

Jordmånsbildning och markkhemisk övervakning i fjällområdet

-en pilotstudie

Examensarbete, 20p 1995/96
Institutionen för skoglig marklära
SLU, Uppsala
Författare: Anna Svarén
Handledare: Erik Karlton

Förord

Inom ramen för planeringen och upprättande av miljöövervakningsprogram för Norrbottens län har vi funnit att kunskapen om länets jordar är bristfällig, speciellt med avseende på hur de påverkas av miljöbelastningar i form av deposition av försurande ämnen och pågående markanvändning. Vidare har ett behov av bättre detaljkunskap om markens kemiska egenskaper vuxit, när insamlade data från olika moment inom miljöövervakningen skall tolkas.

Detta projekts kan ses som ett delprojekt i kartläggningen av de markkemiska förhållandena i länets jordar. För kust och inland finns det i dag accepterade undersökningsmetoder baserade på kunskapen om jordmånsbildning/markkemiska processer. Problem kan däremot uppstå då dessa metoder tillämpas inom fjällregionen med dess speciella förhållanden. Denna pilotstudie är ett försök att finna en lämplig metod för en kartläggning av jordarna i fjällområdet liknande den undersökning av skogsjordar i kust och inland som regelmässigt utförs av ståndortskarteringen.

Arbetet har utförts som ett examensarbete (20p) vid institutionen för skoglig marklära, SLU och har finansierats av Länsstyrelsen. Författaren ansvarar för innehållet i denna rapport.

Länsstyrelsens rapportnummer: 14/1996

Projektansvarig: Hans Överby

Författare: Anna Svarén

Omslagsbild: Hans Överby

Omslagstryck: Printor, Luleå 1996.

Tryck: Länsstyrelsens tryckeri

Upplaga: 130 ex

ISSN: 0283-9636

Länsstyrelsen i Norrbottens län

tel: 0920/96000

Postadress: 971 86 LULEÅ

Besöksadress: Stationsgatan 5

Innehållsförteckning

SUMMARY	5
SAMMANFATTNING	7
INLEDNING	9
JORDMÅNSBILDNING I POLARA OCH ALPINA KLIMAT - EN ÖVERSIKT	10
JORDMÅNSBILDANDE FAKTORER	10
JORDMÅNSBILDANDE PROCESSER	12
MILJÖÖVERVAKNING I FJÄLLOMRÅDET	15
PROGRAMMET FÖR ÖVERVAKNING AV MILJÖKVALITET	15
RIKSINVENTERING AV SVERIGES SJÖAR	15
ATMOSFÄRISKA MÄTNINGAR	16
UNDERSÖKNINGAR GJORDA I ANDRA LÄNDER	16
MATERIAL OCH METODER	17
PROVYTEBESKRIVNING	17
PROVTAGNING	17
ANALYSER	19
BESKRIVNING AV JORDPROFILERNA	22
PROVPLATS A	22
PROVPLATS B	24
KLASSIFICERING AV PROFILERNA	26
RESULTAT	27
PH	27
CEC	27
BASMÄTTNADSGRAD	27
EXTRAHERBART FE OCH AL	28
C, N OCH S	28
MINERALOGI	29
MÄTNINGAR AV BASKATJONER I VATTENDRAG	29
UNDERSÖKNING AV SPATIAL VARIATION	30
DISKUSSION	36
JORDMÅNSUTVECKLING	36
MARKKEMISK STATUS OCH FÖRSURNING	36
MILJÖÖVERVAKNING	37
REFERENSLISTA	39
APPENDIX	41

Summary

Knowledge of the pedology and chemical status of Fennoscandian soils is limited. There are no maps over different soil types for areas above the tree limit, and the geological maps of these areas are incomplete. As a result, the database upon which we can rely when assessing negative environmental impacts on Fennoscandian soils is also limited. Therefore a study was conducted with the aim of determining the degree of pedological activity and the chemical status of two mountain soils differing considerably in parent material. The other aim of the study was to assess various methods for monitoring the impacts of environmental pollutants on montane soils, with emphasis on soil chemistry and geochemistry.

Two sample areas in Norrbotten were selected for profile studies. Both of them were glacial till soils situated above the treeline. Sample area A was about 10 km south of Lake Kaskaure in an area with low alkalinity in the surrounding streams and lakes. Sample area B was situated about 10 km south of Lake Sädvajaure, next to Lake Årje-Vallauratj in an area with low alkalinity values in the surrounding waters.

The soil profiles in area B showed clear morphological signs of podsolization, with distinct E- and B-horizons, whereas the profiles from area A showed a weaker horizon with less developed diagnostic features. According to Soil Taxonomy the profiles in area B are Entic Haplocryods and a Typic Haplocryod, respectively, and the profiles in area A are Typic Cryorthents.

The accumulation of secondarily formed inorganic and organic Fe and Al compounds was much higher in area B than in area A. Mineralogical analysis with X-ray diffraction revealed a larger proportion of secondarily formed vermiculite in area B, indicating that weathering had been more intensive compared to area A where the samples had only trace amounts of vermiculite. CEC values in the lower parts of the profiles were between 18 and 100 mmol/kg in samples from area B which in some cases was more than five times higher than corresponding values in the profiles from area A. The higher CEC in area B is also indicative of a higher proportion of clay minerals. The conclusion drawn based on an overall analysis of the findings is that podsolization is the dominating pedological process in the investigated areas but that the degree of pedological activity varies depending on whether or not the parent material is susceptible to weathering.

The pH of the B samples ranged between 6.3 and 7.0 which is about one unit higher than in the samples from area A. The level of base saturation was higher in the profiles from area B where in some samples it reached almost 100 %. By contrast, in the A-profiles the base saturation level never exceeded 30 %. However, none of the profiles showed signs of anthropogenic acidification. The higher acidity in the upper parts of the profiles is most likely due to the fact that biological activity and plant exchange processes are highest in these soil layers. pH-values in the more acid site, area A, were about one unit higher than those measured in forest soils in south-west Sweden. The low pH in area A can be considered natural owing to the low weatherability of the parent material.

To study changes over time in the soil on a regional scale it is necessary to have basic information about the pedology and chemical status of the soil. The need for a soil survey in the Fennoscandian area can therefore be justified by the importance of having access to these basic data. On the other hand, the monitoring of these soils cannot be

justified exclusively on the basis of concern regarding the effects of acid deposition since *present effects are small and deposition is declining*.

There are several possible strategies that could be used for monitoring the effects of environmental pollutants on Fennoscandian soils. An objective monitoring programme of the kind used for forest soils can provide objective information useful when making regional analyses. Objective monitoring confined to a number of reference areas would be a less expensive strategy, but the possibilities for generalising at the regional level (i.e. the whole Fennoscandian mountainous area) would be more limited. Remote sensing probably has greater potential for monitoring mountainous soils than for monitoring forest soils. However, the low spatial correlation for the soil chemical variables reduces the potential for monitoring soil chemical variables by remote sensing. In the long run, remote sensing might reduce the need for field-collected data, but initially it will demand an equally large proportion of field work.

Sammanfattning

Kunskapen om jordmånsbildningen och den markkemiska statusen i svenska fjälljordar är begränsad. Ingen jordmånskarta existerar för de jordar som ligger ovanför trädgränsen och de geologiska kartorna är inte fullständiga. Detta innebär att underlaget för att bedöma miljöpåverkan på fjälljordarna är bristfälligt. Därför genomfördes en pilotstudie med syftet att undersöka (1) graden av jordmånsbildning och (2) den markkemiska statusen, främst avseende syra-bas statusen, i två jordmånsprofiler från två områden med väsentligt olika kvalitet på modern materialet. Projektet syftade även till att bedöma lämpliga metoder för miljöövervakning av fjälljordar med avseende på mark- och geokemi.

Två områden i Norrbottensfjällen valdes ut för provtagning. Båda områdena var moränjordar som låg ovanför trädgränsen. Provplats A låg ungefär 10 km söder om sjön Kaskaure i ett område där alkaliniteten i de omkringliggande vattendragen var låg. Provplats B var belägen ca 10 km söder om Sädvajaure vid sjön Årje-Vallauratj i ett område med höga alkalinitetsvärden i vattendragen.

Profilerna i område B visar tydliga morfologiska tecken på podsolering med tydliga E och B horisonter medan profilerna i område A uppvisar en svagare jordmånsbildning utan väl utbildade horisonter. Jordmånsprofilerna i område A klassificerades enligt Soil Taxonomy som Typic Cryorthent och profilerna från område B som Typic Haplocryod respektive Entic Haplocryod. Ackumulationen av sekundärt bildade oorganiska och organiska Fe och Al föreningar var betydligt högre i område B än i område A. Mineralogisk analys med röntgendiffraktion visade betydande mängder av sekundärt bildad vermikulit i område B vilket tyder på att vittringen är kraftigare där än i område A, där proven endast uppvisade spår av vermikulit. En högre andel lermineral i område B indikeras också av att katjonbyteskapaciteten i profilernas lägre horisonter ligger mellan 18 och 100 mmol/kg i B-profilerna vilket i vissa fall är mer än fem gånger högre än i A-profilerna. Den samlade slutsatsen av dessa observationer är att podsolering är den dominerande jordmånsbildande processen i de undersökta områdena men att graden av jordmånsutveckling styrs av modern materialets vittringsbenägenhet.

pH-värdena i område B ligger mellan 6.3 och 7.0 vilket är ungefär en enhet högre än i område A. Även basmättnadsgraden är högre i område B där den i vissa fall är nästan 100 % till skillnad från område A där den inte överstiger 30%. Ingen av profilerna visade däremot några tydliga tecken på antropogen försurning. Den högre aciditeten i de övre markskikten är en naturlig följd av större biologisk aktivitet och växternas utbytesreaktioner som till största delen är koncentrerade till denna övre zon. pH-värdena är även i det surare av de två områdena ungefär en enhet högre jämfört med värden från södra Sveriges skogsmark. De lägre pH-värdena i område A kan betraktas som normala med tanke på det svårvittrade modern materialet.

För att kunna studera förändringar i mark är det nödvändigt att ha en bra bakgrundsinformation om jordmåner och markkemisk status. Behovet av en kartläggning av jordarna i fjällområdet kan därför motiveras med vikten av att ha tillgång till grundläggande data. Däremot kan det inte anses motiverat att utifrån dagens situation när det gäller depositionen av försurande ämnen övervaka fjälljordarna eftersom påvisade effekter är små och depositionen minskar. Det finns flera möjliga strategier för utförande av miljöövervakning av fjällmarken. En yttäckande övervakning

av den typ som används vid övervakning av skogsbestånd och skogsjordar ger en objektiv och generaliserbar information. Yttäckande övervakning begränsad till ett antal referensområden är en mindre kostnadskrävande metod, men ger sämre möjlighet att generalisera resultaten till hela fjällområdet. Fjärranalys kan anses ha en större potential för markövervakning i fjällen än i skogsområden men den låga spatiala korrelationen för de markkemiska variablerna minskar potentialen för att använda fjärranalysen för övervakning av markkemiska variabler. Även om fjärranalysen på sikt kan innebära ett minskat behov av data insamlat i fält så kräver den initialt en lika stor fältarbetsinsats som normala karteringsmetoder kräver.

Inledning

Kunskapen om markförhållandena i det svenska fjällområdet är begränsad. Någon jordmånskarta existerar inte och de geologiska kartor som finns att tillgå är inte fullständiga. Orsaken till denna kunnskapsbrist är troligtvis fjällområdenas otillgänglighet och den ringa betydelse områdets jordar har som jord- och skogsbruksmarker.

På senare tid har ett antal miljöövervakningsprogram och kartläggningar av förändringar i bl.a. mark, vatten och luft initierats. Någon systematisk pedologisk eller markkemisk kartläggning av jordarna i fjällområdet har emellertid inte utförts. Den nationella skogsbeståndsinventeringen, riksskogstaxeringen, som genomförs av institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik vid SLU i Umeå och som pågått sedan 1923 inbegriper, av naturliga skäl, inte områden ovanför trädgränsen. Riksskogstaxeringens inventering skedde fram till och med 1982 uteslutande på tillfälliga provytor. Från och med 1983 ändrades detta och ungefär hälften av provytorna är numera permanenta och kommer därmed att återinventeras. Inventering av provytorna kommer sedan att göras vart tionde år. På riksskogstaxeringens permanenta provytor genomför institutionen för skoglig marklära den s.k. ståndortskarteringen. Undersökningarna omfattar förutom jordmånsbeskrivning och markprovtagning också inventering av markvegetation och epifytisk vegetation. Målet är att skapa ett landsomfattande underlag för studier av tillstånd och förändringar i mark och vegetation. Resultaten från denna yttäckande övervakning av våra skogsjordar har visat sig mycket värdefulla ur miljöövervakningssynpunkt och det insamlade datat har använts för nationella och internationella bedömningar av t.ex. långsiktiga effekter av deposition av försurande ämnen på skogsproduktion och skogsmarksvegetation. Någon motsvarande kartläggning eller undersökning av fjällmarken liknande den som utförs av riksskogstaxeringen och ståndortskarteringen i Sveriges skogsmark har inte gjorts i fjällområdet. Den föreliggande studien är en pilotstudie med syftet att bedöma möjligheter och lämpliga metoder för en kartläggning av jordarnas egenskaper i fjällområdet. Vid utarbetandet av en eventuell miljöövervakningsplan är en sådan bedömning ett viktigt underlag.

Studiens delsyften är att:

- klassificera och beskriva jordmånsutvecklingen mot bakgrund av de jordmånsbildande faktorerna
- bestämma den kemiska statusen hos marken i två områden med väsentligt olika modermaterial
- jämföra analysdata från jordarna med varandra och med data från undersökningar av omkringliggande vattendrag.
- undersöka den spatiala variationen i markens ytskikt
- ge olika förslag på hur en miljöövervakning av fjällmarken kan genomföras och i så fall vilka ytterligare studier som behövs som underlag

Jordmånsbildning i polara och alpina klimat - en översikt

Polarklimat definieras i Köppens klimatklassifikation som ett klimat där alla månaders medeltemperatur understiger 10°C. Gränsen för polarklimat sammanfaller i stort sett med trädgränsen. Alpin är däremot en växtgeografisk term som beskriver de växtzoner som har med fjällnatur att göra. Nedanför kalfjället finns den subalpina zonen medan själva kalfjället delas in i tre zoner, låg-, mellan- och högalpina zonen. Polar- och alpinzonerna har därmed i princip samma utbredningsområde.

De jordmånsbildande faktorer och processer som verkar i jordarna i polara och alpina områden är oftast desamma som i andra områden, men det extrema klimatet och den särpräglade topografin gör att jordarna i vissa fall får ett helt annat utseende. Fysikaliska jordmånsbildande processer har större betydelse än i varmare klimat. Däremot går kemiska och biologiska processer långsammare (Rieger, 1983).

Jordmånsbildande faktorer

När man talar om jordmånsbildning brukar man räkna med fem bidragande faktorer: klimat, modermaterial, vegetation, topografi och tid. Klimatet är antagligen den viktigaste enskilda faktorn för jordmånsbildning och tillsammans med vegetationen den faktor som särskiljer jordarna i polar- alpinområdet från jordar i områden med varmare klimat och kraftigare vegetation.

Modermaterial

Jordens textur beror till stor del av kvalitén på modermaterialet. Texturen i sin tur påverkar vattenrörelserna i marken och därigenom även transporten av finare partiklar och växtnäringsämnen. Även vegetationen är beroende av modermaterialets sammansättning. Modermaterialets kvalitet påverkar även mängd och sammansättning av sekundärt bildade lermineral, vilket i sin tur har stor betydelse för jordmånsbildningen (Brady, 1990).

Topografi

Topografin i ett område kan öka eller minska effekterna av klimatet. I branta sluttningar är risken för erosion mycket större än i flacka områden. En sluttningens orientering i terrängen har också betydelse för värmeinstrålningen. Södersluttningar får ett annat mikroklimat än norrs sluttningar vilket ger effekt på jordmånsbildningen. Ett områdes hydrologi är även den beroende av topografin. I kuperad terräng finner man ofta väl-dränerade jordar i höga lägen. I sänkorna är jordarna sämre dränerade och innehåller mer ler och organiskt material. Topografin påverkar även vegetationen och dess effekt på jordmånsbildningen (Birkeland, 1984). Ett fenomen som uppträder i fjällen är jordflytning. Graden av jordflytning beror på sluttningens lutning och är därmed kopplad till topografin.

Tid

Majoriteten av jordarna i det polar-alpina området är unga i den mening att de inte har varit utsatta för jordmånsbildande processer under så lång tid. De flesta har varit fria från inlandsisen under kortare tid än tiotusen år. Det kan jämföras med områden som inte påverkades av den senaste istiden. Där har jordmånsbildningen pågått i mer än hundra tusen år (Ulfstedt, 1979). I stora områden skedde det också en landhöjning efter det att isen smält av. Områden som pressats ned av isen höjde sig, ibland flera hundra meter. På vissa ställen ledde det till en torrläggning av havsbotten som så småningom blev till nya landområden med specifika egenskaper (Adriellsson *et al.*, 1991).

Vegetation

Vegetationsfaktorn hänger intimt samman med andra jordmånsbildande faktorer. Den påverkas främst av klimatet men även av modernmaterial och topografi. Vegetationens inflytande på jordmånsbildningen hänför sig främst till förnans sammansättning och surhetsgrad, till rotfördelningen i marken och till beståndets täthet. Barrskog främjar podsolering medan ört och gräsrik vegetation gynnar uppkomsten av brunjordar. Vid bildningen av organogena jordar spelar vegetationen den avgörande rollen för uppkomsten av olika torvslag (Wiklander, 1976).

Vegetationen i den del av fjällområdet som ligger ovanför trädgränsen är relativt sparsam. Den består till största delen av lågväxande buskar, ris, mossor och lavar. Variationen mellan olika områden är emellertid ganska stor. I områden med gynnsamt lokalklimat och ett lättvittrat modernmaterial med högre baskatjoninnehåll kan örtskiktet vara både frodigt och diverst. På platser som är mer exponerade för väder och vind och där modernmaterialen är svårvittrat kan växtligheten vara i det närmaste obefintlig.

Klimat

Klimatet är kanske den viktigaste enskilda faktorn för jordmånsbildning och det är den faktor som har störst betydelse för skillnader mellan jordar med polarklimat och jordar i varmare klimat. Klimatet påverkar vittringshastigheten och därmed jordmånsbildningen eftersom områden med liten nederbörd och låga temperaturer, har en låg vittringshastighet jämfört med områden i humida och tempererade klimat (Brady, 1990). Klimatet påverkar även vegetationen genom temperatur, nederbörd, snötäcke och vindstyrka (Naumov *et al.*, 1993). Frys- och upptyningsprocesser har stort inflytande på jordens utseende.

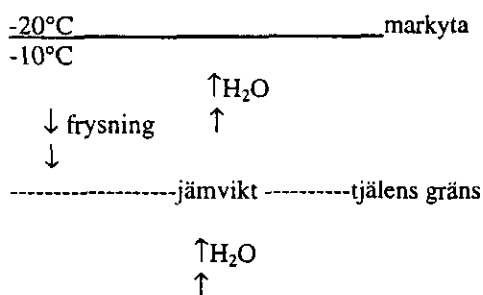
Jordmånsbildande processer

Frysning i marken

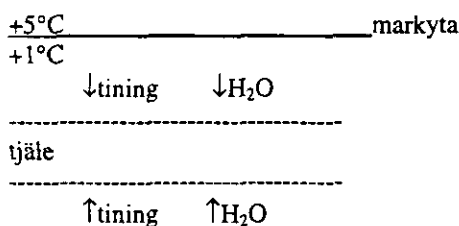
I områden där tjälen under lång tid tränger djupt ned i marken, sker fysikaliska förändringar i jorden som påverkar jordmånen. Strukturen och ytskiktets utseende förändras och även distributionen av organiskt material och lerpartiklar berörs. Väldränerade jordar med liten andel finkornigt material har mindre benägenhet för tjälskjutning än odränerade och finkorniga jordar (Rieger, 1983).

Under frysningsprocessen sker förflyttning av markvattnet samtidigt som dess volym ökar. När marken börjar frysa sker det en migration av markvätska mot det frusna området. Det är en jämviktseffekt som beror av fuktighet och temperatur (Fedorova & Yarilova, 1972). Frysningen börjar vid markytan för att sedan förflytta sig nedåt i profilen. Tjälen stannar på det djup i marken där det råder temperaturjämvikt mellan den värme som försvinner uppåt i profilen med den migrerande markvätskan och den värme som utsöndras då vatten fryser till is. När lufttemperaturen sedan stiger värms markytan upp och jorden börjar tina. Då startar också en nedtransport av vätska i det frusna substratet. När den mängd vätska som når tjälningsskiktet är tillräckligt stor rubbas temperaturjämvikten och jorden börjar tina även underifrån (Rieger, 1983)(Fig. 1).

Frysning i marken



Upptining i marken



Figur 1. Vattnets rörelse i marken vid frysning och tining.

Isens fördelning i frusna jordar

Markens innehåll av is är för det mesta ojämnt fördelat och distributionen speglar i viss mån jordens struktur. I finkorniga jordar fryser markvattnet till is *in situ* i de övre skikten där majoriteten av rötterna finns och där det finns gott om makroporer och rotkanaler. Under rotzonen fryser vattnet i linser mer eller mindre parallella med markytan. Längre ned i marken sker frysningen långsammare vilket resulterar i tjockare och mer utbredda linser. Vid upptining behåller jorden denna plattstruktur vilket gynnar bildning av större linser under kommande år och ger jorden dess speciella karaktär (Makeev & Kerzhentsev, 1974). I grövre, sandiga jordar fryser vattnet inte i linser utan i en tunn film runt de enskilda partiklarna.

Förflyttning av partiklar

Anhopningar av finmo och mjäla i form av linser och band förekommer i framförallt moränjordar. De är oftast associerade med stora sandkorn eller grövre partiklar, och täcker partiklarnas yta eller fyller upp hålrum mellan dem. Dessa anhopningar är hårt sammanpackade och har mycket låg porositet. Man tror att de bildades vid den hastiga nedsmältningen av permafrost i slutet av den Pleistocena eran. Porer där smältvatten runnit fylldes med fint material från den omgivande matrixen och har sedan pressats samman av de årliga frysningarna i marken (Collins & O'Dubhain, 1980).

I många jordar har stenar i de undre horisonterna ett täckande skikt av silt och ler på ovensidan. Den undre sidan är däremot fri från detta skikt. När nederbörden är tillräcklig och jorden väl-dränerad tenderar vatten att ackumulera eller hänga under större partiklar. När det sedan fryser i marken och isen expanderar, trycks fina partiklar från jordens matrix fast på de övre delarna av stenarna. På undersidan sker det inte eftersom den endast har kontakt med vatten (Rieger, 1983).

Jordens textur

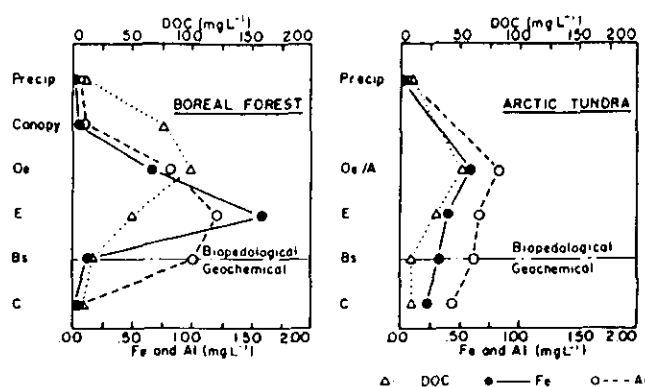
Frostsprängning och den nötning som isen utsätter mineralfragment för, ger upphov till mekanisk vittring av sand och grövre fragment. De partiklar som då produceras finner man i allmänhet i storleksklassen 0.1-0.01 mm dvs. grovmo-mjäla fraktionen. De låga temperaturerna minskar den biologiska aktiviteten i marken. På grund av den låga jordtemperaturen är den kemiska vittring som resulterar i lerpartiklar liten. Generellt sett kan man säga att leriga jordar i kalla regioner bildas endast om modern materialet består av ler (Rieger, 1983).

Jordflytning

Jordflytning (solifluktion) kan förekomma i alla jordar i kalla klimatområden, men är vanligast i områden med sparsam vegetation och grunt liggande permafrost. I sluttningar (ibland även i relativt plana områden) rör sig finkornig, vattenmättad jord nedåt och bildar ett oregelbundet mönster av jordvalkar. Den största förflyttningen sker på våren innan vattnet från den smältande isen har runnit bort (Smith, 1956). Eftersom det i huvudsak är de övre jordlagren som flyter iväg resulterar det i en kontinuerlig omblandning av materialet. Detta skapar begravnade organiska lager och oregelbundna texturella gränser (Harris & Ellis, 1980).

Podsolering

Podsolering är en process som starkt förknippas med det boreala temperaturområdets barrskogsvegetation och dess relativt höga nederbörd. Trots detta har man kunnat konstatera att en nutida podsolering sker även i kallare klimat med sparsammare vegetation och lägre mängd infiltrerat vatten. I väl-dränerade jordar i polarområdet visar undersökningar av markvätskans innehåll av järn och aluminium att det sker en bildning av E- och B-horisonter även om bildningen inte är lika utpräglad som i barrskogsområden där vegetationens inflytande är större och infiltrationen kraftigare (Fig. 2) (Marett *et al.*, 1987).



Figur 2. Marklösningssparametrar (Fe, Al och DOC, Dissolved Organic Carbon) i två jordprofiler, en från barrskogsområdet och en från den arktiska tundran (Marett *et al.*, 1987).

En undersökning gjord i Alaska visar få eller inga morfologiska skillnader mellan jordar under barrskog och jordar under lavhedevegetation. Den enda morfologiska trend som kunde observeras berodde på höjdskillnader. De högre liggande profilerna hade en B-horisont med lägre mäktighet och en grundare jordmån. Klimatet är den viktigaste jordmånsbildande faktorn och överskuggar därmed vegetationens betydelse (Ugolini *et al.*, 1981).

Det finns olika teorier om vilka processer som verkar vid bildandet av podsoler. En av dem är fulvosyrateorin som hävdar att Al och Fe främst transporteras som organiska komplex (Rieger, 1983). Vid nedbrytning av O-horisontens organiska material bildas vattenlösliga humussubstanser, vilka till största delen är fulvosyror. Genom att komplexbinda Fe och Al kan de transporteras med sig metalljoner ned i profilen. Med tiden mätas metall-humuskomplexen av metalljoner och anrikas därmed i B-horisonten. Enligt proto-imogolitteorin transporteras Al och Fe som oorganiska komplex. I E-horisonten kan Al och kolsyra bilda lösliga oorganiska komplex (proto-imogolit). På grund av låga pH-värden i podsolens övre horisonter kan komplexen transporteras ned genom E- och Bhs-horisonterna. Stigande pH med djupet gör att komplexen fälls ut och anrikas i Bs-horisonten. Därefter kan imogolit och allofan bildas i Bs-horisonten av proto-imogolit och Si. Det sker också en nedtransport av fulvosyror som kan fällas ut på sekundära mineralers ytor (Farmer *et al.*, 1980). En tredje teori arbetar efter hypotesen att imogolit och allofan bildas *in situ* i Bs-horisonten. Det bygger på att kolsyra dissocierar på grund av att pH är högre i de lägre horisonterna och därmed vittrar sönder mineraler. Al, i form av proto-imogolit, frigörs och kan tillsammans med Si bilda imogolit och allofan. Kolsyrateorin inbegriper även den bildning av fulvosyror i den övre horisonten, nedtransport av metallhumuskomplex och anrikning av dessa i B-horisonten (Ugolini & Dahlgren 1986).

Miljöövervakning i fjällområdet

Programmet för övervakning av miljö kvalitet

1982 startade Naturvårdsverket programmet för övervakning av miljö kvalitet, PMK. Syftet med programmet var att övervaka långsiktiga och storskaliga förändringar i miljön och därmed kunna identifiera problem som kräver forskningsinsatser eller direkta motåtgärder. Man ville också samla in uppgifter om miljöförhållanden i relativt opåverkade trakter för att möjliggöra välgrundade bedömningar av situationen i mer påverkade områden samt att belysa hur föroreningar transporteras i luft, landmiljö och vatten och mellan dessa miljöer.

I PMK ingår ett antal undersökningar som pågått sedan länge, bl.a. mätningar av nederbördens kemiska sammansättning och kemiska analyser av grundvattnet. Nya undersökningar som tillkommit är i de flesta fall studier av landmiljön, mark, växter och djur. Landmiljöövervakningen äger till största delen rum inom ett tjugotal referensområden, belägna i förhållandevis orörda trakter. Två av dessa referensområden ligger i fjällen, nämligen Ammarnäs och Abisko. I varje referensområde har man lagt ut en 50x50 m stor yta. Sammanlagt blir det 5 hektar som skall representera hela Sveriges areal. Ytorna får därför ses som ett antal exempel på relativt orörda svenska landskapstyper vilka inte är representativa annat än för sig själva. Det är däremot tänkbart att om förändringar kan påvisas i dessa områden kan man misstänka att så är fallet även i andra områden med likartad jordmån och vegetation. Inom varje yta tas jordprover från 12 olika punkter. Markprov tas i podsoler från förmultningsskiktet, humusskiktet, utlakningshorisonten samt två decimetertjocka skikt från anrikningshorisonten. De parametrar som mäts är mår och blekjordsskiktets tjocklek, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , och Al i vattenlösning och halten av tungmetaller. Även markvattnet provtas (Monitor, 1985).

Riksinventering av Sveriges sjöar

En annan form av miljöövervakning i fjällområdet är den riksinventering av Sveriges sjöar som på uppdrag av Naturvårdsverket utförts vid tre tillfällen, 1985, 1990 och 1995. Vid 1990 års inventering valdes 4017 sjöar i hela Sverige ut slumpvis. Av dessa ligger ett antal i fjällregionen. Dessutom togs prover från ett tusental sjöar i länsstyrelsernas egen regi. Det som analyserades var temperatur, absorbans, pH-värde, konduktivitet, halterna av Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} och Cl^- samt alkalinitet. I ca 1000 av sjöarna mättes också halterna av NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , totalkväve, totalfosfor, syralösligt aluminium och TOC (totalhalt av organiskt bundet kol). 1995 var antalet undersökta sjöar 4880 och man kompletterade även inventeringen med ett antal vattendrag och avrinningsområden med en yta < 50 km². 1985 års undersökning skilde sig från de två senare dels i analysprogram och dels också i vissa metoder. Därför är det svårt att jämföra resultaten från denna inventering med resultaten från 1990 och 1995.

Sedan 1983 bedriver Naturvårdsverket också regelbunden provtagning tre till fyra gånger per år av ca 150 referenssjöar. Genom att studera provtagningsresultaten från

dessas sjöar får man en mera tillförlitlig bild av förändringar i vattenkemin. Dessa sjöar är samtliga undantagna från kalkning. Enligt de provtagningar som gjorts är sjöarna i fjällområdet obetydligt påverkade av antropogen syrabelastning men vissa sjöar är naturligt sura (Monitor, 1991).

Atmosfäriska mätningar

Atmosfäriska mätningar har också utförts i fjällområdet. Undersökningar har gjorts av den deposition av olika ämnen som sker dels via nederbörd och dels via låga moln. De parametrar som mäts är halterna av huvudkomponenterna, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , och ibland även halterna av katjoner. Det har vid flera mätningar noterats att föroreningshalterna tilltagit med ökande höjd över havet. Den troliga orsaken till detta fenomen är molndeposition. Det har visat sig att halterna av vissa ämnen är upp till 10 gånger högre i de nedre delarna av molnen än vad de är i nederbörden. Låga moln runt bergstoppar resulterar därmed i en ökad deposition på högre höjder.

Vid provtagning har man använt sig av insamlare för nederbörd och molnvatten. Det har emellertid visat sig att halterna i insamlarna blir högre än halter uppmätta på den markyta som de står på. På vissa platser har man därför provat med att gräva ned insamlarna men då krävs ett större antal för att kompensera för variationer i snödjupet. De framtagna resultaten visar på en stor variation både i tid och rum. Det finns inga undersökningar gjorda som spänner över ett längre tidsintervall utan de flesta består av enstaka mätningar. Under senvintern har också snöprovtagning förekommit som en metod för mätning av deposition (Granat, pers.kom.).

Undersökningar gjorda i andra länder

Inget material som talar om regelrätta program för miljöövervakning av fjälljordar i länder som Kanada, USA och föredetta Sovjetunionen har gått att få fram. Svårigheter med att hitta material tyder på att endast enstaka undersökningar har utförts.

I Norge utför Statens forurensningstillsyn (SFT) kontinuerliga undersökningar av skogsjordar främst med avseende på försurning. I detta program ingår emellertid inga jordar ovanför trädgränsen. Direktoratet for naturforvaltning har i sitt program för terrestrisk naturövervakning inkluderat något område som ligger i fjällregionen (Johannessen, pers.kom.).

Material och Metoder

Provytebeskrivning

Provtagningen utfördes under en vecka i mitten av augusti 1995. Provtagningsplatserna var belägna i Arjeplogs kommun, den ena ca 1 mil söder om sjön Mavasjaure och den andra en halvmil söder om sjön Sädvajaure (Fig. 3) (*koordinater se appendix*). Den årliga luftmedeltemperaturen vid närmsta väderstation som är Vuoggatjålme uppgår till -1.9°C. Medeltemperaturen för den varmaste månaden (juli) är +11.4°C och för den kallaste månaden (januari) -15.1°C. Nederbörden uppgår till 512 mm/år och de största mängderna faller från juli till september (SMHI, 1991).

Båda profilerna var belägna ovanför trädgränsen på mellan 830 och 930 meters höjd. I det första området (A) bestod berggrunden huvudsakligen av kvartsit medan den i det andra området (B) dominerades av kalkglimmerskiffer och amfibol. Jordmånen bestod i båda fallen av grov morän. Vegetationen dominerades i båda områdena av mossor, lavar, ris och örter. Artrikedomen var däremot mycket större i området med kalkhaltig berggrund (*artlista se appendix*).

Val av provplatser

De båda områdena valdes ut med hjälp av resultat från de alkalinitetsbestämningar av vattendrag som tidigare utförts av Länsstyrelsen i Norrbotten. Vattendragen delades in i tre grupper, vatten med hög, medelgod respektive låg alkalinitet. Resultaten jämfördes sedan med information från geomorfologiska kartblad, IR-bilder och observationer i fält för att bestämma lämpliga provtagningslokaler. Två lokaler som dominerades av moränjordar och befann sig ovanför trädgränsen valdes därefter ut. Provplats B låg i området med höga alkalinitetsvärden i vattendragen och provplats A i det område där alkalinitetsvärdena var låga.

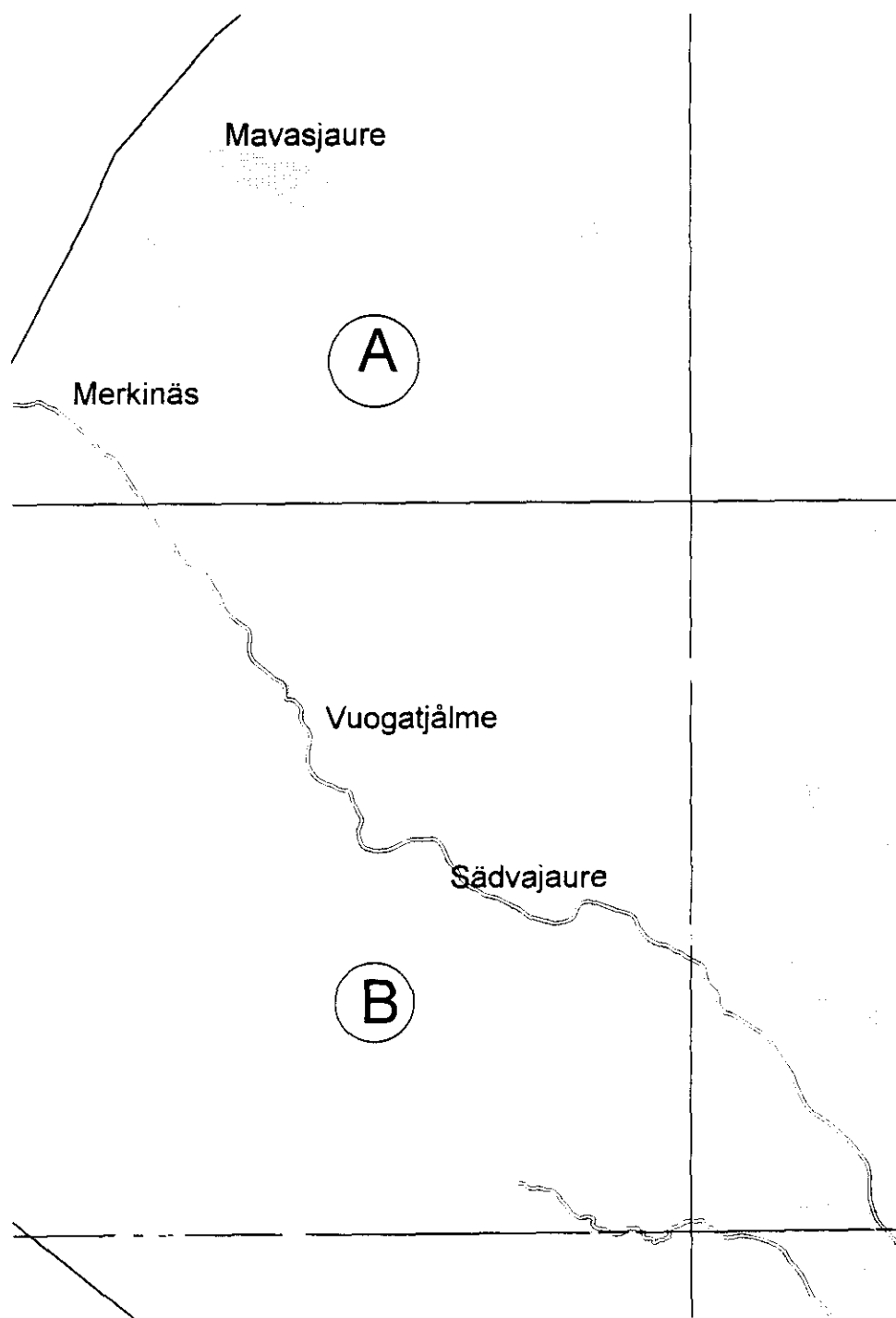
Provtagning

I varje område grävdes en catena bestående av vardera tre profiler. De lägst liggande profilerna, med högre grundvattenstånd, grävdes ned till ett djup av mellan 30 och 50 cm, de i mellanläge ned till 50-60 cm och de högst belägna profilerna grävdes ned till 90-100 cm. Profilerna i område B grävdes längs en rak linje i en ca 100 meter lång sluttning. I område A var terrängen småkullig med vattendrag som löpte ut även högre upp i sluttningen. Profilerna placerades här istället så att de på bästa möjliga sätt avspeglade variationen i grundvattenytans nivå.

Från varje profil togs prov från O-horisonten, befintlig E-horisont, och därefter var tionde centimeter. Proven bestod av 1-1,5 kg jord vardera. Rötter med en diameter större än 1 cm och stenar större än 5-10 cm i diameter rensades bort. Provtagningen började från botten av profilen för att minska risken för kontamination av proverna. Profilmätsväggen var ca 1m bred och m.h.a. en liten spade togs prov ut från så stor yta som var möjligt med hänsyn till större stenar.

Med profilgropen som centrum lades två transekter, vardera 10 m långa, ut. Ett 5 m långt måttband lades från profilen ut i lutningsriktningen och vinkelrätt mot den. Därefter togs ett prov per meter med humusborr. Proven togs till ett djup av 3-5 cm.

Provplatserna och profilerna dokumenterades med diabilder och alla profiler utmärktes slutligen med röda plastbrickor.



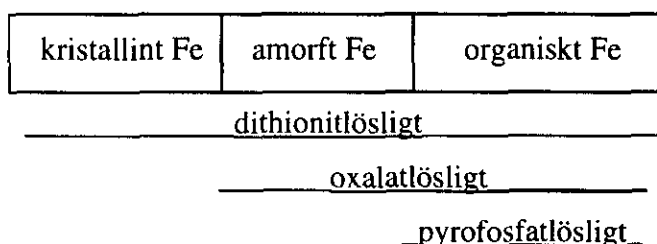
Figur 3. Karta över provtagningsområdet.

Analyser

Alla analyser har, om inget annat anges, utförts på lufttorr jord som siktats med 2 mm sikt. De analyser som utförts är mätning av pH, utbytbara baskatjoner (Ca, K, Mg, Na & Mn), titrerbar aciditet och katjonbyteskapacitet (CEC), totalanalys av C, N och S, selektiva extraktioner av Fe, Al, Si och Mn samt bestämning av primära mineral med röntgendiffraktion (XRD).

Selektiva extraktioner av Fe, Al, Si och Mn

Tre olika metoder, beskrivna i ISRIC (1987), har använts för att extrahera Fe och Al. Halterna av Fe har sedan delas upp i tre fraktioner, kristallint, amorft och organiskt bundet. Genom att subtrahera resultaten från dithionitextraktionen med resultaten från oxalatextraktionen får man fram det Fe som är kristallint bundet. Subtraktion av oxalatextraktionen med pyrofosfatextraktionen ger det amorft bundna. Den organiska fraktionen består av det som extraherats med pyrofosfat (Fig.4). Al delas till skillnad från Fe endast upp i två fraktioner nämligen oorganiskt och organiskt bundet. Det oorganiskt bundna får man genom att ta differensen mellan extraktionsresultaten från oxalat och pyrofosfat. Den organiska fraktionen är lika med resultaten från pyrofosfatextraktionen. Si och Mn har endast extraherats en gång, med oxalat respektive dithionit.



Figur 4. Extraktioner av kristallint, amorft och organiskt Fe.

Pyrofosfatlösligt Fe och Al

Denna metod används för att extrahera organiskt bundet Fe och Al. 1,00 g prov skakades i 16 timmar med 100 ml 0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Därefter centrifugerades proven för att en klar lösning skulle erhållas. Lösningen späddes 1:5 och Fe och Al innehållet mättes därefter med ICP-AES (Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry).

Oxalatlösligt Fe, Al och Si

Denna metod används för att extrahera amorft och oorganiskt bundet Fe, Al och Si. 1.00g prov skakades i 4 timmar med 50 ml 0.2 M ammoniumoxalat som ställts till pH 3. Därefter centrifugerades proven för att erhålla en klar lösning. Lösningen späddes 1:5 och Fe, Al och Si innehållet mättes därefter med ICP.

Dithionitlösligt Fe och Mn

Detta är den extraktion som är kraftigast och extraherar både det som är bundet organiskt, amorft och kristallint. Proven skakas med en blandning av Na-citrat och Na-dithionit som både är en komplexbildande och reducerande lösning.

1.00 g prov skakades i 16 timmar med 60 ml av citrat/dithionit lösningen. Lösningen bestod av 17 % citrat och 1.7 % dithionit. Därefter centrifugerades proven, lösningen späddes 1:5 varefter Fe och Mn innehållet mättes med ICP.

Totalanalys av kol, kväve och svavel

Mätningarna utfördes på Leco CNS 1000 elementaranalysator. Både profil- och ytprover analyserades. Av prover med högre humushalt och därmed lägre densitet invägdes en mindre mängd än för de prover som huvudsakligen bestod av mineraljord.

Baskatjoner och CEC

5,00 g från O-horisonten och 15,00 g från övriga prov vägdes in. Proven skakades sedan i 2 timmar med 90 ml av en 1 N NH_4OAc lösning som ställts till pH 7,0. Därefter filtrerades lösningen genom ett fuktat filterpapper (00K) ned i 100 ml plastburkar som vägdes och späddes till 90 ml. Mätning av Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ och Mn^{2+} gjordes sedan på ICP.

5,0 g prov vägdes in och skakades i 1 timme med 40 ml av en 0,25M BaCl_2 lösning. Lösningen dekanterades sedan av genom ett fuktat filterpapper (00K). Därefter tillsattes ytterligare 40 ml extraktionsmedel och proceduren upprepades. Filtratet samlades upp i en 100 ml plastburk, vägdes och späddes upp till 80 ml. Titrationen gjordes på en autotitrator och mängden utbytbar Al och H bestämdes med inflektionspunktitrering.

Katjonbyteskapaciteten (CEC) är den totala koncentrationen av negativa laddningar på utbyteskomplexen. Den beräknas genom att addera mängden utbytbar Al och H med den totala mängden av baskatjoner. Därefter kan man också beräkna basmättnadsgraden som är innehållet av baskatjoner i procent av katjonbyteskapaciteten.

pH

pH mätningar av profilproverna gjordes ca två veckor efter provtagningen. Då användes fuktigt och osiktat prov. 15 ml jord skakades med 25 ml dest vatten, fick stå över natt, skakades på morgonen, lämnades att klarna någon timma och pH-värdet i lösningen mättes sedan med pH meter.

Vid pH mätningar av ytproverna användes lufttorr siktad jord. Av de prov som i huvudsak bestod av mineraljord vägdes 5 g in. Av prover med högre humushalt vägdes 2 g in. Därefter skakades proven med 25 ml dest vatten och behandlades sedan som profilproverna.

Röntgendiffraktion av modermaterialet

Med hjälp av röntgendiffraktion kan man semi-kvantitativt bestämma de primära mineralerna i jordprov. Metoden bygger på att man med hjälp av röntgenstrålar mäter det mineralspecifika avståndet mellan molekylskikten i mineralens kristallstruktur.

De prov som användes var från den nedersta delen av profil 3A och 3B. Proven våtsiktades först för att få fram fraktionen 65-125 μm . Därefter torkades de och maldes i

kulkvarn. Sedan torrsiktades proven genom sikt med storleken 56 μm och packades slutligen med skakapparat i provhållarna. För röntgenanalysen användes Philips PW1710.

Beräkning av spatial variation

Den spatiala variationen beräknades med hjälp av semivariogram (Clark, 1979). Det innebär att man undersöker provens autokorrelation eller vid vilket avstånd som variablerna blir statistiskt oberoende av varandra. De analysresultat som användes var pH-värde och kolhalt för ytproverna. För område B gjordes två variogram för varje parameter (pH och kol), ett för värden i nord-sydlig riktning och ett för värden i öst-västlig riktning. Värden från alla tre profilerna användes i ett och samma variogram där det längsta avståndet var 7 meter. För område A gjordes endast variogram för värden i öst-västlig riktning. I nord-sydlig riktning fattades alltför många värden beroende på att profilerna placerats nära vattendrag och det därför inte varit möjligt att ta fem prov i alla väderstreck.

Beskrivning av jordprofilerna

Provplats A

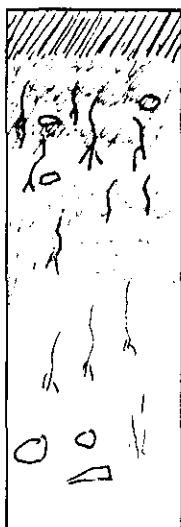
Den första provplatsen, provplats A, låg 3-4 km söder om sjön Nuorjojaure i ett område där de omkringliggande vattendragen har en uppmätt låg alkalinitet. Terrängen är kuperad med mycket block och berg i dagen. Profilerna låg på en höjd av mellan 930 och 945 m.ö.h. Området har en berggrund som består av Juronkvartsit. Juronkvartsiten är en ofta granatförande, välbandad, kvartsrik bergart. Vanligen innehåller den mikroklin som underordnad komponent. Strukturellt påminner Juronkvartsiten mycket om cykliskt skiktade sediment. Det är också sannolikt, att den ursprungligen har haft sådan karaktär med graded bedding. Sedimentet har sedan rekristalliserat genom regional metamorfos och konforma differentialrörelser. Bergartens kvarts och glimrar har stråkanrikats och reglerats (Kulling, 1982).

Vegetationen bestod i huvudsak av mossor, lavar och ris. Artrikedomen var liten med endast ett tiotal olika örter och ris. Fjällfibbla och isranunkel var de vanligast förekommande örterna. Den småkulliga terrängen och det faktum att vatten kom upp till markytan även högre upp i sluttningarna gjorde det omöjligt att lägga alla profilerna i samma sluttning. Istället försökte vi gräva profilerna på ett sådant sätt att de avspeglade olika grundvatten nivåer i marken.

Beskrivningar av jordprofilerna har utförts med hjälp av FAO:s manual för profilbeskrivningar (FAO, 1990) och en svensk kompletterande manual (Messing, 1992).

Beskrivning av profil 1A

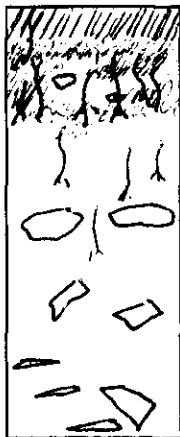
Belägen i en kort, flack sluttning ca 2 meter från stranden av en liten tjärn. Grov morän. Mellan B- och C-horisonten oklar gräns som förmodligen berodde mer på en förändring i textur än en reell horisontövergång. B-horisonten är en blandning av två material med olika färg, något som tyder på jordflytning. I B-horisonten finns också linser av mjäla insprängda. Huvuddelen av rötterna finns i B-horisonten men enstaka rötter tränger djupare ned. Grundvattenytan låg vid provtagningstillfället på 40 cm djup.



- | | |
|--------|--|
| A-hor. | 0-3(5) cm ; tydlig och jämn övergång; svart (5YR 2.5/1) i fuktigt tillstånd; fin- och grovmå, lös, ej klabbig; något plastisk; sten och mineralfragment många 15-40 %, fint och grovt grus 0,2-2 cm, skarpkantade och avrundade |
| B-hor. | 3 (5)-11 (17)cm; tydlig och vågig övergång; mörk gulaktigt brun (10YR 4/4) och brun (10YR 5/3) i fuktigt tillstånd; mjäla, fin- och grovmå; lös, ej klabbig, ej plastisk; sten och mineralfragment många 15-40%, mest sten och grovt grus 2-20cm, skarpkantade och avrundade |
| C-hor. | 11 (17)-40cm; mörk gråaktigt brun (2.5Y 4/2) i vått tillstånd; sand och grovmå, lös, ej klabbig; ej plastisk; sten och mineralfragment många 40-80 %, sten och grovt grus 2-20 cm |

Beskrivning av profil 2A

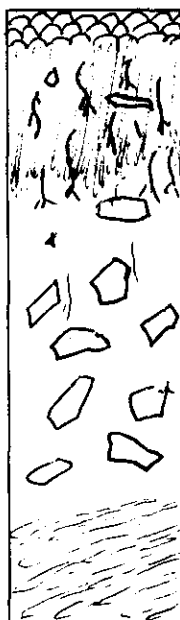
Belägen på en ca 5 meter bred landtunga mellan ett litet vattenflöde och en brant sluttning ungefär 150 meter söder om profil 1A. Grov morän med antydning till en E-horisont. Från 50 cm djup mer kompakt. Majoriteten av rötterna inom 13 cm från markytan men enstaka tränger ned till 37 cm.



- | | |
|--------|--|
| A-hor. | 0-4 cm; skarp och jämn övergång; mörk rödaktigt brun (5YR 3/2) i fuktigt tillstånd; finmo; lös ej kläbbig, ej plastisk |
| B-hor. | 4-13 cm; diffus och vågig övergång; mörk rödaktigt brun (5YR 3/3) i fuktigt tillstånd; sand, fin- och grovmo; lös, ej kläbbig; ej plastisk; sten och mineral-fragment många, 40-80 % , alla storlekar, alla former |
| C-hor. | 13-70 cm; mörk gulaktigt brun (10YR 3/4) i fuktigt tillstånd; sand och grovmo, lös, ej kläbbig, ej plastisk; sten och mineralfragment många 40-80 % , alla storlekar; mycket kompakt under 50 cm |

Beskrivning av profil 3A

Belägen på toppen av en kulle ca 50 meter väster om profil 2A. Morän med mycket sten i C-horisonten. Porös ned till 40 cm vilket också är gränsen för majoriteten av rötterna, enstaka ned till 60 cm. Nedanför 70 cm är materialet mycket hårt packat (cementliknande) i horisontella linser. Mängden sten är också mindre där än i överliggande skikt.



- | | |
|--------|--|
| O-hor. | 0-3 cm; tydlig och jämn övergång; mörk rödaktigt brun (5YR 2.5/2) i fuktigt tillstånd, starkt mörkt gråaktigt brun (10YR 3/2) i torrt tillstånd; fin-och grovmo; lös, ej kläbbig, ej plastisk; sten och mineral-fragment många 15-40 % fint och grovt grus 0,6-6 cm, enstaka större stenar |
| B-hor. | 3-30 cm; tydlig och vågig övergång; mörk gulaktigt brun (10YR 3/4) i fuktigt tillstånd; sand, fin-och grovmo, lös, ej kläbbig, ej plastisk; sten och mineral-fragment få 5-15 %, ojämnt fördelade, stenar rundade, grus skarpkantat |
| C-hor. | 30-70 cm; olivbrun (2.5Y 4/4) i fuktigt tillstånd; sandigare än B-hor., lös, ej kläbbig, ej plastisk; sten och mineralfragment många 40-80 %, stenar 6-60 cm, |

Provplats B

Det andra provtagningsområdet, provplats B, låg i en sluttning söder om och ned mot sjön Årje-Vallauratj halvvägs mellan Sädvajaures östra del och Laisälvens dalgång i söder. Terrängen var öppnare och inte så kuperad som vid provplats A. Profilerna låg på en höjd mellan 820 och 840 m.ö.h.

Prov platsen låg vid Vallåives östsluttning. Enligt Kulling (1982) bygger den geologiska undersökningen där till stor del på synliga block. De synliga blocken i Vallåive ryggen och dess östsluttning domineras av amfibolit. Denna zon är ca en km bred. Öster om denna följer en ca två km bred zon av kalkglimmerskiffer med marmorbankar. Den marmorbankförande kalkglimmerskiffern räknas till Pieskekalkstenen. Denna kalksten har upprepade inlagringar av kalkglimmerskiffer och amfibolitisk grönsten. Den till marmor omkristalliserade karbonatbergarten är ofta något dolomitisk i sin undre del.

Vegetationen bestod i huvudsak av mossor, lavar, ris och örter. Artrikedomen i örtskiktet var stor, med bl.a. två olika orkidéarter. I sluttningens lägre delar växte även dvärgbjörk och två olika arter av vide. På sjöns norra sida fanns fjällängar med bl.a. högvuxen stormhatt. Profilerna grävdes i en ca 100 meter lång sluttning, med en profil på toppen, en nära vattnet och en däremellan.

Beskrivning av profil 1B

Belägen 18 meter söder om sjöstranden. Rikligt med lågväxande vide och dvärgbjörk. Podsolerad morän. E-horisontens gräns är väldigt ojämn. Linser av vittrat skiffer i hela profilen. Grundvattenytan låg vid provtagningsstillfället på 50 cm djup.



- | | |
|--------|--|
| O-hor. | 0-5 cm; skarp och vågig övergång; väldigt mörkt brun (10YR 2/2) i fuktigt tillstånd; finmo, lös, något klabbig, ej plastisk; sten och mineralfragment mycket få 0-2% |
| E-hor. | 5-8 cm; skarp och oregelbunden övergång; mörk gråaktigt brun (10YR 4/2) i fuktigt tillstånd; fin- och grovmo, lös, ej klabbig, ej plastisk |
| B-hor. | 8-17 cm; gradvis vågig övergång; mörkt brun (7.5YR 3/4) i fuktigt tillstånd, grov och finmo; lös, ej klabbig, ej plastisk; sten och mineralfragment få 2-15 %, runda och skarpkantade, mest skiffer, vittrad |
| C-hor. | 17-50 cm; mörk gulaktigt brun (10YR 3/4) i fuktigt tillstånd; grov och finmo; lös, ej klabbig, ej plastisk; sten och mineralfragment få 2-15 %, runda och skarpkantade, mest skiffer, vittrad |

Beskrivning av Profil 2B

Belägen mitt i sluttningen 32 meter söder om profil 1B. Podsolerad morän. Många linser av vittrat skiffer varav tre olika sorter, en mörk en ljus och en rödaktig, kan urskiljas. Vid 50 cm djup påträffades berggrunden. Majoriteten av rötterna finns ned till 20 cm, men enstaka ända ned till 40 cm.



- | | |
|--------|--|
| O-hor. | 0-5 cm; skarp och vågig övergång; starkt mörkt brun (10YR 2/2) i fuktigt tillstånd; finmo, lös, något klibbig, ej plastisk; sten och mineralfragment få 2-5 %, fint och grovt grus 0,6-6 cm |
| E-hor. | 5-7 cm; skarp och vågig övergång; blekt brun (10YR 6/3) i fuktigt tillstånd; finmo och grovmo, lös, ej klibbig, ej plastisk |
| B-hor. | 7-10 (15) cm; tydlig och oregelbunden övergång; mörkt brun (7.5YR 3/4); finmo och grovmo, lös, ej klibbig, ej plastisk; sten och mineralfragment få 5-15 %, grovt grus 2-6 cm, starkt vittrat; skifferlinser |
| C-hor. | 10 (15)-50 cm; olivbrun (2.5Y 4/4) i fuktigt tillstånd; finmo, lös, ej klibbig, ej plastisk; sten och mineral fragment få 2-15 %, grovt grus 2-6 cm några större stenar, starkt vittrat |

Beskrivning av profil 3B

Belägen på toppen av sluttningen. Podsolerad morän. Väldigt ojämna horisonter. E-horisont obefintlig förutom i en ficka där den är ca 15 cm djup. Vittrade skifferlinser med olika färg. Relativt porös de översta 40 cm, därunder ökar packningsgraden med djupet. I C-horisonten svarta runda fläckar. Rötter ned till 40 cm.



- | | |
|--------|--|
| O-hor. | 0-2 cm; skarp och jämn övergång; starkt mörkt brun (10YR 2/2) i fuktigt tillstånd |
| B-hor. | 2-30 cm; gradvis och vågig övergång; mörk brun (7.5YR 3/4) och kraftigt brun (7.5 4/6); i fuktigt tillstånd; sand, fin- och grovmo, stor mängd skiffer; lös, ej klibbig, ej plastisk; sten och mineralfragment många 5-40 %, grovt grus med en del större stenar; kraftigt vittrad glimmerskiffer ej vittrad grafitskiffer |
| C-hor. | 30-100 cm; olivfärgad (5Y 4/3) i fuktigt tillstånd; sand, fin- och grovmo; lös, ej klibbig, ej plastisk; sten och mineralfragment många 5-40 %, grovt grus 2-6 cm, mottles svarta (10YR 2/1) runda ca 5 cm diameter; ökande kompaktion från 40 cm |

Klassificering av profilerna

Profilerna har klassificerats med hjälp av de internationellt mest etablerade systemen, Soil Taxonomy (ST) och FAO-Unesco. Soil Taxonomy är ett amerikanskt system som utvecklades på 60-talet. Klassificering av jordar enligt ST baseras på jordens egenskaper snarare än t.ex. klimat, geologi och vegetation. Jordarnas temperatur- och fuktighetsregimer är vid klassificering emellertid viktiga faktorer som skiljs från allmänna klimatparametrar. Karakteristiska egenskaper som kan relateras till jordarnas genes används vid klassificeringen i största möjliga mån, särskilt sådana egenskaper som kan observeras i fält. FAO-Unesco systemet använder sig av terminologi och bestämmingar från flera olika nationella system. Det är inte tänkt att användas som ersättning för nationella system utan som en gemensam nämnare vid jämförelser av jordar från olika länder. Därför kan det vara svårare att exakt klassificera en jord enligt FAO-Unesco systemet. Det tar till skillnad från ST inte någon hänsyn till temperaturregim. Däremot läggs stor vikt vid kemiska egenskaper såsom basmättnadsgrad och ackumulation av karbonater och gips (Rieger, 1983).

Profilerna i område B klassificeras enligt Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992) som *Spodosoler*. *Spodosoler* är jordar där det skett en förflyttning av järn och aluminium från den övre delen av jorden till en lägre liggande horisont. Profilerna i område B uppfyller kraven för en *spodic-horizon*. pH i profil 2B är lite för högt men jag anser att man kan bortse från det då pH i de andra två profilerna ligger inom ramarna för en *spodic-horizon*. Temperaturregimen är *cryic* och profil 2 och 3 har en kolhalt som är lägre än 1,1 % i de översta tio centimetrarna av B-horisonten. De klassificeras därför som *Entic Haplocryod*. Profil 1 har en kolhalt som överskrider 1,1 % och klassificeras därför som en *Typic Haplocryod*.

Profilerna i område A har inte tillräckligt utbildade horisonter för att klassas som *Spodosoler* utan hamnar istället i gruppen *Entisoler*. *Entisoler* är jordar med svag jordmånsbildning. Många är unga jordar där de jordmånsbildande processerna inte hunnit verka under tillräckligt lång tid för en bildning av diagnostiska horisonter. Andra finns i mycket kalla och torra klimat där den kemiska vittringen är väldigt långsam eller i sluttningar där vittringsprodukter förs bort av erosionen så fort de bildats (Rieger, 1983). Profilerna i område A klassificeras alla tre som *Typic Cryorthent*. De uppfyller inga diagnostiska kriterier förutom för klimatregimen som är *cryic*.

I FAO-Unesco systemet (FAO-Unesco, 1994) hamnar A profilerna i gruppen *Regosoler*. *Regosoler* är väl-dränerade jordar som inte har några andra diagnostiska horisonter än en *umbric* eller *ochric A-horizon*. Profilerna i område A klassificeras som *Dystric Regosols* då de har en basmättnadsgrad som är lägre än 50 %. För B profilerna finns ingen riktigt bra klassificering i FAO systemet. De uppfyller inte de krav som ställs på en *spodic B-horizon*, och kan därför inte klassificeras som *Podsolers*. Till skillnad från ST, där färgen spelar en viktig roll för klassificering av en *spodic-horizon*, lägger man i FAO systemet större vikt vid markkemiska parametrar såsom halten extraherbart Fe. Därför uppfyller B profilerna kraven för en *spodic-horizon* i ST men inte i FAO systemet. Samtidigt har de en *albic E-horizon* och hamnar därför utanför gruppen *Regosoler* som är det andra möjliga alternativet för klassificering enligt FAO.

Resultat

pH

Skillnaden i pH mellan profilerna är relativt liten i den översta horisonten med hög andel organiskt material. Variationen ligger mellan 4.1 och 4.9 pH-enheter. Ökningen av pH i de underliggande horisonterna är däremot mycket större i område B. I område A är ökningen av pH med djupet ungefär lika stor i alla tre profilerna. Om man tittar på hela profilen är pH då det är som högst ungefär en enhet högre i område B än i område A. I B-profilerna ligger de högsta värdena mellan 6.7 och 7.0 medan de i A ligger mellan 5.6 och 5.9. Även de naturligt surare profilerna i område A har ett relativt högt pH jämfört med motsvarande skogsjordar i södra Sverige (Tab. 2).

CEC

CEC-värdena är betydligt lägre i A- än i B- profilerna. I alla profilerna finner man de högsta värdena i O- respektive A-horisonterna. I B-profilerna sjunker värdena i en zon under O-horisonten för att sedan stiga djupare ned i profilen. I profil 2B och 3B är CEC i det djupast tagna provet särskilt högt. I A- profilerna fortsätter CEC-värdena att vara låga även djupare ned i profilerna (Tab. 2).

Basmätnadsgrad

I alla tre profilerna från område A är basmätnadsgraden ungefär lika låg. Värdena ligger mellan 27 % (i botten av profil 1A) och 3 % (övre delen av profil 3A). Skillnaden i basmätnad i en och samma profil är som mest ca 20 %. I område B är basmätnadsgraden mycket högre och variationerna inom profilerna betydligt större. I O-horisonten är basmätnadsgraden hög för att sedan i ett 10 och 30 cm djupt skikt sjunka. Därefter stiger den igen för att i botten av profilen nå upp till nästan 100 %. I Profil 2B varierar basmätnaden kraftigt i profilen, något som troligtvis beror på den stora mängd linser av vittrat skiffer som fanns i profilen. Både i profil 2B och 3B sjunker basmätnads-graden de nedersta tio centimetrarna. En orsak kan vara att det finns betydande mängder lateralt strömmande vatten som leder till en ökad utlakning av baskatjoner. Särskilt troligt är det i profil 2B där markprovet togs direkt ovanför berggrunden på 50 cm djup. Ca utgör huvuddelen av baskatjonerna i både område A och B. De andra tre jonslagen har vardera ungefär lika stora andelar, dock är mängden Mg något större än K och Na i område B medan det i A är K som dominerar över Mg och Na (Fig. 6).

Extraherbart Fe och Al

Den totala andelen Fe är betydligt större i B-profilerna. Där kan man också se tydliga tecken på podsolering. Framförallt i 1B och 2B har det skett en anrikning av Fe i B-horisonten och en utlakning i den överliggande E-horisonten. Längre ned i profilerna ligger halten av Fe på en jämn nivå. Det är det kristallint bundna Fe som dominerar såväl i B som i A profilerna. Organiskt bundet Fe i anrikningsskiktet ökar från profil 3B, där det är mindre än det amorft bundna, till 1B där förhållandet mellan organiskt och amorft bundet Fe är det motsatta. I profil 1 och 2A minskar Fe innehållet med djupet medan det i 3A har skett en anrikning i det 10 cm tjocka skikt som ligger direkt under O-horisonten. Någon överliggande E-horisont finns dock inte och man kan inte i någon av A-profilerna se tecken på podsolering. I jämförelse med halterna av Al är andelen Fe betydligt högre i profilerna både från område A och B (Fig. 7).

Profilerna från område A, framförallt profil 2A och 3A, har en högre total halt av Al än profilerna från område B. Halterna inom profilerna är relativt konstanta, en något högre halt kan dock observeras i de övre delarna. I A-profilerna är andelen organiskt bundet Al genomgående betydligt större än andelen oorganiskt bundet. I B-profilerna däremot minskar andelen organiskt bundet Al kraftigt med djupet medan andelen oorganiskt bundet Al är relativt konstant. Den totala halten Al ökar i båda områdena från profil 1 till profil 3. I B profilerna, framförallt i 1B och 2B har det skett en anrikning av organiskt bundet Al i B-horisonten. Ytterligare ett tecken på att det sker/skett en podsolering. I profil 3B är anrikningen inte lika tydlig (Fig. 8).

C, N och S

Hos B profilerna ligger andelen kol i O-horisonten mellan 20 och 25 %. I A-profilerna är kolhalterna i ytskiktet däremot så låga, undantaget 3A där den uppgår till 15.5%, att den övre horisonten klassificeras som en A-horisont. Minskningen av kolhalten med djupet är större i B profilerna än i profil 2A och 3A. 3A har på alla nivåer i profilen, förutom i O-horisonten, högre kolhalter än de andra profilerna.

Halterna av kväve i O-horisonten följer samma trend som kolhalterna. I B-profilerna ligger kvävehalten mellan 0.7 och 0.9 %. I område A ligger den strax över 0.1 %. Profil 3A skiljer sig från de två andra A-profilerna även ifråga om kväveinnehåll. Det ligger istället på samma nivå som B-profilernas. På ett större djup är skillnaden i kväveinnehåll mellan profilerna relativt liten.

Svavelhalterna är liksom kol- och kvävehalterna lägre i profil 1A och 2A. Andelen svavel i den översta horisonten ökar i område A med höjden över havet. I område B är förhållandet det motsatta dvs. halterna minskar med höjden. Vid ett profildjup av 3-20 cm ligger svavelhalten i alla profiler under detektionsgränsen (<0.005 %) (Tab. 2).

Mineralogi

Röntgendiffraktogrammen redovisas i figur 9 och 10. I provet från område A är det dominerande mineralet kvarts följt av i tur och ordning plagioklas, hornblände och glimmer. Mängden av de två sistnämnda är storleksmässigt antagligen ganska likartad. Plagioklasen är troligtvis en oligoklas. Det finns även spår av mikroklin (kalifälspat) i storleksordningen en femtedel av halten plagioklas. Spår finns också av vermikulit och klorit. Mineralen i provet från område B är till största delen desamma som mineralen från område A men mängdfördelningen är annorlunda. I B provet förekommer betydande inslag av sekundärt bildad vermikulit. B provet innehåller också troligtvis något mera glimmer medan mängden hornblände är mindre. Halterna av kvarts, plagioklas och mikroklin uppvisar inga större skillnader mellan provplatserna.

Den mineralogiska sammansättningen i provet från område B indikerar kraftigare vittring än provet från område A vilket överensstämmer med fältobservationerna och övriga analyser

Mätningar av baskatjoner i vattendrag

Enligt de analyser av vatten från sjöar i de två provtagningsområdena var sjöarna i båda områdena obetydligt påverkade av försurning men sjöarna i område A var naturligt sura.

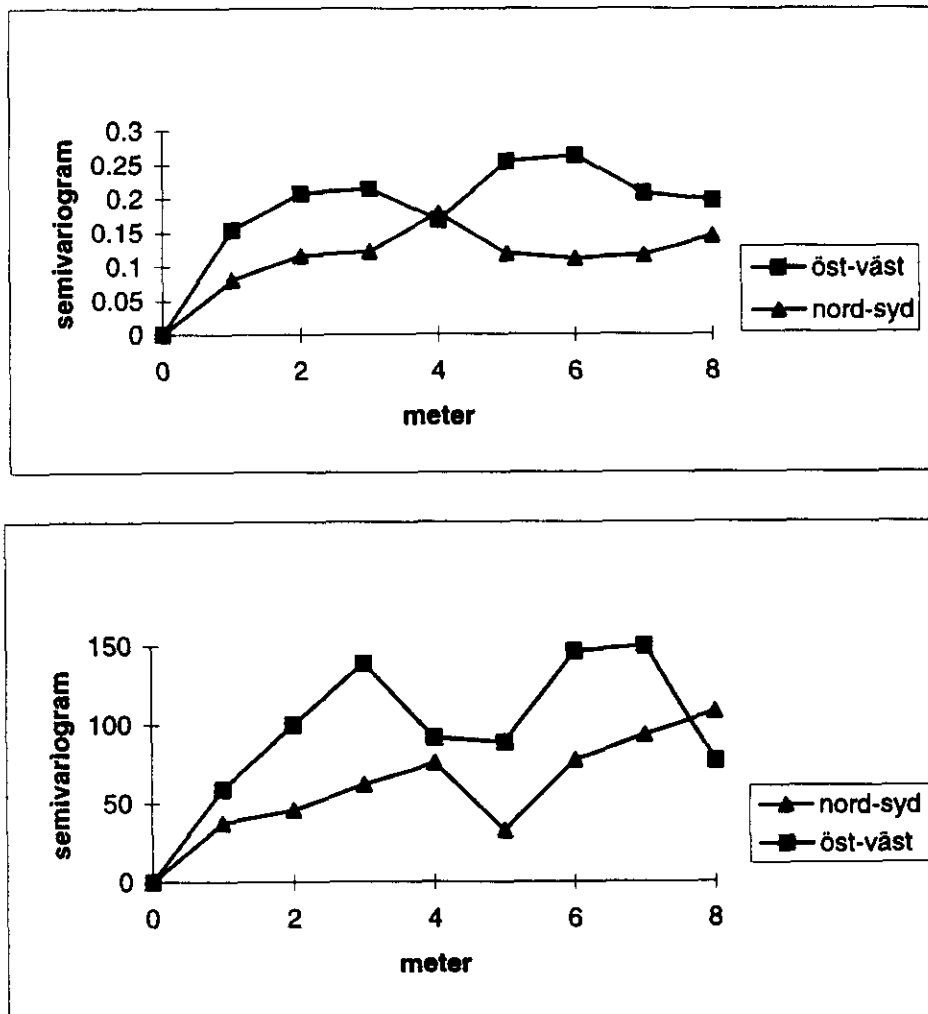
Någon kvantitativ jämförelse av halterna av baskatjoner mellan jordprofilerna och vattendragen är inte möjlig men man kan konstatera att i området med höga alkalinitetsvärden (område B) var mängden baskatjoner mycket högre både i vattnen och i jordprofilerna. I området med låga alkalinitetsvärden (område A) var förhållandena de motsatta. I vattnen var halten Ca mellan 60 och 80 gånger högre i område B än i område A. Halterna av Mg var ung. 10 ggr högre, Na ung. dubbelt så höga och K ung. tre ggr högre i område B (Tab. 1 & 3).

Tabell 1. Data från provtagning av vattendrag (Länsstyrelsen i Norrbotten)

Vattendrag	pH	alkalinitet	Ca mekv/l	Mg mekv/l	Na mekv/l	K mekv/l
Område A	5.84	0.01	0.0165	0.0034	0.0117	0.0051
	6.06	0.01	0.0110	0.0033	0.0052	0.0051
	6.02	0.01	0.0135	0.0034	0.0070	0.0051
	5.92	0.008	0.0135	0.0033	0.0074	0.0051
Område B	7.84	0.864	0.918	0.0395	0.0143	0.0184
	6.94	0.72	0.753	0.0699	0.0165	0.0171
	7.57	0.74	0.783	0.0362	0.0231	0.0153
	7.65	0.572	0.619	0.0329	0.0170	0.0199

Undersökning av spatial variation

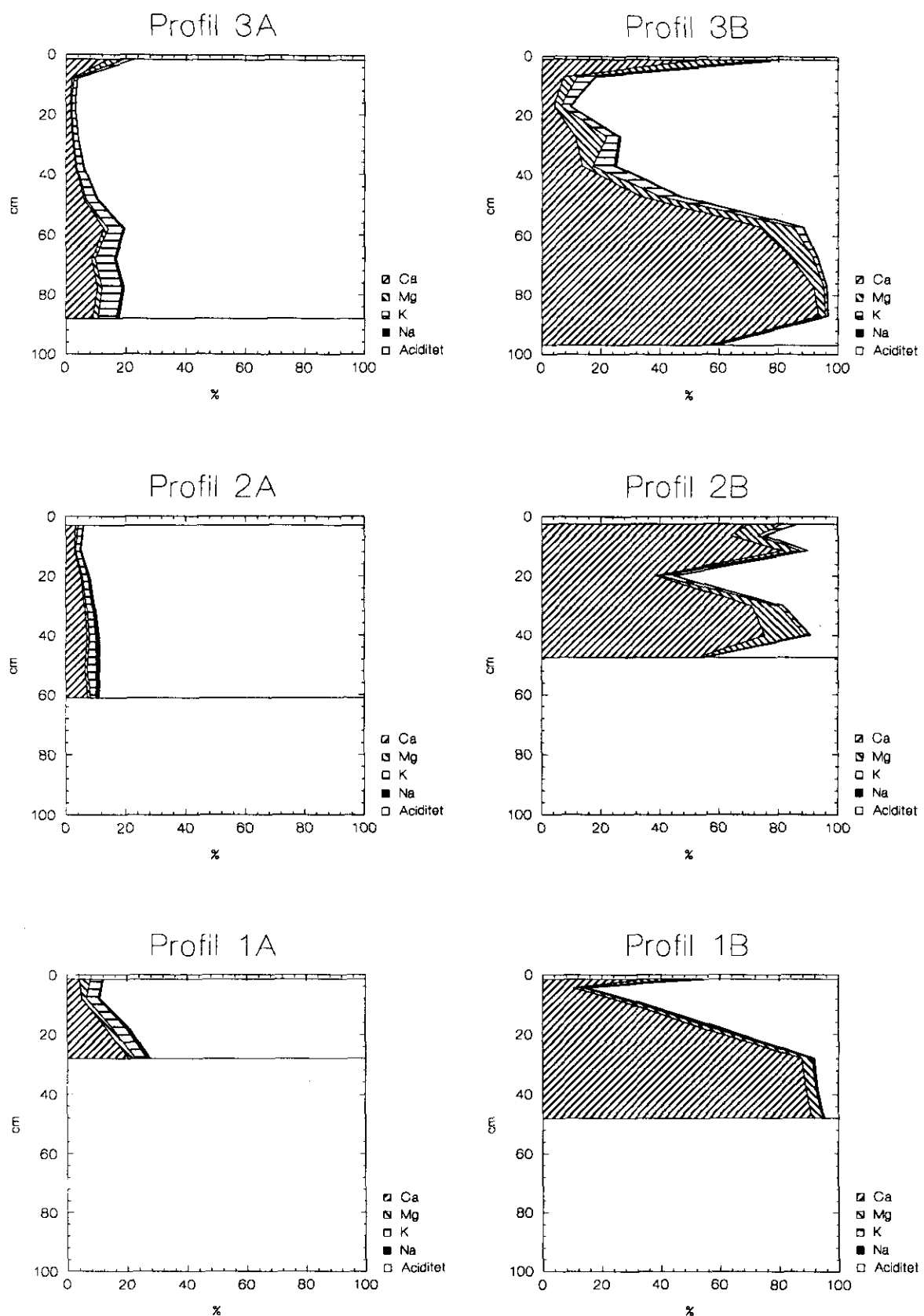
Semivariogram från de båda områdena beskriver variationen inom de uppmätta parametrarna (pH och kolhalt) i ett mindre område. Vid det avstånd där kurvan börjar plana ut kan man säga att de mätta variablerna är oberoende av varandra. (Fig. 5). Detta avstånd ligger i de aktuella fallen på ungefär fyra meter. Inga direkta trender noterades med undantag för kolhalten i nordsydlig riktning i område B. Där finns det en trend i kolhalten längsmed sluttningen. Avvikande värden i diagrammen beror i de flesta fall på att ett avvikande analysvärde i beräkningarna fått stort genomslag p.g.a. för få värden i materialet.



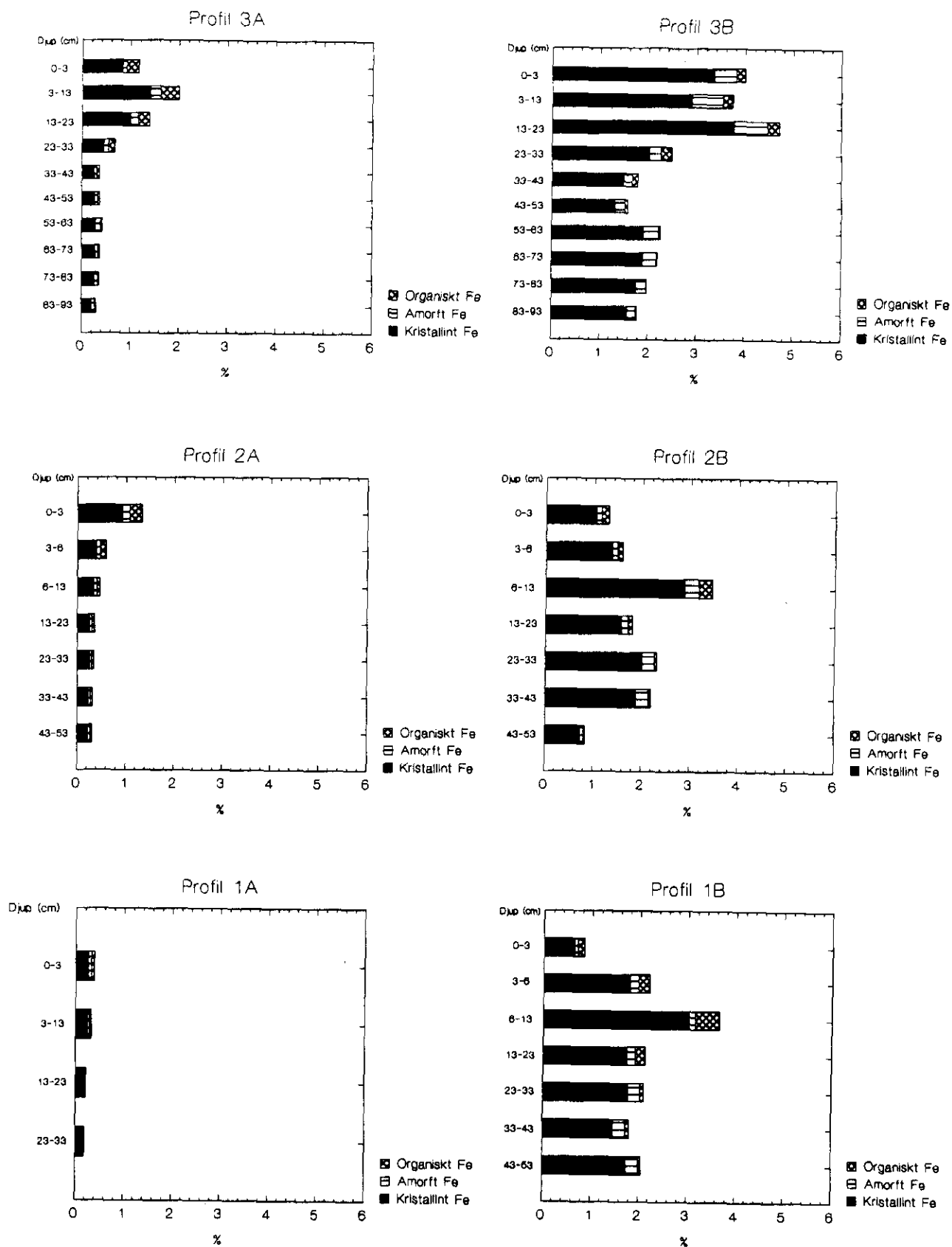
Figur 5. Semivariogram som visar autokorrelationen mellan prover från område B för pH (det övre diagrammet) och kolhalt (det undre diagrammet).

Tabell 2. Data för pH, CEC, kol, kväve, svavel och kolkvävekvot från analyser av jordprofilerna

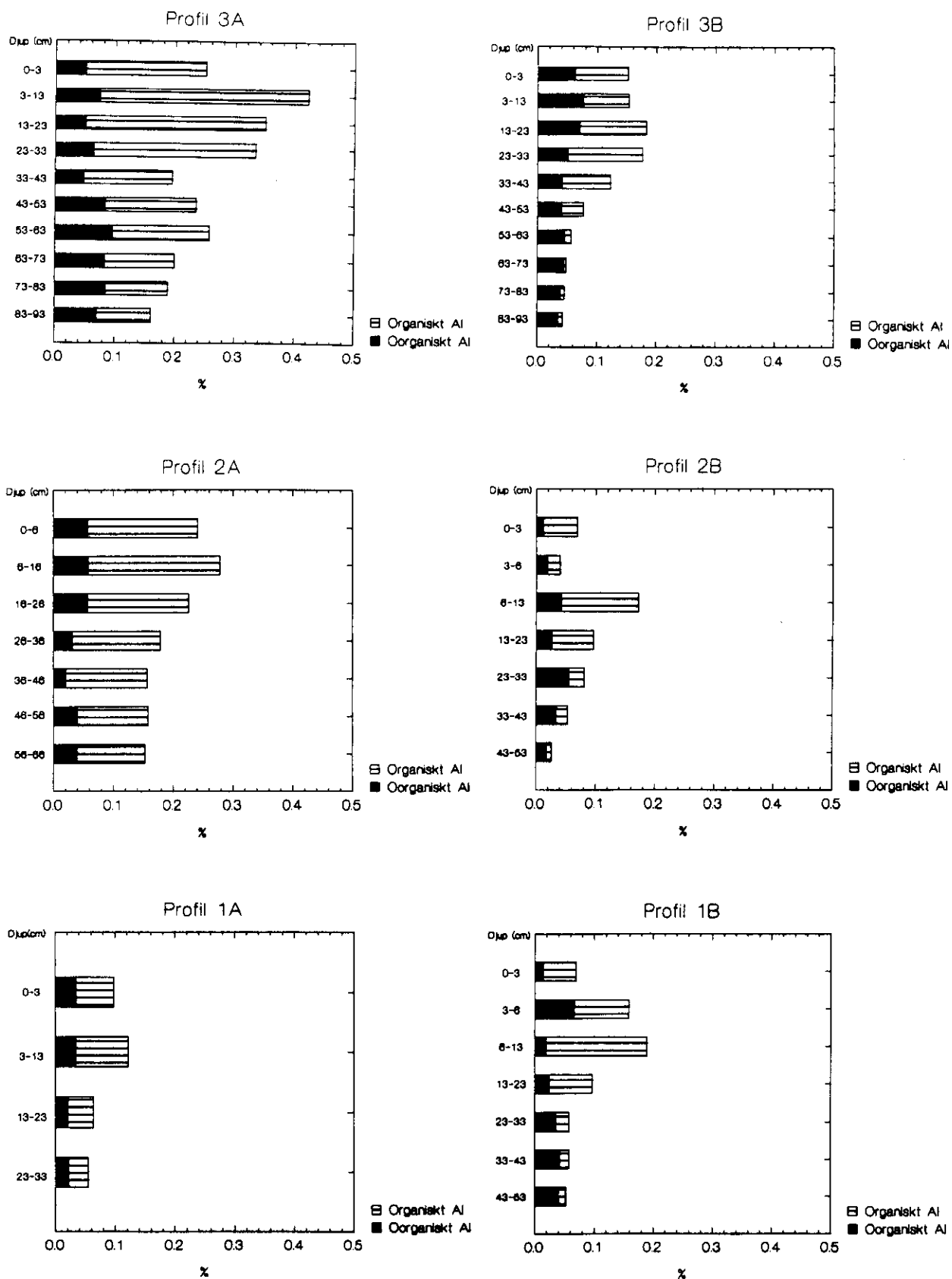
Område A	Djup cm	pH H₂O	CEC mmol/kg	Kol %	Svavel %	Kväve %	C/N
Profil 1A	O-hor	4.81	27.6	2.27	0.012	0.134	16.9
	0-10	5.39	5.61	0.388	< 0.005	0.065	5.97
	10-20	5.54	2.89	0.146	< 0.005	0.049	2.98
	20-30	5.61	3.44	0.086	< 0.005	0.035	2.46
Profil 2A	O-hor	4.74	25.8	1.72	0.014	0.144	12.0
	0-10	5.01	11.9	0.961	0.006	0.068	14.1
	10-20	5.47	7.92	0.597	< 0.005	0.052	11.5
	20-30	5.67	6.91	0.470	< 0.005	0.043	10.9
	30-40	5.62	5.77	0.410	< 0.005	0.032	12.8
	40-50	5.59	6.25	0.332	< 0.005	0.030	11.1
	50-60	5.07	6.77	0.331	< 0.005	0.028	11.8
Profil 3A	O-hor	4.48	83.6	15.5	0.079	0.828	18.7
	0-10	5.39	24.1	2.64	0.014	0.156	16.9
	10-20	5.54	18.6	1.55	0.009	0.096	16.2
	20-30	5.61	14.3	1.12	< 0.005	0.065	17.2
	30-40	5.44	8.63	0.501	< 0.005	0.031	16.2
	40-50	5.54	7.96	0.404	< 0.005	0.038	10.6
	50-60	5.63	6.94	0.337	< 0.005	0.033	10.2
	60-70	5.65	6.91	0.237	< 0.005	0.035	6.77
	70-80	5.86	7.60	0.213	< 0.005	0.024	8.88
	80-90	5.84	6.53	0.182	< 0.005	0.027	6.74
Område B	Djup cm	pH H₂O	CEC mmol/kg	Kol %	Svavel %	Kväve %	C/N
Profil 1B	O-hor	4.07	91.1	24.7	0.076	0.866	28.6
	E-hor 0-3	4.53	56.5	2.58	0.015	0.189	13.6
	3-10	5.23	31.5	1.37	0.008	0.119	11.5
	10-20	6.01	15.8	0.441	< 0.005	0.050	8.82
	20-30	6.33	41.0	0.209	< 0.005	0.037	5.65
	30-40	6.47	45.5	0.230	< 0.005	0.039	5.90
	40-50	6.66	44.6	0.190	< 0.005	0.044	4.32
Profil 2B	O-hor	4.47	105	20.8	0.063	0.816	25.4
	E-hor 0-3	4.43	17.6	1.04	< 0.005	0.080	13.1
	3-10	6.44	30.7	1.03	0.007	0.090	11.4
	10-20	6.57	20.9	0.291	< 0.005	0.044	6.61
	20-30	6.64	31.4	0.191	< 0.005	0.038	5.03
	30-40	5.91	21.5	0.155	< 0.005	0.035	4.43
	40-45	7.02	75.9	0.030	0.011	0.028	1.07
Profil 3B	O-hor	4.39	62.8	20.0	0.051	0.722	27.7
	0-10	5.19	6.20	0.706	0.007	0.071	9.94
	10-20	5.4	8.60	0.338	0.005	0.061	5.54
	20-30	5.44	5.46	0.553	0.007	0.063	8.78
	30-40	5.55	4.38	0.434	< 0.005	0.063	6.89
	40-50	5.98	5.85	0.279	< 0.005	0.048	5.81
	50-60	6.22	18.9	0.166	< 0.005	0.048	3.46
	60-70	6.55	34.8	0.158	< 0.005	0.043	3.67
	70-80	6.68	57.4	0.122	< 0.005	0.039	3.13
	80-90	6.86	54.3	0.122	< 0.005	0.035	3.49
	90-100	6.88	103	0.120	< 0.005	0.035	3.43



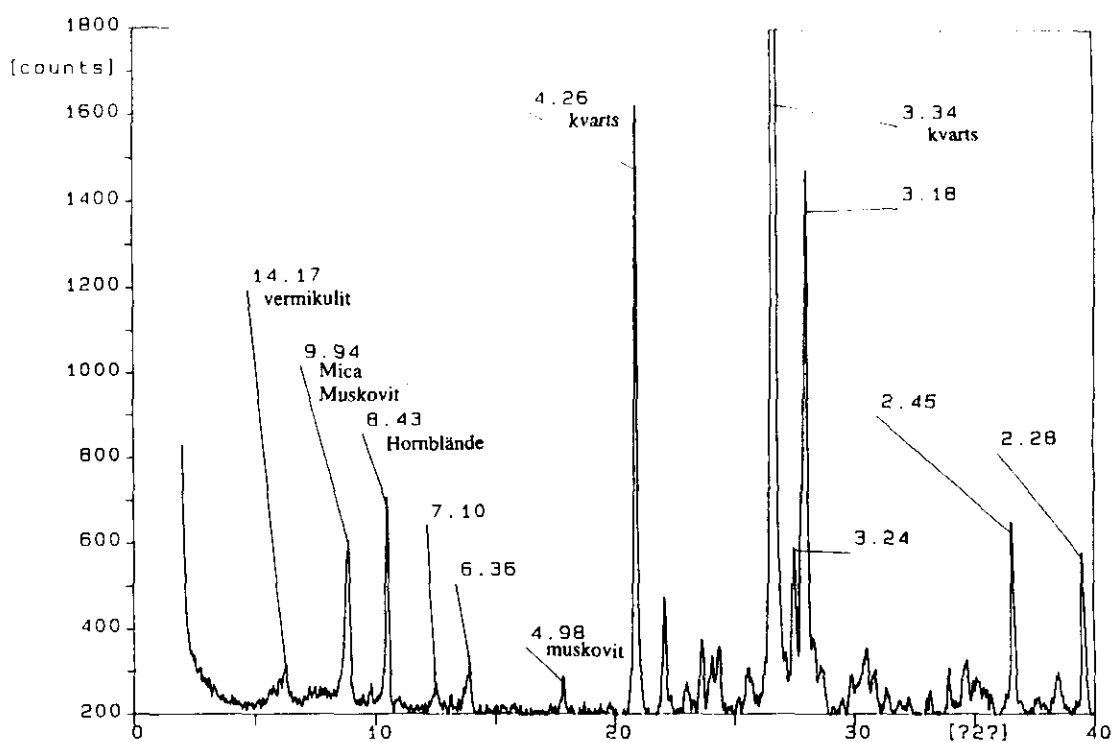
Figur 6. Procentuell andel baskatjoner och aciditet i profilerna.



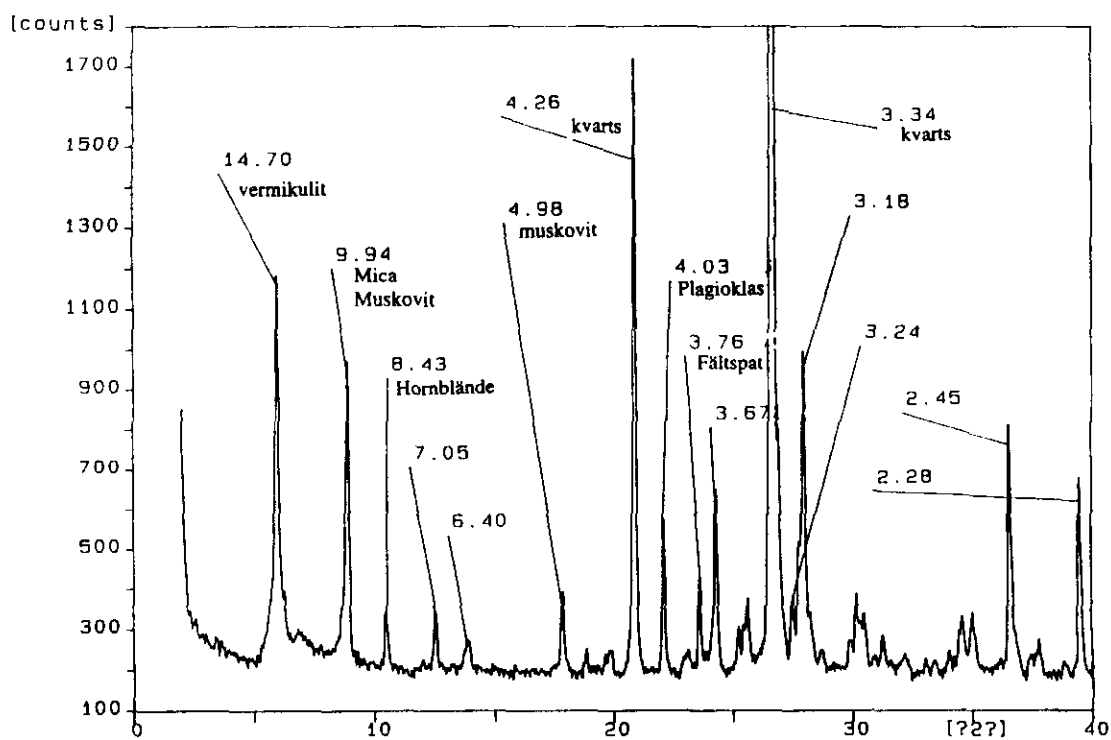
Figur 7. Extraherbart Fe i profilerna.



Figur 8. Extraherbart Al i profilerna.



Figur 9. Röntgendiffraktogram för fraktionen 65-125 μm från A provet.



Figur 10. Röntgendiffraktogram för fraktionen 65-125 μm från B provet.

Diskussion

Jordmånsutveckling

Undersökningar av markprofilerna visar stora skillnader i graden av jordmånsutveckling mellan de båda områdena. Jordmånerna i område A är morfologiskt obetydligt utvecklade och saknar tydliga diagnostiska horisonter medan profilerna från område B har både tydliga E- och B-horisonter och kan klassificeras som *Spodosoler*. Halterna av extraherbart Fe och Al är också lägre i område A i jämförelse med område B (Fig. 7 & 8). Resultaten av röntgenanalysen indikerar att vittringen i område B har varit mer intensiv. På grund av den mer svårvittrade berggrunden i område A har det där inte skett någon podsoler till skillnad från i område B där modernmaterial är mer lättvittrat och det därför kunnat ske en utveckling av podsoler. I skogsmark är förhållandena vanligtvis de motsatta d.v.s. det är jordar med svårvittrat modernmaterial som ger upphov till podsoler medan mer vittringsbenäget modernmaterial skapar brunjordar. Podsoler brukar också förknippas med barrskogsområden men Marett *et al.* (1987) visar i en studie av jordar i Alaska att podsoler kan ske även då vegetationstäcket är sparsamt och i huvudsak består av lavar och ris. Område A är beläget cirka 100 meter högre än område B vilket påverkar lokalklimatet och växtligheten. Studier gjorda i Alaska visar att B-horisontens mäktighet och jordmånens djup minskar med höjden över havet (Ugolini *et al.*, 1981). Skillnaden i jordmånsutveckling mellan profilerna är emellertid så stor att den inte endast kan förklaras med skillnad i altitud.

Skillnaderna i morfologi, mängd ackumulerade sekundära Fe och Al föreningar i B-horisonten samt mineralogisk sammansättning indikerar att det är modernmaterialens vittringsbenägenhet som är avgörande för skillnaderna i jordmånsutveckling.

Markkemisk status och försurning

Som ett komplement till jordmånsklassificeringen gjordes analyser för att studera den kemiska statusen i jordprofilerna. Mot bakgrund av den omfattande markförsurning som redovisats för jordar i södra och mellersta Sverige lades störst vikt vid beskrivningen av marken syra-bas status. Försurning av jordar brukar definieras som en minskad förmåga att neutralisera syror (van Breemen *et al.*, 1983). Undersökning av profilerna visar inga klara tecken på försurning. Att aciditeten är hög i den övre delen av profilen är normalt. Den biologiska aktiviteten är störst i de övre markskikten där också majoriteten av rötterna finns. Utbytesreaktioner d.v.s. växternas upptag av baskatjoner och avgivande av vätejoner är en naturlig försurande process som är kraftigast i denna övre zon. Aciditeten i profilerna sjunker sedan med djupet vilket tyder på att marken inte är utsatt för någon omfattande antropogen försurning.

pH-värdena i alla profiler är höga jämfört med de värden som uppmätts i kraftigt försurningspåverkad skogsmark i södra Sverige. Även i det surare område A är markens pH ungefär en enhet högre än i sydvästra Sverige (Karlton, 1995). De lägre pH värdena i område A kan förklaras med naturlig surhet som beror på låg vittringshastighet och modernmaterialens lägre innehåll av baskatjoner. Ett pH-värde i marken på 5.5 kan för en sådan jord betraktas som naturligt. Det högre CO₂ trycket i markens övre skikt som

beror av markorganismernas respiration och nedbrytning av det organiska materialet kan förklara ett lägre pH i de övre markskikten. Om pH däremot är lågt (<5) djupare ned i profilen indikerar det påverkan av antropogen syrabelastning.

Det oftast tunna jordtäcket och den mestadels grova strukturen hos fjälljordarna gör att marken vid surt nedfall relativt snabbt töms på sitt förråd av baskatjoner. Fördröjningen från det att marken börjar försuras tills dess att man ser effekter i vattendragen är därför troligen liten. Vid snösmältningen då avrinningen av smältvatten är så ytlig och snabb att en stor del av smältvattnet når ut i vattendragen utan att ha passerat något markskikt kan man få en tillfälligt kraftig påverkan på vattendrag med låg alkalinitet en s.k. surstöt som inte motsvaras av någon mätbar försurningspåverkan i marken.

Mängden baskatjoner skiljer mycket mellan de båda studerade områdena och halterna av baskatjoner i de omkringliggande vattendragen uppvisar samma mönster, det vill säga i område B är halterna av baskatjoner i vattendragen mycket högre än i område A och vattendragen har en hög alkalinitet som ger god motståndskraft mot försurningspåverkan (Tab.1). Den största bidragande orsaken till denna skillnad finner man i berggrundens vittringsbenägenhet och dess innehåll av baskatjoner. Enligt Naturvårdsverket är vattendragen i område A obetydligt påverkade av försurning men har en naturligt låg alkalinitet medan vattendragen i område B klassificeras som obetydligt försurade (Monitor, 1991).

Miljöövervakning

Under senare tid har ett antal olika program för övervakning av förändringar i mark, luft och vatten initierats (Monitor, 1985). Få undersökningar har emellertid gjorts av marken i fjällområdet. Miljöövervakning utförs för att identifiera och kvantifiera förändringar i miljön och då är det nödvändigt med tillgång till grunddata som utgångspunkt för vidare studier. Ett allmänt intresse av att ha tillgång till grunddata är en anledning som kan motivera behovet av en kartläggning av jordmånen i fjällområdet. Undersökning av förändringar av markens kolförråd beroende bl.a. på överbetning och mänskligt slitage är en annan faktor som kan motivera en övervakning av jordarna. När det däremot gäller deposition av försurande ämnen, kan det utifrån dagens situation inte anses motiverat med en övervakning av fjälljordarna då effekterna är små och depositionen troligtvis minskar (Granat, pers.kom.).

Det kan finnas flera olika metoder som lämpar sig för en övervakning av fjälljordar. En metod är en yttäckande övervakning av permanenta ytor liknande ståndortskarteringen som utförs i Sveriges skogsmark. Resultaten från denna typ av undersökning ger ett objektiva underlag som är möjligt att generalisera för hela fjällområdet. Det är emellertid en arbets- och tidskrävande undersökningsform. I fjällen finns också den specifika svårigheten med jordflytning som gör att undersökning av samma geografiska position en tid senare inte nödvändigtvis behöver betyda undersökning av samma jord.

En annan möjlighet är att utföra en yttäckande undersökning inom ett eller flera mindre referensområden. Det är en mindre kostnadskrävande metod men i gengäld blir det svårare att generalisera informationen till att gälla hela fjällkedjan.

En tredje möjlighet är utläggande av långa transekter för provtagning. Därefter är det möjligt att med hjälp av geostatistik undersöka provens autokorrelation och

eventuella statistiska samband samt tidsmässiga och geografiska trender. De geostatistiska undersökningarna som gjorts av profilerna visar t.ex. en viss trend i kolhalt längs med sluttningen (Fig. 5) men fler provpunkter behövs för att statistiskt säkerställa trenden. Vid uppläggning av nät för provtagningsytor bör man också ta med i beräkningarna det antal provpunkter där data faller bort p.g.a. att punkterna hamnar på exempelvis berg. En beräkning av den andel av marken i område A och B som består av block- och hållmark, extrem snölega, glaciär samt vatten visar att dessa naturtyper i område A upptar 35 % och i område B 22 % av den totala arealen (Naturvårdsverket, 1981). Vid ett slumpmässigt urval av provtagningsytor kan man därmed förvänta sig att mellan en fjärdedel och en tredjedel av ytorna faller bort.

En ytterligare möjlighet kan vara att använda sig av fjärranalys för att utföra en kartläggning av jordmånen. Fjärranalys kan anses ha en större potential för övervakning av marken i fjällen än i skogsområden men den låga spatiala korrelationen för de markkemiska variablerna minskar potentialen för möjligheterna att använda fjärranalysen för övervakning av dessa variabler. Initialt kräver fjärranalysen en lika stor fältarbetsinsats som en normal kartering även om den på sikt innebär ett minskat behov av fält data.

Referenslista

- Adriellsson, L., Berglund, B., Björck, S & Liljegren, R. 1991. *Geovetenskap för naturvetare*. Lund. Lunds Universitet, Geologiska institutionen & Naturgeografiska institutionen.
- Birkeland, P. W. 1984. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press. New York.
- Brady, N. 1990. *Nature and properties of soils* 10th ed. Macmillan Publishing Company.
- van Breemen, N., Mulder, J. & Driscoll, C. T. 1983. *Acidification and alkalization of soils*. Plant and Soil. 75, 283-308.
- Clark, I. 1979. *Practical geostatistics*. Applied science publishers Ltd. England.
- Collins, J. F. & O'Dubhain, T. 1980. *A micromorphological study of silt concentrations in some Irish Podzols*. Geoderma. 24, 215-224.
- Farmer, V.C. 1982. *Significance of the presence of allophane and imogolite in podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: a review*. Soil science Plant nutrition. 28 (4), 571-578.
- Fedorova, N. M. & Yarilova, E. A. 1972. *Morphology and genesis of prolonged seasonally frozen soils of western Siberia*. Geoderma 7, 1-13.
- FAO-Unesco. 1994. *Soil Map of the World*. Revised legend. Reprint with corrections 1990. Rome..
- FAO. 1990. *Guidelines for soil description*. 3rd Edition (revised). Rome.
- Harris, C. & Ellis, S. 1980. *Micromorphology of soils in soliflucted materials, Okstindam, northern Norway*. Geoderma 23, 11-29.
- ISRIC. 1987. *Procedures for soil analysis*. Technical paper No.9, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, 60pp.
- Karlton, E. 1995. *Acidification of forest soils on glacial till in Sweden*. Naturvårdsverket. Stockholm.
- Kulling, O. 1982. *Översikt över södra norrbottenfjällens kaledonberggrund*. Uppsala. Sveriges Geologiska Undersökning. Serie Ba. Översiktskartor med beskrivningar. Nr 26.
- Makeev, O. W. & Kerzhentsev, A. S. 1974. *Cryogenic processes in the soils of northern Asia*. Geoderma. 12, 101-109.
- Marrett, D. J., Stoner, M. G. & Ugolini, F. C. 1987. *Arctic pedogenesis; 1. Evidence for contemporary podzolization*. Soil Science. 144 (2), 90-100.
- Messing, I. 1992. *Beskrivning av markprofiler i fält i kursen Hy 2*.
- Monitor. 1985. *PMK: På vakt i naturen*. Naturvårdsverket Informerar. Stockholm.
- Monitor. 1991. *Försurning och kalkning av svenska vatten*. Naturvårdsverket Informerar. Stockholm.
- Naturvårdsverket, 1981. *Vegetationskarta över de svenska fjällen*. Kartblad nr 8 Sulitelma & kartblad nr 10 Pieljekaise. LiberKartor. Stockholm.
- Naumov, Ye. M., Karavayev, N. A & Vasil'yevskaya, V. D. 1993. *Formation of the structure of the soil mantle in polar regions*. Eurasian Soil Science. 26 (5), 1-15.
- Rieger, S. 1983. *The genesis and classification of cold soils*. Academic Press Inc. New York.

SMHI. 1991. *Meteorologi Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler.* Rapport nr 81, Norrköping.

Smith, J. 1956. *Some moving soils in Spitsbergen.* Journal of soil science. 7, 10-21.

Soil survey staff. 1992. *Keys to soil taxonomy.* fifth edition. SMSS Technical Monograph No.19
Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia.

Ulfstedt, A. 1979. *Geomorfologiska kartbladet 27G Sulitelma.* Naturvårdsverket Rapport.

Ugolini, F. C., Hedges, J. I., Rau, G. H. & Reanier, R. E. 1981. *Pedological, isotopic, and geochemical investigation of the soils at the boreal forest and alpine tundra transition in northern alaska.* Soil Science. 131, 359-374.

Ugolini, F. C. & Dahlgren, R. 1986. *The mechanism of podzolization as revealed by soil solution studies.* College of forest resources University of Washington, Seattle.

Wiklander, L. 1976. Marklära. Lantbrukshögskolan. Uppsala

Personliga meddelanden

Granat, L. Inst. för Meteorologi. Stockholms Universitet.

Johannessen, T. Statens forurensningstillsyn. Oslo. Norge.

Appendix

Tabell 3. Analysdata från profilerna. Halten av Ca, Mg, K, Na och Mn i mmol/ kg

Område A	Djup cm	Ca mmol/kg	Mg mmol/kg	K mmol/kg	Na mmol/kg	Mn mmol/kg
Profil 1A	O-hor	1.17	0.978	1.11	0.086	0.026
	0-10	0.278	0.084	0.219	0.034	0.002
	10-20	0.377	0.064	0.132	0.031	0.002
	20-30	0.707	0.074	0.126	0.047	0.004
Profil 2A	O-hor 0-6	0.880	0.252	0.424	0.023	0.007
	0-10	0.329	0.044	0.180	0.034	0.002
	10-20	0.416	0.039	0.138	0.060	0.000
	20-30	0.440	0.044	0.132	0.068	0.000
	30-40	0.407	0.049	0.124	0.070	0.000
	40-50	0.407	0.049	0.187	0.073	0.000
	50-60	0.488	0.069	0.118	0.081	0.000
Profil 3A	0-3	11.9	4.50	2.68	0.149	0.249
	0-10	0.479	0.173	0.281	0.039	0.002
	10-20	0.281	0.064	0.213	0.021	0.000
	20-30	0.308	0.049	0.235	0.029	0.000
	30-40	0.287	0.044	0.186	0.029	0.000
	40-50	0.470	0.054	0.281	0.039	0.002
	50-60	0.883	0.099	0.339	0.047	0.004
	60-70	0.587	0.084	0.436	0.050	0.002
	70-80	0.799	0.118	0.499	0.068	0.002
	80-90	0.590	0.118	0.396	0.063	0.002
Område B	Djup cm	Ca mmol/kg	Mg mmol/kg	K mmol/kg	Na mmol/kg	Mn mmol/kg
Profil 1B	O-hor	31.4	12.2	6.12	0.329	1.02
	E-hor 0-3	5.93	1.81	0.550	0.084	0.066
	3-10	8.86	0.968	0.494	0.104	0.015
	10-20	8.62	0.592	0.338	0.120	0.024
	20-30	35.9	1.46	0.203	0.104	0.070
	30-40	40.6	1.53	0.192	0.086	0.042
	40-50	40.7	1.56	0.161	0.112	0.028
Profil 2B	O-hor	73.8	12.2	4.88	0.579	0.432
	E-hor 0-3	11.3	1.58	0.362	0.084	0.024
	3-10	24.9	1.83	0.761	0.086	0.026
	10-20	8.11	0.306	0.933	0.104	0.015
	20-30	22.3	2.74	0.497	0.094	0.072
	30-40	16.2	2.91	0.342	0.060	0.125
	40-45	40.3	1.49	0.289	0.047	0.039
Profil 3B	O-hor	32.7	15.0	3.16	0.133	4.49
	0-10	0.455	0.286	0.358	0.026	0.079
	10-20	0.338	0.212	0.261	0.023	0.042
	20-30	0.620	0.578	0.216	0.039	0.039
	30-40	0.602	0.153	0.319	0.039	0.028
	40-50	1.95	0.385	0.385	0.044	0.015
	50-60	13.9	2.15	0.540	0.084	0.026
	60-70	29.1	2.65	0.537	0.094	0.035
	70-80	52.7	1.99	0.500	0.099	0.048
	80-90	50.9	1.17	0.457	0.094	0.039
	90-100	58.1	1.74	0.620	0.136	0.046

Tabell 4. Analysdata från profilerna. Fe, Si och Al extraherat med oxalat, Fe och Mn extraherat med dithionit samt Fe och Al extraherat med pyrofosfat

Område A	Djup cm	Fe _{oxalat} %	Si _{oxalat} %	Al _{oxalat} %	Fe _{dithionit} %	Mn _{dithionit} %	Fe _{pyrofosfat} %	Al _{pyrofosfat} %
Profil 1A	O-hor	0.122	0.011	0.097	0.384	<0.05	0.058	0.063
	0-10	0.083	0.022	0.122	0.321	<0.05	0.043	0.088
	10-20	0.049	0.017	0.064	0.217	<0.05	0.024	0.043
	20-30	0.041	0.027	0.054	0.187	<0.05	0.012	0.033
Profil 2A	O-hor	0.410	0.013	0.240	1.329	<0.05	0.256	0.184
	0-10	0.200	0.018	0.278	0.591	<0.05	0.118	0.220
	10-20	0.134	0.024	0.226	0.465	<0.05	0.065	0.169
	20-30	0.104	0.045	0.179	0.360	<0.05	0.055	0.147
	30-40	0.093	0.024	0.157	0.348	<0.05	0.048	0.137
	40-50	0.088	0.030	0.158	0.321	<0.05	0.040	0.118
	50-60	0.088	0.026	0.153	0.309	<0.05	0.037	0.114
Profil 3A	O-hor	0.345	0.008	0.250	1.17	<0.05	0.251	0.201
	0-10	0.595	0.018	0.423	2.00	<0.05	0.383	0.349
	10-20	0.393	0.018	0.350	1.39	<0.05	0.239	0.300
	20-30	0.228	0.033	0.335	0.678	<0.05	0.127	0.271
	30-40	0.112	0.032	0.195	0.360	<0.05	0.056	0.148
	40-50	0.111	0.046	0.236	0.372	<0.05	0.042	0.152
	50-60	0.140	0.089	0.258	0.426	<0.05	0.037	0.162
	60-70	0.092	0.066	0.200	0.366	<0.05	0.029	0.117
	70-80	0.093	0.056	0.188	0.357	<0.05	0.023	0.104
	80-90	0.090	0.056	0.161	0.300	<0.05	0.021	0.091
Område B	Djup cm	Fe _{oxalat} %	Si _{oxalat} %	Al _{oxalat} %	Fe _{dithionit} %	Mn _{dithionit} %	Fe _{pyrofosfat} %	Al _{pyrofosfat} %
Profil 1B	O-hor 0-3	0.212	0.002	0.069	0.837	<0.05	0.137	0.055
	E-hor 0-3	0.410	0.024	0.158	2.21	<0.05	0.233	0.092
	3-10	0.630	0.020	0.189	3.65	<0.05	0.500	0.170
	10-20	0.375	0.016	0.096	2.12	<0.05	0.207	0.073
	20-30	0.325	0.025	0.057	2.09	<0.05	0.074	0.022
	30-40	0.333	0.022	0.058	1.79	<0.05	0.075	0.016
	40-50	0.303	0.020	0.052	2.04	<0.05	0.056	0.012
Profil 2B	O-hor 0-5	0.263	0.004	0.068	1.29	<0.05	0.154	0.057
	E-hor 0-3	0.219	0.004	0.040	1.59	<0.05	0.113	0.021
	3-10	0.573	0.017	0.172	3.45	<0.05	0.282	0.130
	10-20	0.227	0.017	0.096	1.80	<0.05	0.094	0.070
	20-30	0.308	0.034	0.081	2.31	<0.05	0.045	0.026
	30-40	0.313	0.018	0.053	2.19	0.054	0.045	0.019
	40-45	0.099	0.012	0.025	0.828	<0.05	0.019	0.008
Profil 3B	O-hor 0-2	0.510	0.019	0.151	2.57	<0.05	0.126	0.084
	0-10	0.780	0.020	0.153	5.43	0.064	0.249	0.096
	10-20	0.858	0.026	0.154	3.74	0.058	0.207	0.077
	20-30	0.945	0.027	0.183	4.71	<0.05	0.251	0.112
	30-40	0.465	0.024	0.176	2.48	<0.05	0.226	0.126
	40-50	0.300	0.023	0.122	1.78	<0.05	0.120	0.082
	50-60	0.260	0.019	0.077	1.57	<0.05	0.062	0.037
	60-70	0.358	0.022	0.057	2.26	<0.05	0.041	0.011
	70-80	0.305	0.023	0.048	2.19	<0.05	0.022	0.004
	80-90	0.232	0.023	0.045	1.98	<0.05	0.018	0.007
	90-100	0.203	0.020	0.042	1.78	<0.05	0.024	0.008

Artlista

Artlistan är inte någon fullständig inventering av områdenas växtlighet utan ett försök till beskrivning av lokalerna med avseende på vegetation.

Provplats A

Fjällfibblor *Hieracium alpina*
Fjällsyra *Oxyria digyna*
Fjällveronika *Veronica alpina*
Isranunkel *Ranunculus glacialis*
Kråkbär *Empetrum hermaphroditum*
Lappljung *Phyllodoce caerulea*
Lappspira *Pedicularis lapponica*
Ripbär *Arctostaphylos alpinus*
Stjärnbräcka *Saxifraga stellaris*

Provplats B

Blåbär *Vaccinium myrtillus*
Brudsporre *Gymnadenia conopsea*
Dvärgbjörk *Betula nana*
Dvärgfingerört *Sibbaldia procumbens*
Fjällbinka *Erigeron uniflorus*
Fjälldunört *Epilobium hornemannii*
Fjällgentiana *Gentiana nivalis*
Fjällglim *Silene acaulis*
Fjällkvanne *Angelica archangelica*
Fjällögontröst *Euphrasia frigida*
Fjällskallra *Rhinantus groenlandicus*
Fjällviol *Viola biflora*
Grönkulla *Coeloglossum viride*
Gullbräcka *Saxifraga aizoides*
Hjortron *Rubus chamaemorus*
Hönsbär *Cornus suecica*
Humbleblomster *Geum rivale*
Knoppbräcka *Saxifraga cernua*
Kråkbär *Empetrum hermaphroditum*
Kung karls spira *Pedicularis sceptrum-carolinum*
Lappspira *Pedicularis lapponica*
Midsommarblomster *Geranium sylvaticum*
Nordisk stormhatt *Aconitum septentrionale*
Ormrot *Polygonum viviparum*
Polarull *Eriophorum scheuchzeri*
Ripbär *Arctostaphylos alpinus*
Rödblåra *Silene dioica*
Rosenrot *Sedum rosea*
Skogsstjärna *Trientalis europaea*
Slätterblomma *Parnassia palustris*
Smörbollar *Trollius europaeus*
Svarthö *Bartsia alpina*
Tätört *Pinguicula vulgaris*
Torta *Lactua alpina*
Viden *Salix sp.*

Provplatsernas geografiska positioner

Provplats	Position	
Profil 1A	RAK 740888N 152902Ö	66°78'N 16°47'Ö
Profil 2A	RAK 740885N 152896Ö	66°78'N 16°46'Ö
Profil 3A	RAK 740882N 152897Ö	66°78'N 16°46'Ö
Profil 1, 2 & 3B	RAK 736510N 152775Ö	66°38'N 16°43'Ö

