlingar av preparaten gjordes;

1. Lufttorkat (AD).
2. Etylenglykolbehandlat (EG) över EG-ånga 48 timmar vid 60°C.
3. HCl-behandlat (HCl). En timmes behandling i 1 M HCl.
4. Upphettnings till 550°C i en timme.

Mineralidentifikationen gjordes utifrån de kriterier som anges i Brindley & Brown (1980).

Vid den statistiska behandlingen av materialet användes en split-plot modell med område som huvudnivån. Trädslag och horisont sattes som subplots. Materialet behandlades i en allmän linjär modell (GLM) för split-plot.

Effektiv CEC testades mot kol-, järn-, och lerinnehållet med hjälp av multipel linjär regression.

De statistiska beräkningarna utfördes i SAS<sup>®</sup> (SAS Institute Inc. 1988).

## 7 Resultat

Skillnaderna mellan trädslagen, vad gäller okulärt bestämbara jordmånsparametrar, är tydligast i Sandvik. Sandviks granbestånd är ju också 35 år äldre än det på Oxafällan. På Oxafällan är den enda tydliga skillnaden mellan trädslagen en mer utpräglad aggregatbildning i A-horizonten i lövbeståndet. I Sandvik är förnaskiktet mäktigare i granbeståndet än i lövbeståndet. Det har dessutom bildats en mår i granbeståndet medan den organiska horisonten i lövskogen är en moder, det vill säga en övergångsform mellan mull och mår. A-horizonten i Sandvik visar också antydning till en urlakningshorisont (E-horisont) (tabell 5).

Både  $pH_{H_2O}$  och  $pH_{KCl}$  ökar nedåt i profilerna.  $pH_{H_2O}$  i A-horizonten varierar mellan 3,5 och 4,3 i Sandvik och mellan 3,5 och 4,5 i Oxafällan. I C-horizonten är spridningen mindre och pH-värdet ligger runt 4,5 både i Sandvik och Oxafällan.  $pH_{KCl}$  följer samma mönster som  $pH_{H_2O}$  men ligger ca 0,5 pH enheter lägre. Skillnader i pH mellan horisonterna är statistiskt signifikanta, men det finns inga signifikanta skillnader mellan trädslagen (figur 2 och tabell 6).

Den utbytbara aciditeten minskar från ca 7  $cmol_c/kg$  i ytan till ca 1  $cmol_c/kg$  vid 1 m djup och den utbytbara Al-aciditeten minskar från ca 0,6  $cmol_c/kg$  till ca 0,1  $cmol_c/kg$  i samma intervall.

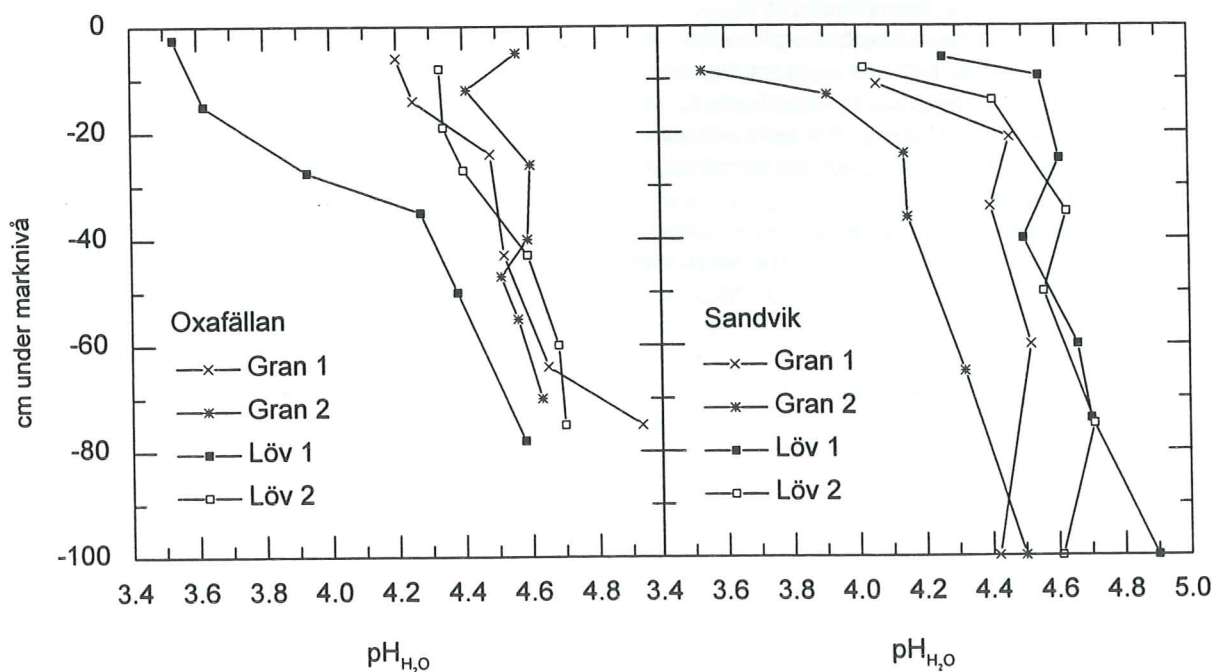
Det är signifikanta skillnader mellan horisonterna för utbytbar aciditet och utbytbar Al-aciditet, dock är skillnaden mellan trädslagen ej signifikant.

Kvoten utbytbar Al-aciditet / utbytbar aciditet, som visar hur stor andel av den utbytbara aciditeten som är betingad av aluminium, visar dock på en skillnad mellan trädslagen men skillnaden är inte statistiskt säkerställd. Även för denna parameter är det signifikant skillnad mellan horisonterna (figur 3 och tabell 6).

Den titrerbara aciditeten har i ytproven en spridning mellan 16 och 35  $cmol_c/kg$  för både Oxafällan och Sandvik, men även här konvergerar värdena med djupet för att hamna på ca 3-4  $cmol_c/kg$  på 80-100 cm djup.

Den titrerbara aciditeten visar också signifikanta skillnader mellan horisonterna men inga trädslagskillnader (tabell 6).

Halten utbytbara kationer  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  och  $Na^+$ , uppvisar inga signifikanta skillnader mellan horisonterna. De visar heller inte på några statistiskt säkra skillnader mellan trädslagen men tendenser till skillnader mellan trädslagen finns, framför allt för Ca. Ca-koncentrationen är högre i ytan för granbestånden men på djupet blir den högre i lövbestånden (tabell 6).



Figur 2.  $pH_{H_2O}$  som funktion av djupet i profilerna

Tabell 5. Profilbeskrivningar.

Område	Trädslag	Grop	Djup <sup>a</sup> (cm)	Horisont (enl. FAO)	Anmärkning
Oxafällan	Gran	1	0-2	O	Barrförna
			2-16	A	Mörkbrun
			16-30	B	Rostfärgad
			30-57	B	Humusimpreg.
			57-70	B	Rostfärgad
	70-	C			
	Gran	2	0-3	O	Barrförna
			3-16	A	Mycket rötter
			16-38	B	Rost- och humus färgad
			38-52	B/C	
	52-	C	Vid 70 cm börjar en kompakt morän		
	Löv	1	0-2	O	
2-30			A	Mycket rötter	
30-53			A/B	spridda över A och A/B. Aggregat	
53-(85)	B/C	Järnutfällningar			
Löv	2	0-2	O		
		2-23	A	Aggregat	
		23-64	A/B		
		64-	B/C	Järnutfällningar	
Sandvik	Gran	1	0-6	O	Mår
			6-7	A(E)	Antydning till E-hori- sont
			7-25	B	
			25-43	B/C	
			43-	C	
	Gran	2	0-8	O	Mår
			8-9	A(E)	Antydning till E-hori- sont
			9-28	B	Humusimpreg lite järn
			28-44	B/C	
	44-	C			
	Löv	1	0-4	O	Moder
			4-11	A	
11-72			B		
72-			C		
Löv	2	0-3	O	Moder	
		3-7	A		
		7-66	B		
		66-83	B/C		
83-	C				

<sup>a</sup>Djup under markytan

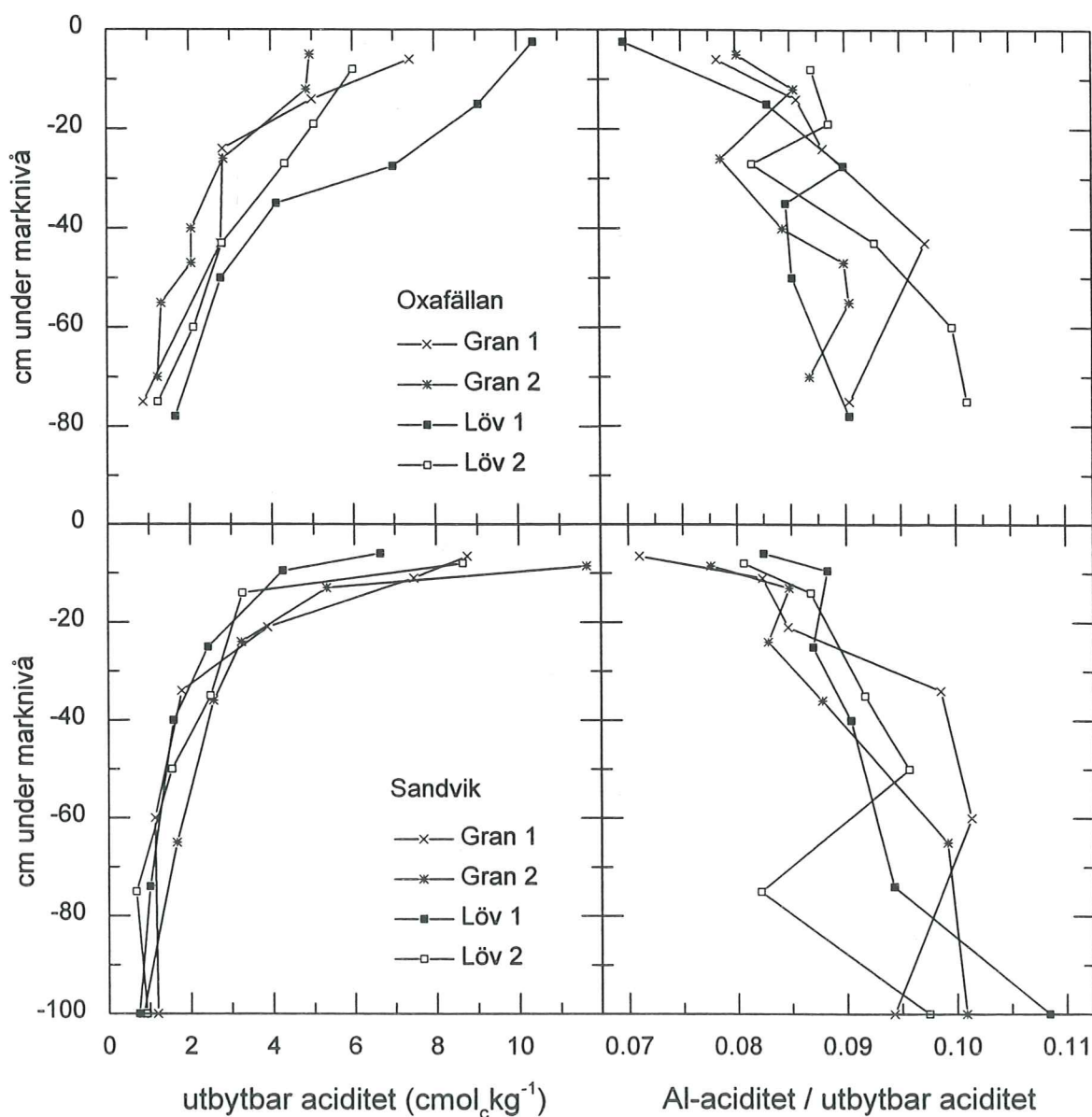
Effektiv CEC varierar mellan 8 och 12 cmol<sub>c</sub>/kg i ytan för Oxafällan och mellan 2 och 3,5 cmol<sub>c</sub>/kg på 80 cm djup. I Sandvik varierar den mellan 7 och 13 cmol<sub>c</sub>/kg i ytan och konvergerar mot 1,5 cmol<sub>c</sub>/kg på 100 cm djup.

Effektiv CEC vid pH 7 visar samma tendenser som effektiv CEC men har högre värden eftersom den titrerbara aciditeten är större än den utbytbara.

Skillnaderna mellan horisonterna är starkt signifikanta medan det inte finns några signifikanta skillnader mellan trädslagen (figur 4 och tabell 6).

Sambandet mellan effektiv CEC samt kol-, järn- och lerhalt studerades med hjälp av multipel linjär regression. Modellen som användes var  $CEC_{eff} = \beta_0 + \beta_1*(Kol\%) + \beta_2*(Järn\%) + \beta_3*(Ler\%) + \epsilon$ . Vid den första analysen gjordes en regression på hela materia-

let. Vid den andra analysen delades materialet upp i två halv, A, AB och B i den ena halvan och BC och C i den andra. I regressionsanalysen på hela materialet hade sambandet mellan CEC och kolhalten en mycket hög signifikans. Lerhalten hade också ett signifikant samband med CEC medan järnhalten inte visade på något större samband. I den uppdelade regressionsanalysen var återigen kol- och lerhalt signifikanta i de övre horisonterna. För de undre horisonterna var bara kolhalten signifikant, dock ej lika signifikant som i de övre horisonterna. Modellens förklaringsgrad (R<sup>2</sup>-värdet) var bäst för modellen med allt material, och sämst för de undre horisonterna i den delade modellen (figur 5 och tabell 7)

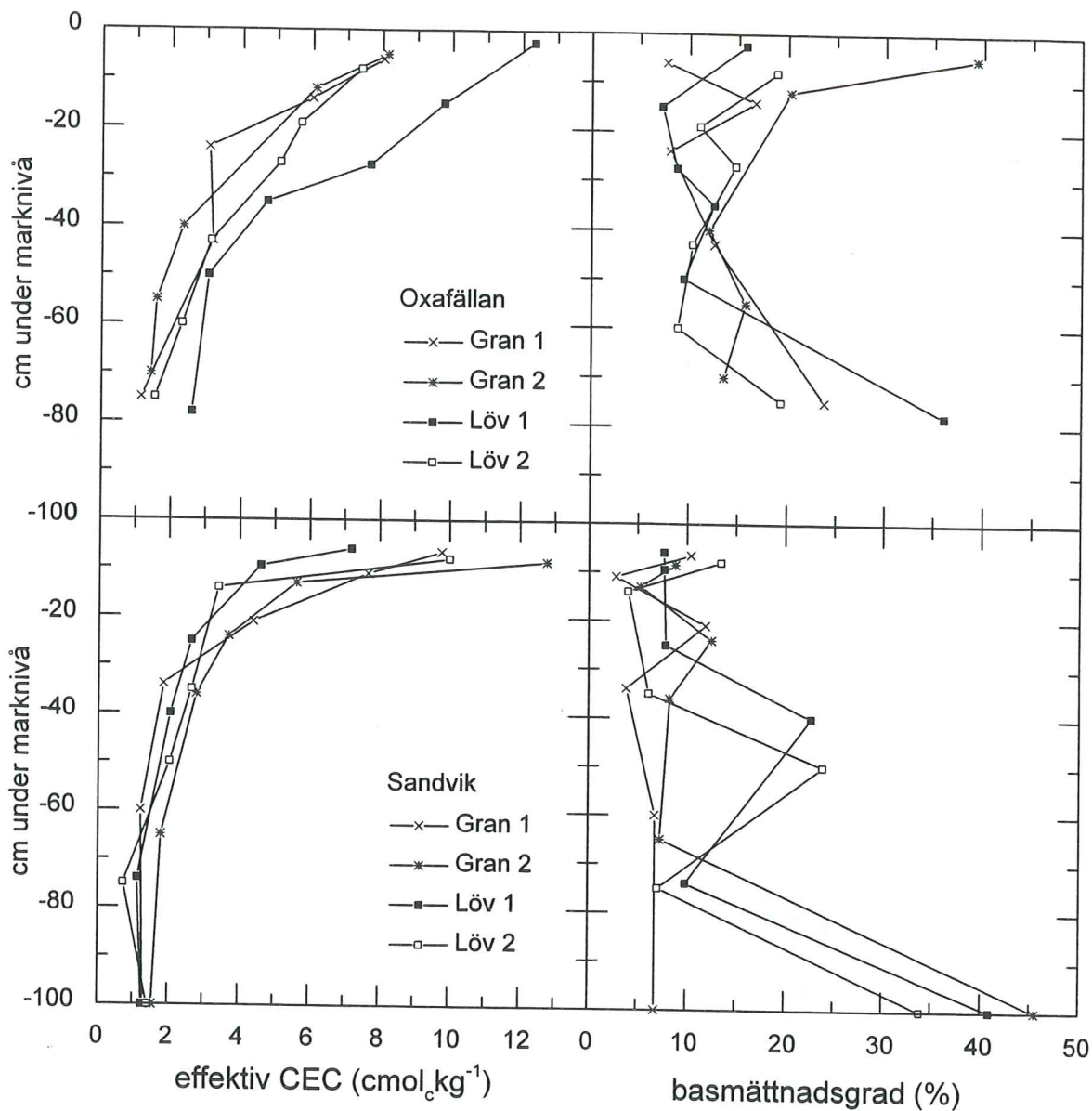


Figur 3. Utbytbar aciditet och utbytbar Al-aciditet/utbytbar aciditet som funktion av djupet i profilen

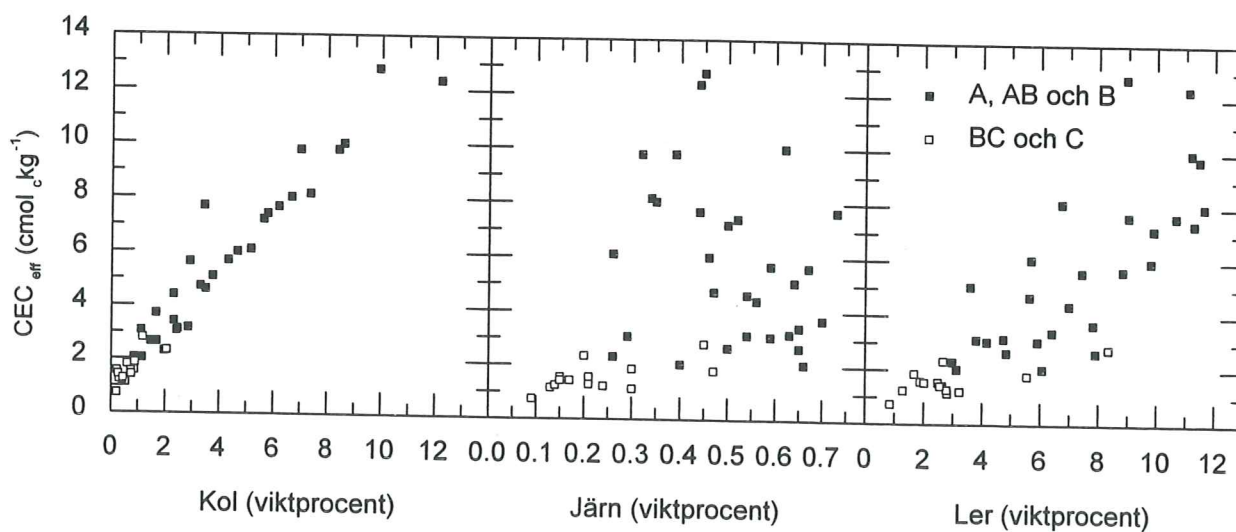
Tabell 6. Medelvärden för olika variabler i de två beståndstyperna. Dessutom anges p-värden för jämförelser av trädslag och horisont samt samspelet mellan horisont och trädslag.

	Medelvärden												P-värden				
	A			AB			B			BC			C		Trädslag*		
	Gran	Löv		Gran	Löv		Gran	Löv		Gran	Löv		Gran	Löv	Trädslag	Horisont	
pH(H <sub>2</sub> O)	4.2	4.0		4.5	4.6		4.4	4.6		4.4	4.6		4.4	4.6	0.68	0.94	0.01
pH(KCl)	3.5	3.5		4.1	4.2		4.0	4.2		4.2	4.2		4.2	4.3	0.78	0.94	0.02
utbytbar aciditet(cmol <sub>c</sub> /kg)	7.103	7.547		3.230	2.600		4.050	2.600		2.117	1.339		1.183	0.899	0.67	0.95	0.00
utbytbar Al-aciditet(cmol <sub>c</sub> /kg)	0.558	0.618		0.282	0.232		0.344	0.232		0.190	0.123		0.112	0.088	0.72	0.84	0.00
Al-aciditet/utbytbar aciditet	0.080	0.083		0.089	0.090		0.086	0.090		0.090	0.092		0.095	0.097	0.16	0.98	0.05
titrerbar aciditet(cmol <sub>c</sub> /kg)	20.07	21.03		8.71	7.92		9.58	7.92		6.37	3.67		3.36	3.22	0.68	0.95	0.00
Mg(cmol <sub>c</sub> /kg)	0.287	0.197		0.077	0.110		0.085	0.110		0.015	0.144		0.018	0.164	0.56	0.27	0.14
Ca(cmol <sub>c</sub> /kg)	0.770	0.489		0.222	0.094		0.103	0.094		0.071	0.161		0.062	0.110	0.11	0.57	0.10
K(cmol <sub>c</sub> /kg)	0.223	0.291		0.090	0.069		0.099	0.069		0.052	0.178		0.130	0.042	0.28	0.59	0.28
Na(cmol <sub>c</sub> /kg)	0.088	0.059		0.043	0.030		0.065	0.030		0.057	0.042		0.036	0.019	0.60	0.74	0.21
effektiv CEC(cmol <sub>c</sub> /kg)	8.47	8.58		3.66	2.90		4.61	2.90		2.33	1.87		1.43	1.24	0.71	0.96	0.00
effektiv CEC pH7(cmol <sub>c</sub> /kg)	21.44	22.06		9.14	8.22		10.15	8.22		6.57	4.19		3.61	3.56	0.71	0.96	0.00
effektiv basmättnadsgrad(%)	17.2	11.8		11.2	12.1		8.9	12.1		8.1	23.0		17.1	25.3	0.09	0.56	0.55
basmättnadsgrad pH7(%)	6.9	4.7		4.5	4.2		4.3	4.2		2.9	12.0		7.3	9.4	0.31	0.56	0.70
jäm(vikt%)	0.37	0.49		0.44	0.57		0.55	0.57		0.30	0.26		0.23	0.14	0.97	0.11	0.00
kol(vikt%)	7.04	7.11		2.52	1.70		2.36	1.70		1.50	0.56		0.54	0.39	0.42	0.94	0.00
sten och grus(vikt%)	8.7	8.6		33.7	18.7		17.4	18.7		22.1			23.8	26.3	0.30	0.48	0.01
sand(vikt%)	46.6	45.5		42.4	43.7		47.6	43.7		42.5			44.8	46.1	0.80	0.76	0.83
silt(vikt%)	36.2	35.3		19.9	32.2		29.2	32.2		31.2			28.3	25.9	0.07	0.82	0.00
ler(vikt%)	8.6	10.6		4.0	5.4		5.8	5.4		4.2			3.0	1.7	0.91	0.20	0.00





Figur 4. Effektiv CEC och basmättnadsgrad som funktion av djupet i profilerna.



Figur 5.  $CEC_{eff}$  som funktion av kolhalten, järnhalten och lerhalten. Fyllda kvadrater representerar de yttliga horisonterna A, AB och B. Ofyllda kvadrater representerar de djupare horisonterna BC och C.

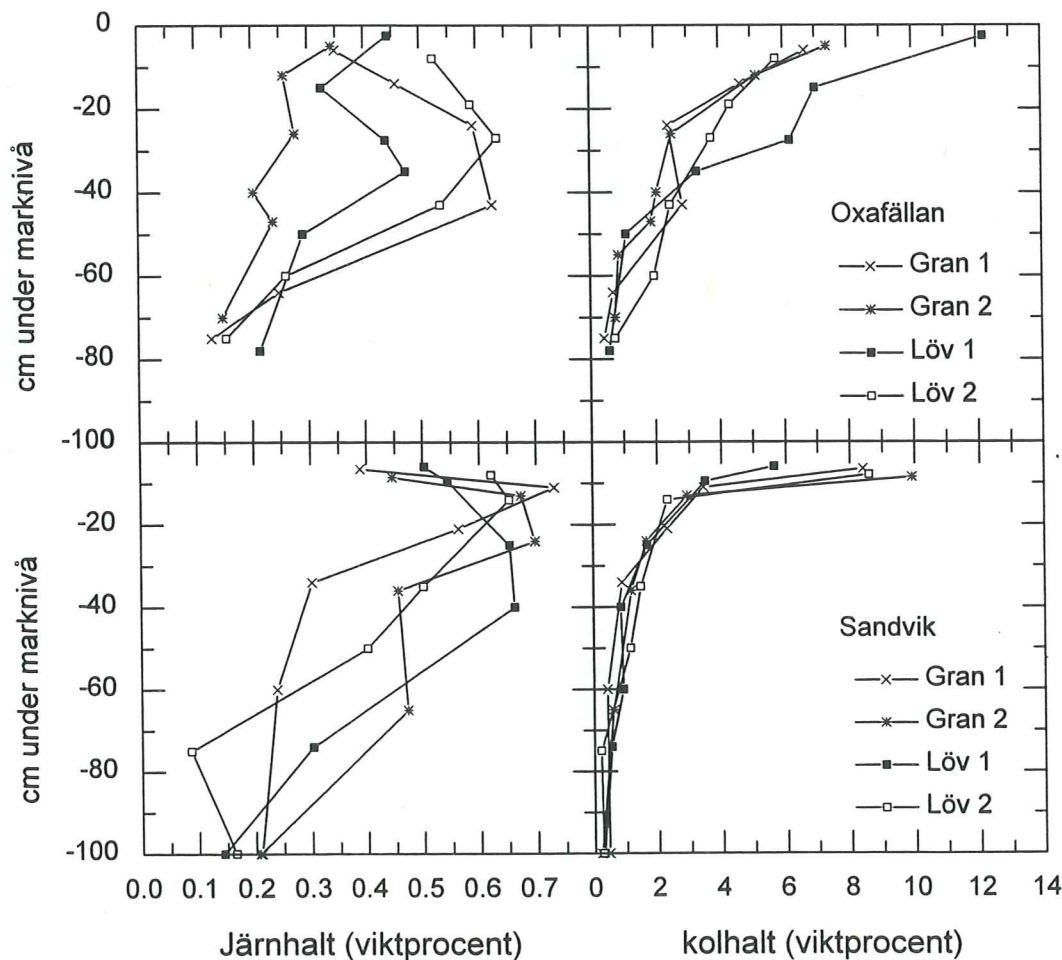
Tabell 7. Resultat av multipel linjär regressionsanalys. Regressionsmodell:  $CEC_{eff} = \beta_0 + \beta_1*(Kol\%) + \beta_2*(Järn\%) + \beta_3*(Ler\%) + \epsilon$ . Tre olika regressionsanalyser gjordes, vid den första användes alla horisonterna, vid den andra användes endast de ytliga A, AB och B horisonterna och vid den tredje användes de djupa BC och C horisonterna.

Horisont	Variabel	Koefficient	Medelfel	P-värde	Modellens	
					R <sup>2</sup> -värde	
Alla	Intercept	0.35	0.28	0.2082	0.9565	
	kolprocent	0.91	0.061	0.0001		
	järnprocent	0.6	0.74	0.4223		
	lerprocent	0.16	0.064	0.0167		
A, AB, B	Intercept	0.13	0.75	0.8618	0.9331	
	kolprocent	0.9	0.086	0.0001		
	järnprocent	0.82	1.3	0.5295		
	lerprocent	0.18	0.085	0.0499		
BC, C	Intercept	0.77	0.16	0.0011	0.8278	
	kolprocent	0.6	0.12	0.001		
	järnprocent	1.9	0.97	0.084		
	lerprocent	-0.029	0.083	0.7361		

Den effektiva basmättnadsgraden är högre för lövbestånden än för granbestånden för alla horisonter utom för A-horisonten. Den effektiva basmättnadsgraden ligger mellan 8 och 25% medan basmättnadsgraden vid pH 7 ligger några procentenheter lägre. Det finns tendens till skillnad i effektiv basmättnadsgrad mellan trädslagen ( $p = 0,09$ ). Skillnaden är dock ej signifikant. Denna skillnad finns ej för basmättnadsgrad vid pH 7. Basmättnadsgraden är inte signifikant

skild mellan horisonterna (figur 4 och tabell 6).

Järnandelen i marken är störst i B-horisonten för bägge beståndstyperna, vilket är naturligt då detta är en anrikningshorisont. Det är stor signifikant skillnad i järnhalten mellan horisonterna medan det inte är någon skillnad mellan trädslagen. Det finns dock en tendens till samspel mellan trädslag och horisont ( $p = 0,11$ ), vilket visar på en skillnad i distributionen av järn i marken. Järnhalten är högre i ytan i lövbeståndet medan den är högre i BC- och C-horisonten i granbeståndet (figur 6 och tabell 6).



Figur 6. Järnhalt och kolhalt som funktion av djupet i profilerna

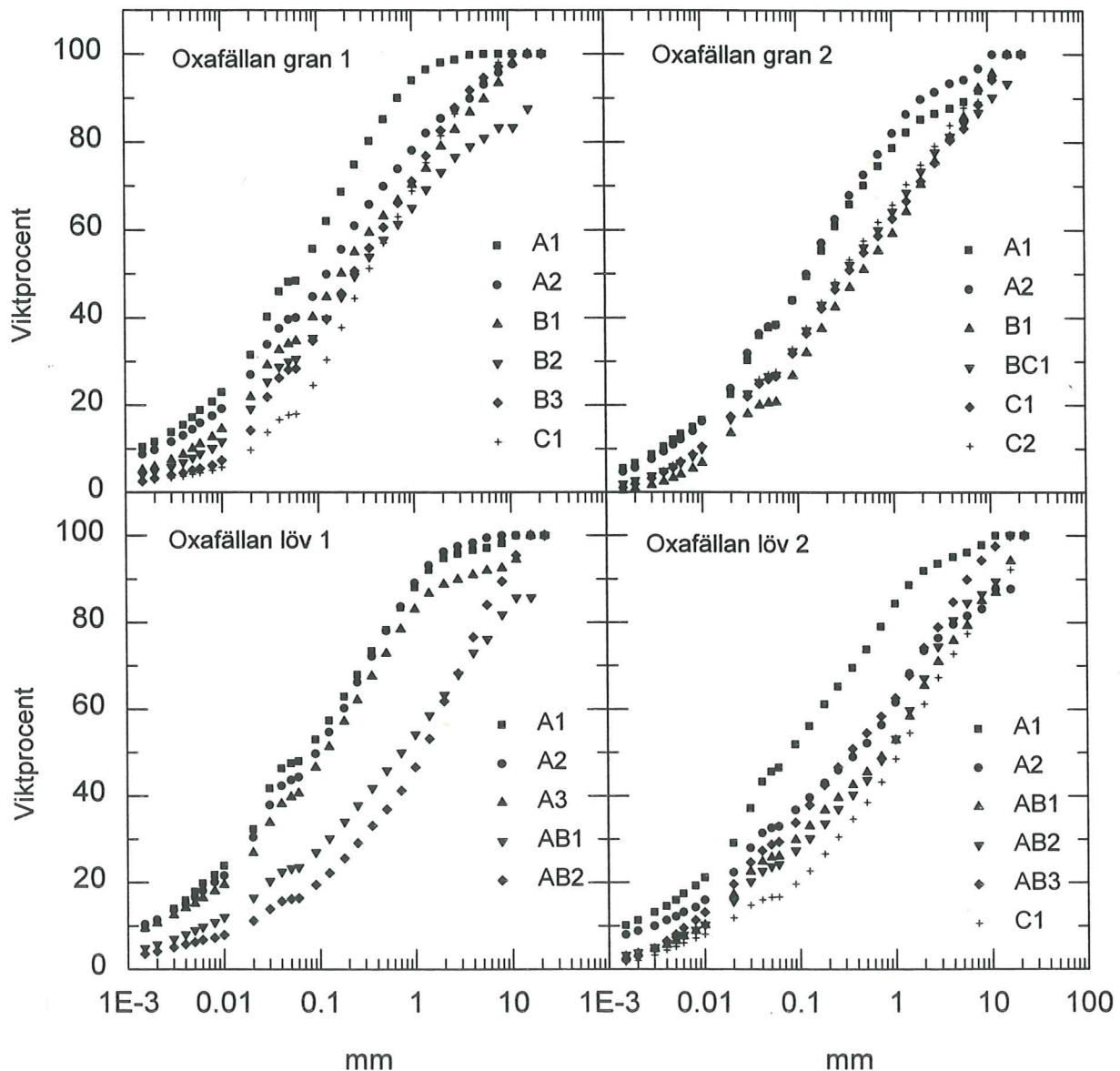
Kolet minskar kraftigt med djupet i profilerna och minskar från ca 7 % i A- till ca 0,5 % i C-horisonten. Det är endast mellan horisonterna och ej mellan trädslagen som det finns signifikanta skillnader (figur 6 och tabell 6).

Den genomgående trenden för hela materialet är att andelen finmaterial är större i ytan än på djupet. Lerhalten är betydligt större i ytan och minskar sedan med djupet. En annan trend är att det är väldigt lite material grövre än sand i de humusblandade ytliga horisonterna (figur 7 och figur 8).

För alla kornstorlekar, utom sand, är det signifikanta skillnader mellan horisonterna. Det är inga statistiskt säkerställda skillnader mellan trädslagen men silt har ett p-värde på 0,07 vilket ger en antydning att ett samband finns mellan silthalt och trädslag (tabell 6).

Proven från C-horisonten, som förmodas visa den opåverkade jordens mineralogi, har på samtliga loka-

ler en likartad sammansättning. I figur 9 visas därför endast röntgendiffraktogrammen från Sandvick-granskogens C-horisont. De viktigaste icke-lermineralen är kvarts, plagioklas och kalifältspat. Små mängder amfibol har också påvisats i samtliga prover från C-horisonten. Bland fyllosilikaten är biotit/illit och klorit viktigast. Eftersom kloritens reflexer med jämnt ordningsnummer överlagras kaolinmineralens så gjordes en saltsyrebehandling av proven. Vid denna behandling löses de järnrika fyllosilikaten, framför allt kloriten och biotiten/illiten. Svaga reflexer som kvarstår vid 7 och 3,5 Å efter saltsyrebehandling tyder därför på att små mängder av kaolinmineral också förekommer i provet från C-horisonten. EG-behandling av provet ger ingen förändring av 14 Å toppens läge eller form vilket tyder på att svällande lermineral saknas. Däremot tyder den taggiga förhöjning av bakgrunden som kan ses mellan 14 och 10 Å- toppen på att



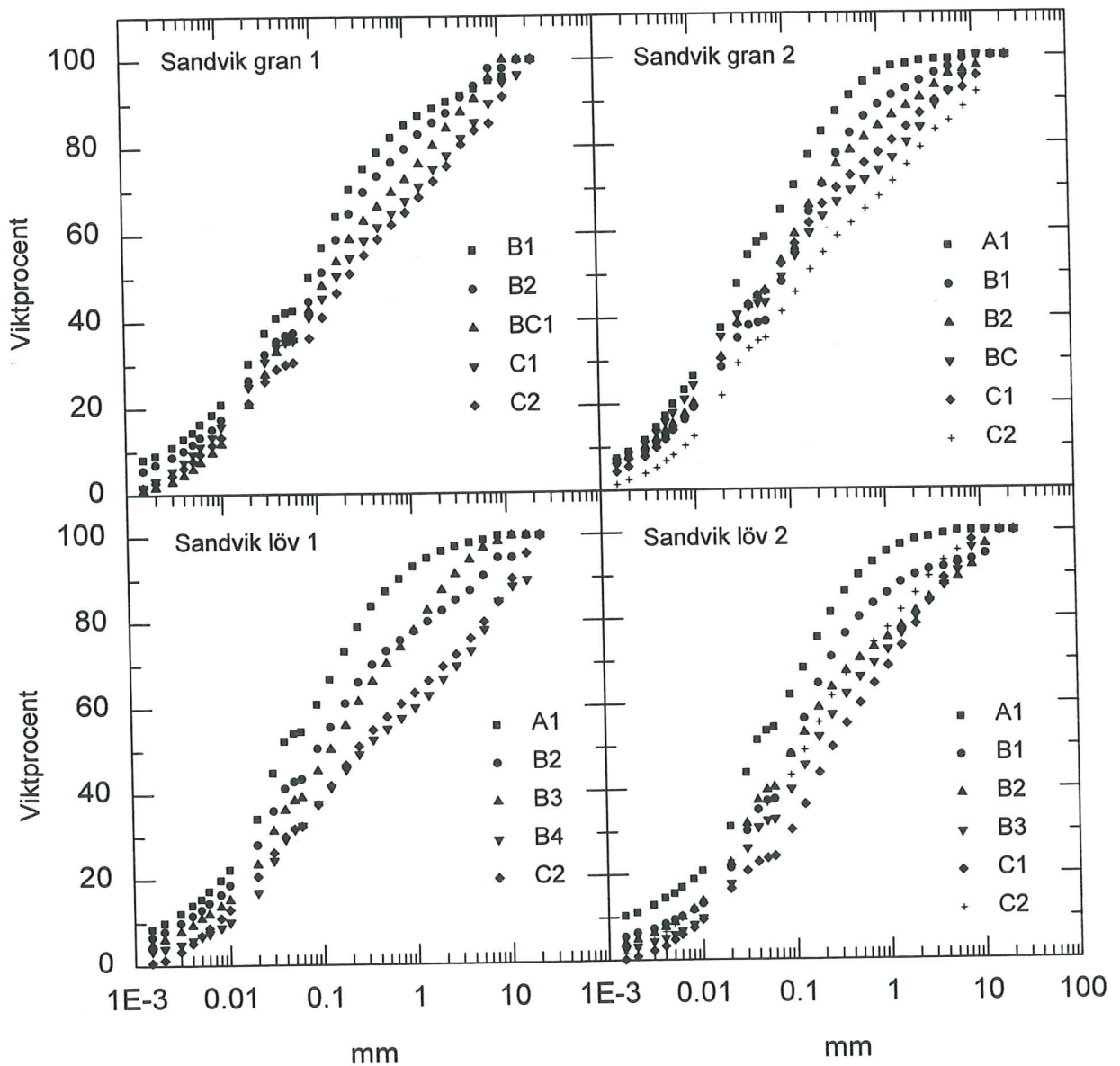
Figur 7. Kumulativa kornstorlekskurvor för profilerna på Oxafällan

blandkiktade lermineral förekommer. Dessa består förmodligen av oregelbundet lagrade 14 och 10 Å mineral, t.ex. klorit- och/eller vermiculitiskt blandade med illitsikt.

Provet från A-horisonten från samma lokal visas i Figur 9. Med ett undantag förekommer här samma primärmineral som i C-horisonten. Undantaget är amfibol, ett lättvittrat inosilikatmineral, som inte kunnat påvisas i A-provet. Skillnaden mellan A- och C-provet är dock betydligt större vad beträffar fyllsilikatsammansättningen. Vare sig biotit eller klorit har kunnat påvisas i A-provet. Istället domineras diffraktogrammet av en stark reflex vid 14 Å, som flyttas till 17 Å vid EG-behandlingen. Reaktionen är typisk för smektiterna. Breddningen och asymmetrin hos toppen efter EG-behandlingen tyder på att smektitiskt också förekommer i blandskiktning med icke-svällande mineral, som t.ex. illit och klorit. Även i detta prov har små mängder av ett kaolinmineral påvisats.

Provet från A-horisonten på lövskogslokalen i Sandvik visas i Figur 9. Primärmineralen är desamma som i granskogen, det vill säga inte heller här förekommer amfibol i ytprovet. Även detta prov har en stark 14 Å reflex, men denna påverkas inte av EG-behandlingen. Den uteblivna svällningen gör att 14 Å-mineralet i detta prov ska klassificeras som vermiculit. En annan viktig skillnad mot granskogsprovet är att lövskogsprovet dessutom har tydliga reflexer vid 7 och 3.5 Å, vilka orsakas av klorit. Identifiering av klorit har säkerställts genom HCl-behandling och upphettning av provet.

Proverna från Oxafällan uppvisar i stort sett samma lermineralogi som Sandvik. Klorit har således påträffats i lövskogarnas A-horisonter i båda områdena men ej i granskogarnas. Oxafällan har ej utbildat någon smektit i granskogens A-horisont utan har vermiculitiska och smektitiska blandskiktmineral i båda beståndstyperna. I övrigt sammanfattas mineral-sammansättningen i tabell 8.



Figur 8. Kumulativa kornstorlekskurvor för profilerna i Sandvik



## 8 Diskussion

Samtliga profiler i undersökningen har sura jordmåner. Då den utbytbara aciditeten bättre speglar markens verkliga status i sura jordmåner än den titrerbara (Baize 1993), så kommer jag att utesluta den titrerbara aciditeten och av denna beräknade variabler ur den följande diskussionen. Den titrerbara aciditeten är större än den utbytbara vilket är precis vad man kan förvänta sig då fler vätejoner trängs ut från kolloidytorna när lösningen buffras till pH 7. I övrigt följer den utbytbara aciditeten och den titrerbara aciditeten samma mönster.

De statistiska beräkningarna lider av att antalet upprepningar i försöket är lågt. Det hade varit önskvärt med fler upprepningar, men tiden för arbetet har varit begränsad och en avvägning har fått göras mellan antalet analyserade parametrar och antalet upprepningar av dessa. Trots denna begränsning är de statistiska beräkningarna ett bra stöd för diskussionen.

### 8.1 Ökar granen markens aciditet?

Hypotesen att granen ökar markens aciditet går inte att bevisa baserat på detta material trots att flera tidigare undersökningar pekat på ett sådant förhållande (bl.a. Binkley & Valentine 1991; Frank & Borchgrevink 1982; Liljelund et al. 1986; Johansson & Lundmark 1986; Nihlgård 1971). Det finns dock indikationer på att Al-aciditeten utgör en större andel av den utbytbara aciditeten i granbestånden än i lövbestånden. En högre Al-andel av den utbytbara aciditeten kan tyda på att det nu är aluminiumkomplex som buffrar marksystemet. Markens buffringsförmåga gör att försurningsprocessen har ett fördröjt förlopp, vilket medför att tidsrymden 35 respektive 70 år kanske är för kort tid för att förändringar skall kunna ske. Ett granbestånds löpande tillväxt är som störst vid ca 40 års ålder på medelgoda boniteter i södra Sverige (Eriksson & Johansson 1993). I intervallet 0 – 25 år är beståndets biomassaproduktion låg vilket medför att det är lite aciditet som tillförs marken på grund av trädens tillväxt. Granbeståndens förnalager, som är surare än lövförna, tar tid att bygga upp. Förnafallet är beroende av tillväxten (Lundmark 1986), vilket medför att den löpande förna-ackumuleringen är störst efter ca 40 år. Sammantaget är alltså den försurande verkan av förna och tillväxt i granbeståndet inte särskilt påtaglig förrän beståndet nått medelåldern.

### 8.2 Minskar granen baskatjonpoolen?

Det finns ingen trädslagsskillnad vad gäller katjonbyteskapaciteten (CEC). Effektiv CEC är starkt korrelerat till kolhalten i marken, vilken speglar mäng-

den organiskt material i marken men dock inte i vilken form det föreligger. En undersökning av Alriksson och Olsson (1995) i svenska granskogar visar också på ett starkt samband mellan effektiv CEC och markens kolhalt ( $R^2 = 0,975$ ). I denna undersökning gjordes dock bara en enkel linjär regression med avseende på kolhalten. Att effektiv CEC har bäst korrelation till kol är naturligt då humusämnen har en CEC på 150 – 300 cmol<sub>c</sub>/kg vilket är högre än för de flesta mineral och oxider. Markens effektiva CEC har svagare samband med lerhalten och inget samband alls med järnhalten i de övre horisonterna. I de undre horisonterna har lerhalten inte något samband med CEC medan järn uppvisar ett svagt samband, vilket kan ses i den delade regressionsanalysen. Dock har kolet alltid den bästa korrelationen. Förklaringen till att lerhalten korrelerar bättre i de övre horisonterna är troligtvis att lermineralogin i de övre horisonterna domineras av smektit, vermikulit och illit som har värden på CEC som ligger mellan 10 och 200 cmol<sub>c</sub>/kg. Detta värde är betydligt högre än värdena på CEC för klorit, biotit/illit och kaolinmineral som dominerar de djupare horisonterna (tabell 2). Tektosilikaterna såsom kvarts, Na-plagioklas och kalifältspat ökar relativt övriga mineral uppåt i profilen då dessa är mer resistent mot vittring. CEC för tektosilikat är betydligt lägre än för fyllosilikat. Järnet, som extraherats genom CBD-metoden härstammar från primära oxider (såsom hematit och magnetit), fria sekundära oxider samt oxider som fällt ut på mineralkornsytor (Jackson 1975). Järn som är bundet till organiskt material extraheras troligtvis också av CBD-metoden (Taylor 1987), men detta järn bidrar inte till CEC utan upptar i stället ytladdningar på humusmaterialet. Högst upp i profilen där det är mycket organiskt material är korrelationen mellan järn och effektiv CEC dålig. Detta kan tyda på att järnet inte föreligger som oxider utan är bundet till det organiska materialet och ger då inte upphov till några ytladdningar. Längre ned i profilen, i BC- och C-horisonterna, där mängden organiskt material är sparsam blir korrelationen mellan järnhalt och effektiv CEC bättre vilket kan tyda på att järnet föreligger som oxider. Eftersom det inte är riktigt klart vad CBD-extraherbart järn speglar och om den form som järnet föreligger i skapar eller upptar ytladdningar är järnhalten en svårtolkad variabel i regressionsanalysen.

Av de enskilda baskatjonerna är det bara Ca<sup>2+</sup> som har en tendens till samband med trädslaget. Detta samband är dock mycket svagt ( $p = 0,11$ ). Det finns indikationer att granskogen har minskat den totala baskatjonpoolen i marken jämfört med lövskogen men detta är dock ej statistiskt bevisat då p-värdet för den effektiva basmättnadsgraden ligger på 0,09. Då baskatjonhalten minskar så ökar andelen Al-komplex och vätejoner på kolloidytorna om CEC är konstant. Detta

kan vara en förklaring till att andelen utbytbar Al-aciditet är högre i granbestånden.

### 8.3 Ökar granen podsoleringen?

Det finns en klar antydning till podsolering i granbesånden när det gäller okulärt bestämbara jordmånsparametrar. Den minskade aggregatstrukturen i granbeståndet på Oxafällan tyder på en omvandling av mulden. I Sandvik håller ett mårskit på att byggas upp i granbeståndet och det organiska lagret är också mäktigare här. Eftersom förmafallet är korrelerat till biomassaproduktionen i beståndet (Lundmark 1986) kan uppbyggnaden spegla den större biomassan i granbeståndet (tabell 3), men även en minskning i antalet grävande organismer och en övergång till en mindre aktiv mår i granskogen. A-horisonten i Sandvik visar på en antydning till utbildning av en urlakningshorisont, som är karakteristisk för podsoler. Järnhalten är högst i B-horisonten vilket är förväntat då denna kännetecknas av oxidanrikning. I de undre horisonterna är järnhalten högst under granen, vilket kan tolkas som en tilltagande utfällning av oxider här. Detta vore den naturliga följderna av en ökad podsolering med en utbredning av B-horisonten i djupled som följd.

### 8.4 Ökar granen mineralvittringshastigheten och har mineralsammansättningen förändrats?

Markmineralogin undersöktes endast i fyra av åtta provgröpar, då arbetets ekonomi och tidsplan ej tillät mer. Lerfraktionen var den enda fraktion som undersöktes då denna med sin stora relativa yta är den känsligaste för vittring. De vanligaste sekundärmineralerna som bildas genom vittring återfinns också i lerfraktionen. Trots materialets ringa omfång går det att urskilja vissa trender. Bland skikt-silikaten i den minst påverkade horisonten, C-horisonten, dominerar klorit och biotit/illit. I Sandvik finner man även kaolin-mineral. Det finns även mineral tillhörande amfibolgruppen. Tektosilikaten kvarts, plagioklas och kalifältpat finns i alla proven. Mineralsammansättningen i lerfraktionen är likadan inom varje provområde i C-horisonten, vilket visar att det minerogena ursprungsmaterialet är jämförbart mellan bestånden samt att trädslaget ej påverkat denna horisont (tabell 8).

Tabell 8. Den mineralogiska sammansättningen i lerfraktionen. Mineralsammansättningen bestämdes med hjälp av röntgendiffraktion

Horisont	Oxafällan		Sandvik	
	Löv	Gran	Löv	Gran
A	Vermikulitiska och smektitiska blandskikts mineral Klorit Biotit/illit Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Vermikulitiska och smektitiska blandskikts mineral Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Vermikulitiska blandskikts mineral Klorit kaolinmineral Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Smektit Vermikulitiska blandskikts mineral kaolinmineral Kvarts Plagioklas Kalifältpat
C	Klorit Biotit/illit Amfibol Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Klorit Biotit/illit Amfibol Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Klorit Biotit/illit Amfibol Kaolinmineral Kvarts Plagioklas Kalifältpat	Klorit Biotit/illit Amfibol Kaolinmineral Kvarts Plagioklas Kalifältpat

I A-horisonten dominerar olika vermikulitiska och smektitiska blandskiktmineral bland fyllosilikaten. Här är samstämmigheten mindre mellan groparna. På Oxafällan är det ingen skillnad mellan beståndens mineralsammansättning i A-horisonten bortsett från att lövskogsmarken innehåller klorit. I Sandvik som har hyst gran i 70 år har det bildats smektit i granbeståndets A-horisont vilket kan ge en indikation på att vittringen har kommit längre här då den vanliga vittringsserien för skandinaviska jordmånar är glimmer → vermikulit → smektit (Gjems 1963, 1967; Wiklander & Aleksandrović 1969). Avsaknaden av klorit i granskogens A-horisont tyder också på att det råder en intensivare vittring i granskogen än i lövskogen. Kloriten som finns i jordmånerna kan vara primär men kan även vara en vittringsprodukt bildad från bland annat biotit (Wilson & Farmer 1970). Lidmar-Bergström et al. (1997) visar dock att det finns klorit i berggrunden vilket talar för att den är primär, vilket också dess förekomst i den i stort sett opåverkade C-horisonten gör. De reflexer i diffraktogrammen som klasats som biotit/illit är troligtvis först och främst primär biotit då detta mineral är vanligt i den typ av berggrund som finns i området (Lidström et al. 1991; Lidmar-Bergström et al. 1997). Då biotit vittrar bildas vermikulitiska blandskiktmineral och illit (Weaver 1989) vilket återfinns i de undersökta jordmånerna. Den amfibol som finns i C-horisonten på Oxafällan går ej att återfinna i A-horisonten, vilket tolkas som att den har vittrat. Hornblände, en vanlig amfibol i svensk berggrund, kan omvandlas till vermikulit vid kemisk vittring (Proust 1981). På Oxafällan och Sandvik återfinns också vermikulitiska blandskiktmineral i A-horisonten. I Sandvik finner man kaolinmineral i hela jordmånen och detta torde bero på att den funnits primärt i de glaciala avlagringarna dit de förts med från djupvittrad berggrund i området där de verkar vara en utbredd komponent (Lidmar-Bergström et al. 1997).

Det finns alltså tydliga spår av vittring i jordmånerna. Det finns även indikationer på att granen ökar vittringen i markens lerfraktion, då det endast är marken i granbeståndet i Sandvik som utbildat en smektit i A-horisonten. Avsaknaden av klorit i granskogsbeståndens A-horisont och närvaron i lövskogsbeståndens tyder på att kloriten omvandlats i granjordmånen, vil-

ket kan tolkas som att granen har en markmiljö med intensivare vittring i A-horisonten. Att smektit inte utbildats i granbeståndet på Oxafällan kan helt enkelt bero på att det är yngre än det i Sandvik.

Den ökade vittringen av fyllosilikat, och då främst klorit, i granbeståndens A-horisont bör ha frigjort aluminiumjoner. Det är troligt att den ökade andelen Al-aciditet av den utbytbara aciditeten i granbeståndens A-horisont härstammar från dessa av vittringen frigjorda aluminiumjoner. Tendensen till minskad basmättnadsgrad i granjordmånerna kan även bero på katjonbytesreaktioner mellan aluminiumjoner och baskatjoner.

Det finns inga skillnader i kornstorleksfördelningen mellan trädslagen. Tendensen mot skillnader i siltfraktionen kan jag ej förklara.

Kornstorlekskillnaderna mellan de övre och de undre horisonterna är troligen ett resultat av jordmänsbildning och vittring under hela Holocen. Mönstret i materialet det vill säga en stor andel silt och ler och liten andel material grövre än sand i ytan, och tvärtom på djupet, är tydligt i alla groparna (tabell 9). Det är föga troligt att samma litofacieskombination i den översta metern skulle sträcka sig över ett område med en diameter på minst 25 km, vilket är avståndet mellan provområdena. Anledningen att andelen grovmaterial är mindre i ytan beror snarare på att frostvittring och kemisk vittring angriper gruskorn och stenar i mineralkornsgränserna. Då området kännetecknas av en granitisk bergartssammansättning med primära mineralkorn i sandstorlek så hamnar dessa vittringsprodukter i sandfraktionen. Frostvittringen är större i ytan på grund av att antalet frys- och töcykler är mer frekventa här och humusmaterialet binder fukt så att det alltid finns vatten tillgängligt för frostsprängningsprocessen. Den kemiska vittringen är som nämnts ovan också större i ytan. Att man inte ser en ökning av sandfraktionen i de översta horisonterna kan beror på att den kemiska vittringen angriper denna fraktion och bildar finmaterial, vilket förekommer rikligare i ytan. Sandfraktionen utgör även en så stor del av det minerogena materialet att den eventuella sand som bildas genom vittring kanske inte syns då det utgör en så liten del av den totala mängden sand.

Tabell 9. Viktandelen av lerfraktionen samt fraktionerna grövre än sand i profilerna. Ytligaste och djupaste provtagna horisont är redovisade.

Lokal	Trädslag	Grop	Ler innehåll i undre horisont (%)	Ler innehåll i övre horisont (%)	Grus och grövre i undre horisont (%)	Grus och grövre i övre horisont (%)
Oxafällan	gran	1	2,8(C) <sup>1</sup>	11,6(A)	18,5(C)	1,9(A)
Oxafällan	gran	2	2,5(C)	6,7(A)	25,1(C)	14,8(A)
Oxafällan	löv	1	4,2(B/C)	11,1(A)	38,2(B/C)	5,2(A)
Oxafällan	löv	2	2,0(C)	11,3(A)	38,8(C)	8,1(A)
Sandvik	gran	1	2,8(C)	9,0(B)	27,8(C)	11,2(B)
Sandvik	gran	2	2,5(C)	9,0(A)	25,1(C)	1,9(A)
Sandvik	löv	1	1,3(C)	9,9(A)	30,5(C)	3,5(A)
Sandvik	löv	2	2,6(C)	11,2(A)	14,5(C)	1,9(A)

<sup>1</sup>Provtagen horisont anges inom parentes



## 9 Slutsatser

Trots att många undersökningar tidigare visat att granen ökar markens aciditet kan denna undersökning inte bekräfta detta. Det finns dock indikationer på att den aciditet som betingas av aluminiumhydroxidkomplex utgör en större andel av den utbytbara aciditeten i granbestånden än i lövbestånden.

Det finns ingen skillnad i katjonbyteskapaciteten (CEC) i marken under de olika trädslagen. Effektiv CEC är starkt korrelerad till kolhalten i marken men även till lerhalten, framför allt i de ytliga proverna. CEC är även korrelerad till järnhalten i BC- och C-horisonten. Det finns indikationer på att granen minskat den effektiva basmättnadsgraden i marken. Den statistiska bearbetningen ger dock ingen signifikant skillnad mellan beståndstyperna.

Granen har ökat podsoleringen i de undersökta jordmånerna. En ökad ackumulation av organiskt material samt en övergång från mull mot mår är en indikation på detta. I granjordmånen i Sandvik det vill säga den äldsta granskogen har även en svag urlakningshorisont börjat utbildas. I Oxafällans granbestånd har A-horisontens aggregatstruktur försvun-

nit. Järnoxidutfällningen vilken är förknippad med B-horisonten har börjat utbreda sig längre ned i granjordmånen.

Det finns tydliga spår av vittring i jordmånerna. Till stor del är dessa ett resultat av den postglaciala vittringen. Det finns dock indikationer på att granen ökar vittringen i markens lerfraktion, då det endast är marken i granbeståndet i Sandvik som utbildat en smektit i A-horisonten. Det faktum att det endast finns klorit i lövskogsbeståndens A-horisonter tyder på att kloriten vittrat i granjordmånen. Även detta kan tolkas som att granen har en markmiljö som leder till intensivare vittring i A-horisonten.

En ökad vittring av fyllosilikat, främst klorit, i granbeståndens A-horisont har lett till att aluminiumjoner har frigjorts. Detta kan förklara den ökade andelen utbytbar aciditet betingad av aluminiumhydroxidkomplex då aluminiumjonerna substituerar för andra katjoner på mineralkornsyterna och i det organiska materialet i marken.

## 10 Tackord

Undersökningen har finansierats av och utförts på den Kvärtärgeologiska avdelningen vid den Geologiska institutionen Lunds universitet. Främst vill jag tacka mina handledare Siv Olsson, Kvärtärgeologiska avdelningen och Urban Nilsson, Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet som har hjälpt mig och givit mig inspiration genom hela arbetet.

Ett stort tack vill jag rikta till Göran Örlander och Magnus Petterson, vid Asa försökspark (SLU), för deras hjälp med att finna lämpliga provbestånd.

Jag vill även tacka Gunnar Digerfeldt, Kvärtärgeologiska avdelningen och Ulrik Jansson som läst och granskat arbetet. Sist men inte minst vill jag tacka min tåliga flickvän Philippa Borgstrand som hjälpt till med både fältarbete, granskning och materialinhämtning.

# 11 Referenser.

- Anonym. 1993. *Jordartsanalys Laboratorie-anvisningar*. Kompendium. Kvartärgeologiska institutionen, Stockholms Universitet. 166 p.
- Alriksson, A. och Olsson, M. T. 1995. Soil changes in different age classes of norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) on afforested farmland. *Plant and Soil* 168-169, 103-110.
- Andersson, R. 1996. *Från lind till gran på tvåtusen år - en skogshistorisk studie på Asa försökspark*. Examensarbete nr 2. Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap. Alnarp. 38 p.
- April, R. och Newton, R. 1992. Mineralogy and mineral weathering. *Ecological studies : analysis and synthesis* 91, 378-425.
- April, R och Keller, D. 1990. Mineralogy of the rhizosphere in forest soils of the eastern United States. *Biogeochemistry* 9, 1-18.
- Baize, D. 1993. *Soil Science Analyses - A Guide to Current Use*. John Wiley & sons, West Sussex. 192p.
- Binkley, D. och Valentine, D. 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management* 40, 13-25.
- Björkman, L. 1996. The Late Holocene history of Beech *Fagus sylvatica* and Norway Spruce *Picea abies* at stand-scale i southern Sweden. *LUNDQUA Thesis nr 39*. 44 p + 4 app.
- Braastad, H. 1985. Relationship between site index class and potential yield of *Picea abies*, *Pinus Sylvestris*, *Betula Verrucosa* and *Betula Pubescens* on the same site. Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för Skogsskötsel, *Rapporter nr 14*, 175-187.
- Brindley, G.W. och Brown, G. (eds) 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society Monograph No5*, London. 495 p.
- Drever, J.I. 1973. The preparation of oriented clay specimen for X-ray diffraction by a filter-membrane peel-off technique. *American mineralogist* 58, 553-554.
- Dupraz, C. Lelong, F. och Bonneau, M. 1986. Effets des boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol : premiers résultats obtenus sur bassins versants expérimentaux du Mont Lozère. *Annales des Sciences Forestières* 43 (2), 147-164.
- Eriksson, H. och Johansson, U. 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil* 154, 239 - 247.
- Fitzpatrick, E A. 1986. *An introduction to soil science*. Second edition. Longman Scientific and technical. 255 p.
- Frank, J. och Borchgrevink, I. 1982. Jordmonnutvecklingen under bestand av gran (*Picea abies*) og osp (*Populus tremula*). *Meldinger fra Norges lantbrukshøgskole vol 61 nr 19*, 1-30.
- Fredén, C. 1994. Jordarterna. I Fredén, C. (ed.). Berg och Jord. *Sveriges Nationalatlas*. Bra Böcker. Sid 104-119.
- Gjems, O. 1963. A swelling dioctahedral clay mineral of vermiculite - smectite type in the weathering horizon of podzols. *Clay Mineral Bulletin* 5, 183 - 193.
- Gjems, O. 1967. Studies on clay minerals and clay-mineral formation in soil profiles in Scandinavia. *Medd. fr Det Norske Skogsforsøksvesen* 81: XXI, Hf. 4. 299-415.
- Hallsby, H. 1995. Influence of Norway spruce seedlings on the nutrient availability in mineral soil and forest floor material. *Plant and Soil* 173, 39-45.
- Hallbäck, L. 1992. Long term changes of base cation pools in soil and biomass in a beech and spruce forest of southern Sweden. *Zeitschrift für Pflanzener-nahrung und Bodenkunde* 155, 51-60.
- Hägglund, B och Lundmark, J-E. 1977. Site index estimation by means of site properties. Scots pine and Norway spruce in Sweden. *Studia Forestalia Suecia* 138, 1-33.
- Jackson, M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis-Advanced Course*. 2nd Edition, 10th printing. Publicerad av författaren, Madison Wisc. 991 p.
- Jenny, H. 1980. *The soil resource origin and behavior*. Springer Verlag, Heidelberg. 370 p.
- Lagerås, P. 1996. Vegetation and land-use in the Småland Uplands, southern Sweden, during the last 6000 years. *LUNDQUA Thesis nr 36*. 39 p + 5 app.
- Lidmar-Bergström, K., Olsson, S. och Olvmo, M. 1997. Palaeosurfaces and associated saprolites in southern Sweden. Widdowson, M. (Ed.). *Palaeosurfaces: Recognition, Reconstruction and palaeoenvironmental Interpretation*, Geological Society Special Publication No. 120, 95-124.
- Liljelund, L-E. Nilsson, I. och Andersson, I. 1986. Trädslagsvalets betydelse för mark och vatten. En litteraturstudie med speciell referens till luftföreningar och försurning. *SNV Rapport 3182*. 45 p.
- Lindström, M., Lundqvist, J och Lundqvist, T. 1991. *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur. 398 p.
- Lundmark, J-E. 1986. *Skogsmarkens Ekologi, Ståndortsanpassat Skogsbruk, del 1-Grunder*. Jönköping. 158 p.
- Johansson, M-B. och Lundmark, J-E. 1986. Markmiljön i gran- och björkbestånd. *Sveriges skogs-vårdsförbunds tidskrift nr 2*, 31-37.

- Lundqvist, T. 1994. Berggrunden. I Fredén, C. (ed.). Berg och Jord. *Sveriges Nationalatlas*. Bra Böcker. Sid 14-75.
- Madsen, H-B och Nørnberg, P. 1995. Mineralogy of four sandy soils developed under heather, oak, spruce and grass in the same fluvioglacial deposit in Denmark. *Geoderma* 64, 233-256.
- Mehra, O.P. och Jackson, M.L. 1960: Iron oxid removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals. 7th National Conference. Pergamon Press*. London. Pp 317-327.
- Melkerud, P-A. 1985: Smectite formation below stands of 1st, 2nd and 3rd generation of coniferous forest. I Shaik, N.A. och Wik, N-G. (eds.) *Proceedings of the Nordic Symposium; Clay Minerals – Modern Society*. Nordic Society for Clay Research. Pp 133-152.
- Nihlgård, B. 1971. Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. *Oikos* 22, 302-314.
- Nys, C. 1981. Modifications des caractéristiques physico-chimiques d'un sol brun acide des Ardennes primaires par la monoculture d'Epicéa commun. *Annales des Sciences forestiere* 38(2), 237-258.
- Nørnberg, P. Sloth, L. och Nielsen, K.E. 1993. Rapid changes of sandy soils caused by vegetation changes. *Canadian Journal of Soil Science* 73, 459-468.
- Proust, D. 1981. Supergene alteration of hornblende in an amphibolite from Massif Central. *Proc. Inter. Clay Conf., Bologna and Pavia*, 357-364.
- Raulund-Rasmussen, K., Borggaard O.K. och Jørgensen K.L. 1994. Nutrient release due to organic acid induced weathering of soil minerals. *SP-Rapport Nr 20*, 7-8.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT™ users guide. Release 6.03 edition SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. *Acta Forestalia Fennica* 62(4), 1-363.
- Sjörs, H. 1963. Amphi-Atlantic Zonation, Nemoral to Arctic. I Löve, A. och Löve, D. (eds.). *North Atlantic biota and their history*. Pergamon Press. Oxford, 109-125.
- Sohet, K., Herbauts, J. och Gruber, W. 1988. Changes caused by norway spruce in an ochreous brown earth, assessed by the isoquartz method. *Journal of Soil Science* 39, 549-561.
- Sparks, D.L. 1995: *Environmental soil chemistry*. Academic press Inc. San Diego. 265 p.
- Sverdrup, H.U. 1990: *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*. Lund university press. 246 p.
- Taylor, R.M. 1987. Non Silicate Oxides and hydroxides. I Newman, A.C.D. (ed) *Chemistry of Clays and Clay Minerals*. Mineralogical Society Monograph No 6. Pp 129-203.
- Troedsson, T och Nykvist, N. 1973. *Marklära och markvård*. Stockholm. 403 p.
- Voigt, G.K. 1968. *Variation in nutrient uptake by trees in Forest fertilization: theory and practice*, Tennessee valley authority, Muscle Shoals, Alabama. 20-27.
- Weaver, C. E. 1989. Clays, muds and shales. *Developments in Sedimentology* 44. Elsevier. Amsterdam, 819 p.
- Wiklander, L. 1976: *Marklära*. Uppsala. 230 p.
- Wiklander, L. och Alexandrovi'c, D. 1969. Mineral analysis of Swedish soils. I. Brown earths and podzols. *Lantbrukshögskolans annaler* 35, 895-919.
- Wilson, M.J. och Farmer, V.C. 1970. A study of weathering in soil derived from a biotit-hornblende rock II. The weathering of hornblende. *Clay Minerals* 8, 435-444.

**Tidigare skrifter i serien "Examensarbeten i Geologi vid Lunds Universitet":**

19. Eken, Karin, 1987: Geohydrologisk undersökning vid Filborna avfallsupplag i Helsingborg.
20. Kockum, Kajsa, 1987: Alkalisering vid konstgjord infiltration: En vattenkemisk studie i tre vattentäkter i sydöstra Småland.
21. Wedding, Bengt, 1987: Granatförande pegmatiter i SV Värmland. En mineralogisk och kemisk studie.
22. Utgår.
23. Hammarlund, Dan. 1988: Sedimentstratigrafiska och paleohydrologiska undersökningar av Fönesjön och Kalvs Mosse inom Vombslätten, centrala Skåne.
24. Jansson, Caroline, 1988: Basiska bergarter, gångbergarter, sedimentbergarter och breccior i vaggerydssyenit. En undersökning i protozinonen vid Vaggeryd.
25. Jerre, Fredrik, 1988: Silurian conulariids from the Lower Visby Beds on Gotland.
26. Svensson, Erik, 1989: Upper Triassic depositional environments at Lunnom, northwest Scania.
27. Vajda, Vivi, 1988: Biostratigrafisk indelning av den Mesozoiska lagerföljden i Köpingsbergsborrningen 3, Skåne.
28. Persson, Arne, 1988: En biostratigrafisk undersökning av conodontfaunan i Limbata-kalkstenen på lokalen "Stenbrottet" i Västergötland.
29. Regnell, Mats, 1988: Stenåldersmänniskans vegetationspåverkan på Kullaberg, nordvästra Skåne. En paleoekologisk studie.
30. Siverson, Mikael, 1989: Palaeospinacid selachians from the Late Cretaceous of the Kristianstad Basin, Skåne, Sweden.
31. Mathiasson, Lena, 1989: REE i svekofenniska migmatitneosomer och sensvekofenniska graniter från Nyköpingsområdet.
32. Månsson, Agneta, 1990: Kinematic analysis of the basement-cover contact of the western margin of the Grong-Olden Culmination, Central Norwegian Caledonides.
33. Lagerås, Per, 1991: Kontinuitet i utnyttjandet av Baldringes utmarker. En pollenanalytisk studie i Skogshejdan, Skåne.
34. Rundgren, Mats, 1991: Litostratigrafi och paleomiljöutveckling i Langelandselv-området, Jameson Land, östra Grönland.
35. Björkman, Leif, 1991: Vegetationshistorisk undersökning av en för-historisk jordmånsprofil begravd under en stensträng i Rösered, Västergötland.
36. Holmström, Patrich, Möller, Per, & Svensson, Mats, 1991: Water supply study at Manama, southern Zimbabwe.
37. Barnekow, Lena, 1991: Jämförelse mellan hydrometer-, pipett- och sedigrafmetoderna för kornstorleksanalyser.
38. Ask, Rikard, 1992: Rocks of the anorthosite-mangerite-charnockite-granite suite along the Protogine Zone, southern Sweden.
39. Leander, Per & Persson, Charlotte, 1992: En geologisk och geohydrologisk undersökning av Siesjöområdet norr om Sölvesborg.
40. Mannerstrand, Maria, 1992: Röntgenkaraktärisering och optisk undersökning av kalifältspater från Varbergscharnockiten och Hinnerysgraniten, sydvästra Sverige.
41. Johansson, Per, 1992: Moränstratigrafisk undersökning i kustklintar, NV Polen.
42. Hagin, Lena, 1992: Övergången mellan koronadiabas och eklogit i Seveskollan på Grapesvare, Norrbotten, svenska Kaledoniderna.
43. Nilsson, Patrik, 1992: Caledonian Geology of the Laddjuvaggi Valley, Kebnekaise-area, northern Swedish Caledonides.
44. Nilsson, Pia, 1992: Lateritisering - en process som kan ha orsakat kontinental Fe-anrikning i Skåne under rät-lias.
45. Jacobsson, Mikael, 1993: Depositional and petrographic response of climatic changes in the Triassic of Höllviken-II, southern Sweden.
46. Christodoulou, Gina, 1993: Agglutinated foraminifera from the Campanian of the Kristianstad basin, southern Sweden.
47. Söderlund, Ulf, 1993: Structural and U-Pb isotopic age constraints on the tectonothermal evolution at Glassvik, Halland.
48. Remelin, Mika, 1993: En revision av Hedströms *Phragmoceras*-arter från Gotlands Silur.
49. Gedda, Björn, 1993: Trace fossils and Palaeoenvironments in the Middle Cambrian at Åleklinta, Öland, Sweden.
50. Månsson, Kristina, 1993: Trilobites and stratigraphy of the Middle Ordovician Killeröd Formation, Scania.
51. Carlsson, Patric, 1993: A Petrographic and Geochemical Study of the Early Proterozoic, Bangenhuk Granitoid Rocks of Ny Friesland, Svalbard.
52. Holmqvist, Björn.H., 1993: Stratigrafiska undersökningar i sjön Vuolep Njakajaure, Abisko.
53. Zander, Mia, 1993: Sedimentologisk undersökning av en kvartär deltaavlagring vid övre Jyllandselv, Jameson Land, Östgrönland.
54. Albrecht, Joachim, 1993: Sedimentological and lithostratigraphical investigations in the gravel pit "Hinterste Mühle" at Neubrandenburg, northeastern Germany.
55. Magnusson, Martin, 1994: Sedimentologisk och morfologisk undersökning av Gyllebo-Baskemöllafältet, östra Skåne.

56. Holmqvist, Johan, 1994: Vittring i en moränjord vid Farabol, NV Blekinge.
57. Andersson, Torbjörn, 1994: A sedimentological study of glacial deposits in the upper Sjøelandselv area, Jameson Land, East Greenland.
58. Hellman, Fredrik, 1994: Basement - cover relationships in the Harkerbreen Group of the northern Ny Friesland Caledonides, Svalbard.
59. Friberg, Magnus, 1994: Structures and PT determination of the Caledonian metamorphism of the lower part of the Planetfjella Group in the area around Mosseldalen, northern Ny Friesland, Svalbard.
60. Remelin, Mika, 1994: Palaeogeographic and sedimentation models for the Whitehill-Irati sea during the Permian of South America and southern Africa.
61. Hagman, Mats, 1994: Bevattning med avloppsvatten - en hydrogeologisk studie.
62. Sandström, Olof, 1994: Petrology and depositional history of the Campanian strata at Maltesholm, Scania, southern Sweden.
63. Pålsson, Christian, 1995: Middle-Upper Ordovician trilobites and stratigraphy along the Kyrkbäcken rivulet in the Röstånga area, southern Sweden.
64. Gustafson, Lars, 1995: Senkvartär stratigrafi och utveckling i Örseryd, mellersta Blekinge.
65. Gichina, Boniface M., 1995: Early Holocene water level changes as recorded on the island of Senoren, eastern Blekinge, southeastern Sweden.
66. Nilson, Tomas, 1996: Process- och miljötolkning av sedimentationen i en subglacial läsi-deskavit, Järnavik, S. Blekinge.
67. Andersson, Jenny, 1996: Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden.
68. Olsson, Ingela, 1996: Sedimentology of the Bajocian Fuglunda Member at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
69. Calner, Hanna, 1996: Trace fossils from the Paleocene-Middle Eocene Monte Sporno flysch complex, Northern Apennines, Italy.
70. Calner, Mikael, 1996: Sedimentary structures and facies of fine grained deep-water carbonate turbidites in a Paleocene-Middle Eocene flysch complex, Monte Sporno, Northern Apennines, Italy.
71. Hesbøl, Ros-Mari, 1996: Retrograded eclogites of the Richarddalen Complex, NW Svalbard - Petrology and P/T-conditions.
72. Eriksson, Mats, 1996: Lower Silurian polychaetaspid and raphidopriid polychaetes from Gotland: aspects on taxonomy and palaeoecology.
73. Larsson, Daniel, 1996: Proterozoic hydrothermal alteration and mineralization along the Protogine Zone in southern Sweden.
74. Rees, Jan, 1996: A new hybodont shark fauna from the Upper Jurassic Vitabäck Clays at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
75. Bengtsson, Fredrik, 1996: Paleomagnetisk undersökning av senpaleozoiska gångbergarter i Skåne; Kongadiabas, melafyr och kullait.
76. Björngreen, Maria, 1996: Kontrollprogram vid avfallsupplag - en utvärdering.
77. Hansson, Anders, 1996: Adaptations and evolution in terrestrial carnivores.
78. Book, Jenny, 1996: A Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy study of coccoliths from two bore holes along the City Tunnel Line in Malmö, Sweden.
79. Broström, Anna, 1996: The openness of the present-day landscape reflected in pollen assemblages from surface sediments in lakes - a first step towards a quantitative approach for the reconstruction of ancient cultural landscapes in south Sweden.
80. Paulsson, Oskar, 1996: Sevekomplexets utbredning i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
81. Sandelin, Stefan, 1997: Tektonostratigrafi och protoliter i Märma-Vistasområdet, Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
82. Meyerson, Jacob, 1997: Uppermost Lower Cambrian - Middle Cambrian stratigraphy and sedimentary petrography of the Almbacken drill-core, Scania, southern Sweden.
83. Åkesson, Mats, 1997: Moränsedimentologisk undersökning och bestämning av postglacialt bildade järn- och manganmineral i en drumlinformad rygg.
84. Ahlgren, Charlotte, 1997: Late Ordovician communities from North America.
85. Strömberg, Caroline, 1997: The conodont genus *Ctenognathodus* in the Silurian of Gotland, Sweden.
86. Borgenlöv, Camilla, 1997: Vätskeinklusioner som ledrådar till bildningsmiljön för Bölets manganmalm, Västergötland, södra Sverige.
87. Mårtensson, Thomas, 1997: En petrografisk och geokemisk undersökning av inneslutningar i Nordingrågraniten.
88. Gunnemyr, Lisa, 1997: Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen, Hallstahammar, Västmanland.
89. Antonsson, Christina, 1997: Inventering, hydrologisk klassificering samt bedömning av hydrogeologisk påverkan av våtmarksområden i samband med järnvägstunnelbyggnation genom Hallandsåsen, NV Skåne.
90. Nordborg, Fredrik, 1997: Granens markpåverkan - en studie av markkemi, jordmånsbildning och lermineralogi i gran- och lövskogsbestånd i södra Småland.