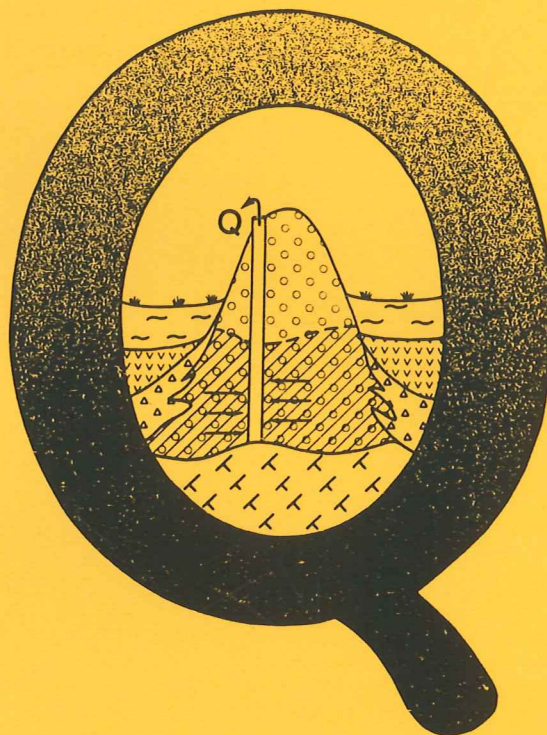


EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Kvartärgeologi



**Vittring i en moränjord vid
Farabol, NV Blekinge**

Johan Holmqvist

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

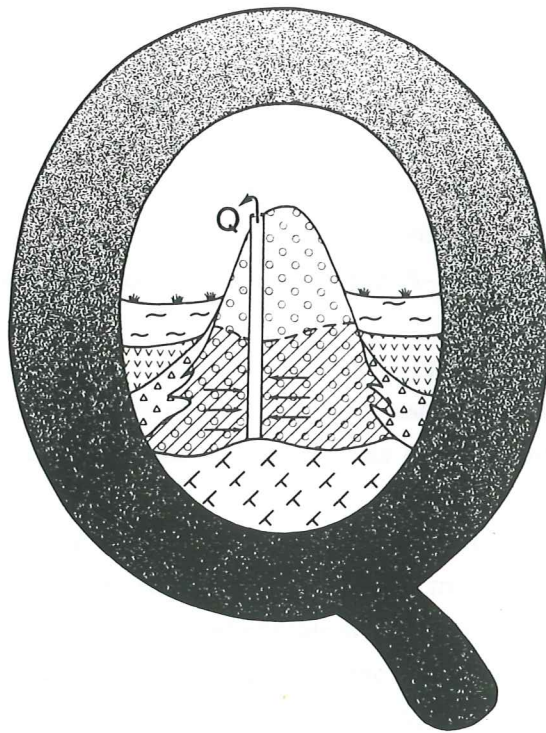
600955251

Examensarbete, 20 p
Bibliotekets Institutionen, Lunds Universitet

Nr 56

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Kvartärgeologi



Vittring i en moränjord vid Farabol, NV Blekinge

Johan Holmqvist

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET

Abstract

The aim of this study was to determine the mineralogy and the weathering rate of till in NW Blekinge, south Sweden. The physical properties of the soil were analysed on samples taken in test pits. These samples were separated in different fractions and analysed with XRD- and chemical methods and thin sections.

The computer program PROFILE was used as a tool to calculate the weathering rate. The physical properties of the soil were necessary to determine because they are needed for the calculation.

The results display a well developed weathering profile. Vermiculite is dominant in the clay fraction of the A-horizon. The XRD-analysis suggests that a hydroxi-Al-interlayered vermiculite is present. This type of vermiculite indicates that the environment has been acid with an approximative pH of 4,0 - 5,0.

Biotite, chlorite, hornblende and epidote, which are easily weathered minerals, have low concentrations in the A-horizon but increase with depth. These minerals are the main contributors of K, Mg and Ca, elements which are important for forest growth. Plagioclase displays the same trend as the mafic minerals and increases with depth. In contrast, K-feldspar has higher concentrations in the A- and B-horizon than in the C-horizon.

The results also suggest that the mineralogical composition varies with particle size. In the coarser fractions quartz is more frequent than plagioclase and K-feldspar. The grain-size distribution analysis indicates that the soil profile has coarser particles in the C-horizon than in the A-horizon.

The observed weathering rate is around 2 keq/ha*year, which is higher than previously observed in southern Sweden. An explanation for this may be that epidote has high concentrations in the soil. This fact could explain why the forest in this area shows high resistance against acidification. The results from the calculation also show rather high values for Al in the B-horizon. The ratio $(Ca+Mg+K)/Al$ is close to one, which is critical for forest stands.

Innehåll

	Sid
Abstract	
1 Inledning	1
2 Historik	2
3 Lokal	
3.1 Områdesbeskrivning.....	3
3.2 Bergrund.....	3
3.3 Kvartära avlagringar.....	4
4 Metoder	
4.1 Provtagning.....	5
4.2 Laboratoriemetoder.....	5
4.2.1 Kornstorleksfraktionering.....	6
4.2.2 Kornstorleksanalys.....	6
4.2.3 Bestämning av vattenkvot.....	6
4.2.4 Tunnslipspreparering.....	6
4.2.5 Analys av "fria järnoxider".....	6
4.2.6 Analys av ler- och siltfraktionerna.....	7
4.2.7 Kemisk totalanalys.....	7
4.2.8 Mineralberäkning med normeringsmodell.....	8
4.3 Identifiering och kvantifiering av mineral i ler- och siltfraktionen.....	9
4.4 Datorbearbetning.....	10
5 Resultat	
5.1 Mineralsammansättning	
5.1.1 Lerfraktionen, < 2 µm.....	11
5.1.2 Siltfraktionen, 8-63 µm.....	13
5.1.3 Sandfraktionen, 63-250 µm.....	15
5.1.4 Grus- och stenfraktionen, 250-2000 µm.....	16
5.2 Fysikaliska egenskaper	
5.2.1 Kornstorleksanalys och specifik partikelarea.....	17
5.3 Kemiska analyser	
5.3.1 Kemisk totalanalys (ICP).....	18
5.3.2 Järnhalt.....	18
5.4 Vittringshastighet.....	19
6 Sammanfattning	
6.1 Markvittring.....	21
6.2 Markeologi.....	22
Litteraturlista	25
Bilaga 1	
Bilaga 2	
Bilaga 3	

1 Inledning

År 1976 startade Skogsförbättringar, i samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) och Södra Skogsägarna, ett kombinerat försurnings-, kalknings- och kvävegödslingsförsök i Farabol, Blekinge. Detta försök utvärderades 1991 men mark- och luftprovtagningar i området har fortsatt i SLU:s regi.

Min uppgift var att studera mineralogin och de fysikaliska egenskaperna för två markprofiler i en morän, i syfte att bestämma vilken roll markens sammansättning och karaktär har för markvittringen.

Eftersom lermineralogin i en markprofil är av stor vikt för förståelsen och tolkningen av markvittringen har en betydande del av mitt arbete bestått i att bestämma lermineralinnehållet i den finaste fraktionen. En annan viktig deluppgift har varit att bestämma mineralogin kvantitativt med olika metoder.

Mineralberäkningarna har jag, tillsammans med data från SLU:s provtagning, använt för att beräkna hur stor den nutida vittringshastigheten är i området. Kännedom om vittringshastighetens storlek är en viktig grund för slutsatser om markens känslighet, motståndskraft mot naturlig försurning och det sura nedfallet som kommer från nederbörden.

Modellering av vittringshastigheten har under en längre tid varit ett område med många frågetecken. Harald Sverdrups och Per Warfvinges forskning och utveckling av dataprogrammet PROFILE för beräkning av vittringshastigheten har varit av avgörande betydelse för denna del av mitt arbete. Kan vi göra en korrekt uppskattning av vittringshastigheten ökar vår insikt om hur vårt skogsbestånd klarar det låga pH-värdet som uppmätts i nederbörden och i de svenska jordarna under de senaste decennierna.

För en adekvat beräkning krävs att data som används är tillförlitlig och överensstämmer med verkligheten. Därför har det varit nödvändigt att genomföra noggranna mineralogiska och kemiska studier av marken.

2 Historik

Forskning kring kemisk vittring har varit ett viktigt område för bland annat nordiska forskare under en längre tid. Det är först i samband med uppmärksamheten kring försurningsproblemet på 70- och 80-talet som man insett den fulla betydelsen av dessa arbeten. En viktig förgrundsgestalt inom området har varit Olof Tamm som redan 1934 presenterade en snabbmetod för att uppskatta en jordarts vittringmotstånd genom att beräkna mineralindex. Lambert Wiklander är också en betydelsefull svensk forskare som har undersökt hur olika element cirkulerar i marksystemen (Wiklander 1951, Wiklander & Koutler-Andersson 1962). Ivan Rosenqvist (1952) är yttererliggare en forskare som fört forskningen framåt inom detta område. En annan nordisk forskare som betytt mycket för forskning inom lermineralogin och den kemiska vittringen är Odd Gjems från Norge. Ett av hans viktigare arbete inom detta område var hans studie om lermineral och deras bildningssätt i jordprofiler i Skandinavien (Gjems 1967). Även Olof Arrhenius har bidragit med kunskap om svenska jordars näringshalt. Framför allt är han känd för att tagit fram en analysmetod för bestämning av fosfathalten i marken (Arrhenius 1940). Sett med dagens ögon är det anmärkningsvärt att Arrhenius 1954 tog upp ett problem som på 80-talet blev en viktig valfråga och bidrog till att miljön kom upp på politikernas dagordning. Jag har hämtat följande citat från Arrhenius (1954): "Av kväve slösa vi bort mer än vi importera, av fosforsyra importera vi sju gånger mer än vi kasta bort och i fråga om kali råder en viss balans. Vi anse oss sålunda ha råd med att slösa bort ett eller annat hundratal miljoner kronor per år för nöjet att berika havet och de djupare liggande jordlagren med näringsämnen. Samtidigt förstöra vi våra vattendrag med vårt avfall, så att fisken dör ut, vattentäkterna förorenas och våra möjligheter till bad inskränkas". Detta belyser hur viktigt det är för samhället att vara observant på förändringar i naturen och beakta de varningssignaler som forskare uppmärksammar och som vi själva kan se runt omkring oss, bara vi är uppmärksamma.

3 Lokal

3.1 Områdesbeskrivning

Mina undersökningspunkter är belägna några hundratal meter från byn Farabol (fig. 1 och 2). Farabol ligger i nordvästra hörnet av Blekinge alldeles intill de skånska och småländska landskapsgränserna.

Det undersökta området är beläget 135-150 m.ö.h. Området har en genomsnittliga nederbörd på 745 mm/år (uppmätt vid Kåraboda 3-4 km söder om Farabol) och en årsmedeltemperatur på 7,0° C (SMHI 1993). Vid avverkningen 1991 hade skogen ett ståndortsindex på G32 och en ålder på cirka 55 år.

3.2 Berggrund

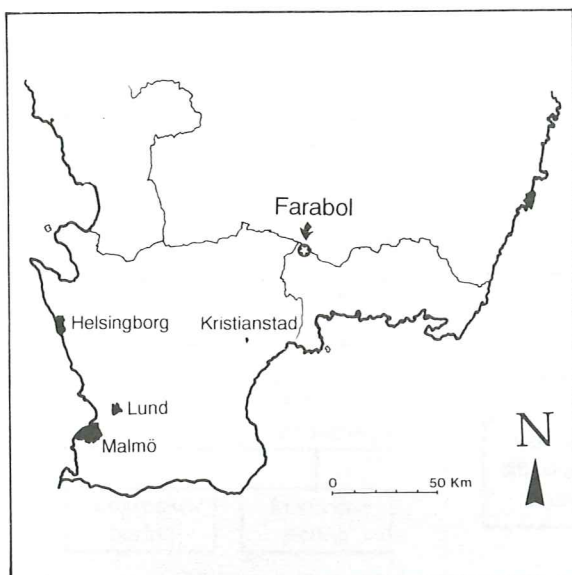
Den underliggande berggrunden utgörs av granitiska bergarter som kan uppvisa en viss gnejsighet och som då kallas gnejsgranit (Kornfält & Bergström 1991). I östra Blekinge kallas denna bergart också för Tvinggranit. Sammansättningen motsvarar granodiorit till granit (tab. 1). Enligt Johansson och Larsen (1989) beräknas åldern på Tvinggraniten till 1771±4 Ma (U-Pb).

Tabell 1. Mineralfördelningen i den underliggande berggrunden från tre lokaler belägna inom en radie av 20 km från Farabol (Kornfält & Bergström 1983).

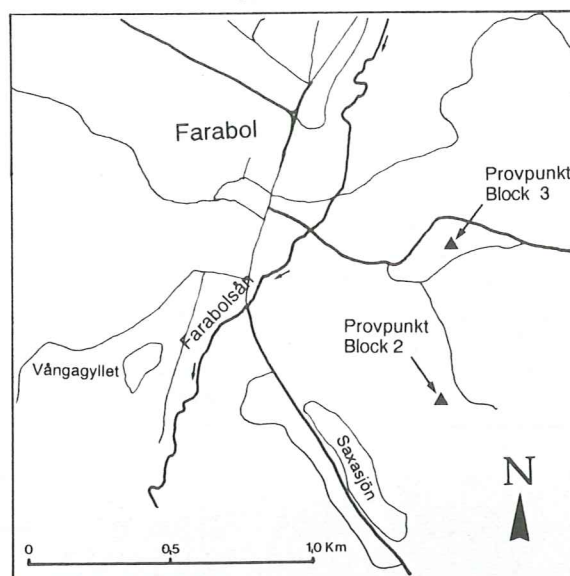
Lokal	1	2	3
Kvarts	12	36	40
Plagioklas (inkl. sericit)	47	23	42
Kalifältspat	8	37	8
Hornblände	5	-	-
Biotit	14	1	9
Muskovit	2	1	-
Klorit	-	-	-
Epidot	10	+	+
Allanit	+	+	1
Titanit	1	-	+
Zirkon	+	-	+
Apatit	-	-	+
Flusspat	-	-	-
Kalcit	1	-	-
Opakmineral	+	2	1
% An i plagioklas	32	28	24

+ mineralet förekommer i små mängder (<0,5%)

1. Grå, gnejsig kvartsmonzodiorit. 0,5 km NV Slagenässjön
2. Blekt röd, granulerad, granit. 1,8 km NNV om Jämshög stn.
3. Grå, rödfleckig, gnejsig granodiorit. 2,1 km NNV om Jämshög station.



Figur 1. Regionalkarta över södra Götaland.



Figur 2. Karta över Farabolområdet som visar provlokaler. Linjerna på kartan är farbara vägar.

3.3 Kwartära avlagringar

Området har karterats av Blomberg (1900) som jökelgrus vilket jämförs med morängrus och krossgrus på den tidens jordartskartor. Det sammanhängande moräntäcket skärs igenom av blockrika åsar i nord-sydlig riktning i trakten mellan Farabols- och Vilshultsån. Mäktigheten på moräntäcket är i medeltal 5-6 m. Uppskattningen av värdet är gjort utifrån grävda brunnar i området (Blomberg 1900). Terrängen kring lokalen är rik på block av lokala graniter och dioriter men det förekommer också block och större stenar av grönsten och smålandsgraniter. Morfologin i området är beskriven som en kullig moränterräng av Möller (1987).

Jordmånen är en svagt podsolerad brunjord (Pettersson 1992) (bild 1 och 2 i bilaga 1).

4 Metoder

4.1 Provtagning

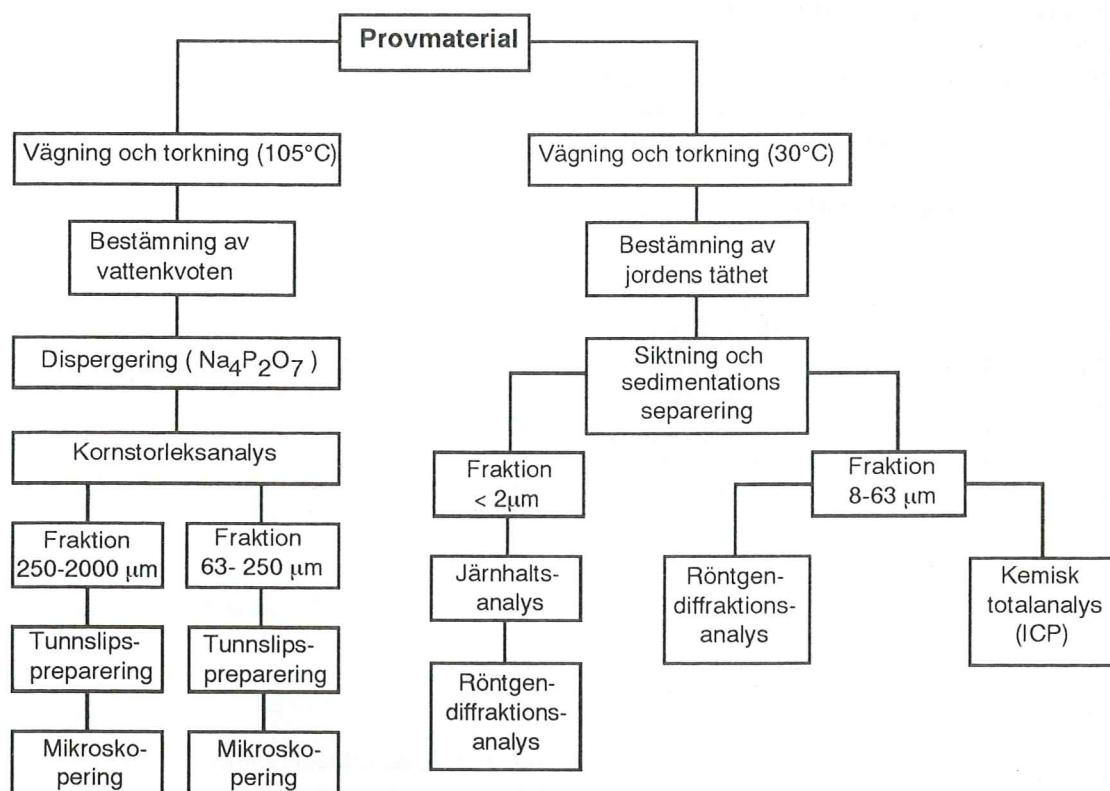
Proverna togs från två gropar med ytan 1 m² och med ett djup på 1 m. Groparna grävdes i block 2 respektive 3 utanför de behandlade ytorna (fig. 2). Från den meterdjupa profilen togs prover var 10:e cm. Proverna har namngivits efter vilket block (provlokal) och vilket djup i markprofilen de är tagna på. Markprofilen har delats upp i tre horisonter. Den översta horisonten som består av förnan (O-horisont), ett organiskt mörkfärgat skikt (A-horisont) och en eventuell urlakningszon (E-horisont), har jag benämnt markhorisonten. De två underliggande horisonterna har jag benämnt B-horisont och C-horisont. B-horisonten är den del av profilen där man visuellt kan se en anrikning av främst järn-oxid, medan C-horisonten är den horisont som ser ut att vara en opåverkad mineraljord (Bild 1 och 2, bilaga 1).

Stenprover togs också från den grävda gropen för att bestämma bergarten av materialet som var större än 22 mm. De omgivande blocken undersöktes också med avseende deras bergartstillhörighet.

4.2 Laboratoriemetoder

En principiell skiss över hur analysarbetet genomförts illustreras i figur 3.

Efter provtagningen togs proverna till jordartslaboratoriet, Geologiska institutionen Lund, för vidare undersökning. Proverna torkades vid två olika temperaturer beroende på vilka fysikaliska och kemiska egenskaper som skulle undersökas. Vid bestämning av vattenkvoten, mineralbestämning genom mikroskopering och kornstorlekssammansättningen torkades proverna i en termostatreglerad ugn vid 105°C. Proverna som togs ut för röntgendiffraktionsanalys (XRD-analys), kemisk totalanalys (ICP-analys) och järnhaltsanalys (CBD-analys) torkades vid 30°C.



Figur 3. Flödesschema över det analytiska arbetet.

4.2.1 Kornstorleksfraktionering

Proverna delades upp i olika fraktioner beroende på vilka undersökningsmetoder som användes. Uppdelning av fraktionen > 63 µm genomfördes genom konventionell torrsiktning. För framtagandet av fraktionen < 63 µm våtsiktades provet i en handsikt. För vidare uppdelning av fraktionen 0 – 63 µm användes en sedimentationsteknik som bygger på Stokes lag¹. Lerfraktionen separerades från siltfraktionen genom upprepade sedimentation i glascylindrar.

4.2.2 Kornstorleksanalys

Efter det att proverna torkats (105°C) och vägts, uppslammades och dispergerades dessa med 0,05 M natriumpyrofosfat-lösning. Därefter våtsiktades provet genom en sikt med maskvidden 63 µm. Det kvarvarande materialet torkades en andra gång vid 105°C. Kornstorleksfraktionen > 63 µm siktades och vägdes enligt konventionell metod (Talme och Almén 1975). Cirka 100 gram togs ut för hydrometeranalys (Talme och Almén 1975). Provet dispergerades i 0,05 M natriumpyrofosfatlösning och fick stå i 24 h innan hydrometeranalysen påbörjades. Resultaten av de uppvägda och avlästa värdena behandlades med datorprogrammet M-korn.

4.2.3 Bestämning av vattenkvot

Vattenkvoten bestämdes enligt Talme och Almén (1975). Vattenkvoten behövdes som underlag för datorprogrammet PROFILE som användes för beräkning av vittringshastigheten. Vattenkvoten bestämdes som kvoten avdunstad vattenmassa/ursprunglig massa av markprov. Provet torkades under ett dygn vid 105°C.

$$V_0 = (\partial_s - \partial_1)gd^2 / 18\mu$$

V_0 = partikelns fallhastighet, d = partikelns diameter

∂_s = densiteten för mineralpartiklarna (2,65 g/cm³),

g = tyngdkraftskoefficient, μ = viskositeten för vatten

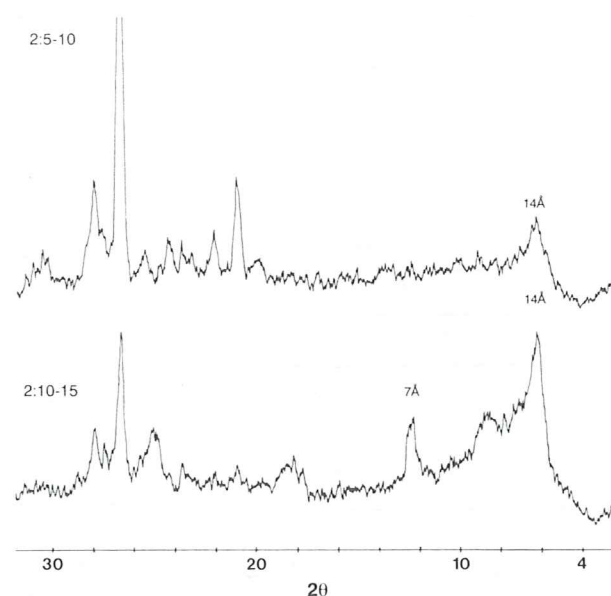
∂_1 = densiteten för vatten vid aktuell temp.

4.2.4 Tunnslipspreparering

För tunnslipspreparering användes fraktionen 63-250 µm och 250-2240 µm. Fraktionen göts in i epoxy, som sågades och slipades för att limmas fast på provglas. Därefter slipades och polerades proverna. Provet polerades ner till 30 µm för att det skulle bli möjligt att jämföra med tillgänglig litteratur och med referensprov av tunnslip. Vid kvantifieringen av de ingående mineralen utfördes en punkträkning av provet, varvid 400 punkter räknades för varje prov. För att beräkna sammansättningen för de mafiska mineralen och fyllosilikaten i fraktionen 63-250 µm gjordes ytterligare en punkträkning på 100 punkter för varje prov.

4.2.5 Analys av "fria järnoxider"

Den fria järnoxiden i lerfraktionen (< 2 µm) togs bort genom natriumcitrat - bikarbonat - ditionit (CBD) metoden (Mehra och Jackson 1960). CBD-behandlingen gjordes för att lösa ut den järnoxid som finns på lerpartiklarnas yta. Järnoxiden försämrar orienteringen hos partiklarna i röntgenpreparaten (fig. 4), vilket medför att röntgenreflexerna från lermineral blir svaga och



Figur 4. Röntgendiffraktionsdiagram som visar hur CBD-behandling påverkar röntgenreflexernas intensitet. Det översta diagrammet är obehandlat medan det undre är CBD-behandlat.

diffusa. CBD-behandlingen användes också för att göra en bestämning av järn i lerfraktionen.

Provet, Na-citratet och bikarbonatet hålles ner i ett centrifugrör. Provet uppvärmdes till 70-75 °C varefter ditioniten tillsattes i omgångar under omrörning. Efter 15 min togs provröret bort från vattenbadet och centrifugerades i 5 min. Den klara lösningen sparades för järnhaltsbestämning. Den sedimenterade lerfraktionen applicerades på glas för röntgendiffraktionsanalys.

Järnhaltsbestämningen utfördes enligt Skoog och West (1972). För bestämningen användes spektrofotometer (PERKIN-ELMER Lambda 3, UV/VIS Spectrophotometer). Våglängden var inställd på 560 nm.

Det röda komplexet bildas endast av Fe^{2+} joner varför det är viktigt att alla Fe^{3+} joner reduceras till Fe^{2+} joner före komplexbildningen. Reduceringen genomfördes genom tillsats av 10% hydroxylaminhydroklorid.

4.2.6 Analys av ler- och siltfraktionerna

Det finns ett flertal olika tekniker för att applicera lersuspensionen på ett monteringsglas för röntgendiffraktionsanalys. Dessa tekniker och metoder har undersökts av Gibbs (1965, 1967). I denna undersökning användes huvudsakligen en teknik där en trögflytande suspension av provet stryks på ett prepareringsglas ("smear-on-glass"). Denna metod eliminerar en kornstorleksuppdelning orsakad av olika fallhastigheter hos partiklarna. Lerpartiklarna, som huvudsakligen är fyllosilikat, tenderar att orientera sig som höstlöv som faller mot marken vid prepareringstekniken som beskrivits ovan. Resultatet blir ett väl orienterat preparat.

Huvuddelen av de orienterade proven preparerades genom att lersuspensionen centrifugerades under 5 minuter vid 2000 varv/min. Efter centrifugering dekanterades den klara lösningen. Suspensionen omrördes noggrant för att förhindra graderad skiktning av lerpartiklarna, orsakad av centrifugeringen.

Därefter applicerades suspensionen på preparatglaset och fick torka antingen i rumstemperatur vid normal fuktighet eller vid

cirka 10 °C med förhöjd luftfuktighet. Det senare alternativet användes för prov som hade en tendens att spricka vid intorkningen.

Lerfraktionen analyserades både kvalitativt och semikvantitativt för de ingående mineralen. Diffraktionsmönstret för de lufttorkade proven jämfördes med prover som behandlats med etylen-glykol och som genomgått värmebehandling. Lermineralen identifierades genom utseende och läge av första, andra och tredje ordningens diffraktionstoppar.

Röntgendiffraktionsanalysen för lerpreparaten utfördes med en röntgenutrustning (Philips PW 1010, PW 1050) vid Avdelningen för mineralogi och petrologi, Lund. För denna analys användes nickel-filtrerad $Cu K\alpha$ -strålning med normalfokus och med en divergensspalt på 1° och en mottagarspalt på 0,1°. Belastningen på röntgengeneratoren uppgick till 40kV/20mA. Scanninghastigheten var 2° 2 θ /min.

Vid analys av fraktionen 8-63 μm var proven oorienterade. Innan preparaten analyserades maldes fraktionen i kulkvarn under 15 min, varefter provet packades i cirkulära provkoppar som var anpassade till röntgendiffraktormetern.

För analys av siltpreparaten användes en diffraktormeter (Philips PW 1730, PW 1060) med grafitmonokromator (PW 1752) och proportionaldetektor. Vid analysen användes nickelfiltrerad $Cu K\alpha$ -strålning med finfokus och automatspalt. Goniometern på diffraktormetern var utrustad med spinner, för att provet skulle rotera under analysen.

Lerpreparaten som etylenglykol (EG)-behandlades förvarades under 48 h i 60 °C i exikator med etylenglykol ånga. Proven som värmebehandlades, uppvärmdes till 350°C under 0.5 h.

Röntgendiffraktionsdiagram togs fram för området 2° 2 θ till 32° 2 θ för de lufttorkade proverna och 2° 2 θ till 18° 2 θ för de behandlade proverna.

4.2.7 Kemisk totalanalys

Den kemiska totalsammansättningen bestämdes enbart på fraktion 8-63 μm . På grund av svårigheten att göra mineralbestämningar i tunnslip på partiklar < 63 μm , baserades mineralberäkningarna för

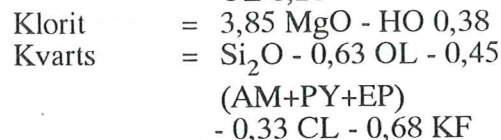
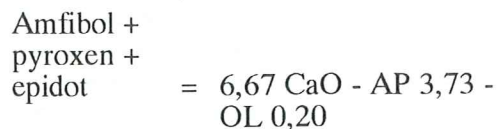
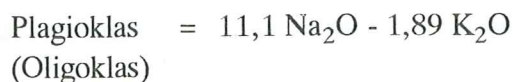
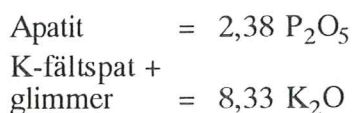
fraktionen 8-63 µm på kemisk totalanalys, kombinerad med röntgen.

För den kemiska totalanalysen användes en plasmaspktrometer (ARL 3520 B ICP ANALYZER), vid Kvärtärgeologiska avdelningen, Lund.

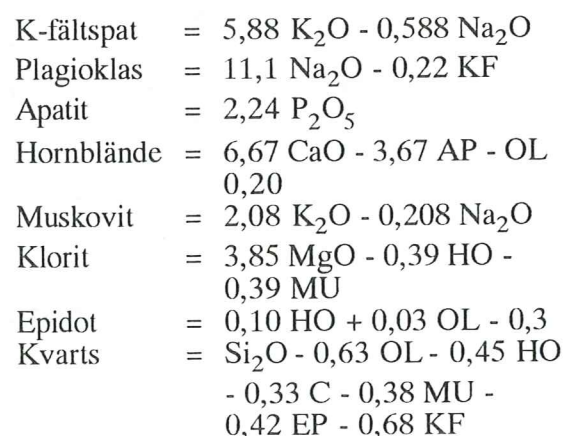
Det torkade provet maldes i kulkvarn under 5 minuter innan provet brändes vid en temperatur på 1050°C under 2 h. Därefter maldes det brända provet innan det blandades med LiCO₃ och B₂O₃. Blandningen smältes samman och löstes därefter upp i 10% (volymprocent) HNO₃, efter det att provet hade malts ner. Lösningen filtrerades innan vätskan analyserades med plasmaspktrometer (ICP). En mer utförlig beskrivning av upplösningen finns i Thompson och Walsh (1983).

4.2.8 Mineralberäkning med normeringsmodell

Resultatet från den kemiska totalanalysen presenteras som grundämnesoxider. För att beräkna provets mineralogi användes Melkeruds normeringsmodell (1992). Modellen utgår ifrån att grundämnesoxiderna har en bestämd fördelning i de vanligaste mineral som ingår i den svenska berggrunden (tab. 2). Vid beräkningarna användes ekvationerna:



För att göra en jämförande studie beräknades även mineralogin med hjälp av UPPSALA modellen (Sverdrup et al. 1994) enligt ekvationerna:



Förkortningarna för bägge ekvationsserierna är KF = k-fältspat; OL = oligoklas; AP = apatit; MU = muskovit; HO = hornblände; CL = klorit; AM = amfibol; PY = pyroxen och EP = epidot.

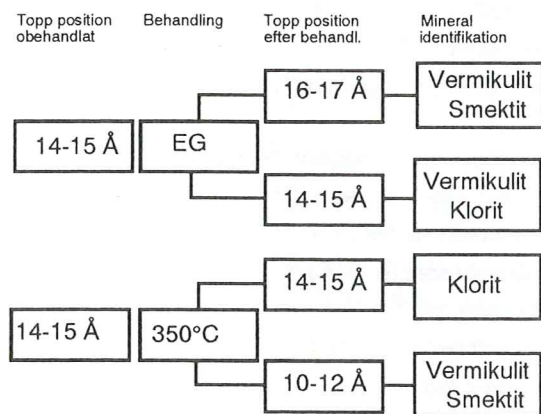
Tabell 2. Approximativ fördelning av element i bergartsbildande mineral (Melkerud 1992).

Mineraler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Kvarts	100	0	0	0	0	0	0	0
K-fältspat + glimmer	68	17	0	0	0	12	2	0
Plagioklas (Oligoklas)	63	24	0	3	0	0	9	0
Klorit	33	21	20	0	26	0	0	0
Mafiska mineral (Hornblände, epidot)	45	14	14	15	10	0	0	0
Apatit	0	0	0	56	0	0	0	42
Kalcit	0	0	0	56	0	0	0	0

4.3 Identifiering och kvantifiering av mineral i ler- och siltfraktionen

Röntgendiffraktionsdiagrammen användes för att bestämma mineralinnehållet i fraktionerna 8-63 μm och $< 2 \mu\text{m}$. Prover som inte hade CBD-behandlats var mycket svårtolkade, förmodligen för att den fria järnoxiden som finns på ytorna av lerpartiklarna försämrar orienteringen av dessa (fig 4).

Identifieringen av lermineral genom tolkning av röntgendiffraktionsdiagram är både svårt och komplicerat. Ett förenklat mineralidentifikationsschema redovisas i figur 5.



Figur 5. Metoder för identifikation av lermineral

Flera av de vanliga lermineralen, som exempelvis vermiculit, smektit och klorit, har alla toppar omkring 14 Å.

Smektiter är typiska svällande lermineral. Vid EG behandling sväller dessa till 16-17 Å medan en typisk klorit förblir opåverkad (Bradley 1945).

Kloritens topp vid 14 Å överlappar vermiculitens 14 Å topp men kloriten har vanligen sin starkaste topp vid 7Å medan vermiculitens topp är betydligt svagare i detta område. Vid värmebehandling kollapsar vermiculiten till cirka 10 Å medan kloriten är stabil och behåller sin topp vid 14 Å.

Om vermiculiten innehåller skikt av aluminium-hydroxid ändras dess reflex. Denna typ av vermiculit kollapsar inte utan har kvar sin topp i 14 Å området. Under vissa omständigheter sväller inte heller denna

typ av vermiculit, dessa förhållanden komplicerar identifieringen. För att skilja vermiculit med aluminiumhydroxid skikt från klorit värme behandlades provet. Vid 300°C kollapsar denna typ av vermiculit ner till omkring 11-12 Å medan kloriten förblir stabil (Dixon och Weed 1977).

I den undersökta markprofilen förekommer blandskiktade lermineral. Blandskiktade lermineral har inte några speciellt karaktäristiska toppar i diagrammen utan har ett flertal diffusa toppar i området 10-14 Å. Konsekvensen av detta blir att det försvårar tolkningen av de värmebehandlade proverna eftersom lermineral som vermiculit kollapsar ner till 10-12 Å.

Med röntgendiffraktionsdiagrammen som underlag gjordes en semikvantitativ uppskattning av mineralinnehållet. Beräkningen baseras på följande reflexer: vermiculit/klorit (14.2 Å), illit (10.0 Å), kalifältspat (3.25 Å), plagioklas (3.19 Å) och kvarts (4.26 Å).

Intensiteten hos en reflex är relaterad till kvantiteten av mineralet. Intensiteterna uppskattades genom att arean av reflexen beräknades som höjden * bredden av reflexen vid halva höjden. Intensiteterna summerades och den procentuella fördelningen mellan de aktuella mineralen (se ovan) beräknades. Vid utvärderingen har jag också tagit hänsyn till att samma mängd av olika mineral kan ge upphov till olika starka röntgenreflexer. Värden för relativa intensiteter för de aktuella mineralen har jag hämtat från litteraturdata (tab. 3). I mina beräkningar har jag använt ett medelvärde av dessa värden. Det är viktigt att betona att beräkningar av framför allt lermineralmängder har många felkällor. Detta kan bero på många olika faktorer, såsom variationer i kristalliniteten och i den kemiska sammansättningen för varje prov, svårigheter med att åstadkomma samma grad av orientering och samma mängd vid varje provpreparering.

Tabell 3. Värden på relativa intensiteter för samma mängd mineral

Författare	Plagioklas (3,19)	K-fältspat (3,25 Å)	Kvarts (4,26 Å)	Illit (10 Å)	Vermikulit (14 Å)
Snäll et al. (1979)	1	1		2	4
Melkerud (1983)	1	0,8	0,3	2	4
Medelvärde	1	0,9	0,3	2	4

4.4 Datorbearbetning

För beräkning av vittringshastigheten i fält användes datormodellen PROFILE (Warfvinge och Sverdrup 1992). PROFILE modellen har tidigare använts för att bestämma maximalbelastningen av syra-deposition för skogsjordar i olika regioner, bland annat i Maryland, USA och i södra Sverige. Flera undersökningar har även gjorts i andra områden i Europa (Gårdsjön, Laxå och Norrliden) och i USA (Woods Lake).

PROFILE är en "steady state" massbalansmodell. Den grundläggande principen bakom modellen är att identifiera källorna för försurning och alkalisering i det undersökta systemet och att bestämma gränsvärdet för den maximala syrabelastningen för ett växtbestånds ekosystem.

För att modellen skall fungera måste flera antaganden göras. Man utgår bland annat från att utbytet mellan markjonerna är i jämvikt och att det inte finns någon nettoförändring i basmättnaden för marken. Vidare antas att systemet har en enkel hydrologi där infiltrationen av vattnet sker rakt ner genom markprofilen (Sverdrup och Warfvinge 1988, 1992).

För att kunna beräkna vittringshastigheten behövdes flera oberoende fysikaliska och kemiska variabler. De data som jag inte själv tagit fram är hämtade från olika publikationer och databaser, vilket framgår av tabell 4. Vittringshastighetsberäkningarna är baserade på kinetiska hastighetsekvationer bestämda experimentellt genom teoretisk analys (Sverdrup 1990).

Tabell 4. Parametrar i datorprogrammet PROFILE (Alveteg et al. 1994).

Nederbörd (m/år) ¹
Avrinningshastighet (m/år) ²
Jordtemperatur (°C) ³
Våt och torr anjondeposition (kEq/ha*år) ⁴ SO ₄ , Cl, NO ₃
Våt och torr katjondeposition (kEq/ha*år) ⁴ NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Al ³⁺
Nitrifikationshastighet ⁵
Jordmånshorisont (A, B, C) ⁶
Lagertjocklek (m) ⁶
Jordvatteninnehåll (m ³ m ⁻³) ⁶
Bulkdensitet (kg m ⁻³) ⁵
Specifik partikelarea (m ² m ⁻³ 10 ⁻⁶) ⁶
CO ₂ -tryck (atm %) ⁴
Löst organiskt kol (DOC) (mg l ⁻¹) ⁴
Log gibbsite eq. konstant (kmol ² m ⁻³) ⁵
% av nederbörden intränger i horisonten ⁴
% av nederbörden som lämnar horisonten ⁴
Katjonupptag Mg+Ca+K (% of total max) ⁵
Kväveupptag (% of total max) ⁵
"Canopy exchange" Ca, Mg, K, N (kEq/ha*år) ⁷
"Litterfall" totalinnehållet i barren Ca, Mg, K, N (kEq/ha*år) ⁷

1) Värdet är från Kåraboda 2 km söder om Farabol. Det inmatade värdet är den del som når marken.

2) Gunnar Jacks (pers. com.)

3) Jordtemperaturen antas vara den samma som årsmedeltemperaturen vilken är hämtad från SMHI. (1993).

4) Gunnar Jacks (pers. com.)

5) Värdena är hämtade från Sverdrup et al. (1990)

6) Dessa värden är bestämda enligt beskrivning kapitel 4.

7) Värdena är från Bergqvist (1986)

5. Resultat

5.1 Mineralsammansättning

5.1.1 Lerfraktionen, < 2 μm

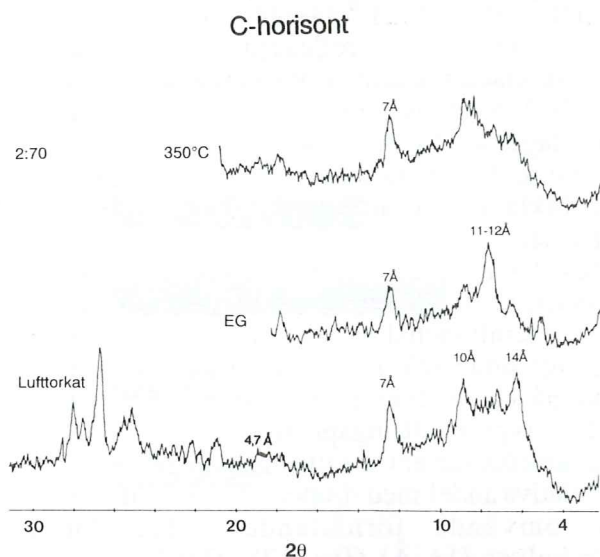
För identifieringen av mineral i lerfraktionen användes uteslutande resultatet från röntgendiffraktionsanalysen.

Resultatet visar att **C-horisonten** i block 2 har ett relativt stort innehåll av klorit. I diagrammet syns detta tydligt genom att 7 Å toppen är lika stark som eller starkare än 14 Å toppen (fig. 6). I provet från block 3 (fig. 7) ser man också en tydlig 003 reflex vid 4,7 Å som härrör från kloriten. Vid värmebehandlingen försvagas 14 Å toppen, vilket bekräftar att det också finns vermiculit i proverna. Den tydliga toppen i 10 Å området tolkas som en illit på grund av den breda reflexen. Biotit har också sin starkaste topp i 10 Å området men har en mycket karaktäristisk spetsig topp (Thorez 1975). Även illitens 002 reflex syns tydligt i diagrammet för det lufttorkade provet. Illit förblir också opåverkad vid EG- och värmebehandlingen. Karaktäristiskt för prov 2:70 är att det finns en tydlig topp vid 16 Å

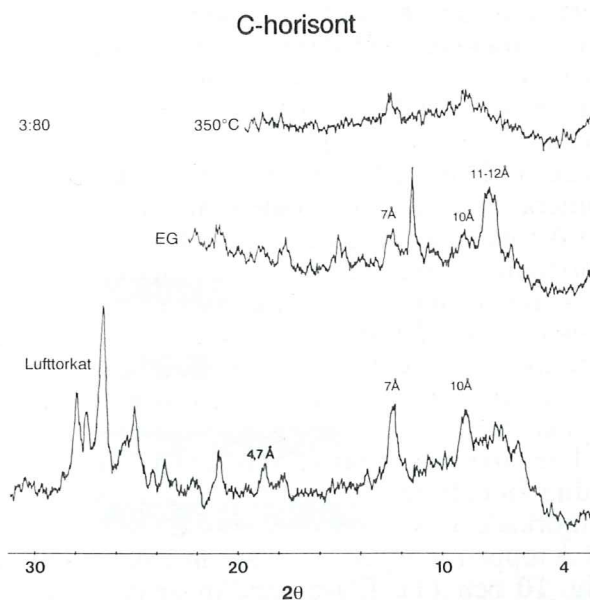
för det EG-behandlade provet. Detta tyder på att det finns smektit liknande mineral i detta prov. Området 10-14 Å visar flera diffusa toppar, vilka tolkas som blandskiktade lermineral. De blandskiktade lermineral i området 10-11 Å har förmodligen en del mellanlagrade svällande skikt. Detta framkommer i det EG-behandlade provet där området ändras markant. I provet från block 3 är detta ännu tydligare. I detta prov försvagas 10 Å toppen samtidigt som 11-12 Å toppen är mycket intensiv när provet EG-behandlas.

Den mycket starka toppen 7,75 Å har inte identifierats, men kommer förmodligen från något salt som bildats vid dispergeringen eller CBD-behandlingen. För övrigt överensstämmer C-horisonterna för block 2 och 3 väl.

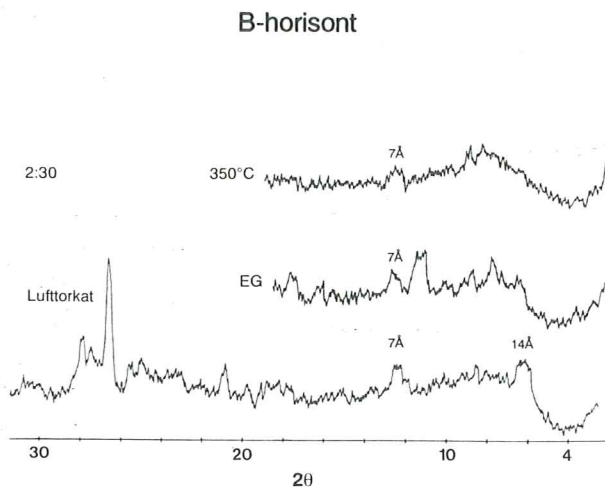
I **B-horisonten** i block 2 och 3 är 7 Å toppen fortfarande relativt intensiv även om 14 Å toppen dominerar. Skillnaden mellan detta prov och provet från C-horisonten är att vid värmebehandlingen kollapsar 14 Å toppen totalt (fig. 8) vilket den inte skulle göra om det funnits klorit i provet. Denna reaktion visar att det finns företrädesvis vermiculit i provet. Vid EG-behandlingen sväller smektit och vissa vermiculiter.



Figur 6. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 2:70. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG- respektive värmebehandlat.



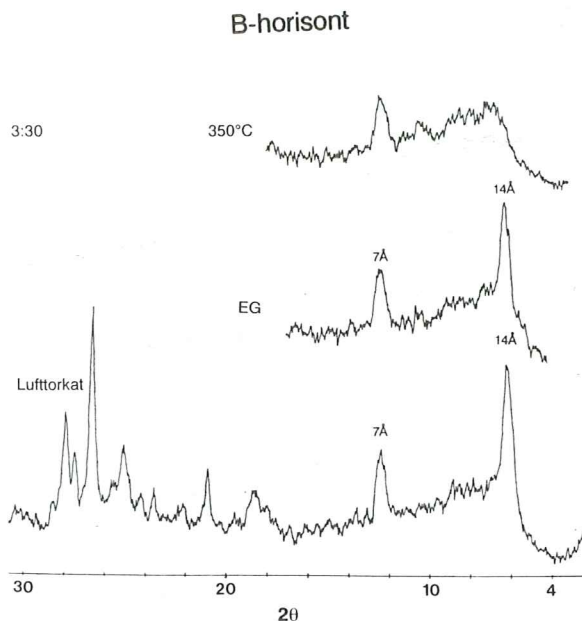
Figur 7. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 3:80. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG- respektive värmebehandlat.



Figur 8. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 2:30. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG- respektive värmebehandlat.

I block 3 provet syns en mycket svag reflex i området 16 Å (fig 9). Den intensiva 14 Å toppen förändras inte nämnvärt vid EG-behandlingen. Vid värmebehandlingen kollapsar 14 Å toppen ner till 12 Å. Detta kan förklaras med att det finns vermikulit med aluminiumhydroxid skikt eller kloritliknande skikt (Brindley och Brown 1980). Utseendet på topparna för de blandskiktade lermineralen liknar C-horisontens prov, det vill säga att även i B-horisonten finns blandskiktade mineral med mellanlagrade svällande skikt. 10 Å toppen är svagare än vad den var i C-horisonten, vilket gäller för både block 2 och 3. Tolkningen blir att illit innehållet minskar i B-horisonten. De svaga intensiteterna för det lufttorkade provet från B-horisonten i block 2 beror förmodligen på att preparatet var mycket tunt.

I den **översta markhorisonten** syns en tydlig förändring vad gäller 14 Å toppen. De lufttorkade proven för båda blocken visar att 14 Å toppen är mycket starkare än 7 Å toppen (fig. 10 och 11). EG-behandlingen ger inga indikationer på att det finns några svällande lermineral. När provet EG-behandlas finns en mycket stark topp kvar i 14 Å området. Vid värmebehandlingen kollapsar 14 Å toppen ner till omkring 12 Å. Proven tagna från markhorisonten domineras således av

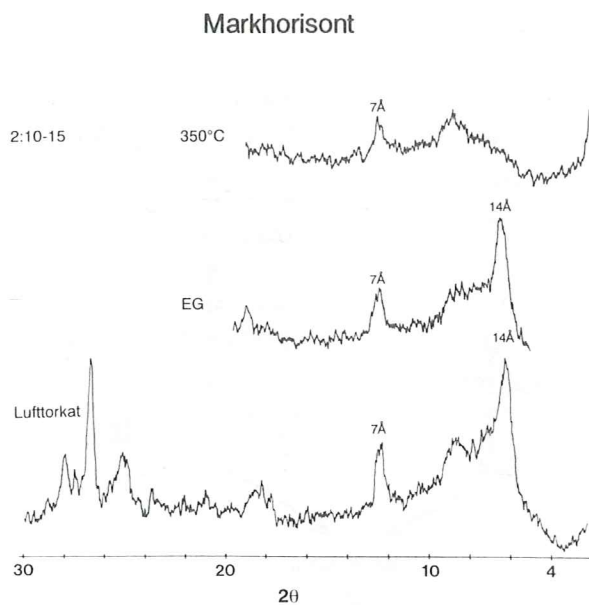


Figur 9. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 3:30. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG-respektive värmebehandlat.

vermikulit med aluminiumhydroxidskikt eller kloritliknande skikt. En höjning av bakgrunden vid 10-13 Å området när provet har EG-behandlats, visar att det finns blandskiktade lermineral även i markhorisonten. Detta innebär också att illit toppen vid 10 Å nästan försvinner i bakgrunden av reflexerna för de blandskiktade mineralen. Proverna för block 2 och 3 överensstämmer ganska väl med undantaget att 14 Å är betydligt intensivare för block 3 i relation till 7 Å toppen. Detta kan förklaras med att provet från block 3 är mer ytnära.

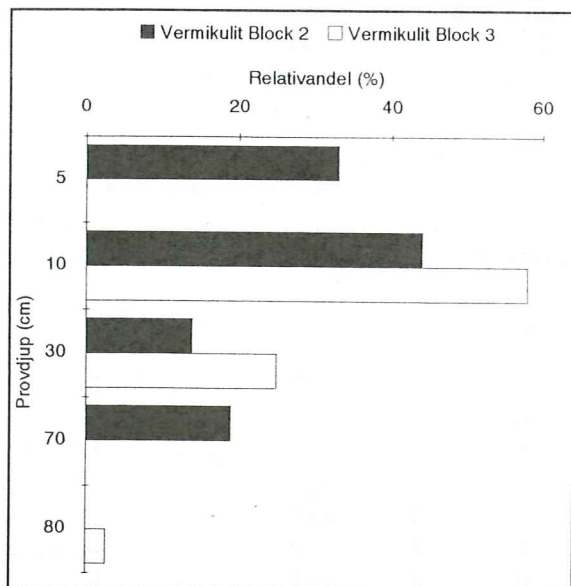
Resultatet från den semikvantitativa analysen visar att det finns klara tendenser hur mineralinnehållet varierar med djupet. Samtliga undersökta mineral i båda blocken visar på en tendens som stämmer överens med en typisk vittringsprofil. Illiten (10 Å), vars järnrika variant är vittringsbenägen, ökar sin relativa andel med djupet i block 3 medan det omvända förhållandet råder för vermikuliten (14 Å) (fig. 12). Det har inte tagits någon hänsyn till att klorit också har en 14 Å topp och kan interferera med vermikuliten.

Även kalifältspat och plagioklas, som är mer lättvittrade än kvarts, ökar i relativ andel med djupet (Fig. 13 och 14).

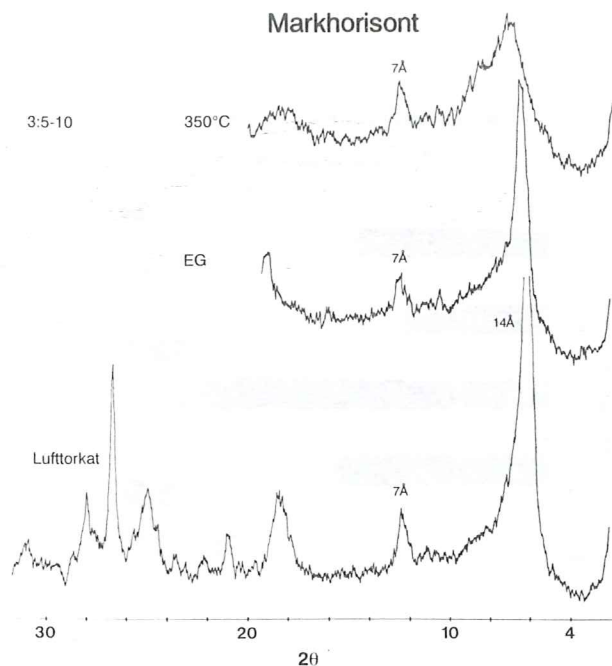


Figur 10. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 2:10-15. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG-respektive värmebehandlat.

Sammanfattningsvis visar analysresultaten att klorit och illit ökar med djupet medan vermikulit minskar med djupet. Av resultaten kan konstateras att blandskiktade lermineral är vanliga i hela horisonten i båda blocken och att vermikulit företrädesvis finns som en vermikulit med skikt av aluminiumhydroxid.



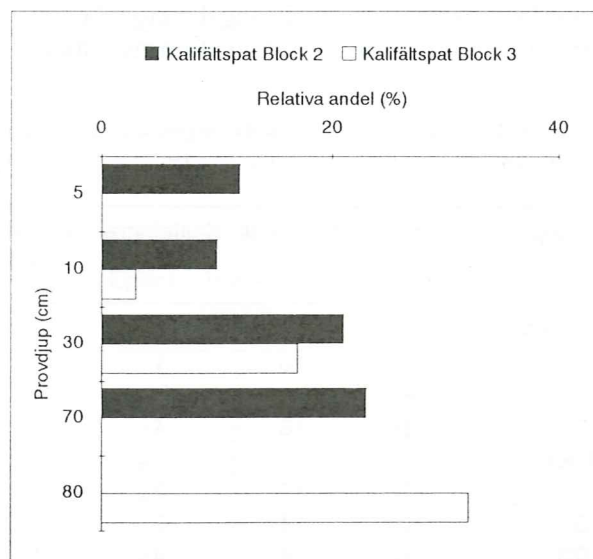
Figur 12. Grafen visar den relativa andelen av vermikulit i fraktionen <math>< 2 \mu\text{m}</math>. Beräkningen är gjord på 14 Å och inkluderar också klorit.



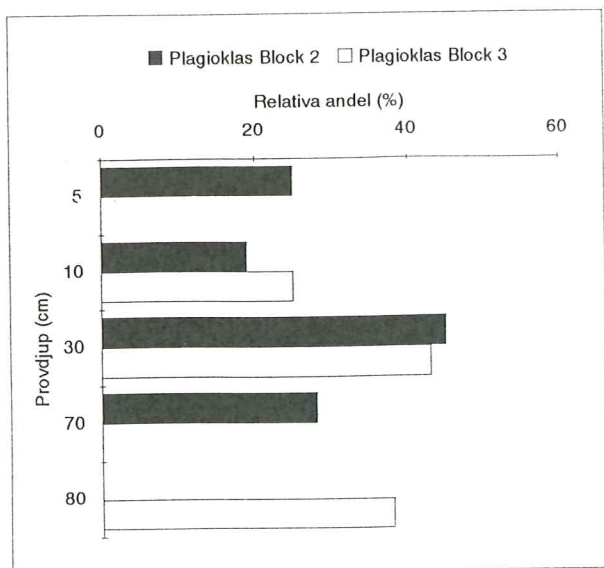
Figur 11. Röntgendiffraktionsdiagram för prov 3:5-10. Diagrammen visar kurvor av ett lufttorkat preparat och preparat som blivit behandlat med EG-respektive värmebehandlat.

5.1.2 Siltfractionen, 8-63 μm

Analysresultatet från röntgendiffraktionsanalysen visar att det är mycket svårt att identifiera de små mängderna av mafiska mineral med röntgendiffraktionsdiagram som underlag. Konsekvensen blir att det är svårt



Figur 13. Grafen visar den relativa andelen av kalifältspat i fraktionen <math>< 2 \mu\text{m}</math>.

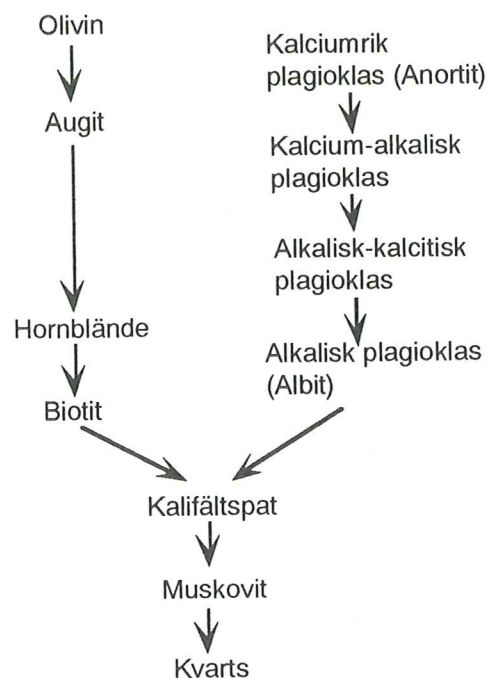


Figur 14. Grafen visar den relativa andelen av plagioklas i fraktionen <math>< 2 \mu\text{m}</math>.

att göra en totalsammanställning av mineralogin i denna fraktion. De enda reflexer som jag lyckades identifiera var, förutom kvarts, kalifältspat och plagioklas. Resultatet från analysen visar att de mer lättvittrade mineralen kalifältspat (3,25 Å) och plagioklas (3,19 Å) visar en tendens att öka med djupet i relation till kvarts.

För att få ytterligare en möjlighet att uppskatta mineralsammansättningen genomfördes en kemisk totalanalys av denna fraktion.

Goldish kom på att vittringsbenägenheten för olika mineral överensstämmer med

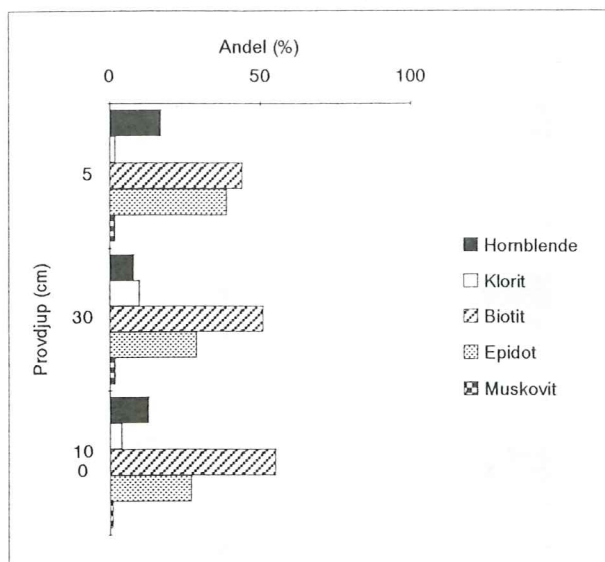


Figur 15. Figur över Goldish vittringsserie (Goldich 1938) vilken överensstämmer med Bowens reaktionsserie fast i omvänd form.

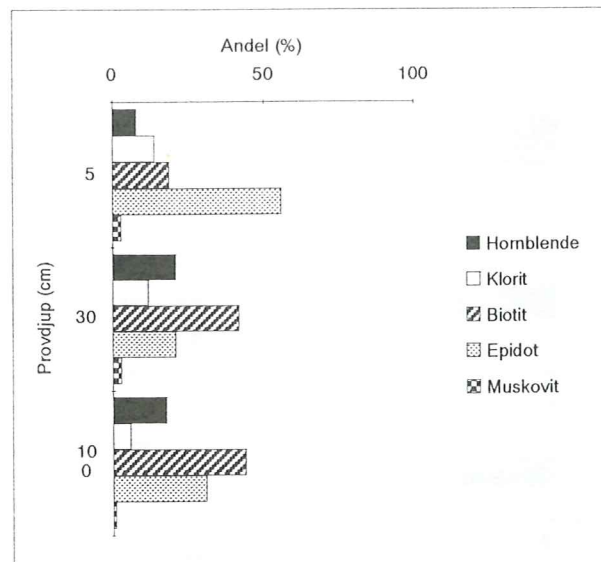
Bowens reaktionsserie i omvänd form (fig. 15). Det är denna vittringsserie som jag utgår ifrån vid mitt resonemang om olika mineral vittringskänslighet.

Tabell 5. Resultatet av tunnslipsräkningen som visar den procentuella mineralfördelningen i fraktionen 63-250 μm

Provdjup (cm)	Kvarts	Plagioklas	Kalifältspat	Saussurit Sericit	Järnoxid	Epidot	Hornblände	Biotit	Klorit
Block 2									
5	57	10	1	10	20	1	2	0	0
30	62	14	14	10	6	1	1	1	1
100	56	18	4	14	1	4	1	4	1
Block 3									
5	56	17	2	18	3	3	1	1	0
30	56	14	3	18	2	2	2	0	3
100	62	14	4	13	0	3	1	2	0



Figur 16. Diagrammet visar resultatet från punkt-räkning av lermineralen och de tunga mineralen i fraktionen 63-250 µm för block 2.



Figur 17. Diagrammet visar resultatet från punkt-räkning av lermineralen och de tunga mineralen i fraktionen 63-250 µm för block 3.

5.1.3 Sandfraktion, 63-250 µm

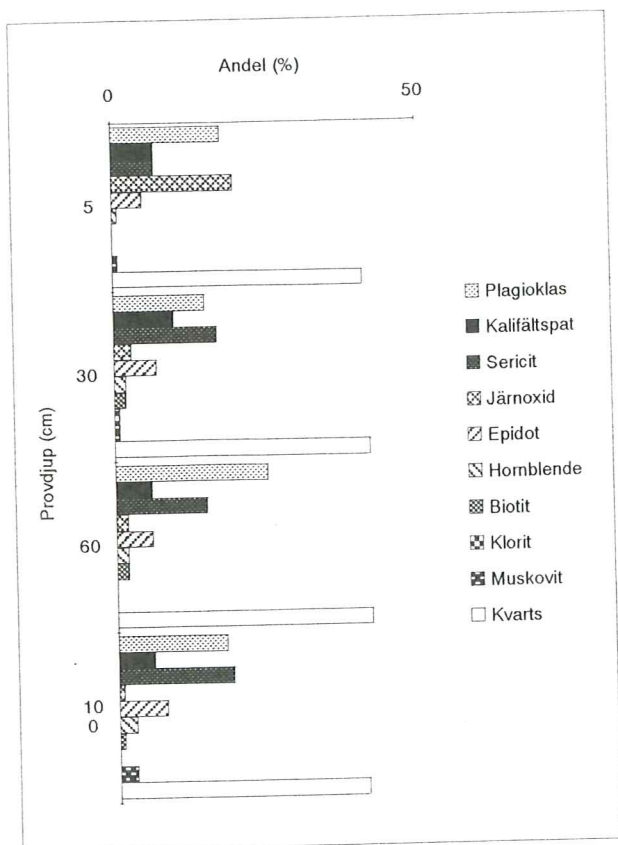
Resultatet av tunnslipsräkningen för fraktionen 63-250 µm visar inte några tydliga tecken på markvittring utöver att biotit och klorit ökar i andel med djupet (tab. 5). En del av förklaringen är att andelen tunga och lättvittrade mineral förekommer i relativt små mängder. För att ge en tydligare bild av mineralsammansättningen för de mer lättvittrade mineralen, genomfördes en andra punkträkning där endast fyllosilikat och de mafiska mineralen räknades för att se om

frekvensen av dessa mineral förändras med djupet.

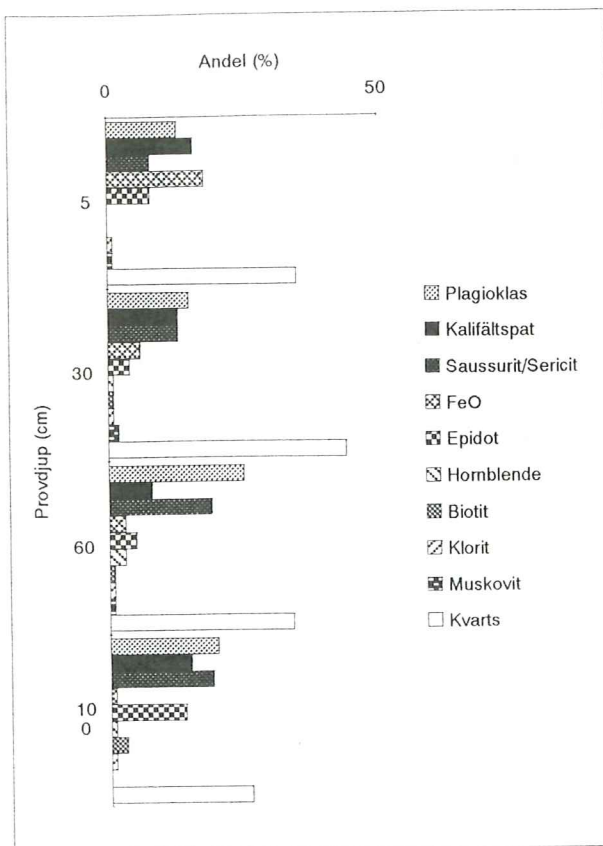
Resultatet från denna punkträkning visar att de lättvittrade mineralen hornblände och biotit tenderar att öka med djupet, medan muskovit och epidot visar ett motsatt förhållande (fig. 16 och 17).

Tabell 6. Resultatet av tunnslipsräkningen som visar den procentuella mineralfördelningen i fraktionen 250-2000 µm

Provdjup (cm)	Kvarts	Plagioklas	K-fältspat	Saussurit Sericit	Järn- oxid	Epidot	Horn- blände	Biotit	Klorit	Muskovit
Block 2										
5	41	18	7	7	20	5	1	0	0	1
30	42	15	10	17	3	7	2	2	1	1
60	42	25	6	15	2	6	2	2	0	0
100	41	18	6	19	1	8	3	1	0	3
Block 3										
5	35	13	16	8	18	8	0	0	1	1
30	44	15	13	13	6	4	1	1	1	2
60	34	25	8	19	3	5	3	1	1	1
100	26	20	15	19	1	14	1	3	1	0



Figur 18. Resultatet från punkträknningen av fraktionen 250-2000 µm i block 2.



Figur 19. Resultatet från punkträknningen av fraktionen 250-2000 µm i block 3.

5.1.4 Grus- och stenfraktionen, 250-2000 µm

Typiskt för samtliga tunnslip är att sauritiseringsgraden för fältspaterna är mycket hög. Det har därför varit svårt att dra någon exakt gräns mellan saussurit - plagioklas respektive saussurit - epidot. På grund av att vissa korn förmodligen också är sericitiserade finns även här ett identifieringsproblem mellan sericit - kalifältspat respektive sericit - glimmer. Ytterligare ett problem vid identifieringen har varit att skilja på saussurit och sericit.

Saussurit är en sekundär omvandlingsprodukt från plagioklas, medan sericit är en omvandlingsprodukt från kalifältspat. Saussurit består av albit och ett epidot-mineral, exempelvis zoisit och klinozoisit (Heinrich 1965). Sericit är en finkornig glimmer företrädesvis muskovit eller paragonit (Deer et al. 1966). Sericit förekommer som en omvandlingsprodukt av kalifältspat.

Eftersom epidot och saussurit/sericit är

nyckelmineral för vittringshastigheten genomfördes också en SEM-EDAX-analys (JOEL JSM-6400 Scanning Microscope - Link Analytical eXL) på dessa mineral. Analysen av epidot från den undersökta markprofilen visar på en hög halt av Ca och Fe medan SiO₂-värdet var relativt lågt (tab. 6).

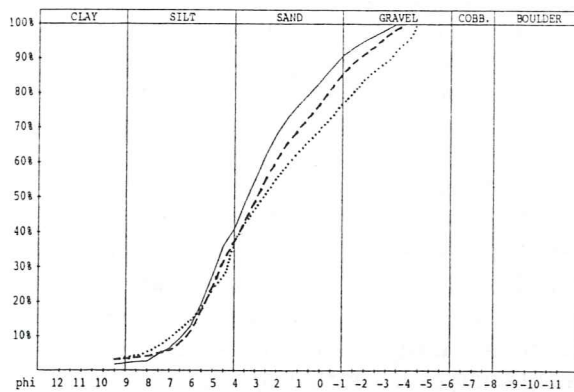
Resultatet överensstämmer med en typisk sammansättning av epidot. Sondanalysen av saussurit/sericit var något mera uppseendeväckande eftersom resultatet visar att sammansättningen mest liknar ortoklas (tab. 6). Konsekvensen av detta blir att saussurit räknas som en plagioklas (2/3) och kalifältspat (1/3) vid beräkning av vittringshastighet. Orsaken till att jag valt detta förhållande är att jag utgått från den kemiska analysen och fördelat kalium till kalifältspat och resterande till plagioklas.

Resultatet av tunnslipsanalysen på den grövre fraktionen 250 - 2000 µm visar att plagioklas, epidot, saussurit/sericit och hornblände ökar i andel medan järnoxid har en tendens att minska neråt i markprofilen.

Tabell 7. Resultat från sondanalys. Prov 1 är epidot och prov 2 är ett korn som är saussuritiserat eller seriticerat.

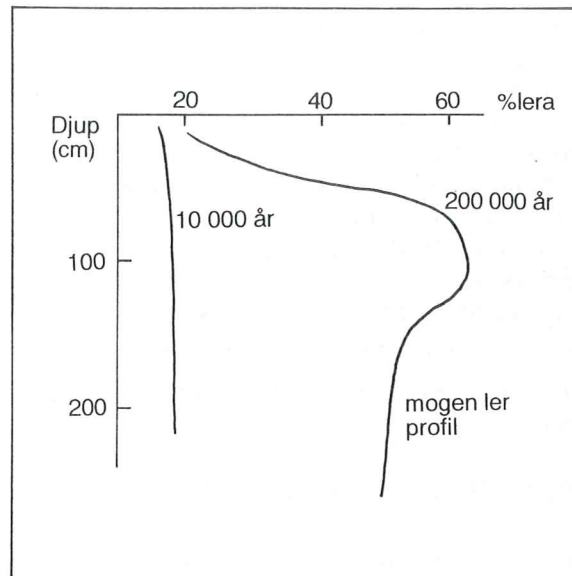
Prov	1	2
Na ₂ O	0	6,2
Al ₂ O ₃	21,9	20,4
SiO ₂	35,3	57,1
K ₂ O	0	3,7
CaO	22,5	2,8
TiO ₂	0	0,2
MnO	0,6	0
FeO	12,6	2,1
Totalt	93,0	92,4

Fyllosilikaten klorit, muskovit och biotit uppgår tillsammans endast till några få procent. Därför är det svårt att dra några slutsatser om deras relativa andel i markhorisonterna. Undantaget är biotit som inte alls förekommer i A-horizonten. Resultatet redovisas i tabell 7 och i figur 18 och 19.



— Markhorisont — — — B-horisont C-horisont

Figur 20. Kornstorleksfördelningen i markhorisonterna, B-horisonten respektive C-horisonten för block 2.

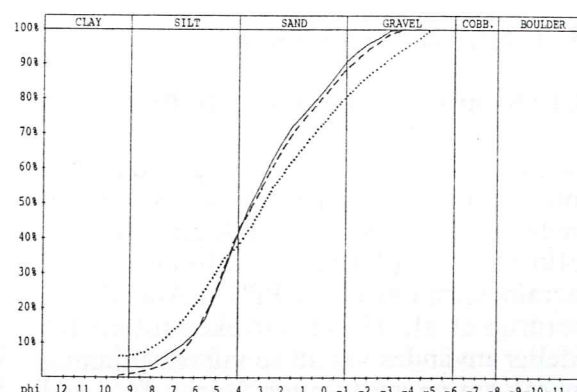


Figur 21. Diagrammet visar hur lermineralproduktionen varierar med tiden.

5.2 Fysikaliska egenskaper

5.2.1 Kornstorleksanalys och specifik partikelarea

De två provlokalerna är mycket lika vad gäller kornstorlekssammansättningen (Fig. 20 och 22). Marken kan karakteriseras som en sandig siltig morän med ringa lerhalt. Enligt resultaten varierar lerhalten mellan 1,9% och 6,6% vid olika provdjup. Att lerhalten inte uppvisar något klart samband med profil-



— Markhorisont — — — B-horisont C-horisont

Figur 22. Kornstorleksfördelningen i markhorisonterna, B-horisonten respektive C-horisonten för block 3.

djupet kan förklaras med att moränen inte är äldre än cirka 13 000 år. Detta resultat överensstämmer också med Veldes (1992) resultat av hur markens lerinnehåll förändras med tiden (fig. 21).

En jämförelse av de olika horisonterna visar att det finns lite mer grovt material i C-horisonten, framförallt i block 3.

En av orsakerna till att en kornstorleksanalys genomfördes var för att kunna ta fram den specifika ytan (A_w), uttryckt i m^2/g . Värdet för specifika ytan beräknades enligt formeln:

$$A_w = 8,0 \cdot x_{\text{lera}} + 2,2 \cdot x_{\text{silt}} + 0,3 \cdot x_{\text{sand}}$$

med antagandet att summan av partikelstorleksfraktionerna blir 1:

$$x_{\text{lera}} + x_{\text{silt}} + x_{\text{sand}} + x_{\text{grus+sten}} = 1.$$

Formeln är framtagen experimentiellt av Sverdrup et al. (1990). Man har tidigare använt BET-metoden för att bestämma den specifika ytan, men resultat från Swedish critical load mapping (Sverdrup et al. 1991) har visat att metoden är mycket känslig vad gäller resterande mängder av organiskt material i proven och icke vittringsbara amorfa mineralfaser i B-horisonten (Sverdrup och Warfvinge, 1992).

Formeln för beräkning av partikelytan har även använts för att beräkna totalytan för varje mineral i provmaterialet. Dessa värden har sedan använts vid PROFILE-beräkningarna.

5.3 Kemiska analyser

5.3.1 Kemisktotalanalys (ICP)

Analysen redovisar endast grundämnessammansättningen för provet (tab. 8). För att ta reda på den sökta mineralogin användes Melkeruds (1992) schema för mineralbestämning och UPPSALA-modellen (Sverdrup et al. 1994). Orsaken till att två modeller användes var att se vilken spridning mineralsammansättningen kan få vid användandet av två helt skilda modeller.

Kemisk analys har gjorts endast på fraktionen 8-63 μm , eftersom de andra fraktionerna analyserades med andra metoder som gav information om mineralsamman-

sättningen.

Mineralfördelningen i siltfraktionen (tab. 9 och 10) visar i stort samma tendenser som i de övriga fraktionerna. Kvarts minskar i andel med djupet medan kalifältspat, glimmermineralen och de mafiska mineralen ökar sin andel. Det som skiljer resultatet från den kemiska totalanalysen från de övriga analyserna är att man kan se antydningar till anrikning i B-horisonten av järnoxid (Fe_2O_3) och aluminiumhydroxid (Al_2O_3). En förklaring till skillnaderna är att mineralberäkningarna är osäkra och att Fe och Al istället skulle fördelas till någon mineralgrupp. Mängden Al_2O_3 som återstår efter fördelning till olika mineral antas förekomma i olika lermineral. Denna andel lermineral togs inte med i PROFILE-beräkningarna. Kalifältspatvärdet är något högt jämfört med punkträkningen i Melkeruds normeringsmodell medan UPPSALA modellen uppvisar värden som mera överensstämmer med tunnslipsräkningen. UPPSALA modellen visar däremot alldeles för höga värden på hornblände och muskovit medan epidot förmodligen är kraftigt underrepresenterat. Resultatet som erhålls med Melkeruds normeringsmodell är det som bäst överensstämmer med tunnslipsräkningen. Därför har jag valt att använda detta resultat vid beräkning av vittringshastigheten.

5.3.2 Järnhalt

Järnhalten i lerfraktionen bestämdes genom CBD-behandling och påföljande spektrofotometeranalys. Resultatet av analysen visar inga tendenser till att någon urlakning skulle ha skett varken i mark- eller B-horisonten. Anmärkningsvärt är att det finns relativt stora mängder av järn även i C-horisonten. Utgår man från fotografierna (bild 1 och 2) tycks C-horisonten vara opåverkad mineraljord, men av analysen av döma har järn fällt ut ända ner till 1 meter under markytan. Fraktionen 8-63 μm konstateras att järnhalten genom profilen är tämligen jämn, även om det finns en svag tendens till anrikning i B-horisonten.

De fraktioner som studerats genom tunnslip visar inte på någon tydlig anrikningshorisont. Tendensen är istället att järnhydroxiden avtar gradvis med djupet.

5.4 Vittringshastighet

Filosofin bakom vittringshastighetsberäkningarna enligt PROFILE-modellen är att de resultat som framtagits experimentellt i laboratoriet även gäller universiellt i fält. Den kemiska och fysiska miljön i fält skiljer sig från den laborativa är oomtvistat. Även om man tar hänsyn till detta i beräkningsekvationerna, är det viktigt att beakta dessa brister i modellen vid tolkningen och sammanfattningen av vittringsstudien.

Förutom vittringshastigheten kan PROFILE beräkna flera andra viktiga parametrar, som talar om konditionen på marken med hänsyn till skogen. Resultatet från beräkningarna talar om hur högt pH-värdet är och hur det varierar med djupet. Resultatet visar också hur näringsbalansen är i marken, det vill säga om det finns ett utflöde av näringsämnen med marklösningen eller om det råder brist på något ämne.

Beräkningen som gjorts med den mineralogi och markfysik som framtagits i fält visar på en **hög vittringshastighet**. Resultatet visar att vittringshastigheten (BC+Na) uppgår till cirka 2 keq/ha*år. Dettavärde är omkring 4 ggr högre än genomsnittsvärden för typiska urbergsmoräner. (Maxe 1994). Enligt beräkningarna har markprofilerna en horisont med låga värden av Ca, Mg och K. Nivån på denna horisont sammanfaller med den urlakningshorisont som syns i block 3. pH-värdet i beräkningarna visar på en sur markhorisont (pH 3,5). Resultatet av beräkningarna redovisas i bilaga 2.

Tabell 8. Resultatet av den kemiska totalanalysen av fraktionen 8-63 µm

Prov (cm)	P ₂ O ₅ (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
Block 2										
5-10	0,060	0,347	74,5	0,044	2,50	12,0	0,642	2,04	2,89	3,20
20	0,216	0,675	69,6	0,054	6,47	16,7	0,664	2,15	2,95	2,95
100	0,114	1,148	68,5	0,061	4,20	14,8	0,784	1,95	3,25	2,60
Block 3										
5-10	0,107	0,423	76,1	0,054	4,25	13,7	0,701	2,32	2,92	3,13
20	0,140	0,594	73,3	0,079	4,27	13,8	0,700	2,58	2,91	3,13
100	0,172	0,778	73,4	0,054	3,30	12,9	0,556	2,51	3,25	3,29

Tabell 9. Resultatet visar mineralsammansättningen av fraktionen 8 - 63 µm, framtagen med hjälp av Melkeruds normeringsmodell (1992). Underlaget för beräkningarna är den kemiska totalanalysen, tabell 8.

Provdjup (cm)	Kvarts (%)	Plagioklas (%)	K-fältspat+Glimmer (%)	Amfibol+Pyroxen+Epidot (%)	Klorit (%)	Apatit (%)
Block 2						
5-10	34,4	28,4	24,1	7,37	1,47	0,16
20	31,8	27,1	24,6	6,94	2,86	0,57
100	30,8	22,7	27,1	7,48	4,86	0,30
Block 3						
5-10	38,2	28,1	23,7	7,67	1,79	0,28
20	33,8	29,2	24,3	8,37	2,52	0,37
100	30,6	30,4	27,0	9,16	3,30	0,45

Tabell 10. Resultatet visar mineralsammansättningen av fraktionen 8 - 63 µm, framtagen med hjälp av Uppsala modellen (Sverdrup et al. 1994). Underlaget för beräkningarna är den kemiska totalanalysen, tabell 8.

Provdjup (cm)	Kvarts (%)	Plagioklas (%)	K-fältspat (%)	Muskovit (%)	Epidot (%)	Hornblände (%)	Klorit (%)	Apatit (%)
Block 2								
5-10	44,4	33,5	16,7	5,92	1,47	7,68	0	0,15
20	39,2	32,2	17,2	6,06	1,40	7,31	0	0,53
100	38,5	27,5	19,4	6,75	1,31	7,80	0	0,28
Block 3								
5-10	46,3	33,2	16,5	5,82	1,50	8,05	0	0,26
20	41,6	34,5	16,8	5,98	1,62	8,83	0	0,35
100	38,5	36,1	18,9	6,73	1,75	9,68	0	0,42

6 Sammanfattning

6.1 Markvittring

De undersökta markprofilerna visar flera tecken på kemisk vittring. I lerfraktionen förekommer vermikulit i relativt stora mängder. Vermikulit är ett typiskt sekundärt lermineral som bildas genom nedbrytning av bland annat fyllosilikat. Vermikulit bildas framförallt av biotit och illit, men även muskovit kan vittra till vermikulit (Weaver 1989). Enligt röntgendiffraktionsanalysen är vermikulit med aluminiumhydroxid- eller kloritliknande skikt den vermikulit som är vanligast i markprofilen. Denna typ av vermikulit bildas under relativt måttliga vittringsförhållanden, pH 4,6-5,8 och i jord med låg organisk halt (Rich 1968). Mineralen är speciellt vanligt i glaciala avlagringar, det vill säga i relativt unga jordar (Gjems 1969). Bildningen sker företrädesvis under väl-dränerade förhållanden (Jackson 1963).

En typisk vittringssekvens för vermikulit i fraktionen < 75 µm kan enligt Wilson och Farmer (1970) beskrivas:

Biotit	B/V	Klorit/V	Vermikulit
	C-horisonten	B-horisonten	

Enligt dessa författare sker bildningen av hydroxidskikt framför allt i B-horisonten.

Eftersom största delen av biotit omvandlas till vermikulit i markhorisonten, förekommer biotit uteslutande i C-horisonten. Detta framgår tydligt i såväl mikroskoperingen som XRD-analys.

Biotit innehåller järn som kan oxideras och därigenom förändra sin laddning. Oxidation av järnet medverkar till att skiktsilikatet spricker upp och därigenom förlorar kalium samtidigt som till viss del ersätts av magnesium. Detta medför att vermikulit och smektit bildas i jordmånen. Biotit blir härigenom en viktig källa till fri järnoxid i jordmånsprofilen och medverkar till podsolidering av jordmånen.

Klorit är också ett lättvittrat fyllosilikat och har en större andel i C-horisonten än i markhorisonten i lerfraktionen. Man ser detta tydligt i röntgendiffraktionsdiagrammen för C-horisonten, där 7 Å toppen är kraftig. Även i den kemiska totalanalysen i fraktionen 8-63 µm syns en urlakning mot djupet i markprofilen av Mg, som till största delen är

bundet till klorit och biotit. Vittringsprodukten för klorit är huvudsakligen vermikulit och blandskiktad klorit/vermikulit med olika mellansteg. Förändringen av klorit till vermikulit går via oxidation av Fe²⁺. Churchman (1980) har beskrivit en alternativ vittringssekvens för klorit från Nya Zeeland enligt följande:

klorit	blandskiktad hydro glimmer	Kl/svällande Kl
	Kl/V	nedbrytning

Han fann att klorit/vermikulit bröts ner istället för att bilda vermikulit, vilket kan vara viktigt för vittringshastigheten, eftersom elementen blir tillgängliga för vegetationen.

I vissa sura jordar omvandlas kloriten helt, troligtvis till någon amorf fas (McKeague och Brydon 1970). Detta kan vara av betydelse eftersom marken för regionen är förhållandevis sur med pH 4,1 i markhorisonten och 4,6-4,7 i B-horisonten (Sveriges Nationalatlas 1991).

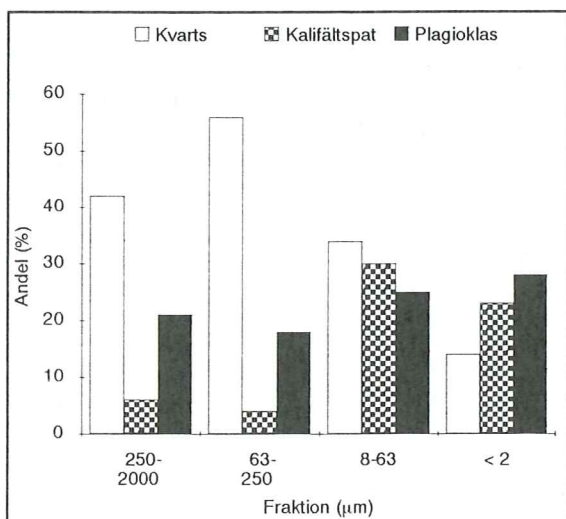
Den illit som finns i markprofilen är förmodligen "primär" illit (Weaver 1989). Både illit och muskovit har relativt stort vittringsmotstånd och förväntas därför inte påverka jonkoncentrationen i marken i någon större utsträckning.

De mafiska mineralen representeras främst av epidot och hornblände. Dessa mineral tillhör också de mer lättvittrade mineralen och visar en tydlig tendens att öka med djupet. Noterbart är att vermikulit även kan bildas genom vittring av hornblände (Proust 1981). Om detta sker, kan detta ha en stor betydelse vad gäller katjonbalansen och tillgängliga näringsämnen. I vittringsberäkningar räknas hornblände tillsammans med epidot som en mycket viktig givare för Mg och Ca. Om dessa joner istället binds upp i vermikulit, som är mer svårvittrat, kommer näringsbalansen att rubbas och man får felaktiga värden vad gäller markens motståndskraft mot försurning. En mycket intressant och relevant fråga är om det endast gäller hornblände eller om det finns andra mafiska mineral som kan ombildas till lermineral.

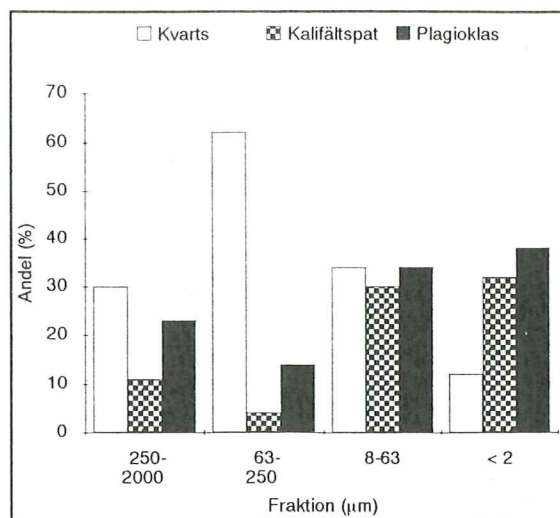
Ett samstämmigt resultat från samtliga analyser visar att plagioklas, som är ett lättvittrat mineral, visar en svag ökning av sin andel med djupet medan den mer stabila

kalifältspaten totalt sett har en större andel i mark- och B-horisonten.

Studerar man hur kvarts, kalifältspat och plagioklas andelen förändras i varje fraktion (ler, silt, sand och grus) kan man se att det finns tendenser att andelen kvarts ökar i de grövre fraktionerna i C-horisonten medan plagioklas och kalifältspat minskar (fig 23 och 24). Sammanfattningsvis tyder resultatet på att vittringens intensitet varierar med partikelstorleken. Detta faktum kan vara av betydelse när man studerar olika jordar. Om resultatet stämmer, kan man förvänta sig att en lerig moränjord har en högre vittringshastighet, på grund av att bland annat plagioklas har en större andel i de finare fraktionerna än i de grövre. Detta resonemang är förenklat eftersom hydrologin i marken också har en stor betydelse vad gäller den kemiska vittringen.



Figur 23. Diagrammen visar hur andelen kvarts, kalifältspat och plagioklas varierar med partikelstorleken i C-horisonten för block 2.



Figur 24. Diagrammen visar hur andelen kvarts, kalifältspat och plagioklas varierar med partikelstorleken i C-horisonten för block 3.

Kornstorleksanalysen visar att det finns tendenser till att de grövre fraktionerna har en större andel i C-horisonten. Detta överensstämmer med de övriga resultaten från denna vittringsstudien, som visar att vittringen i de undersökta markprofilerna avtar med djupet. Resultatet visar dessutom att lerhalten har större andel i C-horisonten.

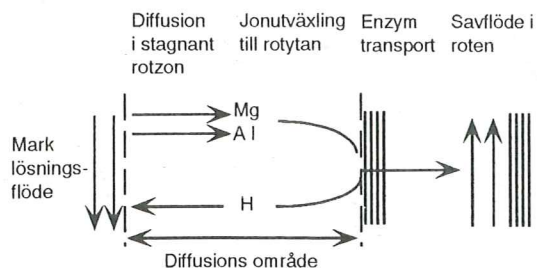
Enligt min uppfattning, som bygger på det sammanvägda resultatet av mina vittringsanalyser, finns det tecken på kemisk vittring under 50 cm nivån. Denna nivå har tidigare använts för provtagning av vad man kallat en opåverkad mineraljord.

6.2 Markekologi

Resultatet från den mineralogiska analysen visar en tydlig markvittring. Vittring av markpartiklar är en absolut förutsättning för att växtnäringscykeln skall fungera. Om den naturliga vittringen påverkas av yttre förhållanden kan detta innebära att balansen mellan växternas upptag och markvittringen rubbas. Följden av detta kan bli att tillväxten av exempelvis våra skogar kan minska och att skogen lättare drabbas av växtsjukdomar.

De viktigaste grundämnena för skogen är K, Ca, Mg, N och P. Samtliga ämnen, utom N, finns som komponenter i de mineral som förekommer i den svenska berggrunden. Tillväxten för skogen och produktionen av biomassa är direkt proportionell mot näringsupptaget, eftersom olika element i biomassan

finns i relativt bestämda koncentrationer och proportioner. I normala, opåverkade eller icke förorenade ekosystem bestäms tillväxten huvudsakligen av vatten, kväve, temperatur och ljusstillgång. Upptaget av näringen sker i en diffusionszon omkring växtrötterna (fig. 25).



Figur 25. En schematisk bild över näringsämnes upptaget genom trädrötterna (Sverdrup och Warfvinge 1993).

Det är i finfraktionen som den viktigaste delen av markvittringen sker. Därför kan man genom att studera lermineralogin och mineralsammansättningen i siltfraktionen få kunskap om frigörandet av näringsämnen P, K, Ca, P och Mg.

Vid nedbrytning av biotit och klorit till vermikulit och smektit frigörs framförallt K respektive Mg.

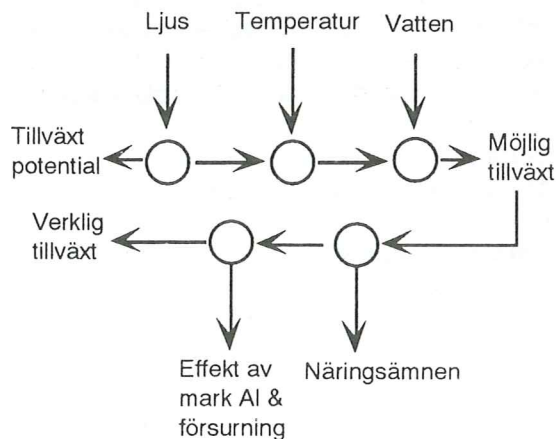
De mafiska mineralen är också givare av Mg samt en viktig producent av Ca. De mafiska mineralen visar en tendens att öka med djupet. Detta visar att dessa relativt lättvittrade mineral löses upp till största del i markhorisonten och frigör magnesium och kalcium. Vid den kemiska totalanalysen framgår det att magnesium ökar med en faktor 2-3 från markhorisonten till C-horisonten. Samma tendens finns för apatit, som står för tillförandet av fosfor, med det undantaget att i block 2 finns en anrikning i B-horisonten.

Vid markförsurning, naturlig eller orsakad av surt nedfall, ökar aluminiumhalten i marken i förhållande till baskatjonerna. Undersökningar visar att växter har en kritisk belastningsgräns, "critical load". Denna kritiska belastningsgräns är definierad som "The maximum input of acidic deposition to an ecosystem which will not cause long term damage to ecosystem structure and function" (Nilsson och Grennfelt 1988; Sverdrup och Warfvinge 1988 B; Sverdrup et al. 1990). Denna kritiska gräns anges som förhållandet

mellan baskatjonerna Ca+Mg+K och Al i marklösningen. Mark- och skogsforskare har antagit att så länge kvoten av $(Ca+Mg+K)/Al \geq 1.0$ kommer ekosystemet i skogen att vara i balans.

Resultatet från PROFILE beräkningarna ger också ett värde på kvoten $(Ca+Mg+K)/Al$. Värdet för kvoten ligger omkring 1 för B-horisonten. Detta är farligt nära vad en skog kan klara av. I markhorisonten är värdet betydligt högre. Konsekvensen av detta blir att rötterna söker sig uppåt i markprofilen för att undkomma den höga Al-koncentrationen. Följden kan istället bli att rötterna blir mer känsliga för yttre påverkan, exempelvis surt och/eller giftigt nedfall. Dessutom ökar rötternas känslighet för torka och vindfällning.

Figur 26 visar hur olika växtfaktorer kan påverka tillväxten av exempelvis skogen.



Figur 26. Förenklad modell av tillväxtprocessen för träd (Sverdrup och Warfvinge 1993).

I naturen bestäms vittringshastigheten av tillgången på vittringsbara mineraler och markens fysikaliska och kemiska egenskaper. Beräkningsmodellen PROFILE är ett verktyg för att kunna göra en uppskattning av vittringshastigheten och tillgången på näringsämnen, genom att använda data från jordkemin och på markens egenskaper. Resultatet av resultatet från PROFILE beräkningarna visar på en hög vittringshastighet, upptill 1,5 till 2 gånger så hög som inom Gårdsjö området i sydvästra Sverige (Hultberg och Grennfelt 1986) och upptill cirka 4 ggr så stor som i vanliga urbergs moräner. Den höga vittringshastigheten beror förmodligen på det höga

värdet på epidot och saussurit i de undersökta markprofilerna. Konsekvensen av detta blir att skogsmarken även under höga belastningar av surt nedfall kan tillgodose skogen med tillräcklig näring, åtminstone under en begränsad tidsperiod. Detta kan också förklara varför skogsskador varierar regionalt. I områden med god tillgång på lättvittrat material är motståndskraften större än i mera urlakade jordar. Detta visas mycket tydligt av de skogsbeklädda landområden som inte har varit utsatt för nedisning under de senaste istidscyklerna. I dessa områden exempelvis Tjeckien, S. Polen, har marken inte kunnat motverka det kraftigt sura nedfallet. Resultatet har blivit en omfattande skogsdöd.

Min personliga uppfattning är att bara för man inte direkt går att se några direkta skador eller sjukdomstillstånd på skogen legaliserar inte detta att vi åsidosätter försurningsproblemet. Istället måste vi intensifiera forskningen inom området och undersöka de parametrar som styr marksystemets ämnesbalans.

Detta arbete visar också betydelsen av att bedriva tvärvetenskapliga studier, där kvartärgeologin är en viktig länk i förståelsen av markvittringen och näringsbalansen i marken.

Tackord

Denna undersökning genomfördes vid avdelningen för Kvartärgeologi vid Lunds Universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till följande personer som möjliggjort detta arbete:

Till min handledare Gunnar Jacks, professor vid Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm som introducerade mig till detta spännande ämne och gav mig inspiration för arbetet.

Siv Olsson som med sin stora kunskap har gjort att detta arbete kunnat föras i land. Utan hennes hjälp vad gäller, tolkningen av röntgendiffraktorgram, det kemiska analysarbetet och granskandet av manuset hade detta arbete varit en omöjlighet.

Harald Sverdrup och Mattias Alveteg som hjälpt mig med tolkningen och datorbearbetningen av mina resultat.

Svante Björck och Ronnie Liljegren som kritiskt granskat och givit mig uppslag till förbättringar i mitt manus.

Zoltan Solyom som lärde mig grunderna i röntgendiffraktionsanalys och gav mig värdefulla tips om preparering av mina lerpreparat.

Lina Pudas och Daniel Larsson som lärt och bistått mig vid preparering och mikroskopering av mina tunnslip.

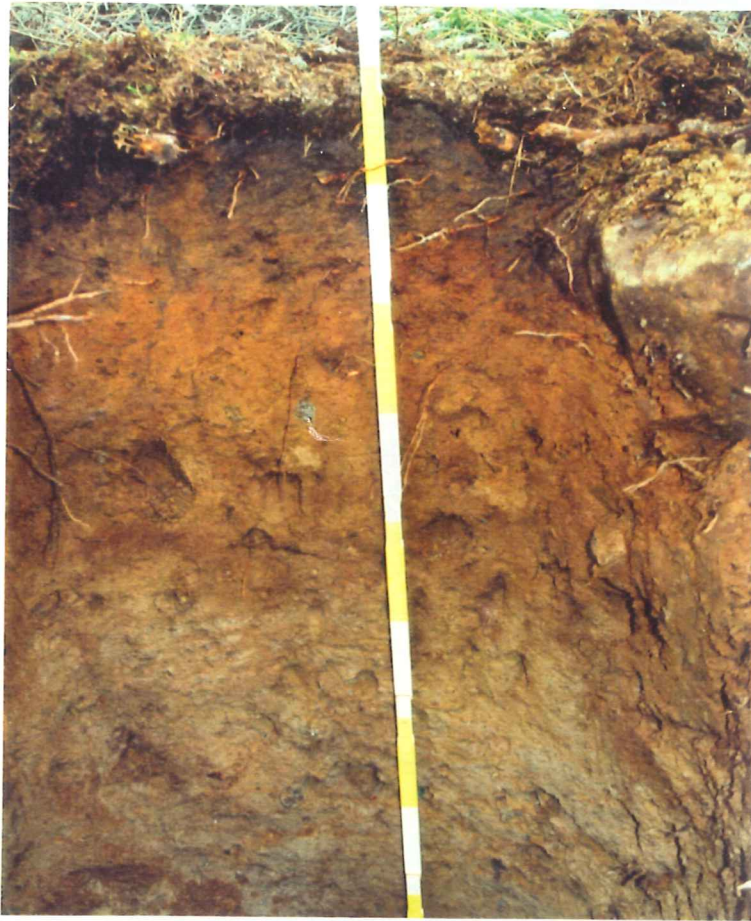
Sist vill jag tacka min familj vars tålmodighet och uppmuntran varit en förutsättning för arbetets genomförande.

Litteraturlista

- Alveteg, M., Warfvinge, P. och Sverdrup, H. 1994: Profile 3.2 User's guidance for the Apple Macintosh version. Dept. of Chemical Engineering II, Chemical Center, P.O. Box 124, S-221 00 Lund, Sweden, 1-43.
- Arrhenius, O. 1940: Fosfathalten hos svenska torvslag. *Sveriges Geologiska Undersökning C 432*, 18 sidor.
- Arrhenius, O. 1954: Den kemiska denudationen i Sverige. *Odlaremeddelande Från Svenska Sockerfabrikens Aktieföretag. Band 8, häfte 11*, 147-166.
- Bergkvist, B. 1986: Leaching of metals from a spruce forest soil as influenced by experimental acidification. *Water, Air and Soil Pollution 31*, 901-916.
- Bergkvist, B. 1987: Soil solution chemistry and metal budgets of spruce forest ecosystem in s. Sweden. *Water, Air and Soil Pollution 33*, 131-154.
- Birkeland, P.W. 1974: Pedology, weathering and geomorphology research. *New York Oxford University Press*, 285 sidor.
- Blomberg, A. 1900: Geologisk beskrifning öfver Blekinge län. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca 1*, 110 sidor.
- Bradley, W. F. 1945: Diagnostic criteria for clay minerals. *Am. Miner.* 30, 704-713.
- Brindley, G. W. och Brown, G. (eds.) 1980: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. *Mineralogical Society*. London, 495 sidor.
- Churchman, G. J. 1980: Clay minerals formed from micas and chlorites in some New Zealand soils. *Clay Minerals 15*, 59-76.
- Deer, W. A., Howie, R. A. och Zussman, J. 1966: *An Introduction to the Rock Forming Minerals*. Longman Scientific & Technical, 528 sidor.
- Dixon, J. B. och Weed, S. B.(eds.) 1977: *Minerals in Soil Environment*. Soil Science Society of America, Wisc., 948 sidor.
- Fogdestam, B. 1983: Karta över berggrunden i Blekinge län. I Pousette, J., Fogdestam, B., Gustafsson, O och Engqvist, P., Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Blekinge län. *Sveriges Geologiska Undersökning Ah 4*, 67 sidor
- Gibbs, R. J. 1965: Error due to segregation in quantitative clay mineral X-ray diffraction mounting techniques. *American Mineralogist 50*, 741-751.
- Gibbs, R. J. 1967: Quantitative X-ray diffraction using clay mineral standards extracted from samples to be analyzed. *Clay Mineralogy 7*, 70-90.
- Gjems, O. 1967: Studies on Clay Minerals and Clay-mineral Formation in Soil Profiles in Scandinavia. Särtryck av *Meddelser fra Det Norske Skogsforsöksvesen nr 81*, Band XXI, 304-350.
- Gjems, O. 1969: X-ray analyses of clay minerals in brown earth profiles on two different moraine types in Hardanger, West Norway. *Proceeding international Clay Conference Tokyo*, 553-558.
- Goldich, S. S. 1938: A study in rock weathering. *J. Geol.* 46, 17-58.
- Hultberg, H. och Grennfelt, P. 1986: Gårdsjön Project: lake acidification, chemistry in catchment runoff, lake liming and microcatchment manipulation. *Water, Air and Soil Pollution 30*, 31-46.
- Jackson, M. L. 1963: Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Clay Clays Miner.* 11: 29-46.
- Jackson, M. L. 1975: *Soil Chemical Analysis -- Advanced course*. 2:a Uppl. Publicerad av författaren, Madison, Wisc., 991 sidor.
- Kornfält, K-A. och Bergström, J. 1983: Beskrivning till berggrunds kartan Karlshamn NV. *Sveriges Geologiska Undersökning Af 135*, 173 sidor.
- Kornfält, K-A. och Bergström, J. 1991: Beskrivning till provisoriska, översiktliga berggrundskartan Karlskrona. *Sveriges Geologiska Undersökningar Ba 44*, 33 sidor.
- McKeague, J. A. och Brydon, J. E. 1970: Mineralogical properties of ten reddish brown soils from the Atlantic provinces in relation to parent materials and pedogenesis. *Canadian Journal of Soil Science.* 50, 47-55.
- Maxe, L. 1994: Effects of acidification on groundwater in Sweden - Hydrological and hydrochemical processes. *Report from The Swedish Intergrated Groundwater Acidification Project. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.*

- 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. 317-327.
- Melkerud, P-A. 1983: Quaternary deposits and bedrock outcrops in area around Lake Gårdsjön, south-western Sweden, with physical, mineralogical and geochemical investigations. *Reports in Forest Ecology and Forest Soils 44*. Department of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Melkerud, P-A., Olsson, M. T. och Rosén, K. 1992: Geochemical Atlas of Swedish Forest Soils. *Reports in Forest Ecology and Forest Soils 65*, Department of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, s. 86.
- Möller, P. 1987: Morain morphology, till genesis, and deglaciation pattern in the Åsnen area, south central Småland, Sweden. *LUNDQUA Thesis 20*. Department of Quaternary Geology, University of Lund, s. 146.
- Nilsson, J. och Grennfelt, P. 1988: Critical loads for sulphur and nitrogen. *Nordic Council of Ministers. Nord 1988:15*, 418 sidor
- Pettersson, F. 1992: Träden tål kraftig markförsurning. Information Växtnäring-skogsproduktion. *Institutet för skogsförbättringar 3*. 1991/92, 1-4.
- Proust, D. 1981: Supergene alteration of hornblende in an amphibolite from Massif Central, France. *Proc. Inter. Clay Conf., Bologna and Pavia*, 357-364.
- Rich, C. I. 1968: Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. *Clays Clay Miner. 16*: 15-30.
- Rosenqvist, I. T. 1952: Investigations into the crystal chemistry of feldspars. *Proceedings of the international symposium on the reactivity of solids*, 453-461.
- Skoog, D. A. och West, D. M. 1972: *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 2:a uppl. Holt, Reinhardt & Winston, 835 sidor.
- SMHI, 1993: *Väder och vatten, väderåret 1993*, s. 1-7.
- Snäll, S., 1992: Kartläggning av kritisk försurningsbelastning. Mineralogisk analys av moräner. Intern rapport, *Sveriges Geologiska Undersökning*, 16 sidor.
- Snäll, S., Persson, C. och Wikström, A. 1979: Mineralogisk undersökning av morän från ett område väster om Katrineholm. *Sveriges Geologiska Undersökning C 761*. 32 sidor.
- Sverdrup, H. U. 1990: *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*. Lund University Press, 246 sidor.
- Sverdrup, H. och Warfvinge, P. 1988 A: Weathering of primary silicate minerals in natural soil environment in relation to chemical weathering model. *Water, Air and Soil Pollution 38*, 387-408.
- Sverdrup, H. och Warfvinge, P. 1988 B: Assessment of critical loads of acid deposition on forest soils, i J. Nilsson (ed). Critical loads for sulphur and nitrogen. *Nordic Council of Ministers and The United Nations Economic Commission for Europe (ECE)*, 81-130.
- Sverdrup, H. och Warfvinge, P. 1992: Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE. *Applied Geochemistry 8*, 273-283.
- Sverdrup, H. U., De Vries, W. och Henriksen, A. 1990: Mapping critical loads. *Miljörapport (Environmental report) 1990:98. Nord Council of Ministers*, 113 sidor.
- Sverdrup, H., Warfvinge, P. och Jönsson, C. 1994: (Eds. M. Hornung och R. A. Skeffington) Critical loads of acidity for forest soils, groundwater and first-order streams in Sweden. *Natural Environment Research Council, ITE symposium nr. 28*, 54-67.
- Sveriges National Atlas. 1991: *Miljön*. Bra Böcker, 194 sidor.
- Sveriges Nationalencyklopedin. 1993: *Jordmåner*. Band 10, 205-209.
- Thorez, J. 1975: *Phyllosilicates and clay minerals*. G. Lelotte, 579 sidor.
- Talme, O och Almén, K-E. 1975: *Jordartsanalys. Del 1. Kvartärgeologiska inst. Stockholm Universitet*, 133 sidor.
- Thompson, M och Walsh, J. N. 1983: *A handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry*. Blackie & Son Ltd, 273 sidor.
- Warfvinge, P. och Sverdrup, H. 1992: Calculating critical load of acid deposition with PROFILE- a steady-state soil chemistry model. *Water Air and Soil Pollut. 63*, 119-143.
- Warfvinge, P. och Sverdrup, H. 1993: The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. *Report 2:1993. Reports in ecology and*

- enviromental engineering*. Lund University, Dept. of Chemical Engineering II, 108 sidor.
- Weaver, C. E. 1989: *Clays, Muds, and Shales*. Elsevier, 819 sidor.
- Velbel, M. A. 1985: Geochemical mass balances and weathering rates in forested watersheds of the southern Blue Ridge. *American Journal of Science* 285, 904-930.
- Velbel, M. A. 1992: Geochemical mass balances and weathering rates in forested watersheds of the southern Blue Ridge. III. cation budgets and the weathering rate of amphibole. *American Journal of Science* 292, 58-78.
- Velde, B. 1992: *Introduction to clay minerals*. Chapman & Hall, 198 sidor.
- Wiklander, L. 1951: Equilibria in ion exchange. *Acta Agriculturae Scandinavica* 1:2, 190-202.
- Wiklander, L. och Koutler-Andersson, E. 1962: Influence of exchangeable ions on release of mineralbound ions. *Soil Science Vol. 95, Nr. 1*, 9-15.
- Wilson, M. J och Farmer, V. C. 1970: A study of weathering in soil derived from a biotit-hornblende rock II. The wethering of hornblende. *Clay Minerals* 8, 435-444.



O-horisont
A-horisont] Markhorisont

B-horisont

C-horisont

Bild 1. Fotografi av markprofilen i block 2.



O-horisont
A-horisont
E-horisont] Markhorisont

B-horisont

C-horisont

Bild 2. Fotografi av markprofilen i block 3.

Profile 3.2.1
 Data Folder
 Run ID

Number of soil layers
 Precipitation rate (m/yr)
 Runoff rate (m/yr)
 Soil Temperature (°C)
 Wet & dry Anion deposition (kEq/ha/yr):
 SO4
 Cl
 NO3
 Wet & dry Cation deposition (kEq/ha/yr):
 NH4
 Ca
 Mg
 K
 Na
 Al

Clear » Go To Card »
 Save Check Input »
 Import Data
 Run Profile

Add Results to file after run
 Save Results to result bank
 Do Stream Water

Nitrification rate
 high low
 medium none

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 3

Soil layer height (m)
 Soil water content (m3/m3)
 Soil bulk density (kg/m3)
 Surface area (m2/m3)
 CO2 pressure (x atm)
 % of precipitation entering layer
 % of precipitation leaving layer
 Cation uptake (% of max)
 Nitrogen uptake (% of max)
 DOC (mg/L)
 pK gibbsite

Copy Data Go To Card »
 Clear values Check Input

Mineralogy	%
K-Feldspar	25
Plagioclase	30
Albite	0.0
Hornblende	0.06
Pyroxene	0.0
Epidote	2.1
Garnet	0
Biotite	0.03
Muscovite	3.6
Chlorite	0.68
Vermiculite	13
Apatite	0.13
Kaolinite	0
Calcite	0

Profile 3.2.1
 Vegetation Input

Net uptake (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen

Uncoupled uptake

response

 Include pH in response
 Response Coefficient

Go To Card »
 Check Input

Canopy Exchange (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Litter Fall (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Net Mineralisation (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Sulphur

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 4

Soil layer height (m)
 Soil water content (m3/m3)
 Soil bulk density (kg/m3)
 Surface area (m2/m3)
 CO2 pressure (x atm)
 % of precipitation entering layer
 % of precipitation leaving layer
 Cation uptake (% of max)
 Nitrogen uptake (% of max)
 DOC (mg/L)
 pK gibbsite

Copy Data Go To Card »
 Clear values Check Input

Mineralogy	%
K-Feldspar	24
Plagioclase	28
Albite	0.0
Hornblende	0.03
Pyroxene	0.0
Epidote	1.94
Garnet	0.0
Biotite	0.12
Muscovite	12
Chlorite	0.25
Vermiculite	15
Apatite	0.064
Kaolinite	0.0
Calcite	0.0

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 1

Soil layer height (m)
 Soil water content (m3/m3)
 Soil bulk density (kg/m3)
 Surface area (m2/m3)
 CO2 pressure (x atm)
 % of precipitation entering layer
 % of precipitation leaving layer
 Cation uptake (% of max)
 Nitrogen uptake (% of max)
 DOC (mg/L)
 pK gibbsite

Copy Data Go To Card »
 Clear values Check Input

Mineralogy	%
K-Feldspar	14
Plagioclase	21
Albite	0
Hornblende	0.06
Pyroxene	0
Epidote	1.6
Garnet	0.0
Biotite	0.0
Muscovite	11
Chlorite	0.29
Vermiculite	30
Apatite	0.033
Kaolinite	0
Calcite	0

Profile 3.2.1
 Soil Output from: Farabol 2
 Date: 14 apr 94 15:49:02

Depth	pH		ANC	BC	Al	Si	NO3	NH4
	solution	atm-eq						
m	μEq/l		μEq/l		μmol/l		μEq/l	
Dep	3.99	3.99	-109.	66.	4.	0.	86.	90.
0.030	3.82	3.82	13.	363.	179.	2.	115.	2.
0.090	3.81	3.81	-134.	199.	111.	25.	65.	0.
0.310	4.37	4.40	-22.	160.	31.	600.	12.	0.
0.750	5.64	7.31	212.	252.	3.	1244.	8.	0.

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 2

Soil layer height (m)
 Soil water content (m3/m3)
 Soil bulk density (kg/m3)
 Surface area (m2/m3)
 CO2 pressure (x atm)
 % of precipitation entering layer
 % of precipitation leaving layer
 Cation uptake (% of max)
 Nitrogen uptake (% of max)
 DOC (mg/L)
 pK gibbsite

Copy Data Go To Card »
 Clear values Check Input

Mineralogy	%
K-Feldspar	14
Plagioclase	21
Albite	0
Hornblende	0.06
Pyroxene	0
Epidote	1.6
Garnet	0.0
Biotite	0.0
Muscovite	11
Chlorite	0.29
Vermiculite	30
Apatite	0.033
Kaolinite	0
Calcite	0

Profile 3.2.1
 Weathering output from Farabol 2
 Date: 14 apr 94 15:49:02

Depth	Weathering (kEq/ha/yr)							
	BC+Na	Ca	Mg	K	Na	Al	Si	PO4
0.030	0.007	0.002	0.002	0.001	0.001	0.022	0.050	0.000
0.090	0.060	0.020	0.019	0.010	0.011	0.191	0.441	0.000
0.310	1.109	0.195	0.207	0.149	0.559	3.253	10.233	0.018
0.750	1.026	0.055	0.156	0.198	0.618	3.824	11.525	0.000
Totals:	2.202	0.272	0.384	0.357	1.188	7.290	22.250	0.018

Profile 3.2.1
 Data Folder
 Run ID

Number of soil layers
 Precipitation rate (m/yr)
 Runoff rate (m/yr)
 Soil Temperature (°C)
 Wet & dry Anion deposition (kEq/ha/yr):
 SO4
 Cl
 NO3
 Wet & dry Cation deposition (kEq/ha/yr):
 NH4
 Ca
 Mg
 K
 Na
 Al

Add Results to file after run
 Save Results to result bank
 Do Stream Water

Nitrification rate
 high low
 medium none

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 3

Soil layer height (m)	0.38	Mineralogy %	
Soil water content (m3/m3)	0.2	K-Feldspar	18.4
Soil bulk density (kg/m3)	1200	Plagioclase	40 <input type="text" value="28"/> An 72 Ab
Surface area (m2/m3)	1.4e6	Albite	0.0
CO2 pressure (x atm)	40	Hornblende	0
% of precipitation entering layer	66	Pyroxene	0.0
% of precipitation leaving layer	60	Epidote	2.0
Cation uptake (% of max)	25	Garnet	0
Nitrogen uptake (% of max)	25	Biotite	0
DOC (mg/L)	12	Muscovite	1.5
pK gibbsite	8.5	Chlorite	0.50
		Vermiculite	19.1
		Apatite	0.070
		Kaolinite	0
		Calcite	0

Profile 3.2.1
 Vegetation Input

Net uptake (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen

Uncoupled uptake

Include pH in response
 Response Coefficient

Canopy Exchange (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Litter Fall (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Net Mineralisation (kEq/ha/yr)
 Ca
 Mg
 K
 Nitrogen
 Sulphur

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 4

Soil layer height (m)	0.50	Mineralogy %	
Soil water content (m3/m3)	0.20	K-Feldspar	30
Soil bulk density (kg/m3)	1400	Plagioclase	35.7 <input type="text" value="28"/> An 72 Ab
Surface area (m2/m3)	1.8e6	Albite	0.0
CO2 pressure (x atm)	50	Hornblende	0
% of precipitation entering layer	60	Pyroxene	0.0
% of precipitation leaving layer	60	Epidote	2.6
Cation uptake (% of max)	0	Garnet	0.0
Nitrogen uptake (% of max)	0	Biotite	0.064
DOC (mg/L)	7	Muscovite	1.1
pK gibbsite	9.2	Chlorite	0.68
		Vermiculite	2.3
		Apatite	0.090
		Kaolinite	0.0
		Calcite	0.0

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 1

Soil layer height (m)	0.06	Mineralogy %	
Soil water content (m3/m3)	0.39	K-Feldspar	7.6
Soil bulk density (kg/m3)	300	Plagioclase	25 <input type="text" value="28"/> An 72 Ab
Surface area (m2/m3)	0.94e5	Albite	0
CO2 pressure (x atm)	5	Hornblende	0.23
% of precipitation entering layer	100	Pyroxene	0
% of precipitation leaving layer	75	Epidote	2.3
Cation uptake (% of max)	38	Garnet	0.0
Nitrogen uptake (% of max)	38	Biotite	0.028
DOC (mg/L)	100	Muscovite	0
pK gibbsite	6.5	Chlorite	0.37
		Vermiculite	44
		Apatite	0.057
		Kaolinite	0
		Calcite	0

Profile 3.2.1
 Soil Output from: Farabol 3
 Date: 14 apr 94 16:58:46

Depth	pH		ANC	BC	Al	Si	NO3	NH4
	m	solution						
Dep	3.99	3.99	-107.	65.	4.	0.	85.	89.
0.030	3.69	3.69	3.	350.	112.	3.	113.	1.
0.090	3.81	3.81	-139.	188.	113.	28.	63.	0.
0.310	4.35	4.36	-116.	141.	88.	324.	19.	0.
0.750	5.46	7.09	147.	296.	7.	876.	13.	0.

Profile 3.2.1
 Soil layer no: 2

Soil layer height (m)	0.06	Mineralogy %	
Soil water content (m3/m3)	0.25	K-Feldspar	7.5
Soil bulk density (kg/m3)	800	Plagioclase	25.7 <input type="text" value="28"/> An 72 Ab
Surface area (m2/m3)	0.94e6	Albite	0
CO2 pressure (x atm)	10	Hornblende	0.23
% of precipitation entering layer	75	Pyroxene	0
% of precipitation leaving layer	66	Epidote	1.87
Cation uptake (% of max)	37	Garnet	0.0
Nitrogen uptake (% of max)	37	Biotite	0.028
DOC (mg/L)	50	Muscovite	0
pK gibbsite	7	Chlorite	0.50
		Vermiculite	44
		Apatite	0.050
		Kaolinite	0
		Calcite	0

Profile 3.2.1
 Weathering output from Farabol 3
 Date: 14 apr 94 16:58:46

Depth	Weathering (kEq/ha/yr)								
	m	BC+Na	Ca	Mg	K	Na	Al	Si	PO4
0.030	0.009	0.004	0.003	0.001	0.002	0.026	0.061	0.000	
0.090	0.069	0.024	0.023	0.009	0.013	0.205	0.490	0.000	
0.310	0.666	0.246	0.112	0.070	0.239	2.012	5.320	0.000	
0.750	1.164	0.399	0.133	0.166	0.465	3.810	9.987	0.000	
Totals:	1.908	0.672	0.271	0.246	0.719	6.052	15.859	0.000	

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

1. Claeson, Dick & Nilsson, Magnus: Beskrivning av relationer mellan karlshamnsgraniten och leukograniten i Blekinge. 1984.
2. Möller, Charlotte: Eklogitiska bergarter i Roan, Vestranden, Norge. En mineralinventering och texturstudie. 1984.
3. Simeonov, Assen: En jämförelse mellan Jorandomens tennanomala graniters och revsundsgranitens (Västerbotten) mineralogiska och petrografiska karaktär. 1984.
4. Annertz, Kristian: En petrografisk karakteristik av en sent postorogen mafisk intrusion i östra Värmland. 1984.
5. Sandström, Klas: Kartläggning av grundvattenförhållandena i ett delområde av provinsen Nord Kordofan, Sudan. 1984.
6. Gustafsson, Bengt-Olof & Ralfsson, Staffan: Undersökning av högsta kustlinjen på Rydsbjär vid Margareteberg i södra Halland. 1985.
7. Helldén, Johan & Nilsson, Anna-Greta: Undersökning av den baltiska moränleran vid Svalöv, NV-Skåne. 1985.
8. Persson, Karin: Kobolt i pyrit från Kiruna Järnmalmgruva. 1985.
9. Ekström, Jonas: Stratigrafisk och faunistisk undersökning av Vitabäckslernorna i Skåne. 1985.
10. Säll, Eva: Neobeyrichia from the Silurian of Bjärsjölagård. 1986.
11. Markholm, Carl-Owe: Svagt naturgrus och bergkrossmaterial till bärlager. En laboratoriestudie. 1986.
12. Hellström, Carina: Klassifikation av leptiter i malmstråket mellan Ö. Silvberg och Vallberget, Dalarna. 1986.
13. Ohman, Eva: En petrografisk och mineralogisk studie av en komplex gång bestående av metadiabas och kvartskratofyr i Kiirunavaaragruvan. 1986.
14. Holmberg, Glenn & Johansson, Lena: Sedimentologisk undersökning av de övre glacifluviala avlagringarna i Vombsänkan, södra Skåne. 1986.
15. Thuning, Bengt & Linderson, Hans: Stratigrafi och överplöjning i Bussjö-området, Ystad. 1986.
16. Bergstedt, Erik & Löf, Arne I.: Naturvärme och teknik och geologi med en översiktlig kartläggning av tillgångarna i Kalmar län och Västerviks kommun. 1986.
17. Elg, Anette: Investigation of a wollastonite occurrence in central Sweden. 1987.
18. Andrésdóttir, Aaumur: Glacial geomorphology and raised shorelines in the Skardsströnd-Saurbauer Area, west Iceland. 1987.
19. Eken, Karin: Geohydrologisk undersökning vid Filborna avfallsupplag i Helsingborg. 1987.
20. Kockum, Kajsa: Alkalisering vid konstgjord infiltration: En vattenkemisk studie i tre vattentäkter i sydöstra Småland. 1987.
21. Wedding, Bengt: Granatförande pegmatiter i SV Värmland. En mineralogisk och kemisk studie. 1987.
22. Utgår.
23. Hammarlund, Dan: Sedimentstratigrafiska och paleohydrologiska undersökningar av Fönesjön och Kalvs Mosse inom Vombslätten, centrala Skåne. 1988.
24. Jansson, Caroline: Basiska bergarter, gångbergarter, sedimentbergarter och breccior i vaggerydssyenit. En undersökning i protoginzonen vid Vaggeryd. 1988.
25. Jerre, Fredrik: Silurian conulariids from the Lower Visby Beds on Gotland. 1988.
26. Svensson, Erik: Upper Triassic depositional environments at Lunnom, northwest Scania. 1989.
27. Vajda, Vivi: Biostratigrafisk indelning av den Mesozoiska lagerföljden i Köpingsbergsborrningen 3, Skåne. 1988.
28. Persson, Arne: En biostratigrafisk undersökning av conodontfaunan i Limbatakalkstenen på lokalen "Stenbrottet" i Västergötland. 1988.
29. Regnell, Mats: Stenåldersmänniskans vegetationspåverkan på Kullaberg, nordvästra Skåne. En paleoekologisk studie. 1988.
30. Siverson, Mikael: Palaeospinacid selachians from the Late Cretaceous of the Kristianstad Basin, Skåne, Sweden. 1989.
31. Mathiasson, Lena: REE i svekofenniska migmatitneosomer och sensvekofenniska graniter från Nyköpingsområdet. 1989.
32. Månsson, Agneta: Kinematic analysis of the basement-cover contact of the western margin of the Grong-Olden Culmination, Central Norwegian Caledonides. 1990.
33. Lagerås, Per: Kontinuitet i utnyttjandet av Baldringes utmarker. En pollenanalytisk studie i Skogshejdan, Skåne. 1991.
34. Rundgren, Mats: Litostratigrafi och paleomiljöutveckling i Langelandselv-området, Jameson Land, östra Grönland. 1991.
35. Björkman, Leif: Vegetationshistorisk undersökning av en för-historisk jordmånsprofil begravd under en stensträng i Rösered, Västergötland. 1991.
36. Holmström, Patrich, Möller, Per, & Svensson, Mats: Water supply study at Manama, southern Zimbabwe. 1991.
37. Barnekow, Lena: Jämförelse mellan hydrometer-, pipett- och sedigrafmetoderna för kornstorleksanalyser. 1991.

38. Ask, Rikard: Rocks of the anorthosite-mangrove-charnockite-granite suite along the Protogine Zone, southern Sweden. 1992.
39. Leander, Per & Persson, Charlotte: En geologisk och geohydrologisk undersökning av Siesjöområdet norr om Sölvesborg. 1992.
40. Mannerstrand, Maria: Röntgenkaraktärisering och optisk undersökning av kalifältspater från Varbergscharnockiten och Hinnerydsgraniten, sydvästra Sverige. 1992.
41. Johansson, Per: Moränstratigrafisk undersökning i kustklimat, NV Polen. 1992.
42. Hagin, Lena: Övergången mellan koronadiabas och eklogit i Seveskollan på Grapesvare, Norrbotten, svenska Kaledoniderna. 1992.
43. Nilsson, Patrik: Caledonian Geology of the Laddjuvaggi Valley, Kebnekaise-area, northern Swedish Caledonides. 1992.
44. Nilsson, Pia: Lateritiserings - en process som kan ha orsakat kontinental Fe-anrikning i Skåne under rät-lias. 1992.
45. Jacobsson, Mikael: Depositional and petrographic response of climatic changes in the Triassic of Höllviken-II, southern Sweden. 1993.
46. Christodoulou, Gina: Agglutinated foraminifera from the Campanian of the Kristianstad basin, southern Sweden. 1993.
47. Söderlund, Ulf: Structural and U-Pb isotopic age constraints on the tectonothermal evolution at Glassvik, Halland. 1993.
48. Remelin, Mika: En revision av Hedströms *Phragmoceras*-arter från Gotlands Silur. 1993.
49. Gedda, Björn: Trace fossils and Palaeoenvironments in the Middle Cambrian at Äleklinta, Öland, Sweden. 1993.
50. Månsson, Kristina: Trilobites and stratigraphy of the Middle Ordovician Killeröd Formation, Scania. 1993.
51. Carlsson, Patric: A Petrographic and Geochemical Study of the Early Proterozoic, Bangenhuk Granitoid Rocks of Ny Friesland, Svalbard. 1993.
52. Holmqvist, Björn.H.: Stratigrafiska undersökningar i sjön Vuolep Njakajaure, Abisko. 1993.
53. Zander, Mia: Sedimentologisk undersökning av en kvartär deltaavlagring vid övre Jyllandselv, Jameson Land, Östgrönland. 1993.
54. Albrecht, Joachim: Sedimentological and lithostratigraphical investigations in the gravel pit "Hinterste Mühle" at Neubrandenburg, northeastern Germany. 1993.
55. Magnusson, Martin: Sedimentologisk och morfologisk undersökning av Gyllebo-Baske-möllafältet, östra Skåne. 1994.
56. Holmqvist, Johan: Vittring i en moränjord vid Farabol, NV Blekinge. 1994.