



Sveriges geologiska undersökning

## Skredet i Småröd, Bohuslän Geologiska undersökningar



Mats Engdahl, Ingemar Cato,  
Sven Snäll & Thomas Eliasson

Skredet i Småröd, Bohuslän. Geologiska undersökningar

SGU-rapport  
2007:29

SGU-rapport  
2007:29



## Skredet i Småröd, Bohuslän 2006-12-20

### Geologiska undersökningar

Mats Engdahl

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| Uppdragsområde:              | Fysisk planering             |
| SGU Dnr:                     | 08-467/2007                  |
| Rapportnr:                   | 2007:29                      |
| SGU projektkod:              | 40162                        |
| SGU projektmapp:             | SGUs arkiv i Göteborg        |
| Datum rapport:               | 2007-11-13                   |
| Uppdragsgivare:              | Statens geotekniska institut |
| Adress uppdragsgivare:       | 581 93 Linköping             |
| Uppdragsgivarens beteckning: | Diariennr: 2-0701-0009       |
| Referens uppdragsgivare:     | Bo Berggren                  |
| Referens/Projektledare:      | Mats Engdahl                 |

Omslagsbild: I den östra kanten av skredområdet trängde leran in i en granplantering och bildade en ca 1,5 m hög "lervägg" mot stammarna. Foto M. Engdahl 2006.

## INNEHÅLL

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1. Sammanfattning.....                                 | 3  |
| 2. Bakgrund och syfte.....                             | 5  |
| 3. Geologisk beskrivning.....                          | 5  |
| 3.1 Berggrunden.....                                   | 5  |
| 3.1.1 Bergarter.....                                   | 5  |
| 3.1.2 Strukturer och tektonik.....                     | 6  |
| 3.2. Jordarter.....                                    | 9  |
| 3.2.1 Den senkvartära utvecklingen.....                | 9  |
| 3.2.2 Jordarternas utbredning.....                     | 10 |
| 4. Analyser av jord och porvatten.....                 | 12 |
| 4.1 Provhantering och typ av analyser.....             | 12 |
| 4.2 Undersökning av kornstorlek och vattenhalt.....    | 12 |
| 4.3 Undersökning av lermineralsammansättning.....      | 15 |
| 4.3.1 Provberedning för lermineralanalyser.....        | 15 |
| 4.3.2 Lermineralanalys.....                            | 15 |
| 4.3.3 Lermineralsammansättning.....                    | 16 |
| 4.4 Undersökning av borrhälsarnas pH och kalkhalt..... | 20 |
| <i>Borrhäls BG47</i> .....                             | 20 |
| <i>Borrhäls S401</i> .....                             | 21 |
| <i>Borrhäls S801</i> .....                             | 21 |
| 4.5 Undersökning av borrhälsarnas totalalkemi.....     | 23 |
| <i>Borrhäls BG47</i> .....                             | 23 |
| <i>Borrhäls S401</i> .....                             | 27 |
| <i>Borrhäls S801</i> .....                             | 32 |
| 4.6 Undersökning av borrhälsarnas porvattenkemi.....   | 37 |
| <i>Borrhäls BG47</i> .....                             | 37 |
| <i>Borrhäls S401</i> .....                             | 39 |
| <i>Borrhäls S801</i> .....                             | 41 |
| 5. Tabeller.....                                       | 44 |
| 6. Referenser.....                                     | 50 |

## 1. SAMMANFATTNING

Berggrunden i området består av två olika bergarter. På höjderna väster om dalgången dominerar en grå granit-pegmatit. Öster om och i själva dalgången utgörs berggrunden i huvudsak av en grå, relativt glimmerrik ytbergartsgnejs. Förhöjda halter av pyrit förekommer i berggrunden i och öster om dalgången. Sulfider, t.ex. pyrit, som kommer i kontakt med vatten och syre oxideras, varvid pH-värdet i vattnet sänks. En ihållande större sprick- och krosszon löper genom undersökningsområdet i NNV-lig riktning med en medelbrant stupning åt öster. Zonen följer i stort kontakten mellan granit-pegmatiten och den grå gnejsen. I denna 0,5–1 m breda zon är berget kraftigt uppsprucket och mer eller mindre leromvandlat.

1909 och 1911 inträffade två stora lerskred i Saltkällan och i Smedberg, som bägge ligger i mellersta Bohuslän. Saltkällan och Smedberg ligger ca 3 km NNV respektive ca 9 km norr om Småröd. Berggrunden vid dessa lokaler består också av pyritförande gnejs. Orsaken till skredet i Saltkällan bedömdes vara en vattendränkt lera samt berggrundens relief, som var gynnsam för utglidning. Skredet vid Smedberg inträffade i augusti efter en mycket varm och torr sommar. Orsaken till skredet bedömdes vara att i den mäktiga torrskorpeleran fanns det sprickor och p.g.a. detta blev hållfastheten i leran dålig. Det gick inte att utesluta att trafiken på den befintliga järnvägen var en bidragande faktor till skredets utlösande.

Jordartsgeologin i området har rekonstruerats med hjälp av SGUs jorddatabaser och kompletterande kartläggning av jordarterna och dess fysikaliska, kemiska och mineralogiska status i 15 prover från tre borrhål, borrade i och utanför skredområdet.

Leran i området är glacial och ställvis längs sluttningarna finns friktionsjord (sand och grus) mellan berggrunden och leran. Från detta friktionslager och från ovan nämnda sprick- och krosszon i berggrunden kan vatten infiltreras in i leran. Sandskikt förekommer på olika nivåer i leran. Sandskikten bedöms vara mäktigare i kanterna av dalgången. Siltskikt påträffas i ökad omfattning mot djupet i alla borrhål, vilket är vanligt i glaciala lerlagerföljder.

Lerhalten i den glaciala leran är normal jämfört med andra omfattande undersökningar i området. Vattenhalten i leran var vid provtagningstillfället något högre än jämförande leror i området.

I de djupaste delarna av de undersökta lagerföljderna föreligger kalkhalter runt 1%, som är lägre än i de ytliga delarna. Eftersom kalciumjonerna har en stabiliserande effekt på lerans stabilitet kan denna antas vara något lägre i de djupaste delarna av jordlagerföljden.

Lerfraktionen i den glaciala leran i Småröd innehåller lermineralen illit och klorit och de primära bergartsmineralen kvarts, fältspat och amfibol. De översta 11 metrarna av den glaciala leran i BG47 är troligtvis påverkad av vittring, vilket syns genom närvaron av kaolinit och svällande blandskiktsmineral. Vittringen syns också genom att den lättvittrade järnrikare illiten saknas medan den svårvittrade aluminiumrikare illiten finns kvar. På goda grunder kan det antas att de översta lerlagren i den glaciala leran, som ligger närmast berget, i den östra delen av dalgången vid Småröd är påverkad av vittring. Detta hänger troligtvis samman med att ytvatten med lågt pH, som runnit och rinner utmed bergsslutningen, också runnit ut över den glaciala leran och trängt ner i den s.k. övre torrskorpeleran. Den senare är ca 2 m mäktig i denna del av undersökningsområdet. Från torrskorpeleran har vattnet sedan trängt vidare ner i lerlagren. De något lägre pH-värderna i den övre delen av borrhålen BG47 styrker denna hypotes. Det i



lagerföljden inträngande ytvattnets lägre pH kan förklaras med att oxidation av pyrit (järnsulfid) i den närliggande berggrunden löst ut svavel ur sulfiden. Detta svavel har i sin tur bildat svavelsyra varvid pH sänkts i det vatten som sedan perkolerat lagerföljden.

Undersökningarna av provens total kemi visar en variation i koncentration som överensstämmer med lagerföljdens variation i kornstorlek och i synnerhet med förekomsten av silt- och sandskikt.

Arsenik och svavel är i alla tre lagerföljderna starkt korrelerat med glödförlusten och visar på det organiska materialets betydelse för bindning av dessa element.

En fråga som ofta dyker upp i sammanhang där skred har gått i urbaniserade områden, är om lak- eller avloppsvatten infiltrerat jordlagren och därmed indirekt skulle kunna vara en orsak till uppkommen instabilitet. Avloppsvatten karaktäriseras bl.a. av sitt innehåll av vissa metaller som härrör från människans hantering av metallföremål i hushållet och genom att hennes avföring innehåller metaller från kroppens egen reningsprocess. Metallerna i sig påverkar inte stabiliteten utan det är andra ämnen i avloppsvattnet (t.ex. tensider) som har sådana egenskaper. Vissa metaller däremot kan vara en indikation på att lak- eller avloppsvatten infiltrerats i jordlagren. För att kunna avgöra detta måste en bedömning göras om dessa metaller starkt avviker från den naturliga bakgrunden, d.v.s. de naturligt förekommande halterna av dessa ämnen. Inget i undersökningsresultaten tyder på att någon form av lak- eller avloppsvatten alternativt antropogent förorenat bäckvatten trängt in i någon del av områdets jordlager. Dock noterades en över bakgrunden tydligt förhöjd zinkhalt på 30 m djup i borrhäls S401.

Resultaten av de kemiska analyserna av jordproverna visar med några undantag på samband med den mineralogiska sammansättningen i jordlagerföljden. I porvattnet är det noterbart att natrium och klor inte följer mönstret för övriga ämnen och att det dessutom inte samvarierar med varandra.

Av särskilt intresse i detta sammanhang är borrhäls S401, från skredområdets södra del, där mycket kraftigt förhöjda halter av samtliga 15 studerade grundämnen utom natrium kunde konstateras på nivån 18 m under markytan. De höga halterna hänger samman med den rikliga förekomsten av kolloidala partiklar främst humus i porvattnet och visar att något extra ordinärt inträffat på denna nivå i jordlagerföljden. Den kolloidala fraktionen har en mycket stor förmåga att absorbera positivt laddade joner, vilket i sin tur kan bidra till att de sammanhållande krafterna mellan lerpartiklarna har försvagats och därmed jordens stabilitet.

Skredet i Småröd accentuerar behovet av geologiska undersökningar av forskningskaraktär. Den geologiska utvecklingen, sedimentationsmiljön och urlakningsprocesser har betydelse för bl.a. kvicklrebildningen. Undersökningar av forskningskaraktär bör samordnas med geotekniska stabilitetsundersökningar.

## 2. BAKGRUND OCH SYFTE

Kvällen den 20 december 2006 gick ett stort jordskred i Småröd, Bohuslän. Skredet var ca 450 m långt och ca 250 m brett och berörde markområden i Uddevalla respektive Munkedals kommuner. Skredet fick förödande konsekvenser för järnvägs- och biltrafiken i Bohuslän under flera månader vintern 2006/2007. 1911 inträffade en annan stor katastrof i området som under lång tid berörde järnvägstrafiken. Det var ett stort jordskred som inträffade i Smedberg, ca 9 km norr om Småröd (von Post 1913).

På uppdrag av Haverikommissionen via Statens geotekniska institut (SGI) har SGU gjort en geologisk undersökning av området. Undersökningen består av kompletterande kartläggning av bergarter och jordarter samt lermineralanalyser. I undersökningen av jordarterna ingår fysikaliska och kemiska analyser samt kemiska analyser av porvatten.

Berggrunden i området är undersökt lokalt, med den för SGUs reguljära kartering mest detaljerade nivån (SGUs databaser). Över Munkedals kommun finns översiktliga regionala jorddatabaser (Hilldén 2005) och över Uddevalla kommun finns lokala jorddatabaser (Engdahl 2003). Med anledning av skredet genomförde SGU kompletterande fältundersökningar i april 2007

Syftet med undersökningen är att beskriva de geologiska förhållandena i området och utifrån detta bedöma om dessa på något sätt påverkat skredets förlopp.

## 3. GEOLOGISK BESKRIVNING

### 3.1 BERGGRUNDEN

#### 3.1.1 Bergarter

Berggrunden i Smårödsområden består i stora drag av två olika bergarter. På höjderna väster om dalgången där E6 löper fram dominerar en grå granit-pegmatit. Öster om och i själva dalgången utgörs berggrunden i huvudsak av en grå, relativt glimmerrik ytbergartsgnejs (fig. 1).

Den *grå ytbergartsgnejsen* består huvudsakligen av i varierande grad lagrade och omvandlade gråvackor (oren sandsten med varierande mängd lerig till finkornig grundmassa) och smärre lager och linser med omvandlade lerskiffrar. De sandiga lagren i sedimentavsättningarna utgörs idag av kvarts-fältspatrika gnejser med fint medelkornig till medelkornig textur. De ursprungligen mer leriga lagren har givit upphov till bergartslager med mörkt grå, finkornig till fint medelkornig, vanligen kraftigt förskiffrad, mycket glimmerrik gnejs. I Smårödsområdet är ytbergartsgnejsen vanligtvis relativt glimmerrik och i varierande grad metamorft ådrad. De ljusa ådrorna består i huvudsak av kvarts och fältspat tillsammans med mindre mängd glimmer. Inlagringar av mörkt gröngrå, finkornig till medelkornig *amfibolit* förekommer relativt sparsamt i gnejsen.

Den grå gnejsen genomslås av gångar och mindre kroppar av gnejsig granit. Den genomkorsas också av aplit- och pegmatitgångar, speciellt i Smårödsområdet som ligger i kontaktzonen mellan gnejs och granit-pegmatit.

Gnejsen har i många områden, speciellt i deformationszoner, en utpräglad skiffrighet som gör att bergarten lätt spricker upp. Vidare medför den på många platser höga halten av glimmer att ytbergartsgnejsen är relativt vittringsbenägen.

På en del platser i Uddevalla- och Munkedalsområdet innehåller ytbergartsgnejsen och inlagrade amfiboliter förhöjda halter av pyrit (Eliasson m.fl. 2007). Sulfider som kommer i kontakt med vatten och syre kan oxideras, varvid pH-värdet i vattnet sänks. Vid oxidationen kan även metaller gå i lösning. Utfällningarna av oxidhydroxider ("rost") från utsipprande grundvattnet förekommer i flera bergskärningar längs E6 söder om Småröd.

*Granit-pegmatiten* väster om dalgången har en enhetlig granitisk sammansättning. Kornstorleken varierar från mycket grovkornig (pegmatitisk) med upp till 10–15 cm stora kristaller inom vissa partier till medelkornig inom andra. Karaktären på övergångarna mellan granit och pegmatit varierar från gradvisa till skarpa. Förutom huvudmineralen kvarts och fältspat innehåller bergarten 1–5 volymprocent glimmer (biotit och muskovit). Färgen är vanligen grå till gråvit. Lokalt finns området med röd till mörkt röd granit-pegmatit. Dessa varianter är vanligen hydrotermalt omvandlade och innehåller rikligt med epidot.

Granit-pegmatitmassivet innehåller rikligt med brottstycken av omgivande berggrund d.v.s. grå ådrad ytbergartsgnejs (fig. 2A) och gnejsig granit till granodiorit. Dessutom förekommer det rikligt med gångar av granit-pegmatit i omgivande äldre gnejser.

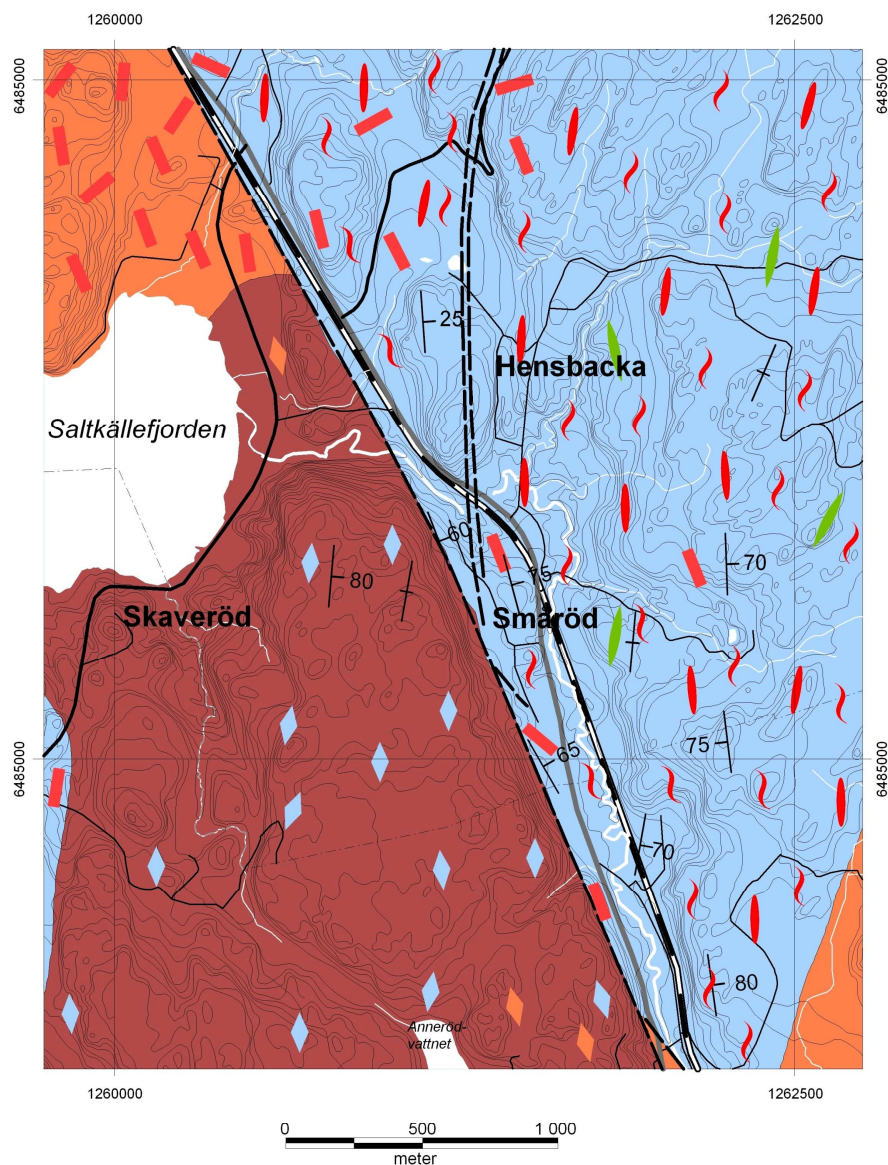
### 3.1.2 Strukturer och tektonik

Orienteringen av gnejsigheten och ådringen i bergarterna i Smårödsområdet är i stora drag nord-sydlig. Gnejsighetens stupning är företrädesvis brant till medelbrant mot öster. Strukturerna följer generellt det storskaliga mönstret i regionen där även bergartsenheter utgörs av relativt långsträckta, i VNV-ligt till nordligt orienterade, enheter.

En ihållande större sprick- och krosszon löper genom undersökningsområdet i NNV-lig riktning med en medelbrant stupning åt öster (fig. 1). Zonen följer i stort kontakten mellan granit-pegmatiten och den grå gnejsen. I denna 0,5–1 m breda zon är berget kraftigt uppsprucket och mer eller mindre leromvandlat (fig. 2B).

De ytformer som genom vittring och erosion skapats Smårödsområdet är till stor del beroende av olika svaghetsstrukturer såsom deformationszoner, förkastningar och sprickor. Längs dessa svaghetszoner var effekten av vittring störst och där utbildades dalgångar och bergsskrevor. Bergslutningen längs västra sidan av dalgången vid Småröd är delvis utbildad längs den ovan beskrivna nordnordvästligt orienterade svaghetsstrukturen. Det bör dock noteras att gnejsigheten i berggrunden i området till stor del är parallell med orienteringen av deformationszonen och att berggrundens ytformer också präglats av dessa strukturer.





### Berggrundskarta

-  Förskiffring; känd stupningsriktning, t.v., vertikal stupning t.h.  
*Foliation; dip direction indicated, left, dip vertical right*
-  Ådergnejsomvandlad t.v., starkt migmatitisk t.h.  
*Altered to veined gneiss, left, strongly migmatized, right*
-  Amphibolit, inlagring  
*Amphibolite, lens*
-  Inneslutning/xenolit, grå gnejs t.v., granit gnejsig t.h.  
*Fragment/xenolith, grey gneiss left, gneissic granite right*
-  Gång eller mindre intrusion av granit eller pegmatit  
*Dyke or smaller intrusion of granite or pegmatite*
-  Spröd till plastisk deformationszon  
*Brittle to ductile shear zone*
-  Granit-pegmatit  
*Granite-pegmatite*
-  Granit till granodiorit, gnejsig  
*Granite to granodiorite, gneissic*
-  Ytbergartsgnejs, grå  
*Supracrustal gneiss, grey*

Fig. 1. Berggrundskarta över Smärödsområdet. Modifierad från SGUs databaser.



Fig. 2. A. Bergskärning ca 1 km söder Småröd. Inneslutning av mörkt grå ytbergartsgnejs och grå granit-pegmatit i västligt-östligt orienterad bergskärning. B. Öst-västlig bergskärning ca 200 m norr om Småröd. En ihållande större sprick- och krosszon löper genom undersökningsområdet i NNV riktning med en medelbrant stupning åt öster. I den kraftigt uppspruckna centrala delen av zonen är berget mer eller mindre leromvandlat. Foto T. Eliasson 2007.



## 3.2 JORDARTER

### 3.2.1 Den senkvartära utvecklingen i området

De jordlager som förekommer i Småröd är glaciala och postglaciala bildningar. Glaciala bildningar avsattes direkt av landisen eller dess smältvatten. Postglaciala bildningar har tillkommit genom omlagring och avsättning efter landisens avsmältningsskede. Huvuddelen av jordarterna i Småröd är glaciala.

De högst belägna strandmärkena (Högsta kustlinjen, HK) ligger ca 140 m ö.h. i regionen och bildades när inlandsisen hade lämnat området för ca 14 000 år sedan. Direkt efter isavsmältningen var landhöjningen snabb och stranden försköts nedåt. För ca 10 000 år hade strandnivån nått ned till drygt 40 m ö.h. Under de följande 2 000 åren av den postglaciala tiden låg stranden på denna nivå (fig. 3), varefter den sakta försköts ner till dagens 0-nivå. Den nuvarande landhöjningen i området är ca 2,5 mm/år. Strandförskjutningen orsakas av en kombination av rörelser i jordskorpan och havsyteförändringar.

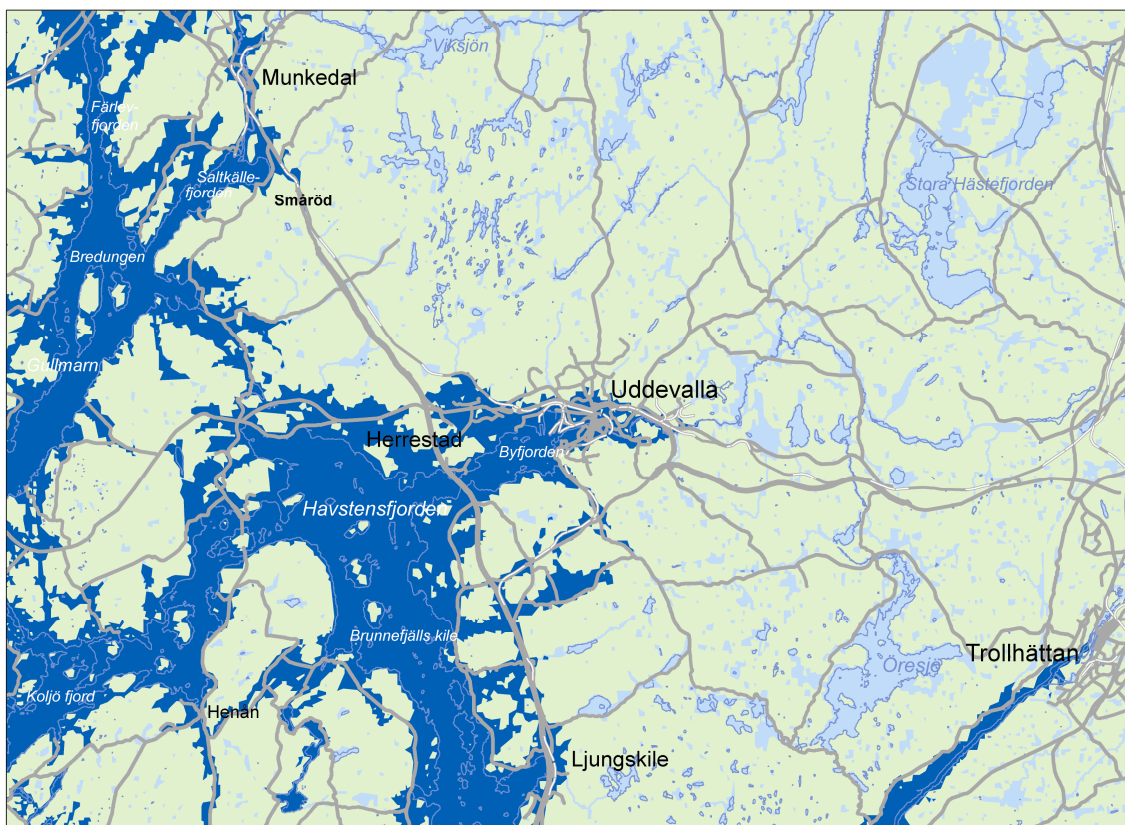


Fig. 3. De geografiska förhållandena har genomgått stora förändringar i Småröd från det att inlandsisen lämnade området fram till idag. När inlandsisen smälte bort från området var jordskorpan nedpressad och hela området täcktes av ett arktiskt hav. Efterhand höjdes jordskorpan och ett skärgårdslandskap bildades. Kartan visar fördelningen mellan hav och land för 8 000 år sedan och Munkedal låg då i de inre delarna av en havsvik.

### 3.2.2 Jordarternas utbredning

Småröd ligger i en dalgång med höjdområden på bägge sidor. Dominerande jordart i dalgången är glacial lera (fig. 4). Lerans mäktighet bedöms vara störst i de centrala delarna av dalgången, som i Småröd är mellan vägen och järnvägen. Eftersom dalgången är förhållandevis smal och lägsta marknivån i Småröd ligger på ca 35 m ö.h. saknas förutsättningar för avsättning av mäktiga lager av postglacial lera. Den lägsta delen av dalgången har med stor sannolikhet varit täckta av postglaciala sediment, som är borteroderade under tiden från det att havet lämnade området och till dess människan började odla upp marken. Viss erosion pågår fortfarande, vilket gamla skredärr och raviner vittnar om (fig. 4). Ca 3 km NNV om Småröd inträffade 1909 ett stort skred (Westergård 1909). Söderut från skredområdet i Småröd förekommer svämsediment som underlagras av glacial lera. I det nu aktuella skredområdet har fyllning lagts ut i de lägsta partierna. Svallsediment i form av sand förekommer längs dalgångens sluttningar och i höjdområdena. Höjdområdena domineras av kalt berg eller områden med tunna jordtäckan. I höjdområdena förekommer små områden med sandig morän, som också finns i dalgångens sluttningar. Ett 0,1–0,5 m mäktigt skikt av friktionsjord på berget har ställvis konstaterats i öppna schakt i den västra sluttningen, samt mellan den underliggande berggrunden och den glaciala leran (fig. 5).

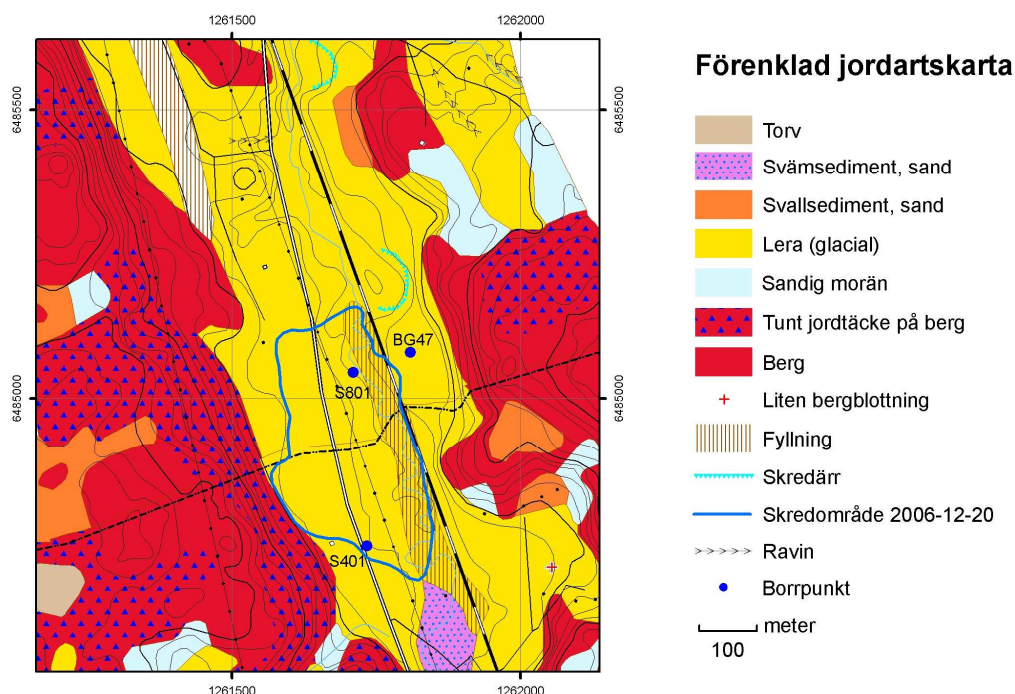


Fig. 4. Jordartskarta över Smårödsområdet.





Fig. 5. Framgrävd skärning i den västra sluttningen vid Småröd. Friktionsjord under glacial lera. Mäktigheten på friktionsjorden är ca 3 dm i lågpunkten medan den glaciala leran ligger direkt på berget i övrigt. Foto M. Engdahl 2007.

## 4. ANALYSER AV JORD OCH PORVATTEN

### 4.1 Provhantering och typ av analyser

15 prover har tillsammans valts ut av SGI och SGU för analys. Proverna, som förvarats på Chalmers tekniska högskola (CTH), har valts från 3 olika borrhål (fig. 4). Borrhål S401 (nuvarande markyta 40, 8 m ö.h.) ligger i övre delen av jordskredet (södra delen av området). Marken har här sänkts ca 2,1 m. Borrhål S801 (nuvarande markyta 35,1 m ö.h.) ligger i nedre delen av jordskredet (norra delen av området). Här har marken höjts ca 1,9 m. Det tredje borrhålet (BG47) ligger utanför skredområdet och markytan är här belägen ca 39,9 m ö.h. Proverna har analyserats med avseende på kornstorlek, vattenhalt, pH, kalciumkarbonathalt, lermineralogi, totalkemi och porvattenkemi. Mängden material var begränsat i ett prov och p.g.a. detta gjordes ingen kornstorleksanalys av prov BG47:17. Okulär bedömning av jordart har däremot gjorts av CTH på samtliga prov och finns redovisade i de geotekniska undersökningarna (Vägverket 2007).

### 4.2 Undersökning av kornstorlek och vattenhalt

Kornstorleksfördelningen i proverna har bestämts genom siktanalys och sedimentationsanalys. Analyserna har gjorts av Sweco Geolab i Stockholm. Analyserna av vattenhalt har gjorts vid SGUs geokemiska laboratorium i samband med provberedning för porvattenkemi.

Lerhalten i proverna från den glaciala finleran varierar mellan 28% och 52% (fig. 6 och tab. 1). Silthalten i samma prover är 38–54% och sandhalten 0–37%. Ler- och silthalten är ungefär den samma i detta område jämfört med en omfattande geologisk undersökning i Brastad, ca 15 km väster om Småröd, (Cato 1982a). Jämfört med omfattande undersökningar av glaciala leror från Göteborgs- och Kungälvstrakten så är lerhalten 10–20% lägre i Småröd (Fredén m.fl. 1981, Cato 1982a). Den relativt höga sandhalten i några prover från borrhål S401 och S801 tyder på att det finns sandskikt i leran. Analyser med höga sandhalter finns på 5 m, 22 m och 30 m djup i S401 och på 5 m och 11 m djup i BG47. I proverna från det centralt i dalgången placerade borrhålet (S801) är sandhalten låg. Silthalten ökar mot djupet i alla prover och tyder på att det finns siltskikt i leran. I Brastadsområdet förekommer en ökad mängd siltskikt mot djupet (Cato 1982a).

Vattenhalten är 15–40% i proverna från Småröd (fig. 7 och tab.1). Lägst är vattenhalten i prover med höga sandhalter. Stora variationer i vattenhalt förekommer i prover från borrhål S401 och S801, vilket beror på variationer i sandhalten. Vattenhalterna är däremot som helhet stabila mot djupet och varierar med endast ca 2% i proverna från borrhål S801. Vattenhalten i leran i Småröd är ca 5% högre i Småröd än i leran i Brastadsområdet (Cato 1982b). Glaciala leror från Östersjön har däremot vattenhalter på drygt 50% (Wastegård m.fl. 1994). Liknande värden finns från vattenhaltsmätningar av glaciala leror från SKB-arbeten i Forsmark och Oskarshamn.



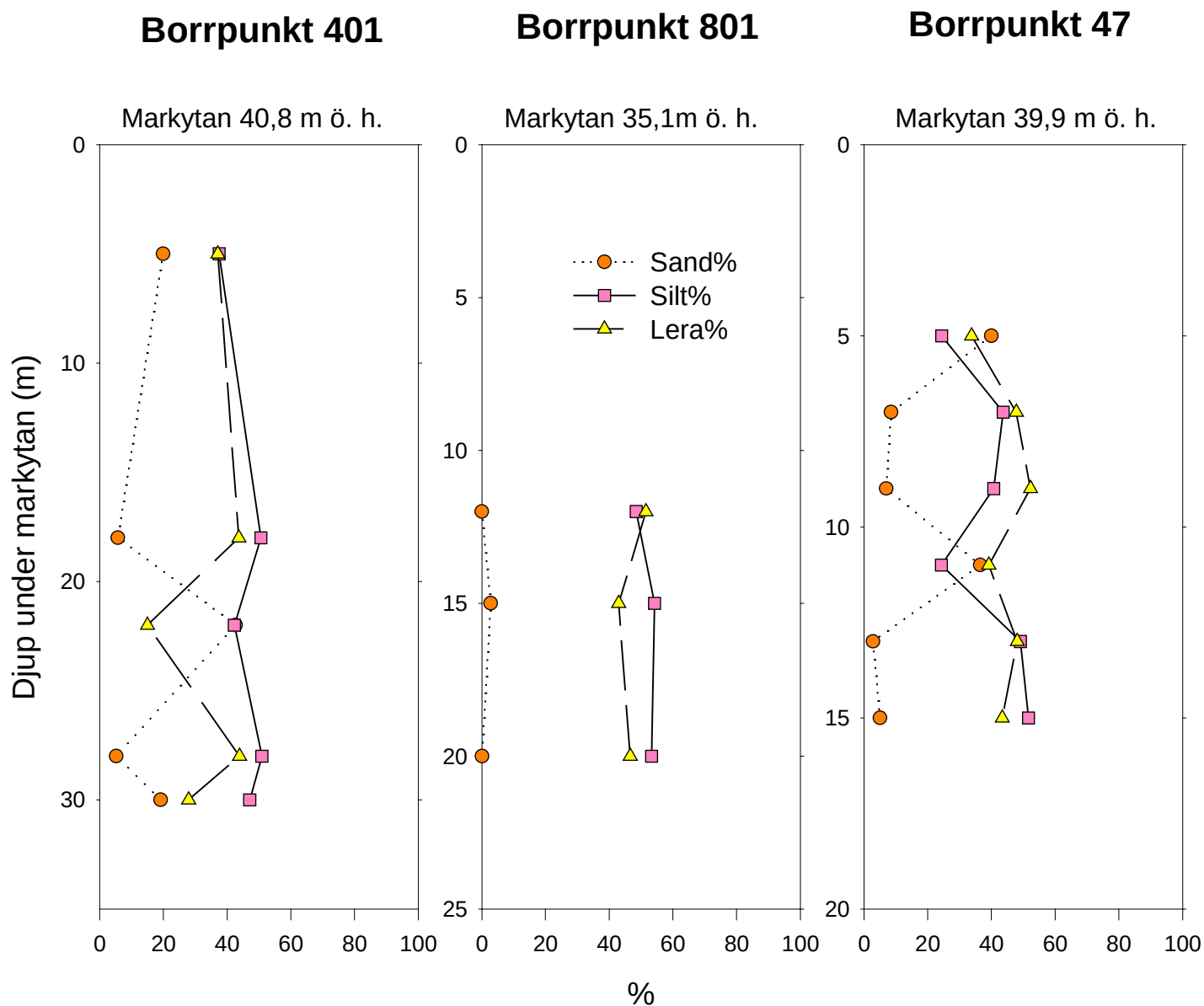


Fig. 6. Kornstorleksfördelning; sand-, silt- och lerhalter versus jorddjupet i borrpunkterna S401, S801 och BG47.

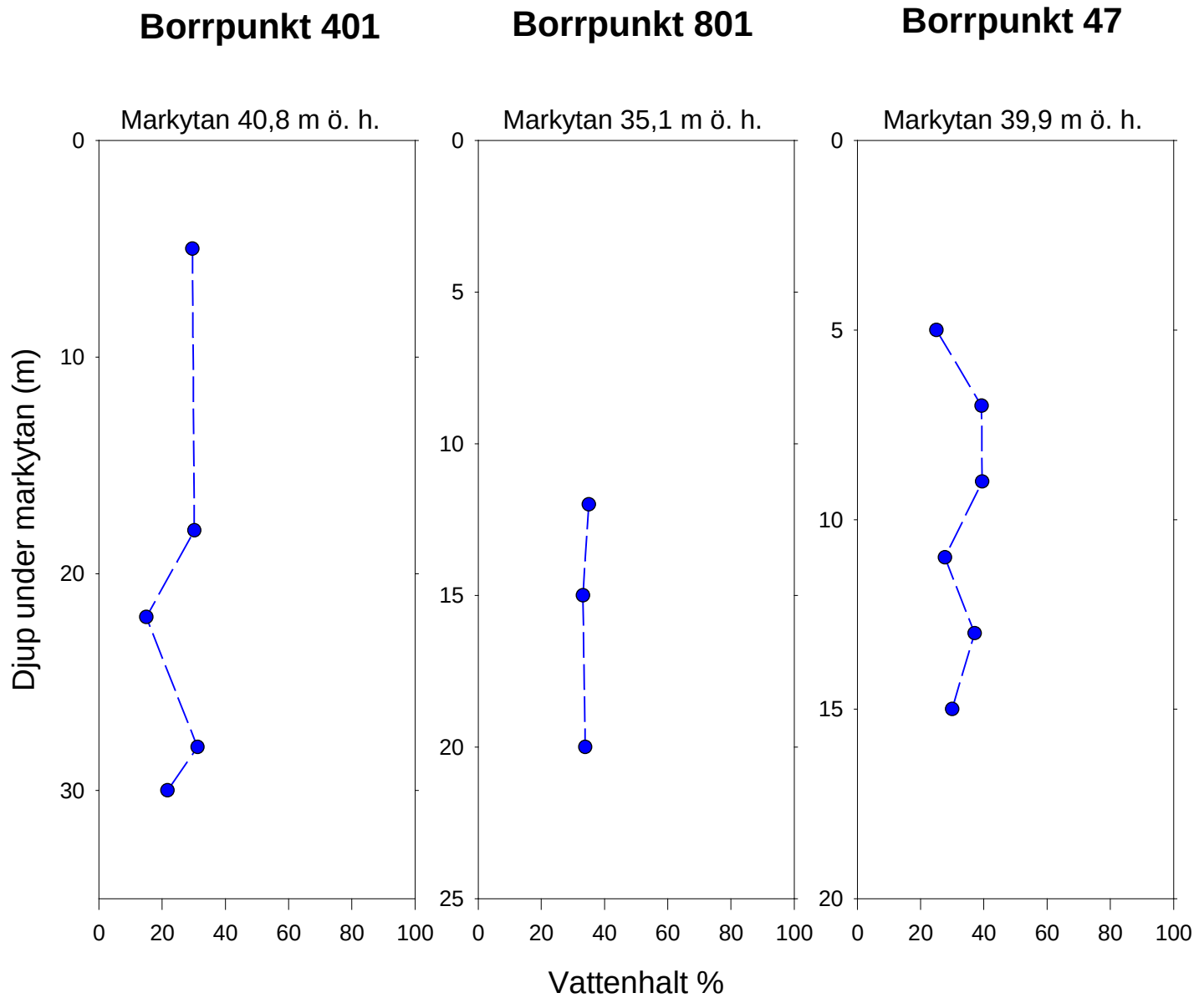


Fig. 7. Vattenhalt versus jorddjupet i borrhöken S401, S801 och BG47.

### 4.3 Undersökning av lermineralsammansättning

Från skredområdet i Munkedal har 15 prover analyserats med hjälp av röntgendiffraktions (XRD)-analys för bestämning av lermineral. Proverna lämnades till SGUs laboratorium som borrhänssektioner i naturfuktigt tillstånd.

#### 4.3.1 Provberedning för lermineralanalyser

Analysprov skars ut med spatel som mindre sektorer (som bitar av en tårta) från borrhänssektionerna. Proverna hade följande beteckningar:

|                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Munkedal S801; 12 m, varifrån uttogs | 7,9 g för beredning av analysprov, |
| ” S801; 15 m, ” ”                    | 7,8 g ” ” ” ” ,                    |
| ” S401; 5 m, ” ”                     | 8,2 g ” ” ” ” ,                    |
| ” S401; 18 m, ” ”                    | 8,0 g ” ” ” ” ,                    |
| ” S401; 22 m, ” ”                    | 8,4 g ” ” ” ” ,                    |
| ” S401; 28 m, ” ”                    | 7,5 g ” ” ” ” ,                    |
| ” S401; 30 m, ” ”                    | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 5 m, ” ”                     | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 7 m, ” ”                     | 8,0 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 9 m, ” ”                     | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 11 m, ” ”                    | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 13 m, ” ”                    | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 15 m, ” ”                    | 8,1 g ” ” ” ” ,                    |
| ” BG47; 17 m, ” ”                    | 8,0 g ” ” ” ” .                    |

Proverna dispergerades i ultraljudsbad i avjoniserat vatten (100 ml) till suspensioner.

Partiklarna i suspensionerna fick sedan sedimentera en bestämd tid varefter övre delarna av suspensionerna (40 ml) innehållande lerfraktionen (fraktion <2 µm) sögs av med pipett. 5 ml av de uttagna suspensionerna användes för beredning av orienterade analyspreparat naturligt material enligt Drever (1973). Vid analyserna var provmängden 5-13 mg/cm<sup>2</sup>. Ytterligare 20 ml uttogs för syralakning (vatten:HCl, 4:1, 100°C, 1,5 h) av proverna för identifiering (ev. förekomst) av kaolinit. Analysprover av de syralakade proverna bereddes sedan på samma sätt som för de naturliga proverna (enl. Drever, 1973).

#### 4.3.2 Lermineralanalys

Analyserna utfördes med SGUs Siemens D5000 (theta-theta) röntgendiffraktometer med kopparstrålning (CuKα) och grafitmonokromator. 40 kV spänning och 40 mA strömstyrka genererades för analyserna. Diffraktogram (som råfiler) togs upp på de orienterade preparaten inom 2-theta intervallet 2°-35°. Svehastigheten var 0,02° (2-theta) per 1 sek (stegvis) vid analyserna. Alla analyser utfördes med fast provhållare. Vid analyserna satt en 1° divergensspalt och en 2 mm ”antiscatter” spalt samt en 0,1 mm detektorspalt (”receiving” spalt) i strålgången.

Analys utfördes på i tre moment, lufttorrt material, på material som mättats med etylenglykol och på material lakat i syra. Mätningen med etylenglykol gjordes för att påvisa ev. förekomst av svällande mineral i proverna. I de fall svällande mineral ingår i ett provmaterial ger etylenglykolen en expansion i gittret hos det svällande mineralet som kan avläsas vid analysen av det etylenglykolmättade provet.

### 4.3.3 Lermineralsammansättning

Röntgendiffraktionsanalyserna visar att det är inga större skillnader i mineralsammansättning i lerfraktionerna (<2 µm fraktionerna) hos de analyserade proverna från borrhålen S401 och S801 (fig. 8 och fig. 9). Lerfraktionen i lerorna består av lermineralen illit och klorit samt kaolinit, det sistnämnda i mycket liten mängd (<0,5%). Inga svällande mineral har identifierats. Förutom lermineralen ingår även primära bergartsbildande mineral som kvarts fältspat och amfibol i lerorna. I fig. 8 och fig. 9 visas röntgendiffraktogrammen upptagna på de etylenglykolmättade analysproverna. Från mätdata i dessa diffraktogram (topparnas höjder mätta som intensitet) har semikvantitativa bedömningar av innehållet (tab. 2) av de identifierade mineralen i proverna gjorts med hjälp av intensitetsfaktorer angivna av Snäll m.fl. (1979).

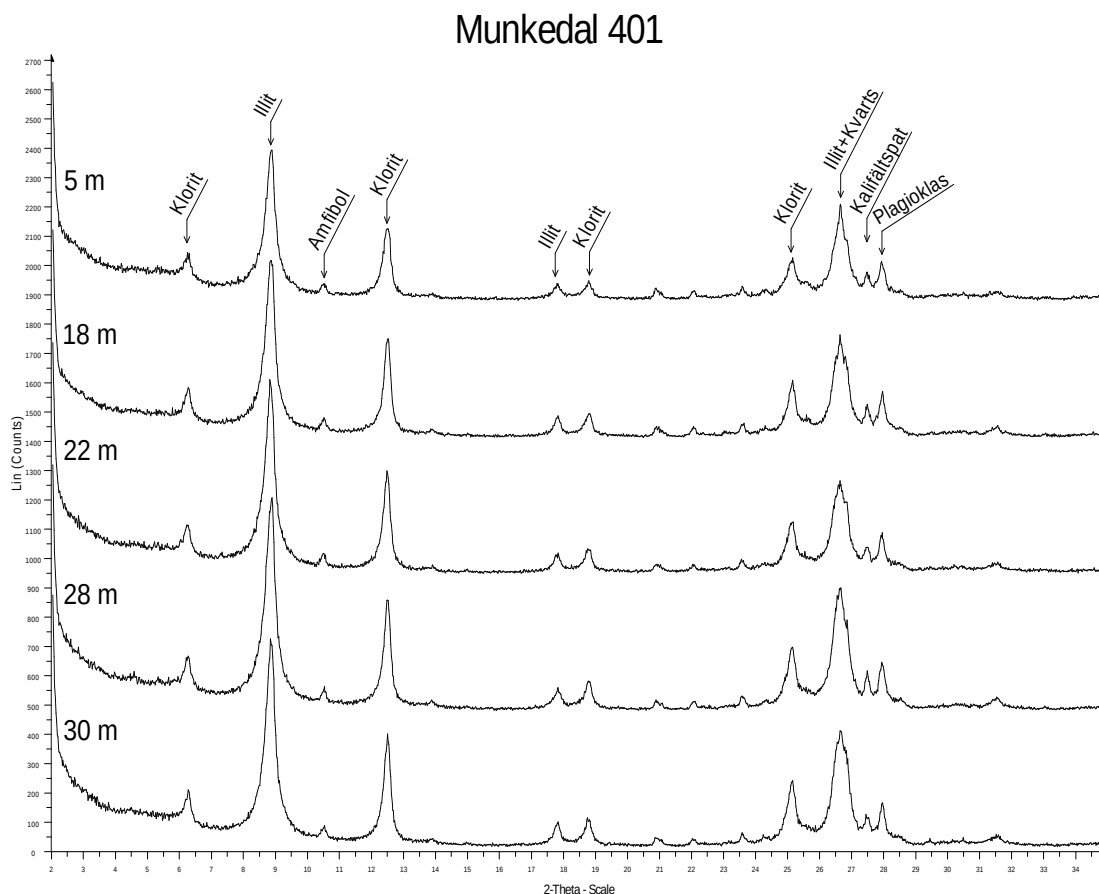


Fig. 8. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion <2 µm) i de fem proverna från borrhål Munkedal S401. Analyserna är gjorda på orienterade preparat mättade med etylenglykol(EG).



## Munkedal 801

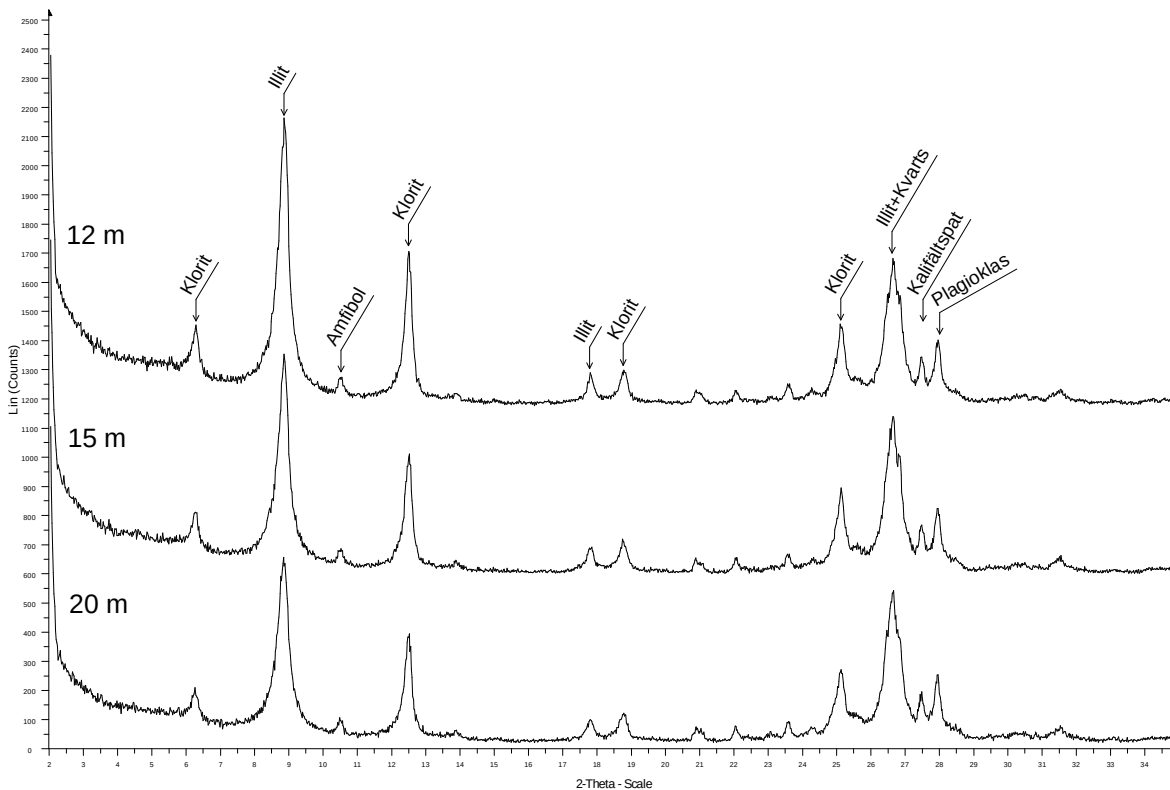


Fig. 9. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion  $<2\ \mu\text{m}$ ) i de tre proverna från borrhål Munkedal S801. Analyserna är gjorda på orienterade preparat mättade med etylenglykol(EG).

Hos de insamlade proverna från borrhål Munkedal BG47 kan vissa skillnader i mineralsammansättning observeras. De undre tre proverna, BG47; 13 m, 15 m och 17 m liknar proverna från borrhålen Munkedal S401 och Munkedal S801 (fig. 10). Som i de sistnämnda ingår nästan ingen kaolinit i dessa prover (bara som spår,  $<0,5\%$ ). Illithalten är jämförelsevis hög, som i borrhålen Munkedal S401 och Munkedal S801 (tab. 3).

## Munkedal BG47; 13 m, 15 m och 17 m.

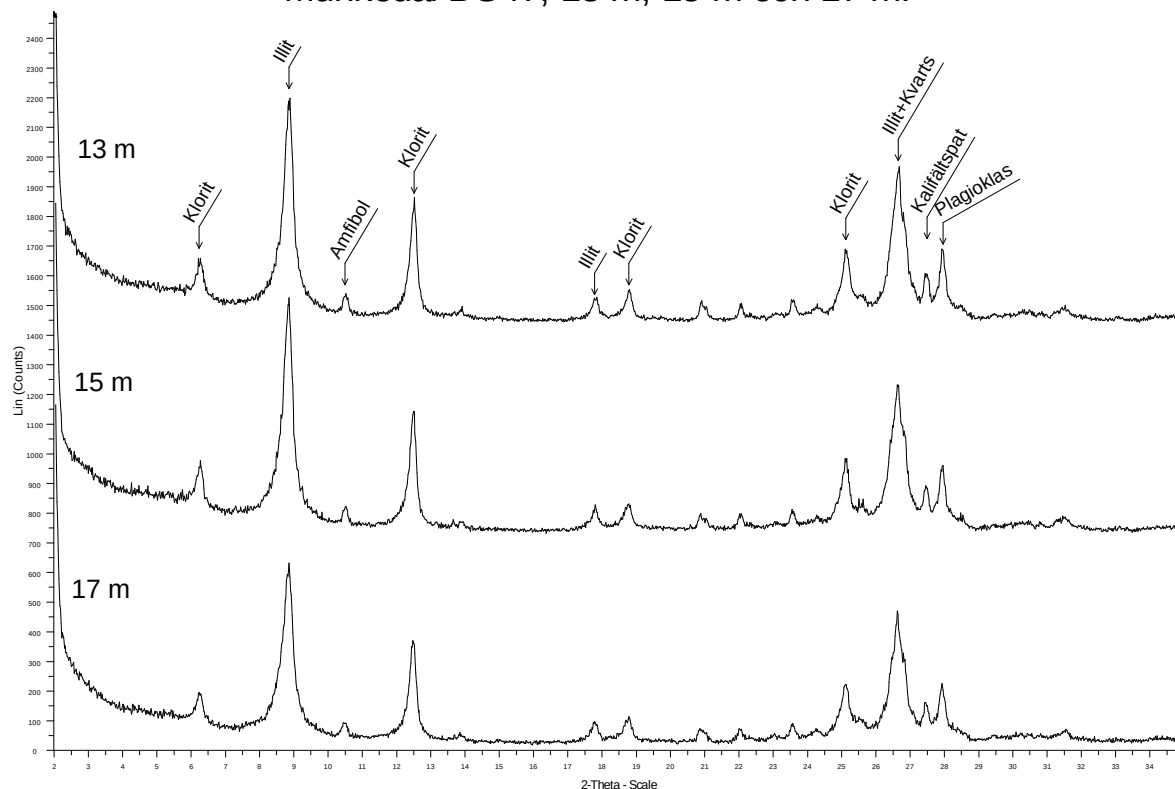


Fig. 10. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion  $<2\ \mu\text{m}$ ) i de tre nedersta proverna från borrhål Munkedal BG47, från djupen 13 m, 15 m och 17 m. Analyserna är gjorda på orienterade preparat mättade med etylenglykol(EG).

De fyra övre proverna i borrhål Munkedal BG47, från djupen 5 m, 7 m, 9 m och 11 m innehåller klart påvisbara halter av kaolinit (fig. 11). Vid syrabehandlingen löses kloriten ut från materialet och topparna från detta mineral saknas därför i det övre diffraktogrammet men kaoliniten som är syraresistent blir kvar. I proverna från 7 m, 9 m och 11 m djup har dessutom svällande blandskiktsmineral (Bl.sk.min.) identifierats (fig. 11, fig. 12 och fig. 13).

## Munkedal BG47; 9 m.

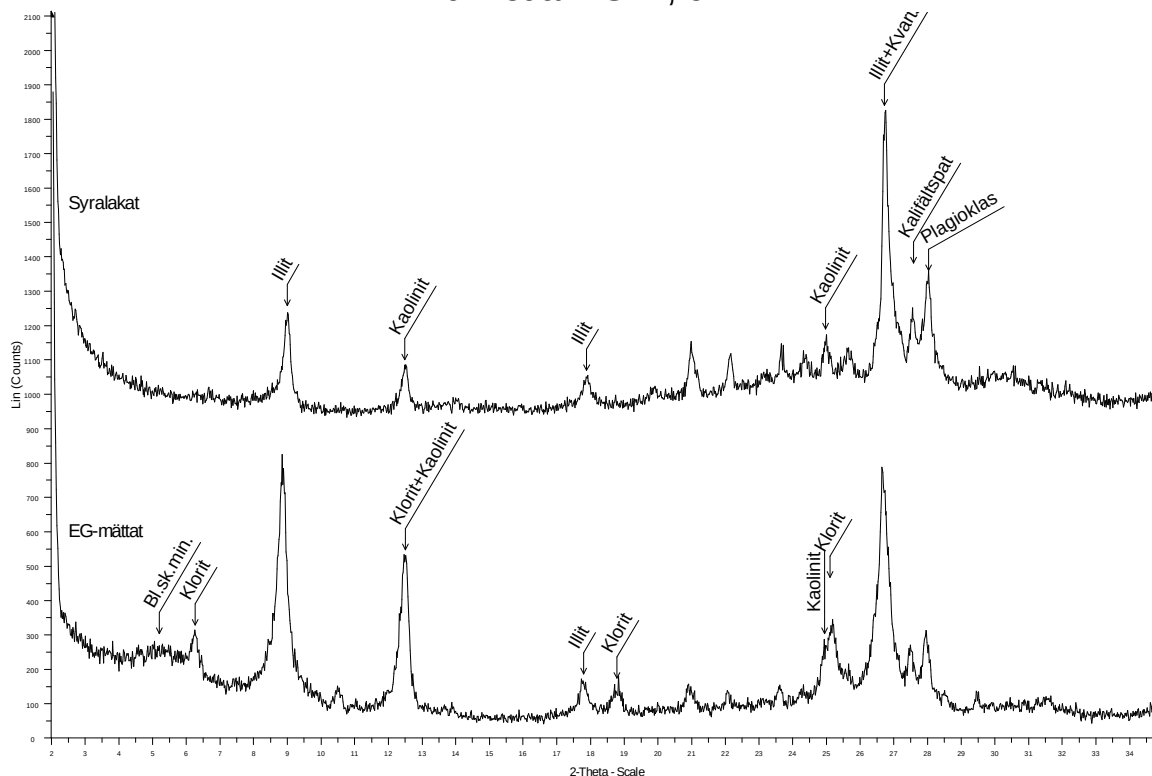


Fig. 11. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion  $<2\ \mu\text{m}$ ) i provet från 9 m djup i borrhål Munkedal BG47. Det nedre diffraktogrammet är upptaget på provmaterial mättat med etylenglykol(EG) och det övre är upptaget på material som lakats i syra.

## Munkedal BG47; 7 m.

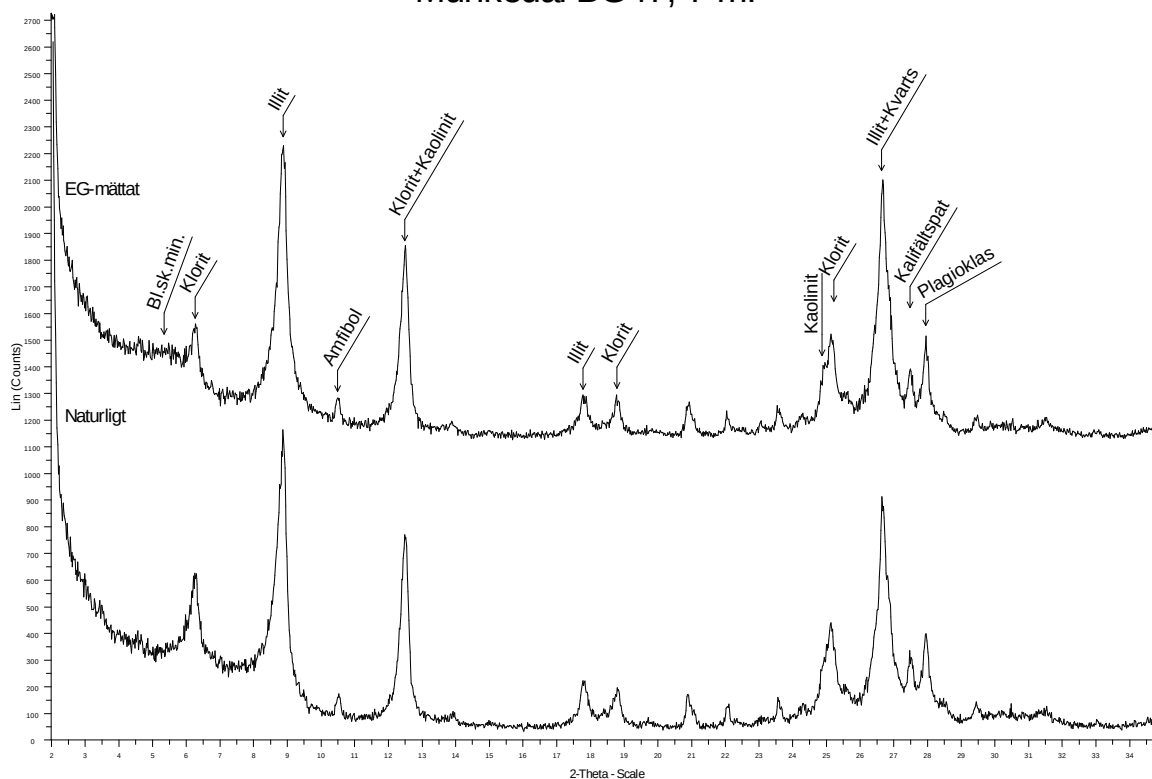


Fig. 12. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion  $<2\ \mu\text{m}$ ) i provet från 7 m djup i borrhål Munkedal BG47. Det nedre diffraktogrammet är upptaget på lufttorrt naturligt provmaterial och det övre på provmaterial mättat med etylenglykol(EG).

## Munkedal BG47; 5 m, 7 m, 9 m och 11 m.

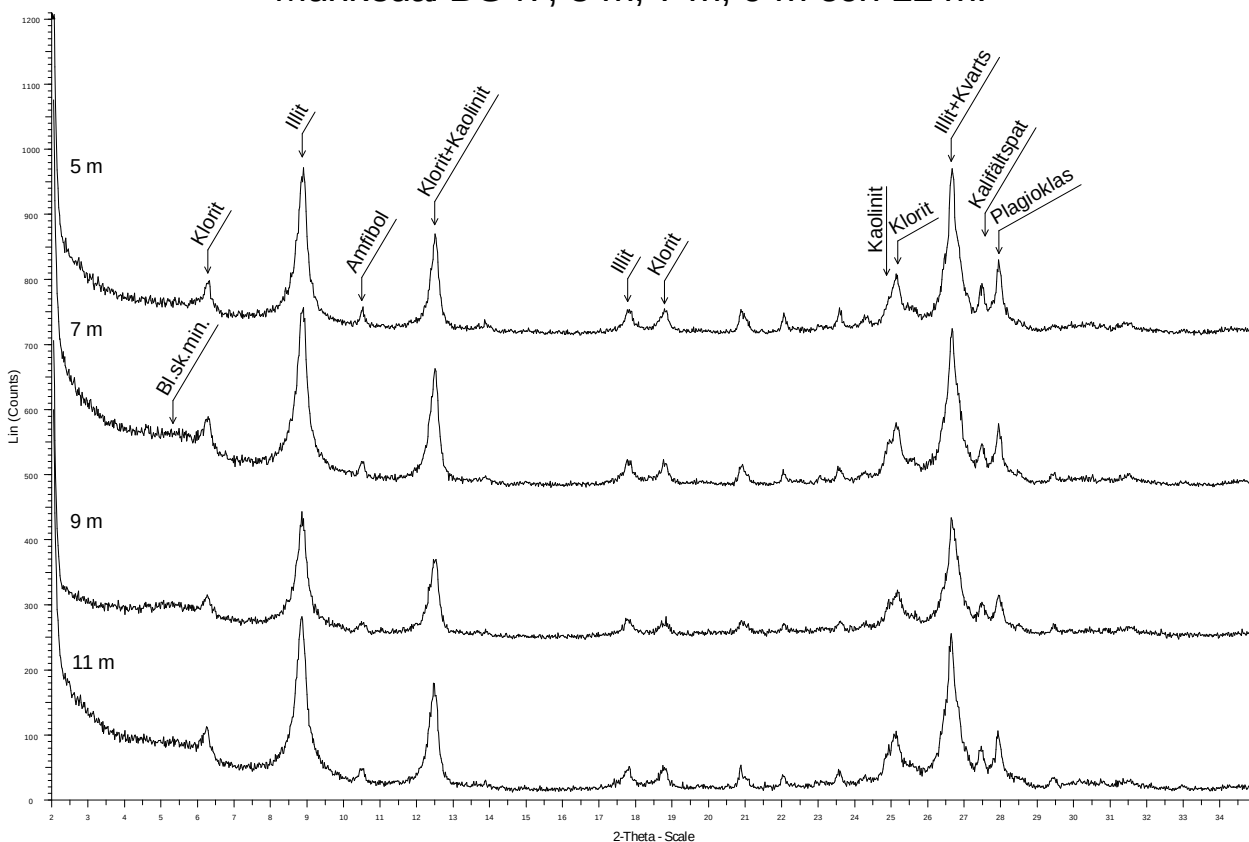


Fig. 13. Röntgendiffraktogram upptagna på lermaterial (fraktion  $<2\ \mu\text{m}$ ) i de fyra översta proverna från borrhål Munkedal BG47, från djupen 5 m, 7 m, 9 m och 11 m. Analyserna är gjorda på orienterade preparat mättade med etylenglykol(EG).

Det är möjligt att leran i de översta fyra proverna i borrhål Munkedal BG47 är påverkade av vittringsprocesser. Det synes som om en del av illiten vittrat bort eller omvandlats till svällande blandskiktsmineral. En skillnad i sammansättning kan observeras för illiterna i området som ger stöd för detta. Vid jämförelse av förhållandet mellan illiternas 001-topp vid  $8,9^\circ$  (2-Theta) och illitens 002-topp vid  $17,8^\circ$  (2-Theta) är kvoten  $H_{\text{Illit } 001}/H_{\text{Illit } 002}$  lägre i de fyra översta proverna i borrhål Munkedal BG47 lägre (tab. 4) än för illiterna i övriga analyserade prover från området. Det tyder på att järnrikare illit vittrat bort och kvar är en aluminiumrikare mera svärvittrad illit då förhållandet mellan 001- och 002-topparna är ett mått på den kemiska sammansättningen hos illiten (Graff-Petersen, 1961).

#### 4.4 Undersökning av borrhämnornas pH och kalkhalt ( $\text{CaCO}_3$ )

Fjorton naturfuktiga prover fördelade på olika nivåer i de tre borrhämnorna BG 47, S401 och S801 har undersökts med avseende på pH och kalkhalt ( $\text{CaCO}_3$ ). Analyserna har utförts av Sweco Geolab i Stockholm. pH har analyserats i porvattnet enligt SS-ISO 10 390, medan kalkhalten ( $\text{CaCO}_3$ ) har analyserats enligt Passon-metoden på material  $<0,06\ \text{mm}$ .

Resultaten presenteras i form av tabell och diagram i figur 14.

#### **Borrhärna BG 47**

I borrhärna BG 47, belägen ca 50 meter nordöst om skredområdet och väl utanför detta, stiger pH relativt konstant med ökat markdjup, från värdet 7,7 fem meter under markytan till 8,3

femton meter under markytan. På de två översta nivåerna där pH-värdet ligger under 8 är kalkhalten högst (2,7–3,4%) för att sedan drastiskt sjunka med ökat djup under markytan till 0,9–1%. På dessa djupare belägna nivåer (13–15 m) ligger pH över 8, medan pH i den övre delen av lagerföljden är lägre, sannolikt till följd av surt vatten som perkolerat ner i lagerföljden.

Av särskilt intresse är den stora skillnad i kalkhalt som förekommer över respektive under nivån 11–13 meter. Detta visar på en lägre tillgång till för leran stabiliserande divalenta joner djupare ned i lagerföljden.

### ***Borrkärna S401***

Till viss del kan motsvarande men mycket svagare trend som i borrhäarna BG 47 också observeras i borrhäarna S401 tagen inne i själva skredområdet. På nivån 18–22 meter ligger pH-värdet som högst (8,5–8,8) samtidigt som kalkhalten är lägst (1%) på nivån 22 meter och djupare. Detta innebär på samma sätt som i borrhäarna BG47 en mindre tillgång på stabiliserande divalenta joner.

Till skillnad från borrhäarna BG 47 är kalkhalten i borrhäarna S401 dessutom betydligt lägre (<2%) i borrhäarnans övre del (nivån 5 m) samtidigt som pH inte understiger 8,2 i någon del av kärnan.

### ***Borrkärna S801***

Förhållandena i borrhäarna S801 från södra delen av själva skredområdet uppvisar pH-värden >8,3 och kalkhalter under 1,3%, d.v.s. liknande förhållanden som i borrhäarna S401. Någon trend med djupet kan inte utläsas till följd av att endast tre nivåer analyserats i kärnan.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det framför allt föreligger en tydlig skillnad i kalkhalt ( $\text{CaCO}_3$ ) mellan borrhäarnorna (S401 och S801) från själva skredområdet och den kärna (BG 47) som ligger alldeles utanför området. Det är endast i de djupaste delarna som likheter föreligger med kalkhalter runt 1%. Eftersom kalciumjonerna har en stabiliserande effekt på lerans stabilitet kan denna antas vara något lägre i de djupaste delarna av jordlagerföljden.

De något lägre pH-värdena i övre delen av borrhäarna BG47 hänger sannolikt samman med att oxidation av pyrit i den närliggande berggrunden löst ut svavel som i sin tur bildat svavelsyra varvid pH sänkts i det vatten som perkolerat lagerföljden.



| Parameter<br>Prov | Djup<br>m | pH  | CaCO <sub>3</sub><br>% |
|-------------------|-----------|-----|------------------------|
| BG 47:5           | 5         | 7,7 | 2,7                    |
| BG 47:7           | 7         | 7,9 | 3,4                    |
| BG 47:9           | 9         | 7,8 | 3,0                    |
| BG 47:11          | 11        | 8,2 | 2,7                    |
| BG 47:13          | 13        | 8,2 | 1,0                    |
| BG 47:15          | 15        | 8,3 | 0,9                    |
| BG 47:17          | 17        |     |                        |

| Parameter<br>Prov | Djup<br>m | pH  | CaCO <sub>3</sub><br>% |
|-------------------|-----------|-----|------------------------|
| S401:5            | 5         | 8,4 | 2                      |
| S401:18           | 18        | 8,8 | 1,3                    |
| S401:22           | 22        | 8,5 | 1                      |
| S401:28           | 28        | 8,3 | 1,1                    |
| S401:30           | 30        | 8,2 | 1,1                    |

| Parameter<br>Prov | Djup<br>m | pH  | CaCO <sub>3</sub><br>% |
|-------------------|-----------|-----|------------------------|
| S801:12           | 12        | 8,7 | 0,8                    |
| S801:15           | 15        | 8,3 | 1,2                    |
| S801:20           | 20        | 8,4 | 1,3                    |

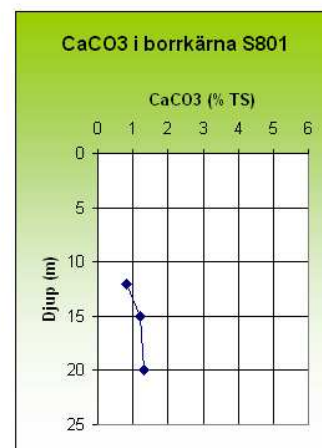
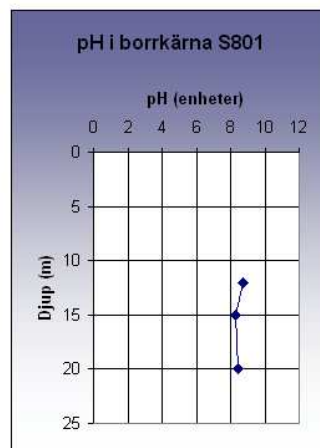
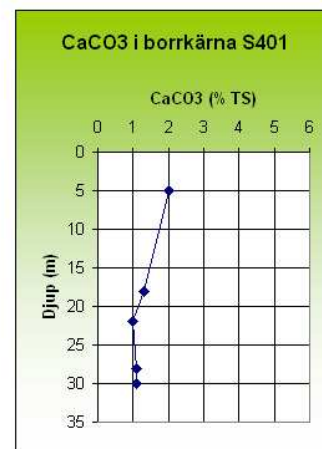
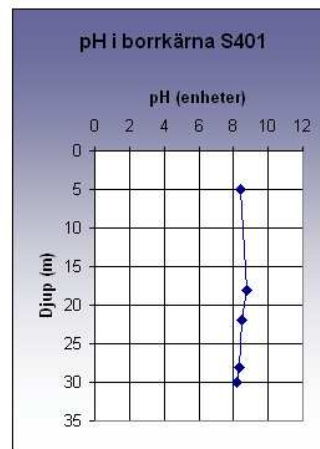
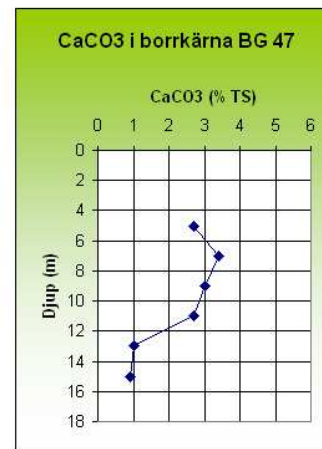
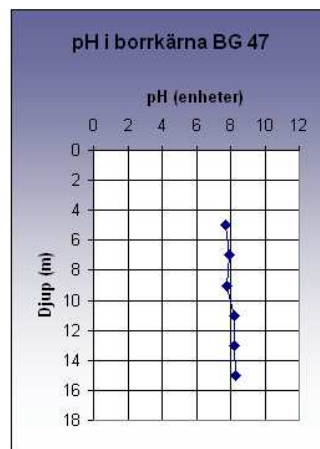


Fig. 14. Tabell och diagram över pH och kalciumkarbonat i borrhärnorna BG47, S401 och S801 (för borrhärnornas belägenhet se karta figur 4).

#### 4.5 Undersökning av borrhämnarnas total kemi

Femton frystorkade prover fördelade på olika nivåer i de tre borrhämnarna BG 47, S401 och S801 har undersökts med avseende på kemisk sammansättning. Analyserna har utförts av ALS Analytica AB i Luleå. Grundämnen arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), bor (B), antimon (Sb), selen (Se) och svavel (S) har upplösts i mikrovogsugn i slutna teflonbehållare med salpetersyra ( $\text{HNO}_3$ ) och vatten i förhållandet 1:1. För analys av övriga grundämnen har 0,125 g torkat prov smälts med 0,375 g litiumborat ( $\text{LiBO}_2$ ) och upplösts i salpetersyra. Analys har skett med ICP-AES och ICP-MS enligt modifierade EPA-metoder 200.7 och 200.8.

Analys av glödförlust (GF) eller LOI (loss of ignition) har skett efter bränning vid 1 000 °C. Glödförlusten ger ett grovt mått på jordens organiska halt. Förutom det organiska materialet bidrar förlusten av kristallvatten från lermineral (1–1,5%) till den totala glödningsförlusten.

Totalt analyserades 33 grundämnen, varav halterna på kvicksilver (Hg), molybden (Mo), tenn (Sn) och volfram (W) låg under kvantifieringsgränsen för analysmetoden. Resultaten presenteras i tabellerna 5, och 7–8 och figurerna 15–17. I tabell 6 redovisas spridning, medel och medianvärden för samtliga analyserade grundämnen i respektive borrhämn och som jämförelse motsvarande data från nutida leror i svenska delen av Skagerak, Kattegatt och Sydkusten (Cato 1997).

##### **Borrhämn BG 47**

I borrhämn BG 47, belägen ca 50 meter utanför skredområdet, kan konstateras att huvudelementen, d.v.s. aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kaliumoxid ( $\text{K}_2\text{O}$ ), fosforoxid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), järn ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnesium ( $\text{MgO}$ ), mangan ( $\text{MnO}$ ) och titan ( $\text{TiO}_2$ ) uppvisar likartade profiler med ökat jorddjup (tab. 5, 6 och fig. 15) och med i allmänhet små koncentrationsvariationer. Halterna är i allmänhet högre på nivån 7–15 meter men med en i allmänhet markerad lägre koncentration på 11 m djup (sandsikt) samt på nivån 17 m. De lägre halterna som mangan ( $\text{MnO}$ ) och titan ( $\text{TiO}_2$ ) uppvisar på nivån över 12 m kan vara en effekt av vittring.

Halten av kalcium ( $\text{CaO}$ ) varierar mellan 2,5–3,6% och beror dels på sedimentets innehåll av kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (skalfragment), dels på dess innehåll av plagioklas och uppvisar därmed en liknande fördelning med djupet som beskrivits i avsnittet för kalkhalten (se ovan avsnitt 4.4). Dock kan konstateras att halten  $\text{CaO}$  på nivån djupare än 11 meter, ligger högre än halten  $\text{CaCO}_3$  i övre delen av lagerföljden, vilket beror på ett högre innehåll av plagioklas i sandfraktionen (jämför fig. 6), samt till följd av att totala provet analyserats till skillnad från halten  $\text{CaCO}_3$  som analyserats på fraktionen <0,06 mm.

Kiselsyrehalten ( $\text{SiO}_2$ ) varierar mellan 60–70% och uppvisar en fördelning med djupet som är omvänt kalcium, d.v.s. de högsta halterna återfinns i den nedre delen av borrhämnan (fig. 15a). Fördelningen speglar inslaget av silt och sand i lagerföljden.

Koncentrationen av natrium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) varierar mellan 2,1–2,9%, men uppvisar ett med ökat djup i lagerföljden avvikande fördelningsmönster från ovan beskrivna profiler (fig. 15a). Från 5 m djup sjunker halten från 2,5% till 2% vid 9 m djup för att sedan öka konstant till 2,9% vid 17 m djup. Profilen antyder en urlakning av salter (främst  $\text{NaCl}$ ) i den övre delen och en anrikning i de djupare liggande jordlagren (jfr klor i porvattnet, se nedan under avsnitt 4.6).

Halten av spårelementen arsenik (As) och krom (Cr) varierar kraftigt mellan proven (fig. 15b). Fördelningsmönstret med djupet i borrhärnan är i det närmaste identiskt med fördelningen av svavel (S) (fig. 15c). Dessa tre grundämnen samvarierar med glödförlusten (GF) och korrelationen ( $r^2 = 0,9$ , respektive  $r^2 = 0,8$  och  $r^2 = 0,9$ ) visar att ämnena är starkt bundna till jordens halt av organiskt material. Den senare halten stiger från 2,8% på 5 m djup till 5,9% på 9 m djup för att mot djupet successivt minska till 1,7% på 17 m djup. Glödförlustens fördelning med djupet speglar delvis den ökande organiska produktion som ägt rum i havet under den tid som lagerföljden avsatts. Oxidationen, i lagerföljdens övre del, är orsakad av att svavelsyra trängt ned i de övre lerlagren vilket resulterat i nedbrytning av det organiska materialet.

Fördelningsmönstret med djupet för grundämnena barium (Ba), beryllium (Be), kobolt (Co), koppar (Cu), lantan (La), zink (Zn) och yttrium (Y) är näst intill identiskt med relativt sett högre halter på djup mellan 13–15 m jämfört med grundare och djupare liggande delar av lagerföljden. På samma sätt samvarierar litium (Li), niob (Nb), nickel (Ni), bly (Pb), skandium (Sc) och vanadin (V) som alla uppvisar lägst halter på 11 och 17 m djup (sandskikt). Fördelningsprofilen för alla grundämnen uppvisar sina likheter med fördelningen av huvudelementen utom kisel (Si) och natrium (Na).

Zirkonium (Zr) å andra sidan uppvisar en fördelningsprofil som liknar den för kiselsyra ( $\text{SiO}_2$ ), d.v.s. med ökande halter med ökat djup i lagerföljden, speciellt i sand-/siltskikten. Kadmium (Cd) och Strontium (Sr) däremot uppvisar sinsemellan helt olika fördelningsprofiler som i sin tur helt skiljer sig från övriga redovisade profiler.

En fråga som ofta dyker upp i sammanhang där skred har gått i urbaniserade områden, är om lak- eller avloppsvatten infiltrerat jordlagren och därmed indirekt skulle kunna vara en orsak till uppkommen instabilitet. Avloppsvatten karaktäriseras bl. a. av sitt innehåll av vissa metaller som härrör från människans hantering av metallföremål i hushållet och genom att hennes avföring innehåller metaller från kroppens egen reningsprocess. Metallerna i sig påverkar inte stabiliteten utan det är andra ämnen i avloppsvattnet (t.ex. tensider) som har sådana egenskaper. Vissa metaller däremot kan vara en indikation på att lak- eller avloppsvatten infiltrerats i jordlagren. För att kunna avgöra detta måste en bedömning göras om dessa metaller starkt avviker från den naturliga bakgrunden, d.v.s. de naturligt förekommande halterna av dessa ämnen. I föreliggande undersökning har en sådan bedömning gjorts med hjälp av Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999). I denna delas halterna in i fem klasser där den lägsta halten (klass 1) visar ingen/obetydlig avvikelse från ett jämförvärde som utgör den naturliga bakgrunden för metallen i fråga, medan klass 5 visar på en mycket stor avvikelse från jämförvärdet, d.v.s. en mycket tydlig antropogen påverkan (förorening).

Resultaten av denna klassning presenteras med färgkodningen i tabell 5. Samtliga prover hamnar i klasserna 1-2, vilket innebär att inga spår av antropogent tillförda metaller genom t ex lak- eller avloppsvatten kan konstateras i lagerföljden representerad av borrhärna BG 47.

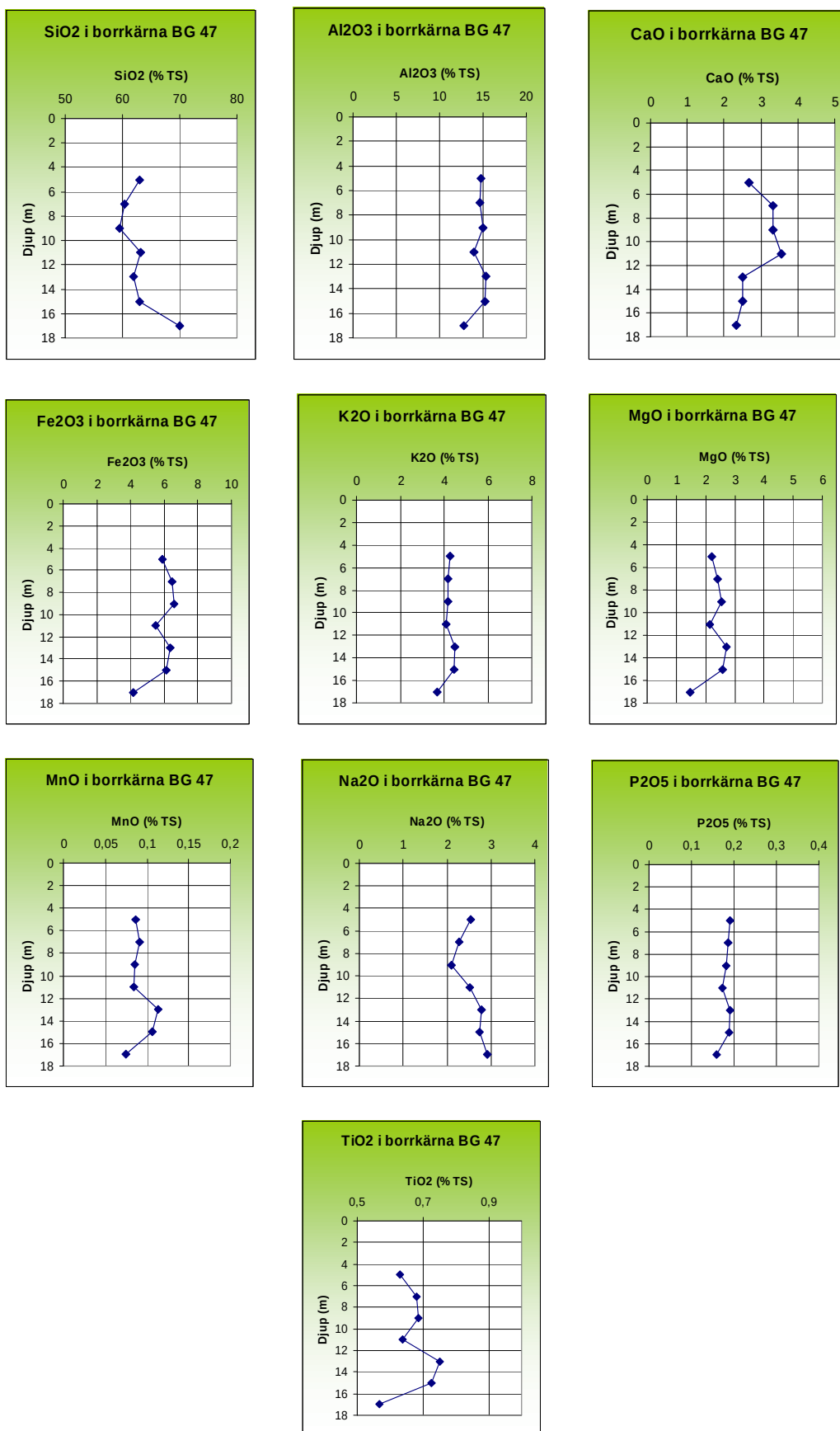


Fig. 15a. Totalhalten av kemiska huvudelement i borrhärna BG 47 (för borrhärnans belägenhet se karta figur 4).

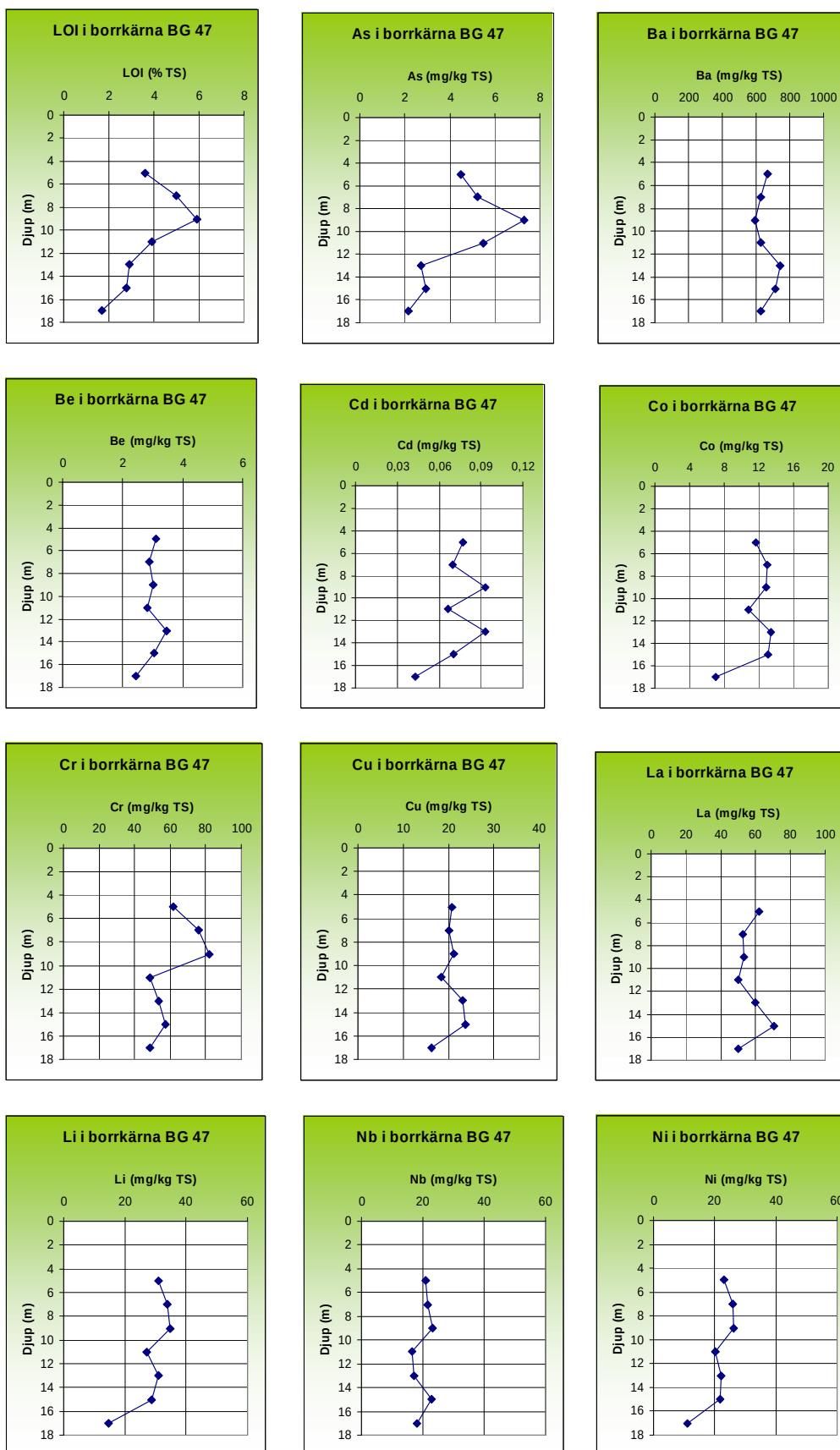


Fig. 15b. Totalhalten av kemiska spårelement, lantanoider och glödförlust (GF) i borrhärna BG 47 (för borrhärnans belägenhet se karta figur 4).

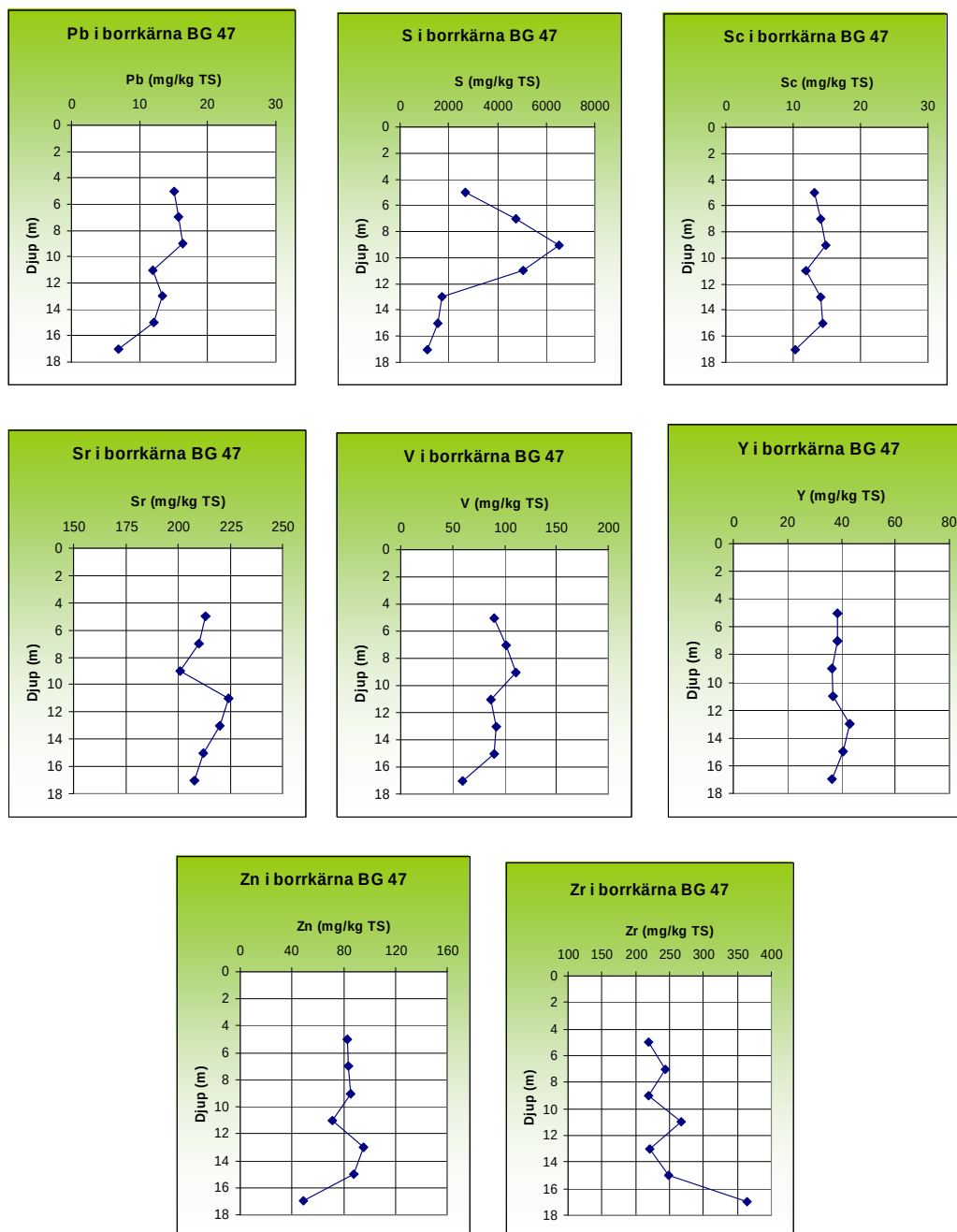


Fig. 15c. Totalhalten av kemiska spårelement i borrhärna BG 47 (för borrhärnans belägenhet se karta figur 4).

### **Borrhärna S401**

I borrhärna S401, som är belägen i skredområdets södra kant, kan konstateras att huvudelementen, d.v.s. aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kaliumoxid ( $\text{K}_2\text{O}$ ), fosforoxid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) uppvisar var och en för sig ungefär samma koncentrationer genom hela borrhärnan (fig. 16a). En något lägre halt kan noteras på nivåerna 22 och 30 m.

Halten av kalcium ( $\text{CaO}$ ) varierar mellan 2,3–3,1% och uppvisar en liknande fördelning med djupet som beskrivits i avsnittet för kalkhalten (se ovan). Dock kan konstateras att halten  $\text{CaO}$  på nivån djupare än 15 meter, ligger högre än halten  $\text{CaCO}_3$  till följd av ett högre inslag av sand och



silt med högre plagioklasinnehåll samt till följd av att totala provet analyserats till skillnad från halten  $\text{CaCO}_3$  som analyserats på fraktionen  $<0,06$  mm.

Kiselsyrehalten ( $\text{SiO}_2$ ) varierar mellan 63–70% och uppvisar en fördelning med djupet som är omvänt kalcium, d.v.s. de högsta halterna återfinns på nivåerna 22 och 30 m (fig. 16a). Fördelningen speglar inslaget av silt och sand i lagerföljden.

Halterna av järn ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnesium ( $\text{MgO}$ ), mangan ( $\text{MnO}$ ) och titan ( $\text{TiO}_2$ ) uppvisar ett likartat fördelningsmönster med ökat djup i borrhärnan. Halterna är i allmänhet högre på nivån 28 meter (fig. 16a) och lägst på nivåerna 22 och 28 m. Sandskikt finns på dessa nivåer.

Koncentrationen av natrium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) varierar mellan 2,7–3%. Ämnet uppvisar ett med ökat djup i lagerföljden avvikande fördelningsmönster från ovan beskrivna profiler och framförallt gentemot profilen för borrhärna BG 47. Halten av natrium är mycket konstant rakt igenom hela borrhärnan (fig. 16a). Den högsta halten 3% återfinns på 30 m djup. Ingen antydning till urlakning av salter (främst  $\text{NaCl}$ ) kan noteras i profilen (jfr den avvikande profilen för klor i porvattnet, se nedan under avsnitt porvatten).

Halten av spårelementen arsenik (As) och krom (Cr) varierar måttligt i borrhärnan men med en tydlig lägsta halt på nivån 22 m (fig. 16b). Sandskikt finns på den här nivån. Fördelningsmönstret med jorddjupet i är i det närmaste identiskt metallerna emellan, men till skillnad från i borrhärna BG 47 skiljer sig mönstret något lite från fördelningen av svavel (S). Halten av svavel varierar mellan 0,6–2,6 g/kg och är därmed betydligt lägre än i borrhärna BG 47.

Halten av arsenik (As) och svavel (S) (men ej krom (Cr), jfr. BG 47) samvarierar med glödförlusten (GF) och korrelationen ( $r^2 = 0,8$  respektive  $r^2 = 0,6$ ) visar, i likhet med borrhärna BG 47, att ämnena är starkt bundna till jordens halt av organiskt material. Glödförlusten sjunker från 3,3% på 5 m djup till 1,3% på 30 m djup. Den lägsta halten förekommer på nivån 22 m. Glödförlustens fördelning med djupet speglar delvis den ökande organiska produktion som ägt rum i havet under den tid som lagerföljden avsatts. Genom landhöjningen har jordlagren höjt sig ur havet men till skillnad från i borrhärna BG 47 kan ingen reduktion av halten organiskt material observeras i lagerföljdens övre del.

Fördelningsmönstret med djupet för grundämnena barium (B), beryllium (Be), kadmium (Cd), kobolt (Co), koppar (Cu), lantan (La), litium (Li), niob (Nb), nickel (Ni), bly (Pb), skandium (Sc), vanadin (V) och yttrium (Y) är näst intill identiskt med relativt sett lägre halter på nivåerna 22 m och 30 m (sandskikt) jämfört med grundare delar av lagerföljden samt nivån 28 m (fig. 16b-c). Det bör noteras att dessa grundämnena uppvisade en sinsemellan likartad men annorlunda fördelningsprofil i borrhärna BG 47, se ovan. Detta gäller också profilen för kadmium (Cd).

Zirkonium (Zr) å sin sida uppvisar, på samma sätt som i borrhärna BG 47, en fördelningsprofil (fig. 16c) som liknar den för kiselsyra ( $\text{SiO}_2$ ). Strontium (Sr) däremot uppvisar en fördelningsprofil (fig. 16c) som i sin tur korrelerar med profilen för natrium och kalcium, vilket indikerar havssalt och kalcit i lagerföljden.

Profilen för zink (Zn) skiljer åt från profilen med ämnesgruppen barium, beryllium, kadmium etc. (se ovan) i det att halten ökar kraftigt (med 50%) på nivån 30 m (fig. 16c). I detta avseende skiljer sig förhållandena starkt från borrhäla BG 47.

I likhet med borrhäla BG 47 som var upptagen i en ostörd lagerföljd utanför skredområdet bedöms också borrhäla S401 från själva skredområdet med avseende på eventuell infiltrering av lak- eller avloppsvatten alternativt antropogent förorenat vatten från den bäck som rinner ca 70 m öster om borrhälen. Resultaten av denna klassning presenteras med färgkodningen i tabell 7. Samtliga prover, utom provet från nivån 30 m, hamnar i klasserna 1-2, vilket innebär att inga spår av antropogent tillförda metaller genom t ex lak- eller avloppsvatten kan konstateras ovanför 30-metersnivån. På den senare nivån däremot faller zinkhalten i klass 3, vilket innebär att en tydlig avvikelse från jämförvärdet, d.v.s. den naturliga bakgrunden, föreligger. Detta kan indikera en antropogen tillförsel, men eftersom endast ett prov och endast en metall uppvisar dessa förhållandena kan en kontaminering vid provtagningen inte uteslutas.

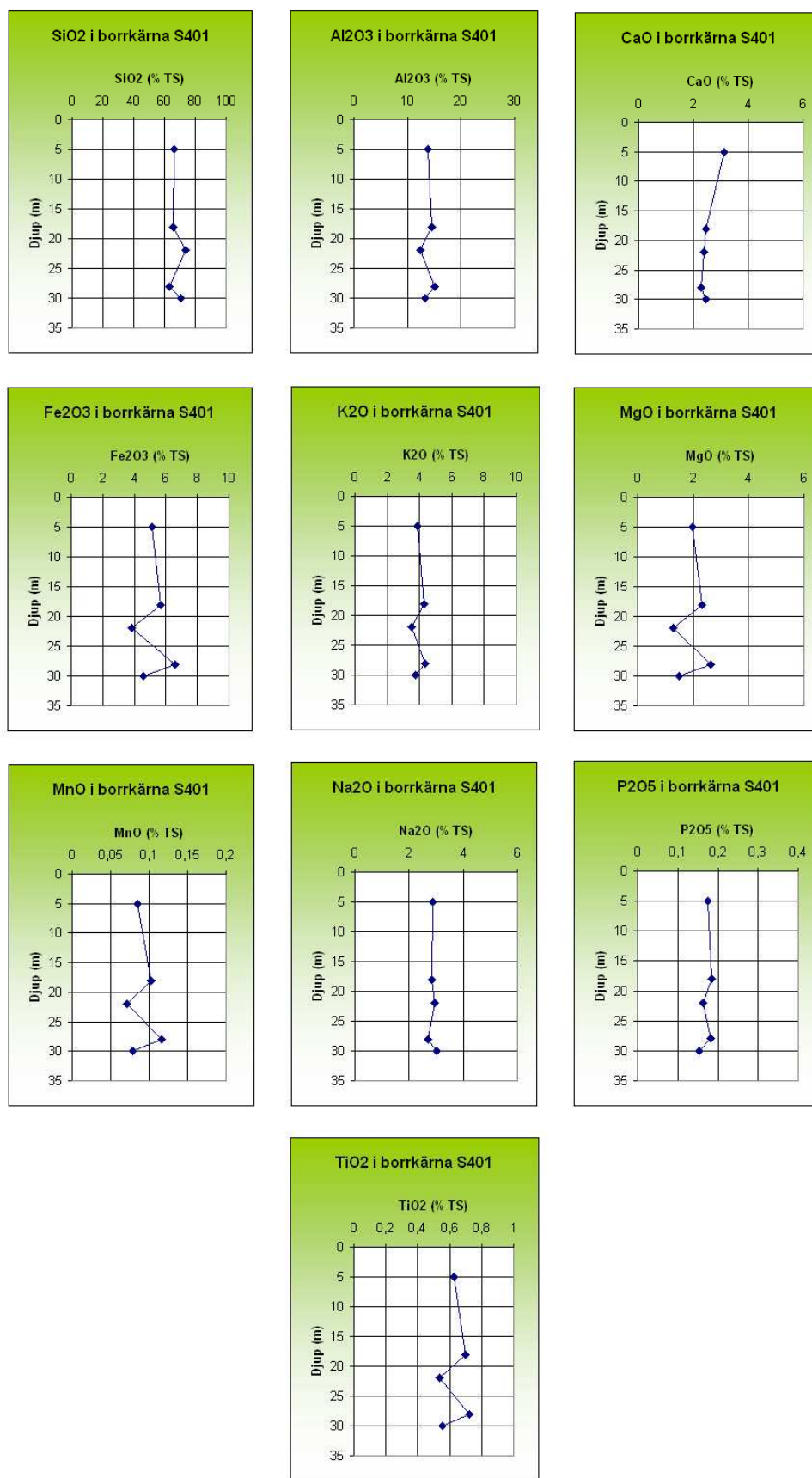


Fig. 16a. Totalhalten av kemiska huvudelement i borrkärna S401 (för borrkärnans belägenhet se karta figur 4).

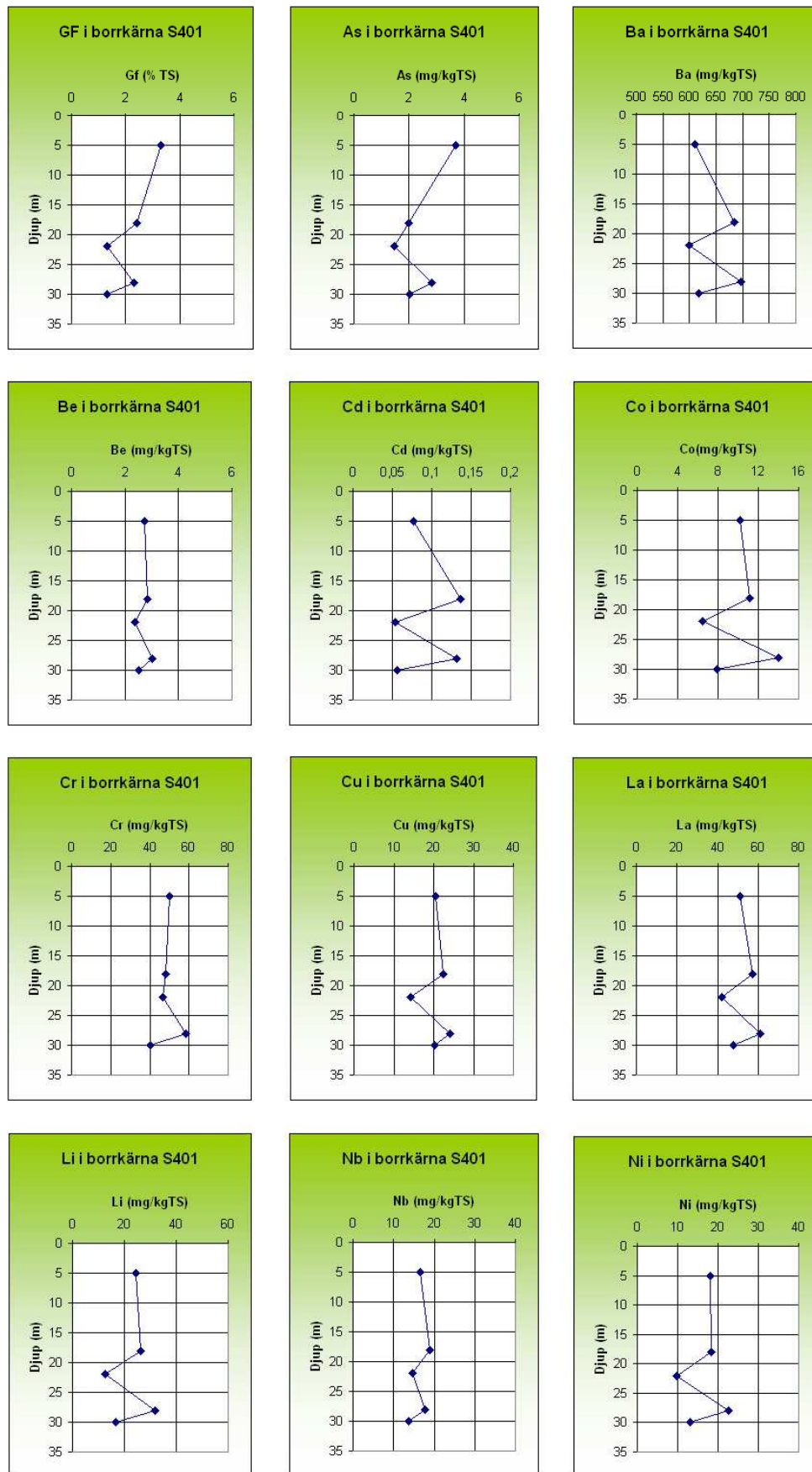


Fig. 16b. Totalhalten av kemiska spårelement, lantanoider och glödförlust (GF) i borrhärna S401.

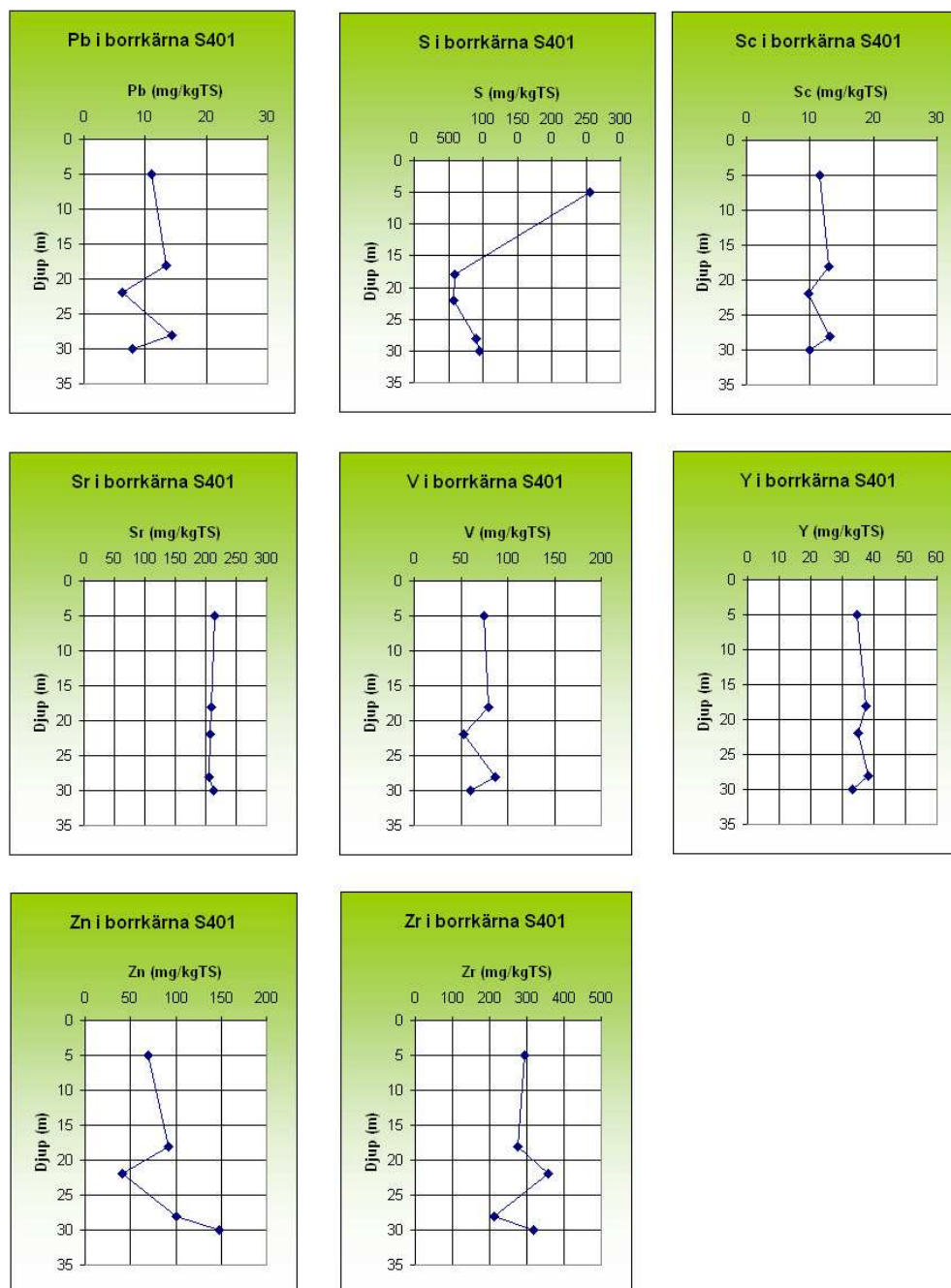


Fig. 16c. Totalhalten av kemiska spårelement i borrhärna S401 (för borrhärnans belägenhet se karta figur 4).

### Borrhärna S801

Borrhärna S801 är upptagen i norra delen av skredområdet. Endast prover från tre nivåer i borrhärna S801 har analyserats med avseende på kemisk sammansättning. Några tydliga fördelningsmönster med ökat jorddjup kan därför inte utläsas. Samtliga prover uppvisar en mycket enhetlig fördelning av de huvudelement som studerats. Halten av aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kaliumoxid ( $\text{K}_2\text{O}$ ), fosforoxid ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), järn ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnesium ( $\text{MgO}$ ), mangan ( $\text{MnO}$ ), natrium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) och titan ( $\text{TiO}_2$ ) sammanfattas i tabell 6 samt illustreras fig. 17a.

Kiselsyrehalten ( $\text{SiO}_2$ ) ligger på 64% och kalciumhalten varierar mellan 2,3–2,6% (fig. 17a). Den senare verifierar den relativa variation som noterats för kalkhalten ( $\text{CaCO}_3$ ) (fig. 14), men halten  $\text{CaO}$  är högre till följd av att totala provet analyserats medan  $\text{CaCO}_3$  analyserats på fraktionen  $<0,06$  mm.

Halterna av arsenik (As) och svavel (S) uppvisar ett fördelningsmönster med djupet som är snarlikt varandra, på samma sätt som observerats i borrhärna BG 47. Ingen samvariation med krom (Cr) förekommer dock.

Halten av arsenik (As) och i viss mån svavel (S) samvarierar med glödförlusten (GF) och korrelationen ( $r^2 = 0,8$  respektive  $r^2 = 0,99$ ) visar, i likhet med borrhärnorna BG 47 och S401, att ämnena är starkt bundna till jordens halt av organiskt material. Den senare halten uttryckt som glödförlust varierar mellan 2,3% och 2,8%. I likhet med borrhärna BG 47 är halten lägst i ytan, vilket kan bero på att en reduktion av halten organiskt material skett i lagerföljdens övre del. Dock är tre prover för lite för att kunna fastlägga en sådan trend.

Fördelningsmönstret med djupet för övriga grundämnena kan delas in i fyra grupper. Den största gruppen utgörs av beryllium (Be), koppar (Cu), litium (Li), nickel (Ni), bly (Pb), skandium (Sc), strontium (Sr), vanadin (V), yttrium (Y) och zink (Zn), vilka var och en uppvisar obetydliga skillnader i halt mellan de studerade nivåerna 12 och 20 meter. Fördelningen överensstämmer därmed med kiselsyrans ( $\text{SiO}_2$ ) fördelning med djupet.

Barium (Ba) och kobolt (Co) skiljer sig från denna grupp genom att de uppvisar högst halt på nivå 12 meter medan gruppen krom (Cr) och niob (Nb) uppvisar högst halt på nivå 20 meter. Kadmium (Cd), lantan (La) och zirkonium (Zr) samvarierar och uppvisar högst halt på nivå 15 meter.

I likhet med de två borrhärnorna BG 47 och S401 har också borrhärna S801 från norra delen av skredområdet bedömts med avseende på eventuell infiltrering av lak- eller avloppsvatten alternativt antropogent förorenat vatten från den bäck som rinner öster om och mycket nära borrhärnans punkt. Resultaten av klassningen presenteras med färgkodningen i tabell 8. Samtliga prover faller i klasserna 1-2, vilket innebär att inga spår av antropogent tillförda metaller genom t ex lak- eller avloppsvatten kan konstateras på de nivåer som studerats i lagerföljden.

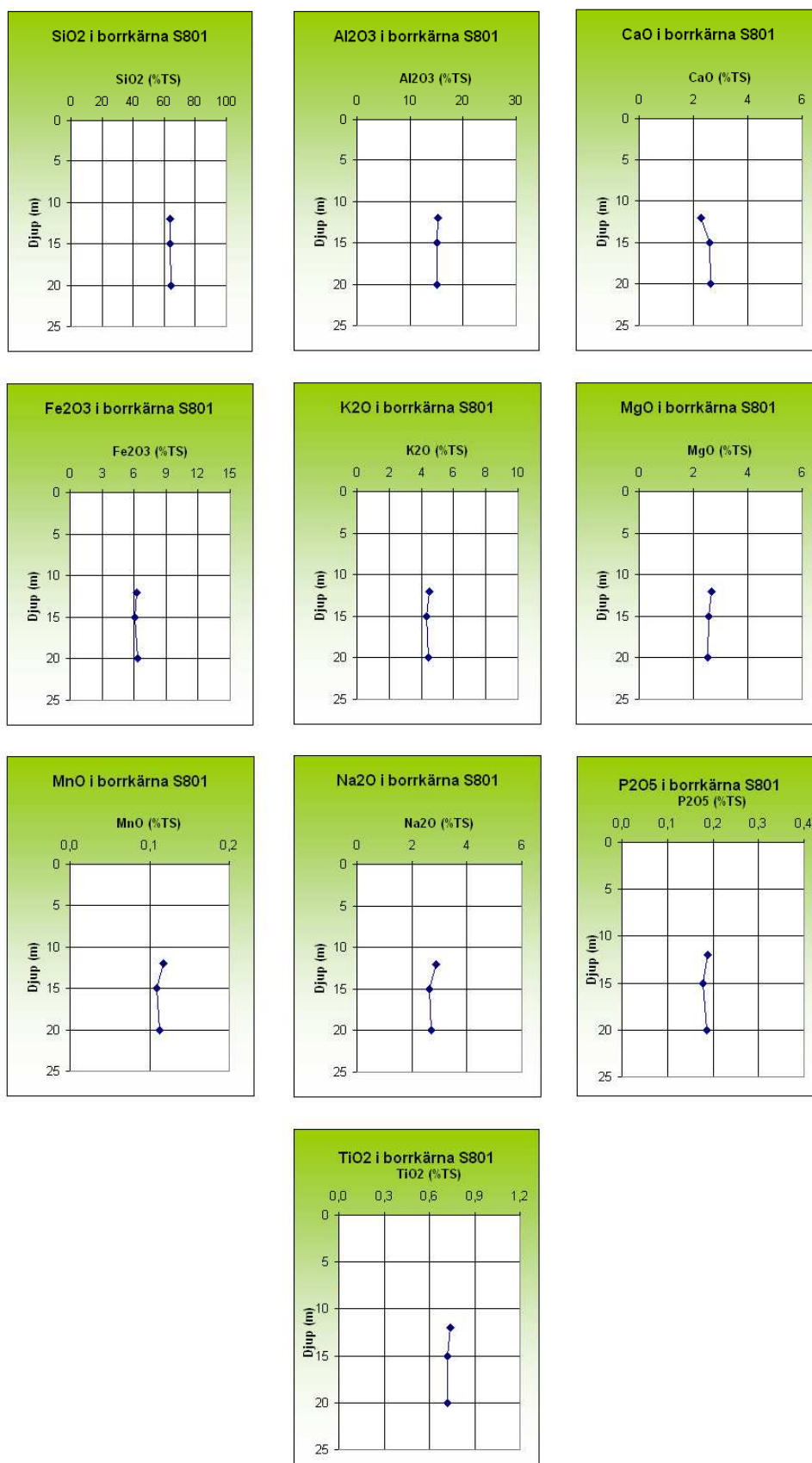


Fig. 17a. Totalhalten av kemiska huvudelement i borrhäna S801 (för borrhäns belägenhet se karta figur 4).



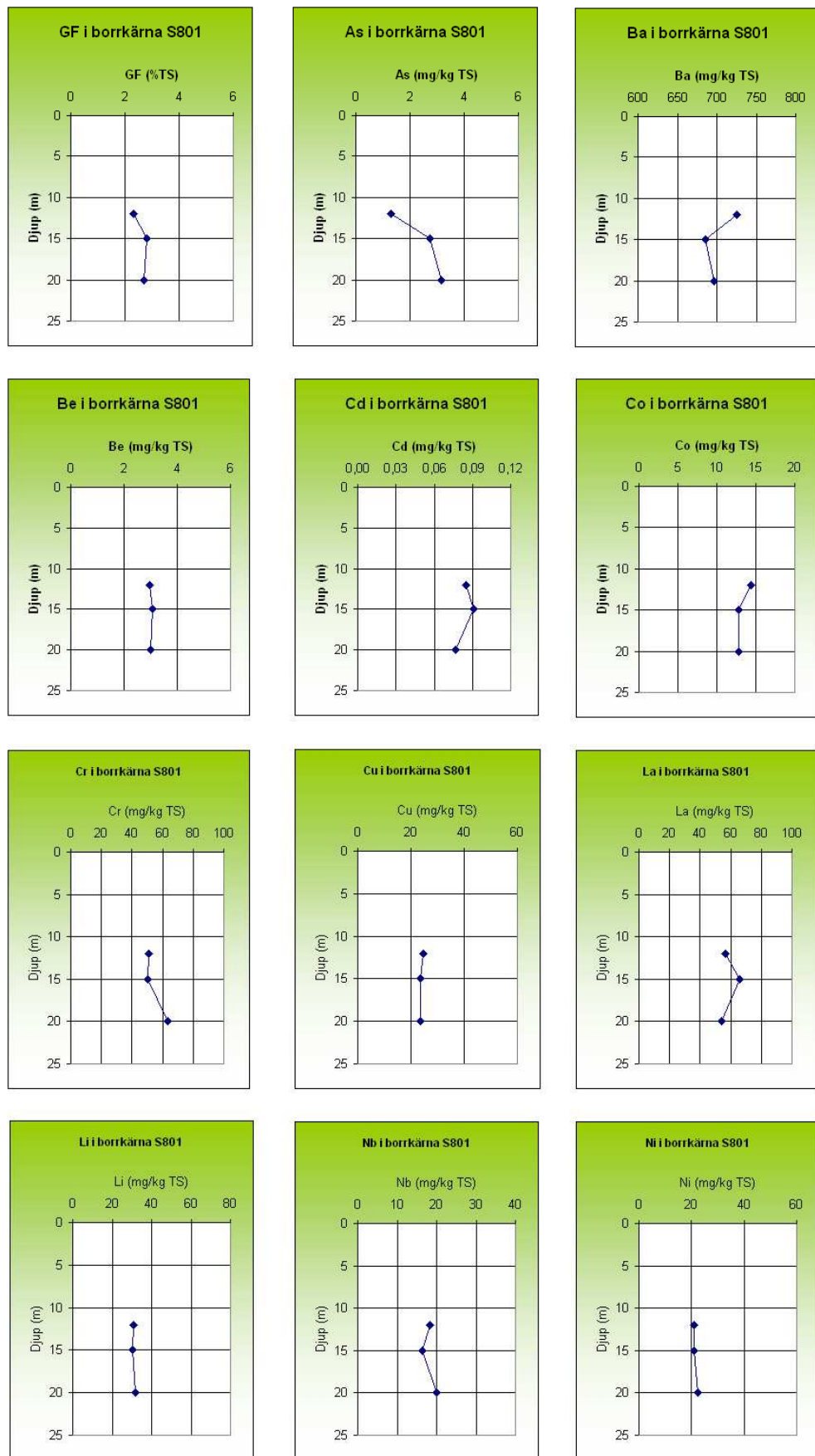


Fig. 17b. Totalhalten av kemiska spårelement, lantanoider och glödförlust (GF) i borrkärna S801 (för borrkärnans belägenhet se karta figur 4).

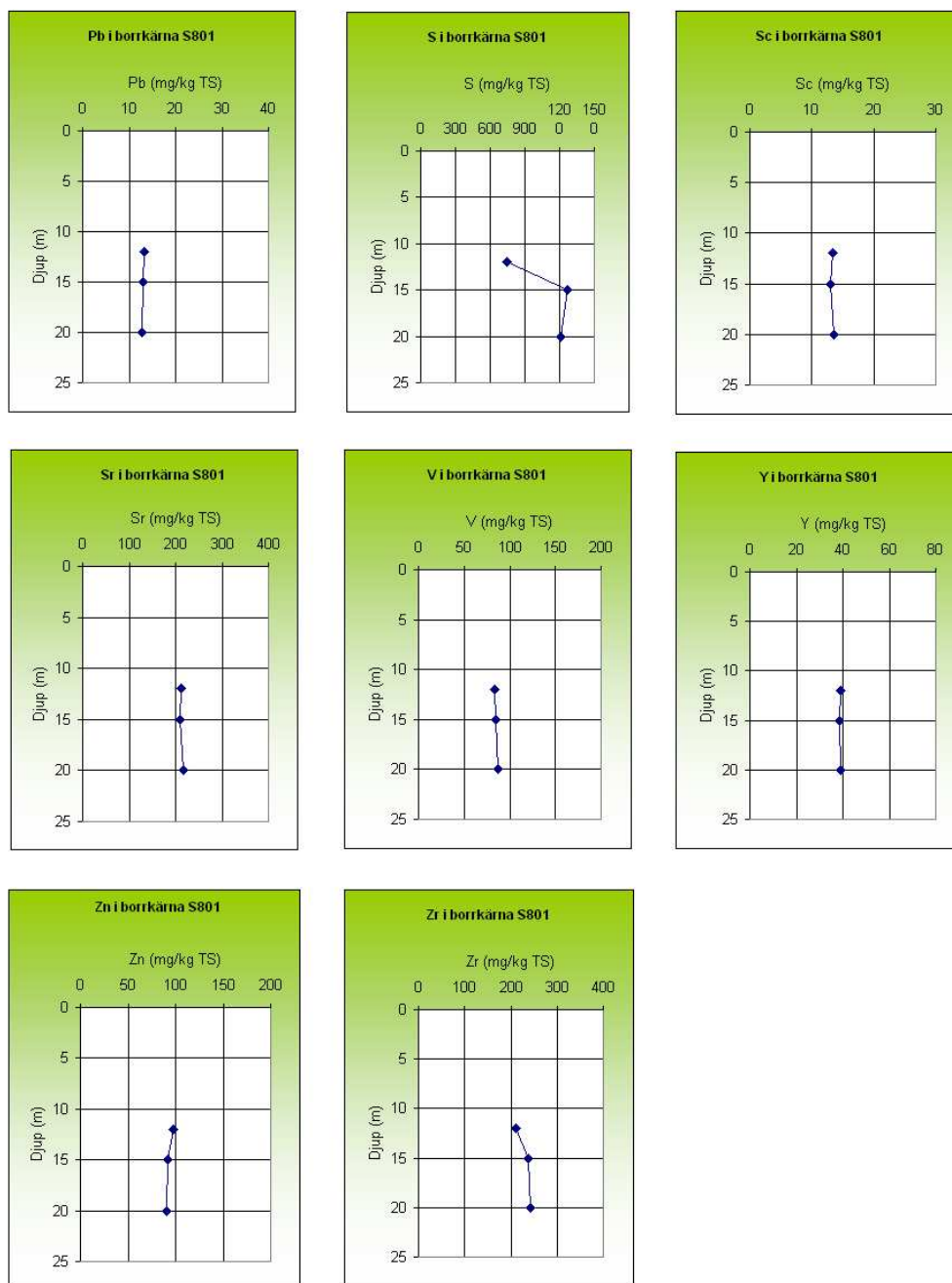


Fig. 17c. Totalhalten av kemiska spårelement i borrhäna S801 (för borrhäns belägenhet se karta figur 4).

#### 4.6 Undersökning av borrhämnarnas porvattenkemi

Porvatten från samma nivåer och borrhämnar (se ovan) som undersökts med avseende på totalkemi har också undersökts med avseende på porvattnets kemi. Porvattnet utvanns från naturfuktiga prover. Innan centrifugering tillsattes 100 ml vatten (milliQ 18,2 Mohm · cm). Lerprovet centrifugerades i 20 minuter med hastigheten 10 000 varv/min, varefter den klara lösningen överfördes till provrör och surgjordes med 2 ml konc. salpetersyra (suprapur) per 100 ml provlösning innan kemisk analys utfördes. Analyserna har utförts med ICP-MS teknik, enligt modifierad metod EPA 200.8, av SGUs ackrediterade vattenkemiska laboratorium i Uppsala. Som internstandard användes Indium (50 µg/g prov). Porvattnet analyserades med avseende på grundämnena natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), fosfor (P), klor (Cl), kalium (K), kalcium (Ca), titan (Ti), mangan (Mn), järn (Fe), barium (Ba), koppar (Cu), zink (Zn), rubidium (Rb) och strontium (Sr). Resultaten presenteras i tabellerna 9–11 och figurerna 18–20.

##### **Borrhämnar BG47**

Porvatten från sju nivåer i borrhämnar BG 47 analyserades enligt ovan. Betraktar man koncentrationsförändringarna som funktion av djupet i borrhämnarna kan konstateras att flera grundämnen uppvisar en snarlik profil genom lagerföljden. Kalcium (Ca), barium (Ba), magnesium (Mg), strontium (Sr), zink (Zn) och i viss mån klor (Cl) utgör en grupp med liknande profiler (fig. 18a-b, tabell 9), vilket är en följd av att de, utom klor (Cl), i varierande grad ingår i, alternativt bildar substituenten i marin kalk.

Aluminium (Al), järn (Fe) och titan (Ti) utgör en annan grupp med liknande profiler (fig. 18a), liksom kalium (K), natrium (Na) och rubidium (Rb) som bildar en egen grupp. Fosfor (P) och koppar (Cu) utgör en fjärde grupp med liknande profiler. Det enda grundämne som avviker från dessa profiler är mangan (Mn). Gemensamt för flertalet av de senare grundämnena är att de uppvisar en hög eller högsta halt på nivån 11 m, d.v.s. där ett sandskikt förekommer. Noterbart är att natrium (Na) och klor (Cl) inte samvarierar, vilket kan tyda på att natrium bundits till lermineralen.

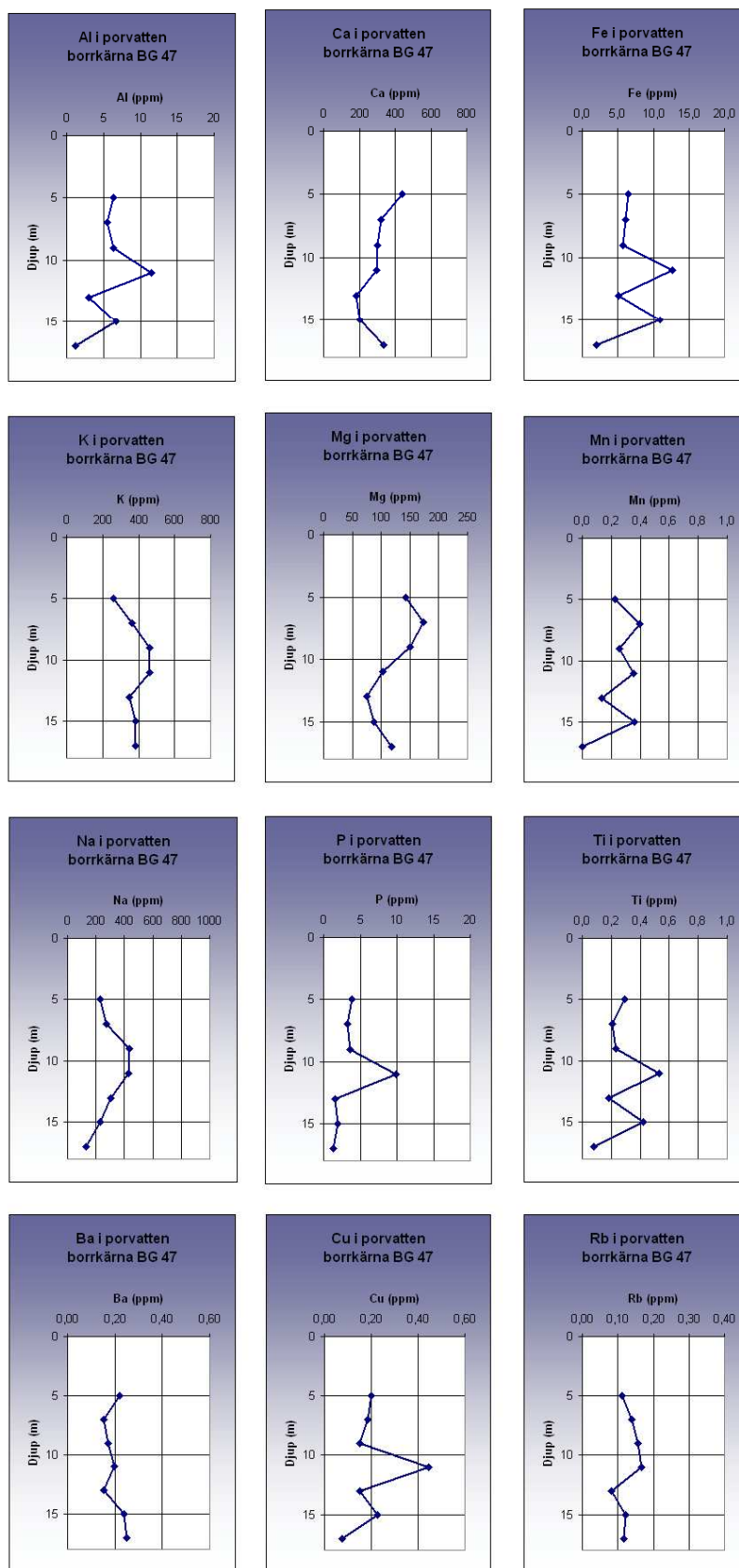


Fig. 18a. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrhäla BG 47 (för borrhålens belägenhet se karta figur 4).

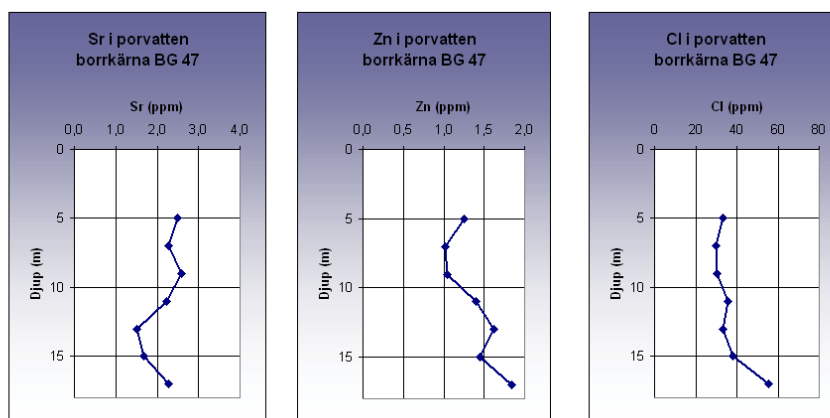


Fig. 18b. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrkärna BG 47 (för borrkärnans belägenhet se karta figur 4).

### **Borrkärna S401**

Motsvarande porvattenprofiler i borrkärna S401, som upphämtats i södra delen av skredområdet, uppvisar en dominerande profiltyp med en markant koncentrationsförhöjning på nivån 18 m i jordlagerföljden. I denna grupp ingår aluminium (Al), kalcium (Ca), järn (Fe), kalium (K), magnesium (Mg), mangan (Mn), fosfor (P), titan (Ti), barium (Ba), koppar (Cu), rubidium (Rb), strontium (Sr) och zink (Zn). Endast natrium (Na) och klor (Cl) uppvisar avvikande profiler som dessutom sinsemellan är olika (fig. 19a-b, tabell 10). Den med ökat jorddjup avtagande natriumhalten i porvattnet kan spegla jordlagrens avsättningsmiljö och jonens fixering till lerpartiklarna, medan den negativt laddade klorjonen inte binds på samma sätt i sedimenten.

De kraftigt förhöjda halterna av analyserade grundämnen, förutom klor, på nivån 18 m kan förklaras av kolloidala partiklar, främst humus i porvattnet. Detta observerades i lösningen efter centrifugeringen av proverna (se ovan). De kolloidala fraktionerna har en stor förmåga att absorbera positivt laddade joner. Detta i sin tur minskar tillgången på för leran viktiga stabiliserande joner.

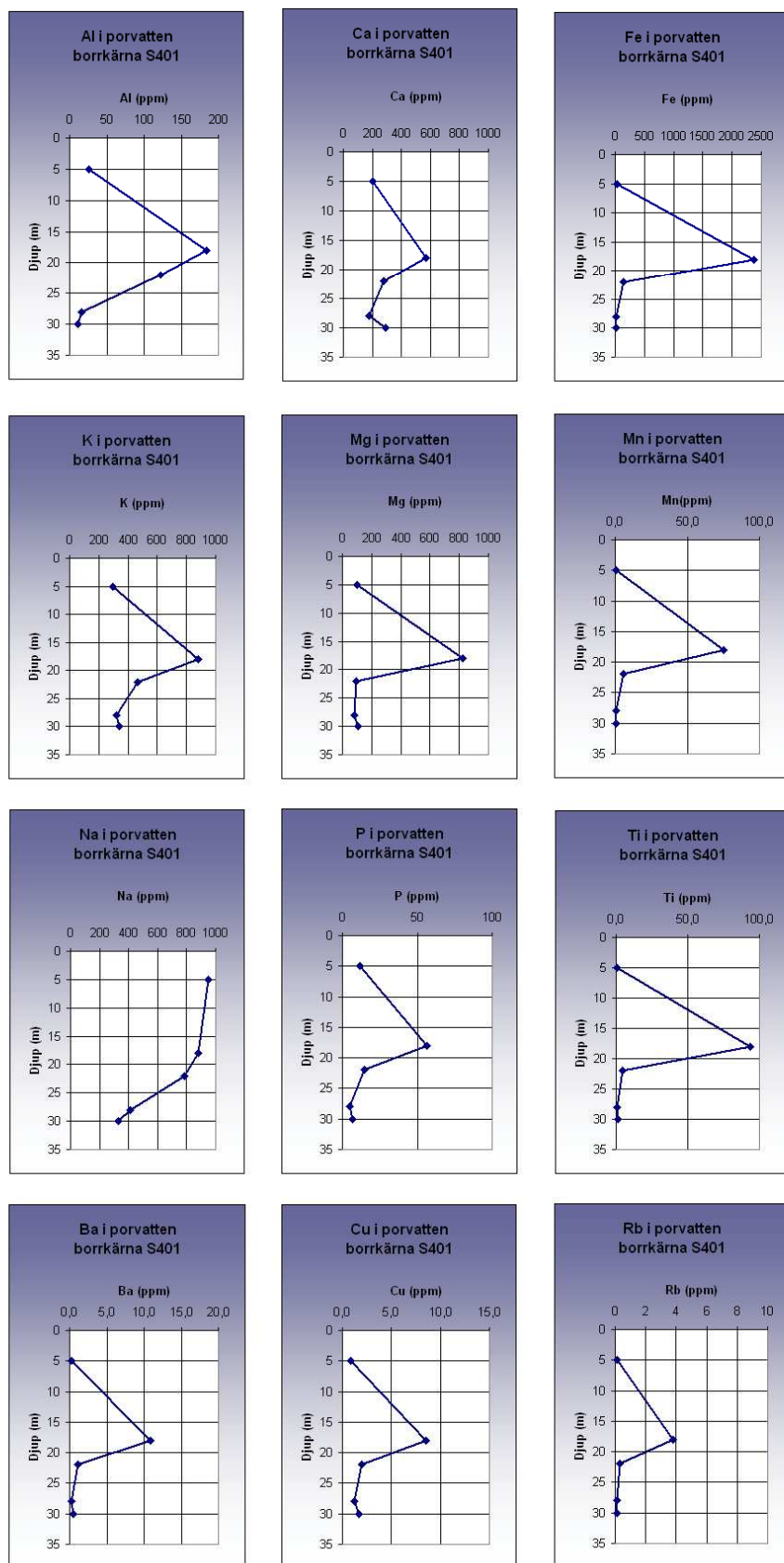


Fig. 19a. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrhäla S401 (för borrhälets belägenhet se karta figur 4).

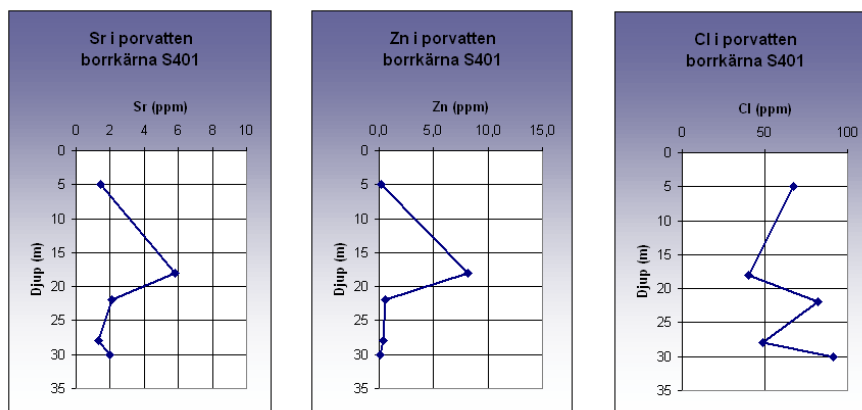


Fig. 19b. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrhärna S401 (för borrhärnans belägenhet se karta figur 4).

### **Borrhärna S801**

Borrhärna S801 är som tidigare nämnts upptagen i norra delen av skredområdet. Endast porvattenprover från tre nivåer har analyserat i borrhärnan, vilket medför att endast en mindre del av kärnans profil kan beskrivas.

På samma sätt som i borrhärna S401 kan stora likheter i relativ koncentrationsfördelning med djupet i lagerföljden observeras för ett stort antal grundämnen (fig. 20a-b, tabell 11). För Aluminium (Al), järn (Fe), mangan (Mn), natrium (Na), fosfor (P), titan (Ti), barium (Ba), koppar (Cu), rubidium (Rb) och klor (Cl) återfinns den högsta koncentrationen på nivån 12 meter och halterna sjunker mycket kraftigt till nivån 15 meter för att förbli ungefär konstant djupare ned (20 m).

Kalcium (Ca), magnesium (Mg), strontium (Sr) och zink (Zn) och i viss mån kalium (K) uppvisar alla profiler där den lägsta koncentrationen återfinns i porvattnet på nivån 12 meter. Språnget på nivån mellan 12 och 15 meter är inte lika markant som för övriga ämnen.



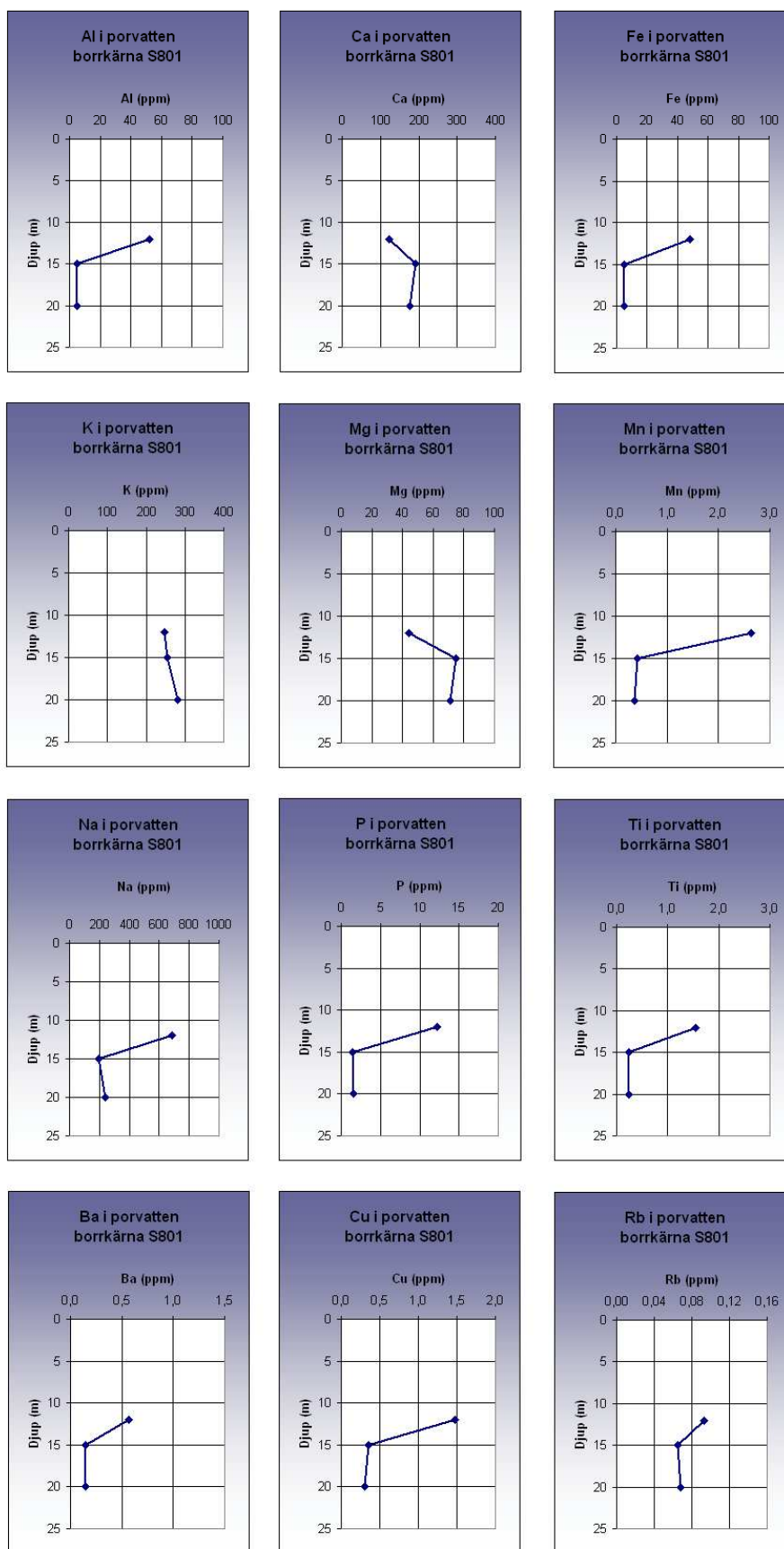


Fig. 20a. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrkärna S801 (för borrkärnans belägenhet se karta figur 4).

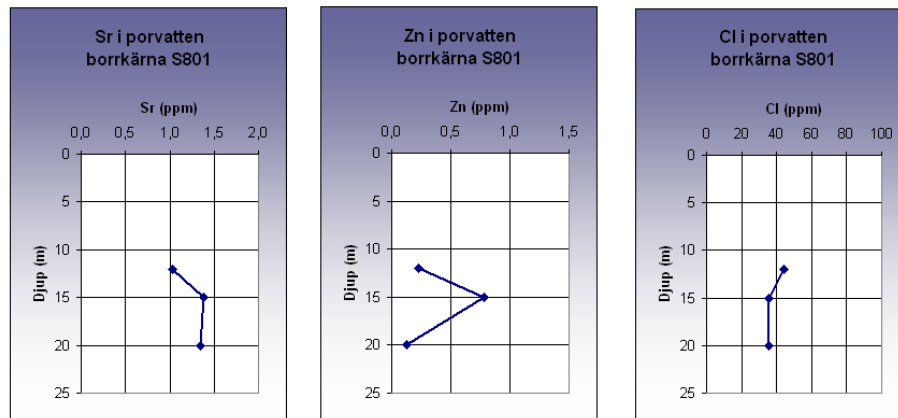


Fig. 20b. Totalhalten av kemiska huvudelement och spårelement i porvatten från borrkärna S801 (för borrkärnans belägenhet se karta figur 4).

## 5. TABELLER

Tabell 1. Kornstorleksfördelning och vattenhalt i prover från 3 borrhål i Småröd.

| Analysnr | Borrhål | Djup<br>under<br>m.y.<br>(m) | Grus (%) | Sand (%) | Silt (%) | Ler (%) | Vattenhalt (%) |
|----------|---------|------------------------------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| 28306    | S401    | 5                            | 5,5      | 19,9     | 37,5     | 37,1    | 29,6           |
| 28307    | S401    | 18                           | 0        | 5,7      | 50,6     | 43,7    | 30,2           |
| 28308    | S401    | 22                           | 0        | 42,7     | 42,3     | 15      | 15,0           |
| 28309    | S401    | 28                           | 0        | 5,2      | 50,9     | 43,9    | 31,2           |
| 28310    | S401    | 30                           | 5,9      | 19,1     | 47,1     | 27,9    | 21,7           |
| 28311    | S801    | 12                           | 0        | 0        | 48,5     | 51,5    | 35,0           |
| 28312    | S801    | 15                           | 0        | 2,8      | 54,2     | 43      | 33,2           |
| 28313    | S801    | 20                           | 0        | 0,1      | 53,3     | 46,6    | 33,9           |
| 28314    | BG47    | 5                            | 1,7      | 40       | 24,4     | 33,8    | 25,0           |
| 28315    | BG47    | 7                            | 0        | 8,5      | 43,7     | 47,8    | 39,3           |
| 28316    | BG47    | 9                            | 0        | 7        | 40,7     | 52,3    | 39,5           |
| 28317    | BG47    | 11                           | 0        | 36,5     | 24,3     | 39,2    | 27,7           |
| 28318    | BG47    | 13                           | 0        | 2,8      | 49,1     | 48,1    | 37,1           |
| 28319    | BG47    | 15                           | 0        | 5        | 51,6     | 43,4    | 30,0           |

Tabell 2. Semi-kvantitativt beräknad mineralsammansättning i <2 µm fraktionen hos lerproverna från borrhålen Munkedal S401 och Munkedal S801. (Int. = Intensitet).

|            | Illit  | Klorit | Kaolinit | Kvarts | Kalifältspat | Plagioklas | Amfibol |
|------------|--------|--------|----------|--------|--------------|------------|---------|
|            | Int. % | Int. % | Int. %   | Int. % | Int. %       | Int. %     | Int. %  |
| S401; 5 m  | 43     | 7      | <0,5     | 10     | 14           | 21         | 6       |
| S401; 18 m | 43     | 8      | <0,5     | 8      | 14           | 21         | 6       |
| S401; 22 m | 49     | 9      | <0,5     | 6      | 11           | 19         | 6       |
| S401; 28 m | 45     | 8      | <0,5     | 6      | 15           | 20         | 6       |
| S401; 30 m | 48     | 9      | <0,5     | 5      | 13           | 19         | 6       |
| S801; 12 m | 47     | 8      | <0,5     | 6      | 14           | 20         | 6       |
| S801; 15 m | 40     | 7      | <0,5     | 8      | 16           | 23         | 6       |
| S801; 20 m | 35     | 7      | <0,5     | 9      | 17           | 25         | 7       |

Tabell 3. Semi-kvantitativt beräknad mineralsammansättning i <2 µm fraktionen hos lerproverna från borrhärnan Munkedal BG47. (Int. = Intensitet).

|                   | Illit  | Klorit | Kaolinit | Bl.sk.min. | Kvarts | Kalifältspat | Plagioklas | Amfibol |
|-------------------|--------|--------|----------|------------|--------|--------------|------------|---------|
|                   | Int. % | Int. % | Int. %   | Int. %     | Int. % | Int. %       | Int. %     | Int. %  |
|                   |        |        |          |            |        |              |            |         |
| <b>BG47; 5 m</b>  | 32     | 6      | 0,6      |            | 8      | 17           | 28         | 8       |
| <b>BG47; 7 m</b>  | 35     | 7      | 0,9      | 3          | 8      | 15           | 24         | 6       |
| <b>BG47; 9 m</b>  | 36     | 6      | 1,5      | 4          | 8      | 17           | 22         | 6       |
| <b>BG47; 11 m</b> | 35     | 7      | 1,0      | 2          | 10     | 16           | 23         | 6       |
| <b>BG47; 13 m</b> | 39     | 7      | <0,5     |            | 7      | 15           | 25         | 7       |
| <b>BG47; 15 m</b> | 43     | 7      | <0,5     |            | 6      | 15           | 23         | 6       |
| <b>BG47; 17 m</b> | 40     | 7      | <0,5     |            | 6      | 15           | 25         | 6       |

Tabell 4. Förhållande mellan 001- och 002-topparnas höjder (mätta som intensiteter) hos illiterna i de analyserade proverna.

| Prov              | $H_{\text{illit 001}}/H_{\text{illit 002}}$ | Prov       | $H_{\text{illit 001}}/H_{\text{illit 002}}$ | Prov      | $H_{\text{illit 001}}/H_{\text{illit 002}}$ |
|-------------------|---------------------------------------------|------------|---------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------|
|                   | Kvot                                        |            | Kvot                                        |           | Kvot                                        |
|                   |                                             |            |                                             |           |                                             |
| <b>BG47; 5 m</b>  | 7,0                                         | BG47; 15 m | 9,2                                         | 401; 28 m | 9,8                                         |
| <b>BG47; 7 m</b>  | 7,2                                         | BG47; 17 m | 8,7                                         | 401; 30 m | 8,8                                         |
| <b>BG47; 9 m</b>  | 7,1                                         | 401; 5 m   | 9,4                                         | 801; 12 m | 9,4                                         |
| <b>BG47; 11 m</b> | 7,8                                         | 401; 18 m  | 8,8                                         | 801; 15 m | 9,2                                         |
| <b>BG47; 13 m</b> | 10,0                                        | 401; 22 m  | 11,1                                        | 801; 20 m | 8,7                                         |

Tabell 5. Analysdata från borrhäarna BG47 samt klassning av miljöklass enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999).

| ELEMENT                        | SAMPLE   | BG 47:5 | BG 47:7 | BG 47:9 | BG 47:11 | BG 47:13 | BG 47:15 | BG 47:17 |
|--------------------------------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Sedimentdjup                   | m        | 5       | 7       | 9       | 11       | 13       | 15       | 17       |
| TS fryst. Prov                 | %        | 100,0   | 99,9    | 99,9    | 99,9     | 100,0    | 100,1    | 100,0    |
| SiO <sub>2</sub>               | % TS     | 63      | 60      | 59      | 63       | 62       | 63       | 70       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 15      | 15      | 15      | 14       | 15       | 15       | 13       |
| CaO                            | % TS     | 2,7     | 3,3     | 3,3     | 3,6      | 2,5      | 2,5      | 2,3      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 5,9     | 6,5     | 6,6     | 5,5      | 6,4      | 6,1      | 4,1      |
| K <sub>2</sub> O               | % TS     | 4,3     | 4,2     | 4,2     | 4,1      | 4,5      | 4,4      | 3,7      |
| MgO                            | % TS     | 2,2     | 2,4     | 2,6     | 2,1      | 2,7      | 2,6      | 1,5      |
| MnO                            | % TS     | 0,086   | 0,091   | 0,085   | 0,084    | 0,11     | 0,11     | 0,075    |
| Na <sub>2</sub> O              | % TS     | 2,6     | 2,3     | 2,1     | 2,5      | 2,8      | 2,7      | 2,9      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | % TS     | 0,19    | 0,19    | 0,18    | 0,17     | 0,19     | 0,19     | 0,16     |
| TiO <sub>2</sub>               | % TS     | 0,63    | 0,68    | 0,69    | 0,64     | 0,75     | 0,73     | 0,57     |
| Summa                          | % TS     | 96      | 95      | 94      | 96       | 97       | 98       | 98       |
| LOI                            | % TS     | 3,6     | 5       | 5,9     | 3,9      | 2,9      | 2,8      | 1,7      |
| As                             | mg/kg TS | 4,5     | 5,2     | 7,3     | 5,5      | 2,7      | 2,9      | 2,2      |
| Ba                             | mg/kg TS | 670     | 630     | 590     | 630      | 740      | 720      | 630      |
| Be                             | mg/kg TS | 3,1     | 2,9     | 3,0     | 2,8      | 3,5      | 3,1      | 2,4      |
| Cd                             | mg/kg TS | 0,077   | 0,069   | 0,093   | 0,066    | 0,093    | 0,070    | 0,043    |
| Co                             | mg/kg TS | 12      | 13      | 13      | 11       | 13       | 13       | 7,0      |
| Cr                             | mg/kg TS | 62      | 76      | 82      | 49       | 53       | 58       | 48       |
| Cu                             | mg/kg TS | 21      | 20      | 21      | 18       | 23       | 24       | 16       |
| Hg                             | mg/kg TS | <0,04   | <0,04   | <0,04   | <0,04    | <0,04    | <0,04    | <0,04    |
| La                             | mg/kg TS | 62      | 53      | 53      | 50       | 60       | 71       | 50       |
| Li                             | mg/kg TS | 31      | 34      | 35      | 27       | 31       | 29       | 15       |
| Mo                             | mg/kg TS | <6      | <6      | <6      | <6       | <6       | <6       | <6       |
| Nb                             | mg/kg TS | 21      | 22      | 23      | 17       | 17       | 23       | 18       |
| Ni                             | mg/kg TS | 23      | 26      | 26      | 20       | 22       | 22       | 11       |
| Pb                             | mg/kg TS | 15      | 16      | 16      | 12       | 13       | 12       | 6,9      |
| S                              | mg/kg TS | 2700    | 4800    | 6500    | 5100     | 1700     | 1600     | 1100     |
| Sc                             | mg/kg TS | 13      | 14      | 15      | 12       | 14       | 14       | 10       |
| Sn                             | mg/kg TS | <20     | <20     | <20     | <20      | 26,9     | <20      | <20      |
| Sr                             | mg/kg TS | 210     | 210     | 200     | 220      | 220      | 210      | 210      |
| V                              | mg/kg TS | 90      | 100     | 110     | 87       | 92       | 90       | 60       |
| W                              | mg/kg TS | <60     | <60     | <60     | <60      | <60      | <60      | <60      |
| Y                              | mg/kg TS | 39      | 38      | 37      | 37       | 43       | 41       | 37       |
| Zn                             | mg/kg TS | 83      | 84      | 85      | 71       | 96       | 88       | 49       |
| Zr                             | mg/kg TS | 220     | 240     | 220     | 270      | 220      | 250      | 360      |

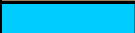
| Metaller |         | Avvikelse från jämförvärde |
|----------|---------|----------------------------|
|          | Klass 1 | Ingen obetydlig avvikelse  |
|          | Klass 2 | Liten avvikelse            |
|          | Klass 3 | Tydlig avvikelse           |
|          | Klass 4 | Stor avvikelse             |
|          | Klass 5 | Mycket stor avvikelse      |

Tabell 6. Spridning, medel- och medianvärden från respektive borrhälskärna BG 47, S401 och S801 samt referensdatap på glaciallera (Goldschmidt i Enghag 1999) och på svenska havssediment från Västerhavet och SÖ Östersjön (Cato 1997).

|                                |          | Enghag 1999 | Cato 1997 | Cato 1997 | BG 47 | BG 47 | BG 47 | BG 47 | S401  | S401 | S401  | S401  | S801  | S801  | S801  | S801  |
|--------------------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                |          | MV          | MV        | Md        | Min   | Max   | MV    | Md    | Min   | Max  | MV    | Md    | Min   | Max   | MV    | Md    |
|                                |          | n = 77      | n = 216   | n = 216   |       |       | n = 7 | n = 7 |       |      | n = 5 | n = 5 |       |       | n = 3 | n = 3 |
| SiO <sub>2</sub>               | % TS     | 59          | 60        | 57        | 59    | 70    | 63    | 63    | 63    | 74   | 68    | 67    | 64    | 65    | 64    | 64    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 16          | 11        | 11        | 13    | 15    | 15    | 15    | 12    | 15   | 14    | 14    | 15    | 15    | 15    | 15    |
| CaO                            | % TS     | 3,1         | 4,2       | 3,9       | 2,3   | 3,6   | 2,9   | 2,7   | 2     | 3    | 2,5   | 2,5   | 2,3   | 2,6   | 2,5   | 2,6   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 7           | 4,5       | 4,8       | 4,1   | 6,6   | 5,9   | 6,1   | 4     | 7    | 5,2   | 5,2   | 6,1   | 6,4   | 6,2   | 6,3   |
| K <sub>2</sub> O               | % TS     | 3,9         | 2,0       | 2,0       | 3,7   | 4,5   | 4,2   | 4,18  | 4     | 4    | 4,0   | 3,9   | 4,3   | 4,5   | 4,4   | 4,4   |
| MgO                            | % TS     | 3,3         | 2,1       | 2,3       | 1,5   | 2,7   | 2,3   | 2,4   | 1     | 3    | 1,9   | 2,0   | 2,5   | 2,7   | 2,6   | 2,6   |
| MnO                            | % TS     |             | 0,10      | 0,055     | 0,075 | 0,11  | 0,092 | 0,086 | 0,071 | 0,12 | 0,091 | 0,085 | 0,11  | 0,12  | 0,11  | 0,11  |
| Na <sub>2</sub> O              | % TS     | 2,1         | 3,1       | 3,1       | 2,1   | 2,9   | 2,6   | 2,6   | 2,7   | 3,03 | 2,9   | 2,9   | 2,7   | 2,9   | 2,7   | 2,7   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | % TS     | 0,22        | 0,20      | 0,2       | 0,16  | 0,19  | 0,18  | 0,19  | 0,15  | 0,19 | 0,17  | 0,18  | 0,18  | 0,19  | 0,18  | 0,19  |
| TiO <sub>2</sub>               | % TS     | 0,79        | 0,60      | 0,64      | 0,57  | 0,75  | 0,67  | 0,68  | 0,54  | 0,72 | 0,63  | 0,62  | 0,72  | 0,74  | 0,73  | 0,72  |
| GF                             | % TS     |             | 12,8      | 13,5      | 1,7   | 5,9   | 3,7   | 3,6   | 1,3   | 3,3  | 2,1   | 2,3   | 2,3   | 2,8   | 2,6   | 2,7   |
| As                             | mg/kg TS |             | 11        | 10        | 2,2   | 7,3   | 4,3   | 4,5   | 1,5   | 3,7  | 2,4   | 2,0   | 1,3   | 3,2   | 2,4   | 2,7   |
| Ba                             | mg/kg TS |             | 456       | 439       | 592   | 741   | 658   | 631   | 600   | 697  | 642   | 618   | 686   | 725   | 702   | 696   |
| Be                             | mg/kg TS |             | 1,9       | 1,8       | 2,4   | 3,5   | 3,0   | 3,0   | 2,4   | 3    | 2,7   | 2,7   | 3,0   | 3,1   | 3,0   | 3,0   |
| Cd                             | mg/kg TS |             | 0,29      | 0,15      | 0,043 | 0,093 | 0,073 | 0,070 | 0,053 | 0,14 | 0,091 | 0,077 | 0,077 | 0,091 | 0,084 | 0,085 |
| Co                             | mg/kg TS |             | 16        | 13        | 7,0   | 13    | 12    | 13    | 6,5   | 14   | 9,9   | 10    | 13    | 14    | 13    | 13    |
| Cr                             | mg/kg TS |             | 74        | 75        | 48    | 82    | 61    | 58    | 40    | 58   | 49    | 48    | 50    | 64    | 55    | 51    |
| Cu                             | mg/kg TS |             | 19        | 15        | 16    | 24    | 20    | 21    | 14    | 24   | 20    | 21    | 24    | 25    | 24    | 24    |
| Hg                             | mg/kg TS |             | 0,1       | 0,06      | 0     | 0     |       |       |       |      |       |       | 0     | 0     |       |       |
| La                             | mg/kg TS |             | 29        | 29        | 50    | 71    | 57    | 53    | 42    | 61   | 52    | 51    | 54    | 66    | 59    | 56    |
| Li                             | mg/kg TS |             | 40        | 42        | 15    | 35    | 29    | 31    | 13    | 32   | 22    | 24    | 30    | 32    | 31    | 31    |
| Mo                             | mg/kg TS |             | 1,8       | 1,5       | 0     | 0     |       |       |       |      |       |       | 0     | 0     |       |       |
| Nb                             | mg/kg TS |             | 12,2      | 12,3      | 17    | 23    | 20    | 21    | 14    | 19   | 16    | 17    | 17    | 20    | 18    | 18    |
| Ni                             | mg/kg TS |             | 27        | 27        | 11    | 26    | 21    | 22    | 10    | 23   | 16    | 18    | 21    | 22    | 21    | 21    |
| Pb                             | mg/kg TS |             | 41        | 41        | 7     | 16    | 13    | 13    | 6,3   | 14   | 11    | 11    | 13    | 13    | 13    | 13    |
| S                              | mg/kg TS |             | 3741      | 3430      | 1120  | 6540  | 3351  | 2700  | 572   | 2550 | 1111  | 894   | 743   | 1270  | 1074  | 1210  |
| Sc                             | mg/kg TS |             | 6,1       | 6         | 10    | 15    | 13    | 14    | 10    | 13   | 12    | 12    | 13    | 14    | 13    | 13    |
| Sn                             | mg/kg TS |             | 1,3       | 1         | 0     | 0     |       |       |       |      |       |       | 0     | 0     |       |       |
| Sr                             | mg/kg TS |             | 171       | 169       | 201   | 224   | 213   | 212   | 205   | 215  | 210   | 210   | 209   | 216   | 213   | 213   |
| V                              | mg/kg TS |             | 89        | 93        | 60    | 111   | 90    | 90    | 53    | 87   | 71    | 75,1  | 84    | 88    | 85    | 84    |
| W                              | mg/kg TS |             | 1,2       | 1,2       | 0     | 0     |       |       |       |      |       |       | 0     | 0     |       |       |
| Y                              | mg/kg TS |             | 23        | 21        | 37    | 43    | 39    | 38    | 33    | 38   | 36    | 35    | 38    | 39    | 39    | 39    |
| Zn                             | mg/kg TS |             | 96        | 99        | 49    | 96    | 79    | 84    | 42    | 148  | 90    | 92    | 91    | 97    | 93    | 92    |
| Zr                             | mg/kg TS |             | 339       | 226       | 219   | 364   | 255   | 244   | 211   | 357  | 291   | 295   | 212   | 242   | 230   | 237   |

Tabell 7. Analysdata från borrhäarna S401 samt klassning av miljökvalitet enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999).

| ELEMENT                            | SAMPLE   | 401-5 | 401-18 | 401-22 | 401-28 | 401-30 |
|------------------------------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Sedimentdjup</b>                | mg/kg TS | 5     | 18     | 22     | 28     | 30     |
| <b>TS frystor. Prov</b>            | %        | 99,7  | 99,7   | 99,8   | 99,7   | 99,8   |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | % TS     | 67    | 66     | 74     | 63     | 70     |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | % TS     | 14    | 15     | 12     | 15     | 13     |
| <b>CaO</b>                         | % TS     | 3,1   | 2,5    | 2,4    | 2,3    | 2,5    |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | % TS     | 5,2   | 5,7    | 3,9    | 6,6    | 4,6    |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>              | % TS     | 3,9   | 4,3    | 3,5    | 4,4    | 3,7    |
| <b>MgO</b>                         | % TS     | 2,0   | 2,3    | 1,3    | 2,6    | 1,5    |
| <b>MnO</b>                         | % TS     | 0,085 | 0,10   | 0,071  | 0,12   | 0,078  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>             | % TS     | 2,9   | 2,9    | 2,9    | 2,7    | 3,0    |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | % TS     | 0,18  | 0,19   | 0,16   | 0,18   | 0,15   |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | % TS     | 0,62  | 0,70   | 0,54   | 0,72   | 0,55   |
| <b>Summa</b>                       | % TS     | 98    | 99     | 100    | 98     | 100    |
| <b>LOI</b>                         | % TS     | 3,3   | 2,4    | 1,3    | 2,3    | 1,3    |
| <b>As</b>                          | mg/kg TS | 3,7   | 2,0    | 1,5    | 2,8    | 2,0    |
| <b>Ba</b>                          | mg/kg TS | 610   | 680    | 600    | 700    | 620    |
| <b>Be</b>                          | mg/kg TS | 2,7   | 2,9    | 2,4    | 3,0    | 2,5    |
| <b>Cd</b>                          | mg/kg TS | 0,077 | 0,14   | 0,053  | 0,13   | 0,056  |
| <b>Co</b>                          | mg/kg TS | 10    | 11     | 6,5    | 14     | 7,9    |
| <b>Cr</b>                          | mg/kg TS | 50    | 48     | 46     | 58     | 40     |
| <b>Cu</b>                          | mg/kg TS | 21    | 22     | 14     | 24     | 20     |
| <b>Hg</b>                          | mg/kg TS | <0,04 | <0,04  | <0,04  | <0,04  | <0,04  |
| <b>La</b>                          | mg/kg TS | 51    | 57     | 42     | 61     | 48     |
| <b>Li</b>                          | mg/kg TS | 24    | 26     | 13     | 32     | 17     |
| <b>Mo</b>                          | mg/kg TS | <6    | <6     | <6     | <6     | <6     |
| <b>Nb</b>                          | mg/kg TS | 17    | 19     | 15     | 18     | 14     |
| <b>Ni</b>                          | mg/kg TS | 18    | 18     | 10     | 23     | 13     |
| <b>Pb</b>                          | mg/kg TS | 11    | 14     | 6,3    | 14     | 8,0    |
| <b>S</b>                           | mg/kg TS | 2600  | 590    | 570    | 890    | 950    |
| <b>Sc</b>                          | mg/kg TS | 12    | 13     | 10     | 13     | 10     |
| <b>Sn</b>                          | mg/kg TS | <20   | <20    | <20    | <20    | <20    |
| <b>Sr</b>                          | mg/kg TS | 220   | 210    | 210    | 210    | 210    |
| <b>V</b>                           | mg/kg TS | 75    | 80     | 53     | 87     | 60     |
| <b>W</b>                           | mg/kg TS | <60   | <60    | <60    | <60    | <60    |
| <b>Y</b>                           | mg/kg TS | 35    | 38     | 35     | 38     | 33     |
| <b>Zn</b>                          | mg/kg TS | 70    | 92     | 42     | 100    | 150    |
| <b>Zr</b>                          | mg/kg TS | 300   | 280    | 360    | 210    | 320    |

| Metaller                                                                            |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Avvikelse från jämförvärde                                                          |                                          |
|  | <b>Klass 1</b> Ingen obetydlig avvikelse |
|  | <b>Klass 2</b> Liten avvikelse           |
|  | <b>Klass 3</b> Tydlig avvikelse          |
|  | <b>Klass 4</b> Stor avvikelse            |
|  | <b>Klass 5</b> Mycket stor avvikelse     |



Tabell 8. Analysdata från borrhäls S801 samt klassning av miljöklass enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999).

| ELEMENT                        | SAMPLE   | 801-12 | 801-15 | 801-20 |
|--------------------------------|----------|--------|--------|--------|
| Sedimentdjup                   | m        | 12     | 15     | 20     |
| TS fryst. Prov                 | %        | 99,8   | 99,8   | 99,7   |
| SiO <sub>2</sub>               | % TS     | 64     | 64     | 65     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 15     | 15     | 15     |
| CaO                            | % TS     | 2,3    | 2,6    | 2,6    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % TS     | 6,3    | 6,1    | 6,4    |
| K <sub>2</sub> O               | % TS     | 4,5    | 4,3    | 4,4    |
| MgO                            | % TS     | 2,7    | 2,6    | 2,5    |
| MnO                            | % TS     | 0,12   | 0,11   | 0,11   |
| Na <sub>2</sub> O              | % TS     | 2,9    | 2,7    | 2,7    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | % TS     | 0,19   | 0,18   | 0,19   |
| TiO <sub>2</sub>               | % TS     | 0,74   | 0,72   | 0,72   |
| Summa                          | % TS     | 99     | 98     | 99     |
| LOI                            | % TS     | 2,3    | 2,8    | 2,7    |
| As                             | mg/kg TS | 1,3    | 2,7    | 3,2    |
| Ba                             | mg/kg TS | 730    | 690    | 700    |
| Be                             | mg/kg TS | 3,0    | 3,1    | 3,0    |
| Cd                             | mg/kg TS | 0,085  | 0,091  | 0,077  |
| Co                             | mg/kg TS | 14     | 13     | 13     |
| Cr                             | mg/kg TS | 51     | 50     | 64     |
| Cu                             | mg/kg TS | 25     | 24     | 24     |
| Hg                             | mg/kg TS | <0,04  | <0,04  | <0,04  |
| La                             | mg/kg TS | 56     | 66     | 54     |
| Li                             | mg/kg TS | 31     | 30     | 32     |
| Mo                             | mg/kg TS | <6     | <6     | <6     |
| Nb                             | mg/kg TS | 18     | 17     | 20     |
| Ni                             | mg/kg TS | 21     | 21     | 22     |
| Pb                             | mg/kg TS | 13     | 13     | 13     |
| S                              | mg/kg TS | 740    | 1300   | 1200   |
| Sc                             | mg/kg TS | 13     | 13     | 14     |
| Sn                             | mg/kg TS | <20    | <20    | <20    |
| Sr                             | mg/kg TS | 210    | 210    | 220    |
| V                              | mg/kg TS | 84     | 84     | 88     |
| W                              | mg/kg TS | <60    | <60    | <60    |
| Y                              | mg/kg TS | 39     | 38     | 39     |
| Zn                             | mg/kg TS | 97     | 92     | 91     |
| Zr                             | mg/kg TS | 210    | 240    | 240    |

| Metaller                   |         |                           |
|----------------------------|---------|---------------------------|
| Avvikelse från jämförvärde |         |                           |
|                            | Klass 1 | Ingen obetydlig avvikelse |
|                            | Klass 2 | Liten avvikelse           |
|                            | Klass 3 | Tydlig avvikelse          |
|                            | Klass 4 | Stor avvikelse            |
|                            | Klass 5 | Mycket stor avvikelse     |

Tabell 9. Kemiska analysdata över porvatten i borrhärna BG 47.

| Element | Prov nr<br>Sed. djup | BG 47<br>5 m | BG 47<br>7 m | BG 47<br>9 m | BG 47<br>11 m | BG 47<br>13 m | BG 47<br>15 m | BG 47<br>17 m |
|---------|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Na      | ppm                  | 230          | 270          | 440          | 430           | 300           | 230           | 130           |
| Mg      | ppm                  | 140          | 170          | 150          | 100           | 76            | 88            | 120           |
| Al      | ppm                  | 6,3          | 5,5          | 6,3          | 12            | 2,9           | 6,7           | 1,3           |
| P       | ppm                  | 3,8          | 3,2          | 3,6          | 10            | 1,5           | 2,0           | 1,3           |
| Cl      | ppm                  | 33           | 30           | 31           | 36            | 33            | 38            | 55            |
| K       | ppm                  | 260          | 360          | 460          | 460           | 350           | 380           | 380           |
| Ca      | ppm                  | 440          | 320          | 300          | 300           | 180           | 200           | 340           |
| Ti      | ppm                  | 0,3          | 0,2          | 0,2          | 0,5           | 0,2           | 0,4           | 0,1           |
| Mn      | ppm                  | 0,22         | 0,40         | 0,26         | 0,36          | 0,13          | 0,36          | <0,02         |
| Fe      | ppm                  | 6,4          | 6,1          | 5,8          | 13            | 5,1           | 11            | 2,0           |
| Ba      | ppm                  | 0,22         | 0,15         | 0,17         | 0,20          | 0,15          | 0,24          | 0,25          |
| Cu      | ppm                  | 0,20         | 0,18         | 0,15         | 0,45          | 0,15          | 0,22          | 0,08          |
| Zn      | ppm                  | 1,3          | 1,0          | 1,0          | 1,4           | 1,6           | 1,5           | 1,8           |
| Rb      | ppm                  | 0,11         | 0,14         | 0,16         | 0,17          | 0,08          | 0,12          | 0,12          |
| Sr      | ppm                  | 2,5          | 2,3          | 2,6          | 2,2           | 1,5           | 1,7           | 2,3           |

Tabell 10. Kemiska analysdata över porvatten i borrhärna S401.

| Element | Prov nr<br>Sed.djup | S401<br>5 m | S401<br>18 m | S401<br>22 m | S401<br>28 m | S401<br>30 m |
|---------|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Na      | ppm                 | 950         | 880          | 790          | 410          | 330          |
| Mg      | ppm                 | 100         | 820          | 94           | 79           | 110          |
| Al      | ppm                 | 26          | 184          | 122          | 16           | 11           |
| P       | ppm                 | 12          | 56           | 15           | 4,6          | 6,6          |
| Cl      | ppm                 | 68          | 40           | 82           | 49           | 91           |
| K       | ppm                 | 290         | 880          | 460          | 320          | 340          |
| Ca      | ppm                 | 200         | 570          | 280          | 180          | 290          |
| Ti      | ppm                 | 0,9         | 94           | 4,6          | 0,7          | 1,0          |
| Mn      | ppm                 | 0,85        | 75           | 5,7          | 0,74         | 0,37         |
| Fe      | ppm                 | 32          | 2380         | 147          | 16           | 13           |
| Ba      | ppm                 | 0,23        | 11           | 1,07         | 0,25         | 0,48         |
| Cu      | ppm                 | 0,9         | 8,5          | 2,0          | 1,2          | 1,7          |
| Zn      | ppm                 | 0,1         | 8,1          | 0,6          | 0,3          | 0,1          |
| Rb      | ppm                 | 0,09        | 3,8          | 0,29         | 0,10         | 0,15         |
| Sr      | ppm                 | 1,4         | 5,8          | 2,1          | 1,3          | 2,0          |

Tabell 11. Kemiska analysdata över porvatten i borrhärna S801.

| Element | Prov nr<br>Sed.djup | S801<br>12 m | S801<br>15 m | S801<br>20 m |
|---------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| Na      | ppm                 | 680          | 190          | 240          |
| Mg      | ppm                 | 44           | 75           | 71           |
| Al      | ppm                 | 52           | 4,9          | 4,9          |
| P       | ppm                 | 12           | 1,5          | 1,6          |
| Cl      | ppm                 | 44           | 36           | 35           |
| K       | ppm                 | 250          | 250          | 280          |
| Ca      | ppm                 | 120          | 190          | 180          |
| Ti      | ppm                 | 1,5          | 0,2          | 0,2          |
| Mn      | ppm                 | 2,6          | 0,42         | 0,37         |
| Fe      | ppm                 | 48           | 4,7          | 4,8          |
| Ba      | ppm                 | 0,57         | 0,15         | 0,14         |
| Cu      | ppm                 | 1,5          | 0,4          | 0,3          |
| Zn      | ppm                 | 0,2          | 0,8          | 0,1          |
| Rb      | ppm                 | 0,09         | 0,06         | 0,07         |
| Sr      | ppm                 | 1,0          | 1,4          | 1,3          |

## 6. REFERENSER

- Cato, I., 1981: Kemiska och fysikaliska undersökningar. In Fredén m.fl., 1981: Tuveskredet 30 november 1977. *Geologi. Statens geotekniska institut Rapport 11 b/ Sveriges geologiska undersökning Rapporter & Meddelanden* 26, 22 s.
- Cato, I., Fredén, C., Häger, K.-O. & Miller, U., 1981: Rekonstruktion av sedimentationsförhållandena vid Tuve. In Fredén m.fl., 1981: Tuveskredet 30 november 1977. *Geologi. Statens geotekniska institut Rapport 11 b/ Sveriges geologiska undersökning Rapporter & Meddelanden* 26, 3 s.
- Cato, I., 1982a: Grain-size distribution of the cores –with emphasis on the sedimentary patterns around the Pleistocene/Holocene boundary. In Olausson m.fl. 1982: The Pleistocene/Holocene boundary in south-western Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C* 794, 288 s.
- Cato, I., 1982b: Water content, bulk density and organic carbon. In Olausson, 1982: The Pleistocene/Holocene boundary in south-western Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C* 794, 288 s.
- Cato, I., 1997: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat Sediments. In Cato, I. & Klingberg, F., (eds.): Proceedings of the Fourth Marine Geological Conference - the Baltic. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 86, 14 s.
- Drever, S.I., 1973: The preparation of oriented clay mineral specimens for X-ray diffraction analysis by a filter-membrane peel technique. - *American Mineral* 58, 11 s.
- Eliasson, T., Göransson, M. & Shomali, H., 2007: Bergkvalitetskarta över Uddevalla och Stenungsunds kommuner med beskrivning *Sveriges geologiska undersökning K70*, 32 s.
- Engdahl, M., 2003: Lokal jorddatabas i skala 1:50 000 med kortfattad beskrivning till delen Uddevalla kommun, kartbladet Vänersborg NV. *Sveriges geologiska undersökning*.
- Enghag, P., 1999: Jordens grundämnen och deras upptäckt. *Industrilitteratur*, 301 s.
- Fredén, C. *et al*, 1981: Tuveskredet 1977-11-30. Geologiska undersökningar. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden nr* 26, 154 s.
- Graff-Petersen, P., 1961: Lerm mineralogien i de limniska jurasedimenterna på Bornholm. – Thesis. *University of Copenhagen*, 149 s.
- Hilldén, A., 2005: Regional jorddatabas i skala 1:100 000 med kortfattad beskrivning till kartbladet Vänersborg NV. *Sveriges geologiska undersökning*.
- Lundqvist, I., (under arbete): Beskrivning till Berggrundskartan 8B Vänersborg NV. *Sveriges geologiska undersökning*.
- Naturvårdsverket, 1999: Bedömningsgrunder för miljö kvalitet kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport* 4914, 134 s.
- von Post, L., 1913: Jordskredet vid Smedberg i Bohuslän. Den 23 augusti 1911. *Sveriges geologiska undersökning C* 244, 27 s.
- Snäll, S., Persson, Ch. och Wikström A., 1979: Mineralogisk undersökning av morän från ett område väster om Katrineholm. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 761, 32 s.
- Vägverket, 2007: Rapport geoteknisk undersökning väg E6, delen Småröd-Saltkällan. *Ramböll objektnummer* 432806, 2007-10-29.
- Wastegård, S., Andrén Th., Sohlenius, G. & Sandgren, P., 1994: Different phases of the Yoldia Sea in the north-western Baltic Proper. *Quaternary International* 27, 8 s.
- Westergård, A.H., 1909: Om jordskredet vid Saltkällan i Bohuslän. *Sveriges geologiska undersökning C* 225, 12 s.

Sveriges geologiska undersökning  
Box 670  
751 28 Uppsala  
Tel: 018-17 90 00

Skredet i Småröd, Bohuslän 2006-12-20  
Geologiska undersökningar  
2007-11-13