Rapporter och meddelanden nr 101

Betydelsen av de geokemiska och mineralogiska förhållandena för grundvattnets kemiska sammansättning i morän och sorterade sediment i norra Värmland



Lars-Ove Lång

Uppsala 1999

Rapporter och meddelanden nr 101

Betydelsen av de geokemiska och mineralogiska förhållandena för grundvattnets kemiska sammansättning i morän och sorterade sediment i norra Värmland

Lars-Ove Lång

Uppsala 1999

ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-614-8

Omslagsbild: Vy över Klarälvsdalen vid Kårebol. Foto Curt Fredén.

Layout: Agneta Ek, SGU
Tryck: Elanders Gotab AB, Stockholm 1999

FÖRORD

Detta är en slutrapport för det vid SGU internt finansierade FoU-projektet 5148 med titeln "Betydelsen av de geokemiska och mineralogiska förhållandena för grundvattnets kemiska sammansättning i morän och sorterade sediment i norra Värmland".

Analys av markprover utfördes i samarbete med Christina Petersson, tidigare Göteborgs Universitet. Grundvattenkemiska data från SGUs databaser framtogs av Åsa Klein, SGU. Analyser avseende Sörby vattentäkt erhölls från Hagfors kommun och för Månäs vattentäkt från Torsby kommun. Från Hagforsområdet ingår data från tidigare projekt som utförts tillsammans med Sven Jonasson, Scandiaconsult och Sven Swedberg, Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Åsa Lindh, SGU framställde översiktsfigurer.

Den markgeokemiska modellen PROFILE ställdes välvilligt till förfogande av Harald Sverdrup, Lunds Universitet. Samtliga modelltester med programmet PHRQKIN utförde Anna Nyström Claesson, Chalmers tekniska högskola som också är medförfattare till kapitlet PHRQKIN-modellen. Sven Snäll, SGU beräknade mineralogisk sammansättning på jordprov med hjälp av programmet MINBER94. Mats Aastrup, SGU var främste diskussionspartner under projektets genomförande. Han gav också värdefulla synpunkter på rapportens innehåll.

Till samtliga riktas ett varmt tack.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord ... 3
Innehållsförteckning ... 4
Sammanfattning ... 6
Summary ... 7

BAKGRUND ... 8
- Värmland och surt grundvatten ... 8
- Syfte ... 8
- Genomförande ... 9

MARKUNDERSÖKNINGAR ... 10
- Lokaler ... 10
  - Hagfors ... 10
  - Sörby och Hagfors ... 11
- Metodik ... 12
  - Provtagning ... 12
  - Laboratorieanalys ... 12
- Resultat ... 14
  - Kornstorlek ... 14
  - Geokemiska analyser ... 16
  - Mineralogisk sammansättning ... 21
  - Sammanfattning geokemi, mineralogi och vittringsdjup ... 28

MODELLERING AV VITTRINGSHASTIGHETER OCH GRUNDVATTNETS KEMISKA SAMMANSÄTTNING ... 29
- Grundvattenkemiska mätdata ... 29
- PROFILE-modellen ... 32
  - Bakgrund ... 32
  - Förutsättningar och antaganden ... 32
  - Simuleringar ... 33
  - Resultat vittringshastigheter ... 34
  - Resultat grundvattenkemisk sammansättning ... 38
  - Sammanfattning ... 42
- PHRQKIN-modellen ... 42
  - Bakgrund ... 42
  - Uppbyggnad ... 43
  - Simuleringar ... 44
  - Resultat grundvattenkemisk sammansättning ... 45
  - Sammanfattning ... 46

BRUNNSANALYSER FRÅN NORRA VÄRMLAND ... 47
- Material ... 47
- Resultat ... 47

SLUTSATSER OCH KOMMENTARER ... 49
- Modellering ... 49
- Vittring ... 49
- Tillämpning och utveckling ... 50

REFERENSER ... 51

BILAGOR

Bilaga 1. Geokemiska analyser 53

Bilaga 2. Grundvattnets kemiska sammansättning i Hagfors 56

Bilaga 3. Sörby – grundvattenkemiska data 57

Bilaga 4. Månäs – grundvattenkemiska data 61

Bilaga 5. PROFILE – Simulering HagforsS2 64

Bilaga 6. PROFILE – Simulering SörbyS2 67

Bilaga 7. PROFILE – Simulering MånäsS2 70

Bilaga 8. Brunnsanalyser från norra Värmland 73

Bilaga 9. Sammanställning av brunnsanalyser från norra Värmland 80

SAMMANFATTNING

Grundvattnet i jordlagren i norra Värmland kännetecknas av för svenska förhållanden lågt pH och låg jonstyrka. Brunnsanalyser har visat att dessa förhållanden gällt från slutet av 40-talet (Jonasson m.fl. 1990). Ett nyligen utfört forskningsprojekt indikerar att antropogena utsläpp av försurande ämnen till atmosfären inte orsakat markförsurning i norra Värmland (Lundström m.fl. 1998). De kvartära jordlagrens mineralogiska sammansättning antas vara en avgörande faktor för förekomsten av surt grundvatten.

Denna studie syftar till att: 1) utföra detaljerad dokumentation av de geokemiska och mineralogiska förhållandena i jordprofiler vid försöksområdena Hagfors, Sörby och Månäs, där grundvattnets kemiska sammansättning regelbundet analyserats, 2) jämföra den kemiska sammansättning hos grundvattnet som erhållits vid simuleringar med modellerna PROFILE och PHRQKIN med utförda analyser, samt 3) från befintliga brunnsanalyser karaktärisera grundvattnets kemiska sammansättning i grovkorniga avlagringar i norra Värmland.

Geokemiska analyser av jordprov visar på låga halter av mineral rika på kalcium och magnesium. Markprofilernas innehåll av baselement under de urlakade E-horisonterna är likartade, vilket även gäller prov från närliggande skärningar. Resultaten har ansetts tillförlitliga för att approximera jordlagrens mineralogiska sammansättning i de grundvattenmagasin som ingår i modelleringarna. I prov från fraktionen <2 mm har både mineral som är olösliga respektive lösliga i kungsvatten (Aqua Regia) vittrat kraftigt i E-horisonterna. I B-horisonterna finns bara tendenser till vittring av mineral som är lösliga i kungsvatten och t.ex. är vittringen av hornbländekornens ytor mycket begränsad. I lerfraktionen har tydlig vittring skett av klorit och illit ned till 0,6–1,0 m djup.

Jordarten vid Hagforslokalen är sandig morän. Genomsnittlig grundvattennivå ligger på cirka 1 m djup. Vid simuleringar med PROFILE beräknas pH och magnesiumhalter som är jämförbara med de uppmätta värdena, medan något högre halter erhålls av kalcium. För kalium och natrium beräknas betydligt högre halter vid simuleringarna. Detta gäller även vid simuleringarna av grundvattnet vid vattentäkterna Sörby och Månäs i Klarälvsdalen. Frigörelsen av kalium och natrium är i PROFILE en direkt funktion av vittringen av fältspater. I exemplen med PHRQKIN beräknas istället jämförbara halter av kalium och natrium mot utförda analyser, medan denna modell betydligt underskattar frigörelsen av kalcium och magnesium. Simuleringarna visar att båda modellerna kan vara användbara för prognosticering av grundvattnets kemiska sammansättning, förutsatt betydande anpassning av vittringshastigheter och utfällningsreaktioner i den undre delen av omättad samt i mättad zon.

Brunnsanalyser från olika undersökningar har sammanställts för norra Värmland. Grundvattnets genomsnittliga pH är 5,9 och alkalinitet 0,25 mekv/l i både morän och sandiga-grusiga sorterade sediment. På större brunnsdjup än 3 m tycks inte grundvattnets sammansättning vara beroende av brunnsdjupet. En genomsnittlig alkalinitet har skisserats för grovkorniga jordarter i området, med utgångspunkt från att ingen ytterligare ökning i jonstyrka sker med längre uppehållstid eller transportsträcka hos grundvattnet. Att förutsätta denna typ av stabilitet i grundvattnets kemiska sammansättning som är avhängig specifik mineralogi och kornstorlek, kan eventuellt endast ske för områden eller avlagringar med låg halt av lättvittrade mineral. Metoden kan tänkas vara till hjälp vid fortsatt utveckling av modeller för simulering av grundvattnets kemiska sammansättning.

SUMMARY

Groundwater in Quaternary deposits of northern parts of the county of Värmland is more acidic than in most other parts of Sweden. Historical groundwater analyses show that the same chemical characteristics have prevailed since the late 1940´s (Jonasson et al. 1990). A recent study of soils in northern Värmland does not indicate anthropogenic acidification (Lundström et al. 1998). It is suggested that the mineralogical composition of the sediments is a decisive factor controlling the extent of acidic groundwater. The main objectives of the present study are: 1) to make detailed geochemical and mineralogical documentation of the Quaternary deposits at the Hagfors, Månäs and Sörby sites, where monitoring of the groundwater chemical composition has been carried out, 2) to compare calculated chemical compositions of the groundwater by the PROFILE and PHRQKIN models with measured values, and 3) to describe the groundwater chemical composition in coarse deposits in northern Värmland.

The results of the mineralogical investigation show that the soil contents of minerals rich in calcium and magnesium are low. The contents of the base elements are quite similar within the soil profiles below the leached E-horizons. Also, samples from cuttings in the vicinity of the profiles have comparable geochemical compositions. Therefore, the obtained geochemical results are approximately representative for the aquifers in the modelling procedure. Several minerals both resistant to, or soluble in, AR (Aqua Regia) are readily weathered within the E-horizons. In the B-horizons, only minerals soluble in AR are slightly weathered, with limited surface weathering of hornblende grains. This is valid for the bulk fraction of <2 mm. Within the most fine-grained part, the clay fraction, weathering of chlorite and illite is clearly shown down to 0.6–1.0 m depth.

The Hagfors site consists of sandy till and the groundwater level is at about 1 m depth. When using the PROFILE model to approximate the groundwater chemical composition, comparable pH and magnesium contents, slightly higher calcium contents, and considerably higher potassium and sodium contents are obtained. Although dependent on the initial conditions set, the calculated potassium and sodium contents are significantly higher in the simulations for the sorted deposits at Sörby and Månäs, compared to the measured values. In the PROFILE calculations, the release of potassium and sodium is almost entirely related to weathering of feldspars. In contrast, the contents of potassium and sodium are fairly reliably calculated by the PHRQKIN code, while this code instead significantly underestimates the release of calcium and magnesium to the groundwater. The results of these preliminary model calculations suggest that both models may be effectively used for estimating the groundwater composition, but significant adjustment for predicting the conditions in deeper soil horizons and in the saturated zone is necessary.

Analyses from well investigations have been compiled for northern Värmland. The groundwater composition in till and coarse-grained, sorted deposits of sand or gravel are fairly similar, with an average pH of 5.9 and an alkalinity of 0.25 meq/L. The analyses show that below well depths of about 3 m, the groundwater chemical composition is less affected by the well depth. Thus, a model has been proposed for setting alkalinity values in these coarse-grained deposits, where no further increase is assumed to occur with longer residence times or transport distances in the saturated zone. Such stable conditions may be reliable for aquifers in regions of low contents of easy weatherable minerals in the Quaternary deposits. This method may be helpful in the development of models to simulate groundwater chemical composition.

BAKGRUND

Värmland och surt grundvatten

Ett antal undersökningar av grundvattnets kemiska sammansättning i jordlager har genomförts i norra Värmland. Jacks & Knutsson (1982) studerade tidsserier från kommunala vattentäkter från olika delar av landet, bland annat från Värmland. Kommunvisa brunnsinventeringar genomfördes under mitten av 80-talet, exempelvis i Torsby kommun (Monfelt & Aronson 1986). Jonasson m.fl. (1990) redovisade kemiska analyser från grävda brunnar från 1949–1985. Klein (1996) har utfört en sammanställning av grundvattnets kvalitet i Värmland som underlag för länets grundvattenövervakning. Undersökningarna har visat att grundvattnet jämfört med övriga landet har lågt pH och låg buffertförmåga (alkalinitet). Sådana förhållanden har rått under den period från vilken mätdata funnits, dvs. sedan slutet på 40-talet. Studierna visar även att för flera av de kemiska ämnena, inklusive pH och alkalinitet, är den geografiska variationen i halter inom norra Värmland mindre än i andra delar av landet.

Syfte

Grundvattnets kemiska sammansättning är vid varje tidpunkt och i varje del av ett grundvattenmagasin unik och beroende av en rad omgivningsfaktorer. Jordlagrens fysikaliska och kemiska egenskaper är avgörande för förändringen av jonsammansättningen under vattnets transport i marken. Diskussion kring jordarternas betydelse för grundvattnets kemi i norra Värmland har ingått i flera av undersökningarna ovan. Det krävs dock en fördjupad tolkning kring orsakerna till den grundvattenkemiska sammansättningen för att utifrån omgivningsdata kunna beskriva grundvattnets kemi.

Syftet med denna studie är att dokumentera geologiska förhållanden av betydelse för grundvattnets kemiska sammansättning samt att använda denna information för modellberäkningar av grundvattnets kemi. Att norra Värmland valts för studien beror på de för grundvattnets kemi stabila förhållanden som framgår ovan. Användbara data fanns också tillgängliga för några lokaler. Tidpunkten är lämplig för att genomföra denna undersökning, därför att:

- Kungörelsen av Statens Livsmedelsverk (1989) har medfört att analyser av grundvattnets kemiska sammansättning från exempelvis kommunala vattentäkter idag omfattar fler ämnen än på 80-talet. Detta innebär att samtliga baskatjoner (kalcium, magnesium, kalium och natrium) analyseras och redovisas separat, vilket är en förutsättning för att korrelera grundvattnets kemiska sammansättning till markvittringens omfattning. Med några års mätvärden tillgängliga kan stabiliteten hos de olika ämnena i det utökade analysprogrammet bedömas.
- Ett antal biogeokemiska modeller har under senare år tagits fram för olika naturliga ekosystem. För utveckling av modeller för att prognosticera grundvattnets kemiska sammansättning behövs indata från olika markmiljöer.
- Idag finns metoder för att beräkna den mineralogiska sammansättningen i jordprov genom att använda geokemiska analyser som redovisar olika elementhalter (t.ex. Raisänen m.fl. 1995, Snäll & Ek 1996).
- Ett stort intresse finns i Värmland för att öka kunskapen om miljöförändringar i ekosystemen, exempelvis vad gäller skogsmarkens försurning (Lundström m.fl. 1998) och orsaker till ytvattnets sammansättning. Ett program för miljöövervakning av grundvatten har tagits fram vid länsstyrelsen (Stake 1997).
- För kunskapsuppbyggandet vid SGU behövs studier som omfattar olika ämnesinriktningar. I detta projekt ingår samband mellan jordarter, dess mineralogiska sammansättning och grundvattnets kemi.

Genomförande

Både data från tidigare utförda studier och nyframtaget material ingår i rapporten. Tonvikt ligger på att beskriva de nya resultaten och diskutera möjligheter och svårigheter vid användning av jordartsgeologiska data för modellering av grundvattnets kemiska sammansättning. Projektet består av tre delar:

- **Markundersökningar.** Platsspecifika geologiska undersökningar har utförts i anslutning till brunnar eller observationsrör vid lokalerna Hagfors, Sörby och Månäs (fig. 1), där grundvattenkemin tidigare analyserats. Dokumentationen av jordlagren omfattar kornstorleksdata, mineralogi och geokemi. Utvärdering har bl.a. skett av hur resultat från mätningar av dessa parametrar varierar vid de tre lokalerna och vittringens omfattning i jordmånerna. Några resultat finns också redovisade för lokalerna Ekshärad och Sysslebäck i Klarälvsdalen.

- **Modellering av vittringshastigheter och grundvattnets kemiska sammansättning.** En pilotstudie ingår där uppmätt grundvattenkemisk sammansättning i brunnar eller observationsrör jämförs med sammansättning beräknad genom markkemisk modellering. Studien avser i första hand baskatjoner med inriktning mot bidraget från mineralvittring. De modeller som använts är PROFILE (Sverdrup & Warfvinge 1992a) samt PHRQKIN (Nyström Claesson & Andersson 1995).

- **Brunnsanalyser från norra Värmland.** Brunnsanalyser från utförda undersökningar i norra Värmland sammanställs. Resultaten relateras till de geologiska förhållandena i området som utgångspunkt för modellering på regional nivå.

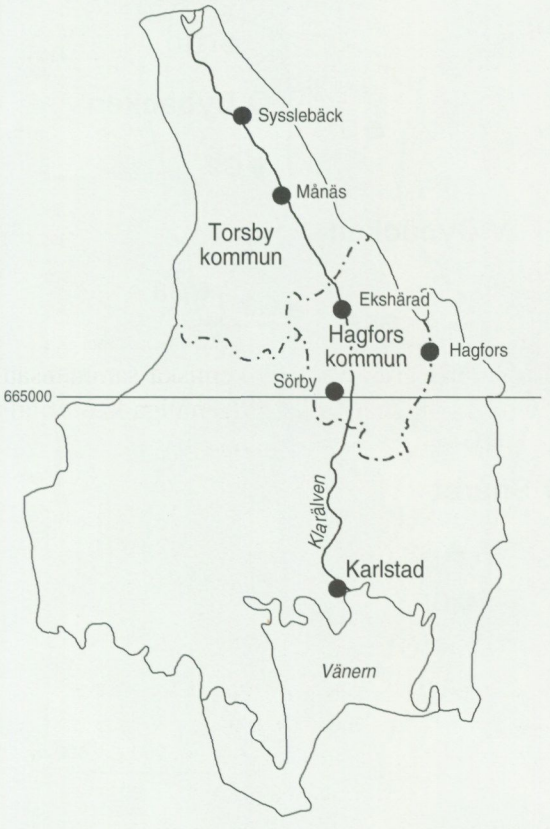


Fig. 1. Undersökningslokalernas läge i norra Värmland. Huvudlokalerna är Hagfors, Sörby och Månäs. Lermineralogiska resultat redovisas från Ekshärad och Sysslebäck. Vattenanalyser från brunnar belägna norr om linjen med X-koordinat 665000 har sammanställts.

MARKUNDERSÖKNINGAR

Lokaler

Vid de tre lokalerna Hagfors, Sörby och Månäs har jordprofiler provtagits i anslutning till observationsrör eller brunnar. Detaljstudier av en representativ profil från varje lokal redovisas. Nedan ges motiv för valet av lokalerna och de geologiska förhållandena sammanfattas.

HAGFORS

Lokalen Hagfors är belägen cirka 25 km väster om tätorten Hagfors vid Vålberget. Området togs fram som försöksområde för vitaliseringsåtgärder i skogsmark (Nihlgård 1984). I försöksområdet ingår tre mindre avrinningsområden (fig. 2). Effekter av spridning i två avrinningsområden av dolomitkalk respektive vedaska har redovisats av Fransman & Nihlgård (1995). Totalt 10 grundvattenrör finns installerade i de tre områdena för att dokumentera grundvattnets kemiska sammansättning (fig. 2). Effekter av åtgärderna på grundvattnet finns redovisade i Lång m.fl. (1994) samt Eriksson (1996).

Försöksområdet domineras helt av morän. Huvuddelen av försöksområdet består av en mot söder relativt flack till jämnt sluttande moränyta med en mäktighet på 5–10 m (opubl. data). I norra delen av avrinningsområdet Västra Snåret finns även moränryggar, radialmoräner, som visar att avsmältning av dödis förekommit vid deglaciationen för cirka 10 000 år sedan (Lundqvist 1958).

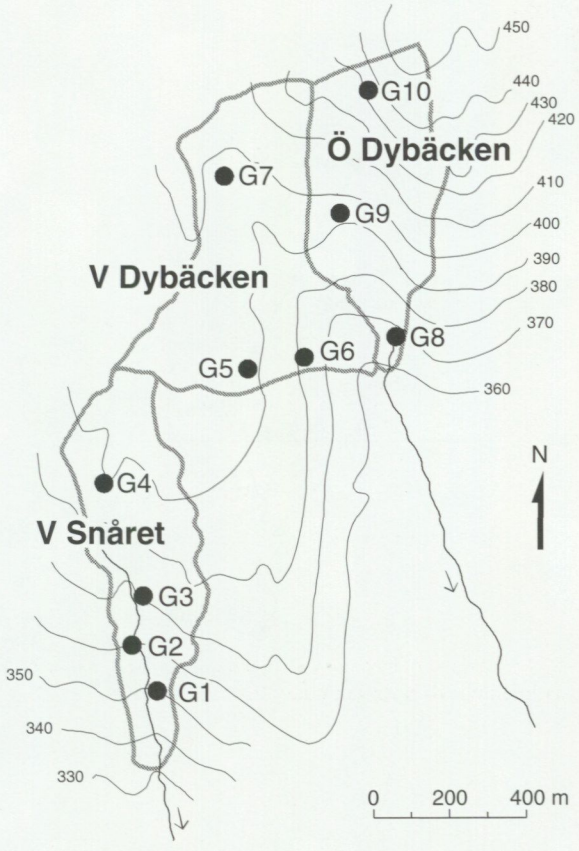


Fig. 2. Försöksområdet Hagfors vid Vålberget. Grundvattenrören G1–G10 är markerade. Den detaljstuderade jordmånsprofilen ligger drygt 10 m öster om grundvattenröret G2 i Västra Snåret.

SÖRBY OCH MÅNÄS

Det finns ett flertal kommunala grundvattentäkter anlagda i Klarälvsdalens mäktiga jordlager. Beroende på det stora smältvattenflödet vid isavsmältningen har stora mängder av främst grovsilt och sand avsatts i dalgången. Sörby och Månäs är både ur geologisk och grundvattenkemisk synpunkt två representativa grundvattentäkter i Klarälvsdalen. Från täkterna finns långa tidsserier på grundvattnets kemiska sammansättning.

Vattentäkten vid Sörby utgörs av två brunnar som ligger i ett utströmningsområde på samma plan som Kallebäcken, ett biflöde till Klarälven. Avståndet från vattentäkten till Kallebäcken i öster är omkring 50 m. Grundvattenbildning sker främst i det cirka 15 m högre belägna planet väster om täkten. Hydraulisk kontakt är tänkbar med Lakenesjön i väster och det kortaste avståndet från vattentäkten till stranden är 700 m. Den profil som provtagits (fig. 3) är belägen på detta övre plan för att visa på de mineralogiska förhållandena i den del av avlagringen där den huvudsakliga infiltrationen sker.

På vissa platser utmed Klarälvsdalens sidor avsattes vid isavsmältningen sandiga till grusiga isälvssediment. Detta skedde där glacialt smältvatten från sidodalar mötte en kvarvarande istunga i själva Klarälvsdalen. Olika generationer av terrasser har då bildats (Lundqvist 1996). Månäs grundvattentäkt ligger i anslutning till en av dessa dalsidesavsättningar, cirka 500 m öster om Klarälven. Jordlagren vid brunnen består av sand, medan även grusiga lager finns i omgivande grundvattenbildningsområde. Den studerade profilen i Månäs ligger på samma plan som brunnen och på cirka 20 m avstånd från denna.

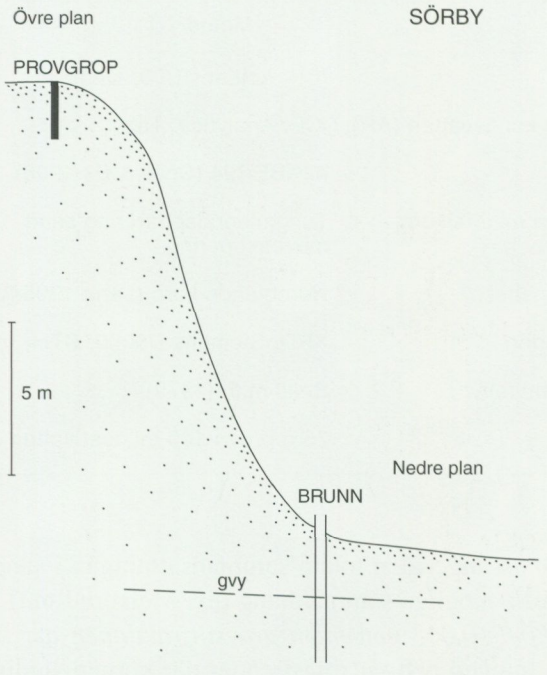


Fig. 3. Vattentäkten Sörby ligger i ett plan som motsvarar Klarälvens nivå. Den analyserade profilen ligger i det övre plan som utgör Klarälvssedimentens överyta i området (Lundqvist 1958).

Metodik

PROVTAGNING

Den detaljerade provtagningen i jordprofilerna omfattar inom den övre delen av profilen jordmånshorisonterna A_0, E och underhorisonter av övre B. Från cirka 0,4 m djup ned till profilens botten (dvs. undre delen av B-horisonten samt övre delen av C-horisonten) erhölls prov från varje 0,1 m-nivå. Profilernas djup är i Hagfors 1,7 m, i Sörby 1,6 m och i Månäs 1,0 m. Analyser har utförts på 7–11 utvalda prov inom respektive profil. Ytterligare provtagning redovisas från C-horisont i Hagfors och Sörby.

LABORATORIEANALYS

Samtliga prov torkades vid 30°C. Före bestämning av kornstorlek dispergerades proven i natriumpyrofosfat (Krumbein & Pettijohn 1938). Alla prov från E- och B-horisonterna förbehandlades med 15% H_2O_2 för borttagning av organiskt material, samt citratditionit för upplösning av sekundärt bildade föreningar av järnoxid (enligt Jackson 1956). Kornstorleksfördelningen erhölls genom siktning av fraktionerna 0,06–16 mm och med sedimentationsanalys (hydrometer) för silt- och lerfraktionerna (<0,06 mm).

Metoderna som använts vid analys av jordprovens geokemiska och mineralogiska sammansättning framgår av tabell 1. Analys har utförts på tre olika fraktioner:

Tabell 1. Använda metoder för bestämning av mineralogisk och geokemisk sammansättning i olika fraktioner. Grovsilt avser kornstorlek 0,045-0,063 mm och lerfraktionen <0,002 mm

Analys	Metod	Fraktion
Totala elementhalter	ICP; ActLabs LTD, Ontario	<2 mm, grovsilt
Lakbara elementhalter i kungsvatten (AR)	ICP; Analytica, Täby	<2 mm, grovsilt
Beräknad mineralogi	MINBER94 (Snäll & Ek 1996)	<2 mm
Identifikation av enskilda mineralkorn	Tungmineralseparering samt mikroskopering	grovsilt
Uppskattad vittringsintensitet	Hornblände korn (Lång 1995a)	grovsilt
Lermineralogi - identifiering	XRD; Siemens D5000, CTH	ler
Lermineralogi - semikvantitativt	Snäll m.fl. (1979)	ler
pH-H_2O och pH-KCl	25 g prov i 100 ml dest.vatten i 2 h	<2 mm

- Samlingsprov *<2 mm* anger den totala sammansättningen i sand, silt och ler, och används som standard i skogliga sammanhang (ex. Melkerud m.fl. 1992).
- Korn av storlek *0,045–0,063 mm inom grovsiltfraktionen* har valts ut för att studera mineralsammansättningen och vittringstrender där kornen vanligen består av enskilda primära mineral.
- *Lerfraktionen* (<0,002 mm) visar på vittring och mineralomvandling inom den allra finkornigaste delen av jordprovet.

För fraktionen <2 mm har den mineralogiska sammansättningen erhållits med programmet MINBER94 (Snäll & Ek 1996). Utgångspunkten för beräkningarna är både analyserade totala elementhalter och lakbara halter i kungsvatten. Dessutom skall förhållandet mellan halterna av hornblände och epidot vara känt.

Halter av enskilda mineral i fraktionen grovsilt erhölls genom räkning av korn i mikroskop. Tunga mineralkorn koncentrerades genom kornseparation med polytungstat

(densitet 2,68 g/cm^3). De vanligaste mineralens densitet redovisas i tabell 2. Efter separering monterades på glasplattor korn från dels den lätta andelen av provet som låg på ytan av lösningen av polytungstat, dels från den tyngre andelen som sjunkit genom vätskan. På glasplattan från den tyngre andelen identifierades i mikroskopet 300 icke-opaka korn av tungmineral utmed linjetraverser. Medföljande lätta korn (kvarts och fältspater) på samma glas räknades också. För att kompensera för ofullständig separation bestämdes även fördelningen av kornen inom den lättare andelen. Resultat från denna mikroskopering har också använts för att ange förhållandet mellan halterna av hornblände och epidot till beräkningarna med MINBER94.

Tabell 2. Densiteter för de vanligaste primära mineralen som finns i jordlagren i norra Värmland.

Mineral	Densitet (g/cm3)
Kvarts	2,65
Kalifältspat	2,54 - 2,57
Plagioklas	2,62 - 2,76
Klorit	2,6 - 2,9
Muskovit	2,8 - 3,1
Biotit	2,8 - 3,2
Apatit	3,15 - 3,30
Hornblände	3,2
Pyroxen	3,2 - 3,5
Epidot	3,35 - 3,45
Granat	3,5 - 4,3
Zirkon	4,68

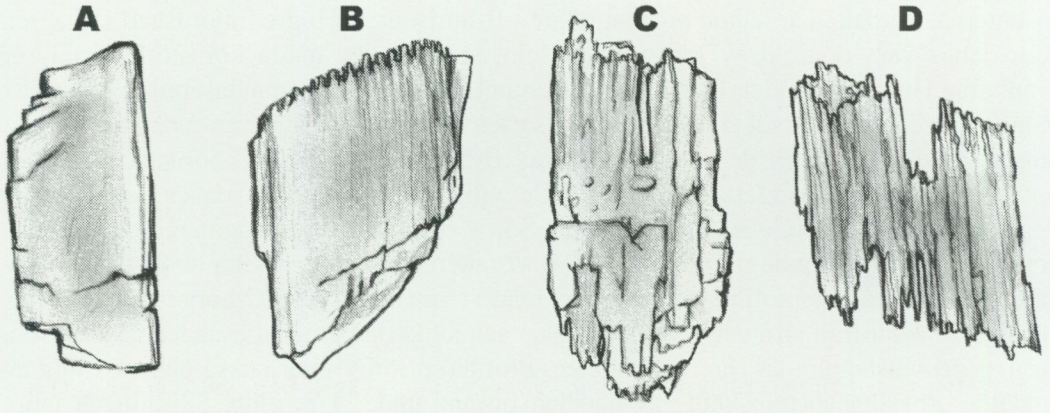


Fig. 4. Bedömd vittringsgrad på hornbländekorn, indelat i fyra klasser med ökande vittring från A till D. Ett vittringsindex (HWN) har ansatts som summan av procentandelen korn i respektive klass; HWN=1*A+2*B+3*C+4*D. Ett högre HWN-värde innebär därmed en högre vittringsgrad.

Bedömning av vittringspåverkan på hornbländekorn gjordes i samband med identifieringen av korn i fraktionen grovsilt. Minst 100 korn bedömdes i varje prov. En relativ skala av vittringsgraden (fig. 4) utgår från vittringsintensitet på kornkanter och kornyta.

Mineralen i lerfraktionen har bestämts genom röntgenanalys (XRD, Siemens D5000 diffraktometer). Lersuspension har monterats på glas med filter-metoden enligt Drever (1973). Mineralen identifierades efter följande behandlingar: 1) lufttorkning, 2) upplösning i ethylenglykol, 3) 0,5 M $MgCl_2$-mättnad, 4) 0,5 M $MgCl_2$-mättnad and upplösning i glycerol, 5) 1 M KCl-mättnad i rumstemperatur, 6) upphettning till 300° (efter KCl-mätt-

nad), 7) upphettning till 550° (efter KCl-mättnad), och 8) upphettning till 80° efter 2 timmar i 1 M HCl. Behandlingar har använts i olika omfattning på de olika proven.

Den semikvantitativa uppskattningen av mineralinnehållet i lerfraktionen har utförts efter mätning av topphöjder som multiplicerats med relativa intensiteter enligt tabell 3.

Tabell 3. Relativa intensiteter vid semi-kvantitativa bestämningar av mineralfördelning i lerfraktionen enligt Snäll m.fl. (1979).

Mineral	Reflex (Å)	Intensitet
Plagioklas	3,20	1
K-fältspat	3,24	1
Kvarts	3,34	3
Kaolinit	7	6
Klorit	7	6
Amfibol	8,4	1
Glimmer, illit	10	2
Blandskiktmineral	10-14	2
Vermikulit	14	4
Smektit	12-18	4

Resultat

KORNSTORLEK

Variationer i kornstorlek inom de tre profilerna redovisas i figur 5. Moränen i Hagforslokalen (som ligger i V Snåret, fig. 2) är sandig och har en mycket likartad kornstorleksfördelning från cirka 0,5 m djup och nedåt. Något högre silthalt finns i E- och övre B-horisonterna. Lerhalten är någon procent högre i B-horisonten. Högre finjordshalt i ytlagren kan delvis vara orsakad av jordsmånsbildningen. Ett antal andra kornstorleksanalyser finns från Hagforsområdet. I figur 6 ges exempel på moränens sammansättning i området jämfört med den undersökta profilens. Slutsatsen är att moränen har en relativt homogen kornstorleksfördelning i de undre delarna av B-horisonten samt i C-horisonten ned till minst 2 m djup, som omfattar de delar där det ytligaste grundvattnet transporteras i.

Kornstorleksfördelningen i profilen från Sörby (fig. 5) visar på någon enstaka procent ler. Lerhalten är något högre i B- och B/C-horisonterna än i övriga delar av profilen. I förhållande till Hagforsprofilen är lerhalten relativt sett högre i B/C-horisonten i Sörby. Transport av ler från jordmånsbildningen sker sannolikt djupare ned i sanden i Sörby som är mer genomsläpplig än Hagforsmoränen. Profilen i Sörby visar också på en ökning av andelen grovsilt och minskning av andelen finsand under 1 m djup. Skiftningen inom Klarälvssedimenten mellan främst grovsilt och finsand (dvs. inom de kornstorlekar som också benämnts mo) är betydande och framgår vidare för området vid Sörby i figur 7.

Profilen i Månäs (fig. 5) domineras helt av sand. En relativt likartad fördelning finns mellan fin-, mellan- och grovsand i profilen. Omgivande delar till vattentäkten som utgör bildningsområde för grundvatten domineras också av sand med varierande halter av grus.

Sammanfattningsvis gäller att moränen i Hagfors är sandig och homogen, sedimentet vid Sörby domineras av grovsilt eller finsand, medan sand är helt dominerande i Månäs. En liten andel av ler finns i samtliga prov, och åtminstone en del av detta har bildats i jordmånen.

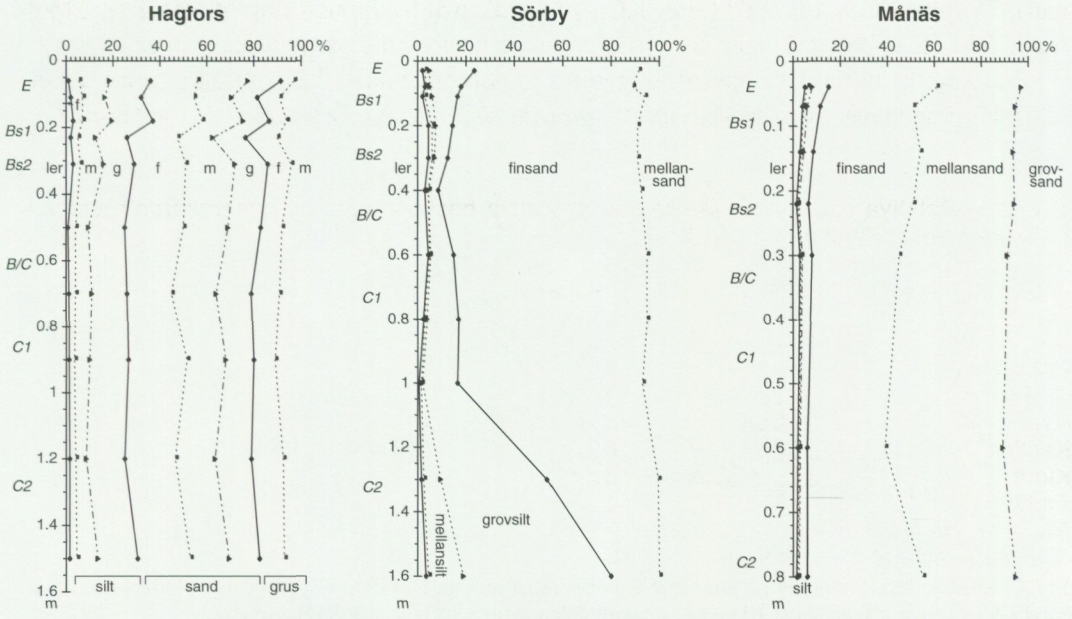


Fig. 5. Kumulativ kornstorleksfördelning (upp till 100%) för fraktionerna <16 mm i profilerna vid Hagfors, Sörby och Månäs. Lerfraktionen på någon till några procent är andelen mellan djupaxeln och den första kurvan. För Hagforsprofilen anges andelarna av f=fin, m=mellan och g=grov fraktionen för respektive silt, sand och grus.

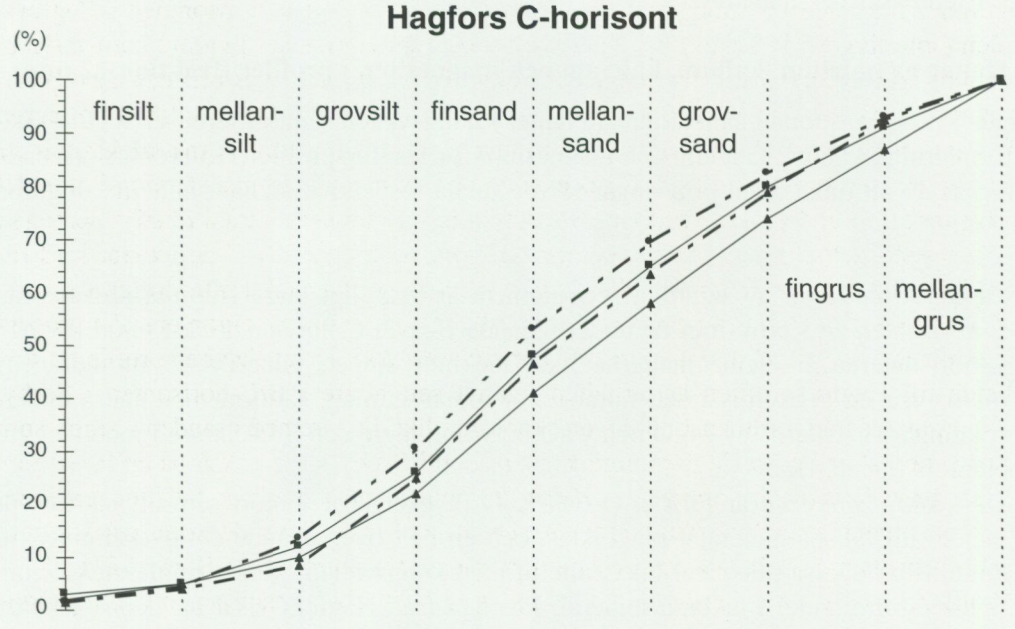


Fig. 6. Kornstorleksfördelning i C-horisont i moränen inom Hagforsområdet. Två prov från djupprofilen i V. Snåret (streckade linjer) ingår tillsammans med två genomsnittliga kurvor för Hagforsområdet för övre C på <1,0 m djup (heldragen linje, fyrkant) samt något djupare C på 1,0–1,5 m (heldragen linje, triangel).

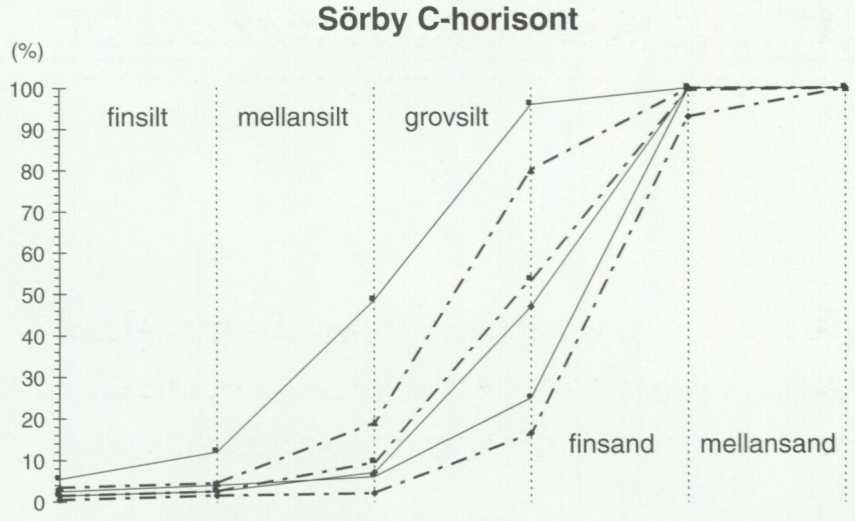


Fig. 7. Kornstorleksfördelning på prov från C-horisont på mer än 1 m djup i Sörbyprofilen (streckade linjer) samt i prov från närliggande skärningar i djupare delen av avlagringen (heldragna linjer).

GEOKEMISKA ANALYSER

Den geokemiska sammansättningen har bestämts på ett urval av prover i profilerna. I bilaga 1 redovisas dessa analyser.

A. Halter av natrium, kalium, kalcium och magnesium i profiler (fraktion <2 mm)

I figur 8 redovisas totala halter, lakbara halter i kungsvatten samt differensen mellan dessa för natrium, kalium, kalcium och magnesium för Hagforsprofilen. Kurvornas utseende påverkas av att olika antal prov ingår för de totala respektive lakbara halterna. Figuren visar att:

- *De totala halterna* av samtliga fyra element är betydligt lägre i de två proven från E-horisonten än i prov från de underliggande B- och C-horisonterna. I undre B- och C-horisonterna är elementhalterna likartade mot djupet, vilket visar att moränens matrix har en geokemiskt sett homogen sammansättning. Jämfört med andra undersökningar är halterna av MgO och CaO betydligt lägre och SiO_2 högre i moränen vid Hagfors (tabell 4).
- *De lakbara halterna* är för Na_2O och K_2O mycket låga. I stort sett allt natrium är bundet till fältspatmineralet plagioklas, och en helt övervägande del av kaliumet till kalifältspat. Dessa fältspater lakas inte ut med kungsvatten. Magnesium och kalcium finns i större andel i lakbara mineral. Profilen från Hagfors visar att denna lakbara andel helt har försvunnit i E-horisontens två prov. En generell ökning av de lakbara halterna MgO och CaO på djupet i B- och B/C-horisonterna kan vara orsakat av en successivt avtagande vittring på djupet inom jordmånen. Skillnader i C-provens CaO-halter tyder också på en viss ursprunglig variation i moränen av lakbara mineral innehållande kalcium.
- *Skillnaden mellan de totala och de lakbara halterna*, dvs. den andel av elementhalterna som inte lakas ut med kungsvatten, är betydligt lägre i E-horisonten. Detta visar att även mineral som inte är lakbara i kungsvatten har vittrat kraftigt i E-horisonten (främst fältspaterna).

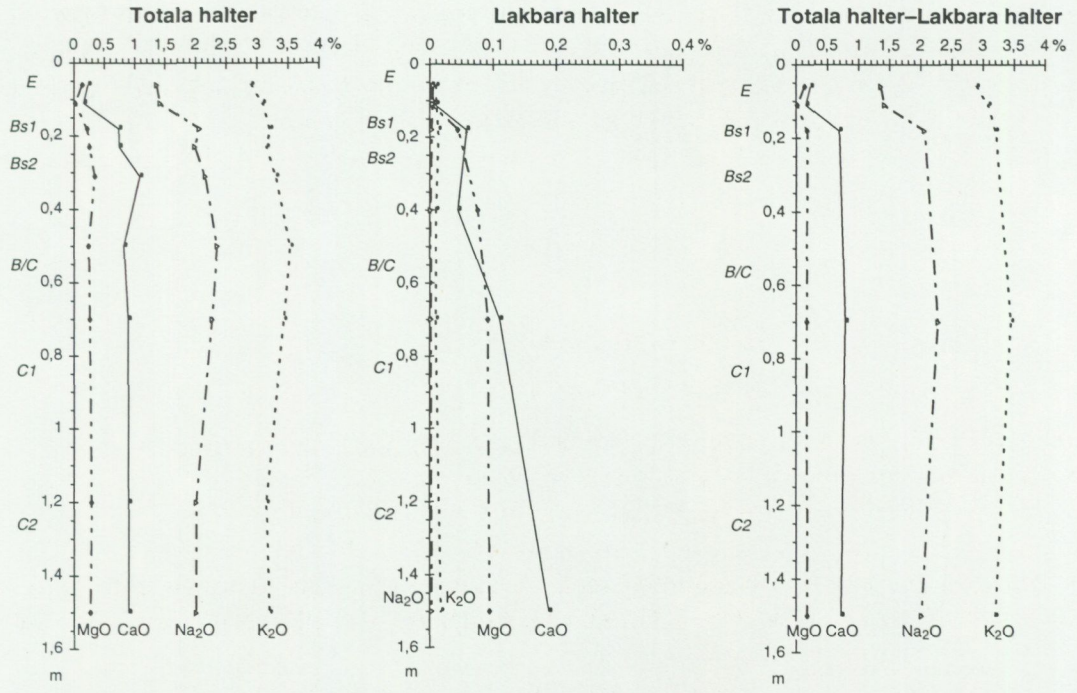


Fig. 8. Totala halter, lakbara halter samt differensen mellan dessa (totala halter – lakbara halter) för natrium, kalium, kalcium och magnesium för profilen i Hagfors. Avser fraktionen <2 mm.

Tabell 4. Medianvärden för totala halter av baselement och kisel från de undersökta profilerna samt från olika landsomfattande undersökningar. Avser prov från B/C- och övre C-horisonterna. * = medelvärden

Prov	Jordart	Antal prov	Fraktion	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SiO_2
C-horisont Hagfors	morän	5	<2	0,89	0,27	2,03	3,21	82,5
C-horisont Sörby	silt/sand	4	<2	1,03	0,48	2,14	3,32	80,8
C-horisont Månäs	sand	2	<2	0,66	0,35	1,56	2,89	84,5
C-horisont Värmland (Nyberg m.fl. 1998)	Varier-ande	144	<2	1,24	0,56	2,80	3,47	72,6
Markgeokemisk kart., SGU (Andersson & Lax 1996)	morän	cirka 12 600	<0,06	2,05	1,3	2,5	2,9	
Geokemisk Atlas, SLU (Melkerud m.fl. 1992)	morän	1508	<2	1,75*	0,97*	2,59*	3,04*	73,9*
Geokemisk Atlas, SLU (Melkerud m.fl. 1992)	olika sorterade	377	< 2	1,77*	1,13*	2,51*	3,15*	74,3*

Även för de sorterade sedimenten i Sörby och Månäs är de totala halterna av baselement i C-horisontens matrix lägre för CaO och MgO och högre för SiO_2 än riksgenomsnittet (tabell 4). I figurerna 9 och 10 framgår att variationerna i totalhalter av MgO, CaO, Na_2O och K_2O är små även inom profilerna i de sorterade sedimenten. Beroende på jordmånsvittringen är halterna av baselement lägst i E-horisonterna (gäller ej CaO halten i Sörby). Skillnaderna i totala halter av baselement mellan E och djupare horisonter är dock mindre än i Hagfors, vilket också avspeglas i de mindre kraftigt utbildade E-horisonterna.

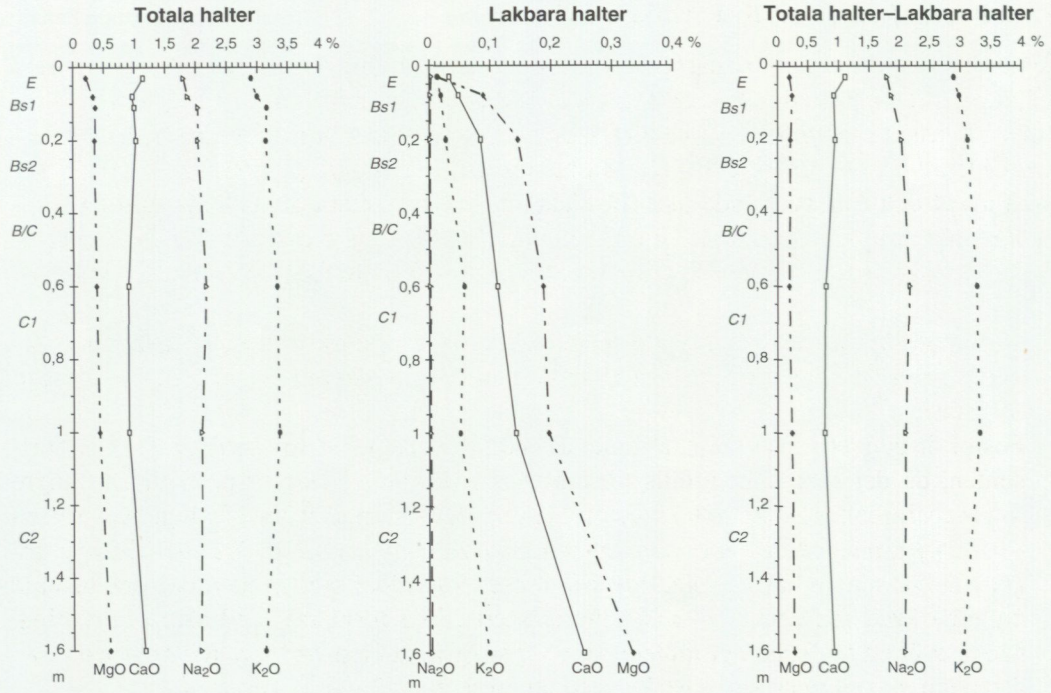


Fig. 9. Totala halter, lakbara halter samt differensen mellan dessa (totala halter – lakbara halter) för natrium, kalium, kalcium och magnesium för profilen i Sörby. Avser fraktionen <2 mm.

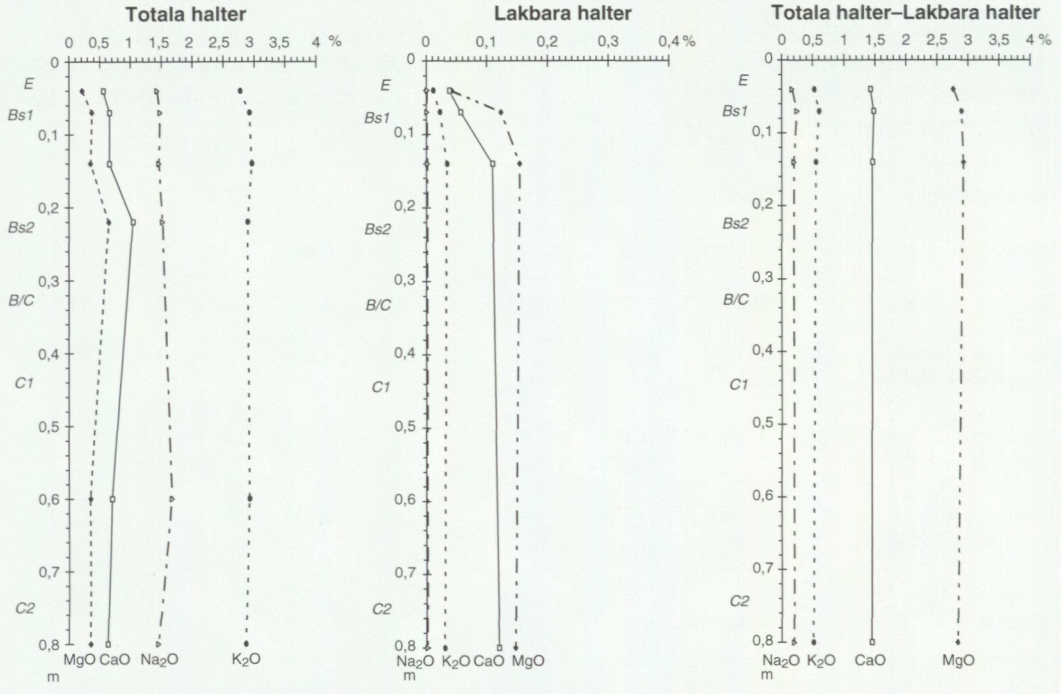


Fig. 10. Totala halter, lakbara halter samt differensen mellan dessa (totala halter – lakbara halter) för natrium, kalium, kalcium och magnesium för profilen i Månäs. Fraktion <2 mm.

De lakbara halterna uppvisar tydlig vittring genom lägre halter i E- och övre B-horisonterna (fig. 9 och fig. 10). Högre halter av lakbart K_2O, CaO och MgO i Sörby på 1,6 m djup är troligen snarare en effekt av skillnad i mineralogisk sammansättning mot överliggande nivåer än ett resultat av vittring i jordmånsprofilen. Avlagringen har en betydligt högre halt av grovsilt och lägre halt av finsand under 1 m djup (fig. 5).

B. Halter av fosfor i profiler (fraktion <2 mm)

Fosfor har betydelse som näringsämne i skogsmarker och förekommer oftast i relativt små mängder. I figur 11 redovisas de totala och lakbara halterna av fosfor i Hagforsprofilen. Det viktigaste primära fosformineralet är apatit. Mycket lite fosfor finns kvar i E-horisonten, både av lakbart fosfor och av totala halten fosfor. I B- och C-horisonterna ökar halterna svagt och i motsvarande takt för båda analyserna. Apatit antas lösas upp i kungsvatten, men resultaten från profilen visar att cirka hälften av den totala halten fosfor utgörs av icke lakbart fosfor. Förutsatt att analyserna är tillförlitliga, medför resultaten att:

- Om apatit är den enda ingående fosforkällan, löses endast en del av apatiten upp i kungsvatten (en upplösning som i Hagforsprofilen dessutom är procentuellt likartat fördelad).
- Fosfor är bundet i icke lakbara mineral, andra än apatit. Fosfor anrikas ofta i B-horisonten, då det sekundärt utfälls tillsammans med järn. I Hagforsprofilen kan högre totala fosforhalter i övre B-horisonten vara orsakat av en sådan anrikning. Motsvarande förhöjda halter finns inte i den lakbara delen. Även om sekundärt utfälld fosfor ingår i B-horisonten kan de likartade differenser som råder mellan de totala och lakbara halterna även för undre B- och C-horisonterna inte förklaras med sådan anrikning. Monasit är ett fosforhaltigt mineral som i viss mån kan tänkas bidra till den totala fosforhalten, även om endast enstaka korn identifierats vid mikroskopering.

Fosforhalterna i profilerna från Sörby och Månäs framgår av bilagorna 1:2 respektive 1:3. Liksom i Hagforsprofilen är E-horisonten i Sörbyprofilen starkt urlakad på fosfor och anrikning förekommer i övre B-horisonten (både för de totala och lakbara halterna). På djupare nivåer är skillnaderna mellan de totala och lakbara halterna av fosfor små och ligger inom osäkerhetsmarginalerna för resultaten. I Månäs är de lakbara halterna något lägre än totalhalterna. Generellt kan apatit antas vara den klart dominerande fosforkällan i proven från Klarälvssedimenten.

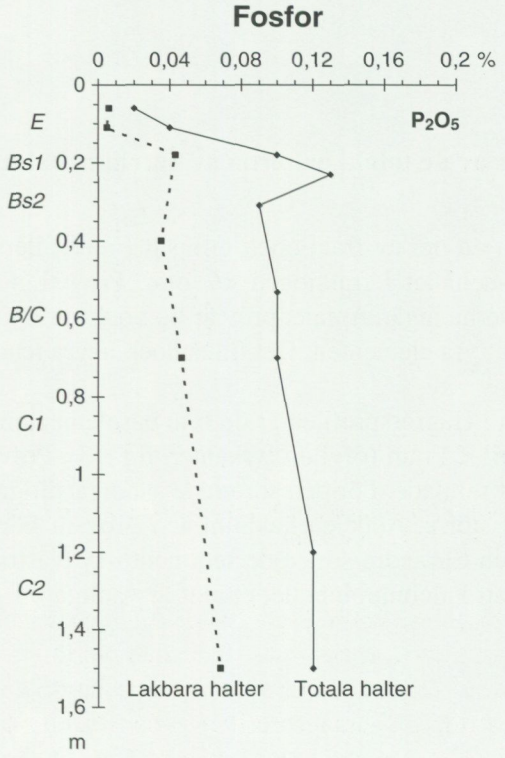


Fig. 11. Totala och lakbara halter av fosfor i fraktion <2 mm i Hagforsprofilen.

C. Halt av zirkonium i Hagforsprofilen (fraktion <2 mm)

Zirkonium förekommer främst i mineralet zirkon som anses resistent mot vitting. Elementhalter av zirkonium har därför använts som underlag för att belysa vittringstrender samt vid beräkning av vittringshastigheter (Olsson m.fl. 1993, Bain m.fl. 1994). Halterna av zirkonium i Hagforsprofilen redovisas i figur 12. Hänsyn har inte tagits till de viktsförändringar som sker i profilen som ett resultat av jordmånsutbildningen. Det framgår klart att en relativ anrikning av zirkonium skett i E-horisonten. Zirkoniumhalterna inom C-horisonten anses spegla naturliga variationer inom moränen.

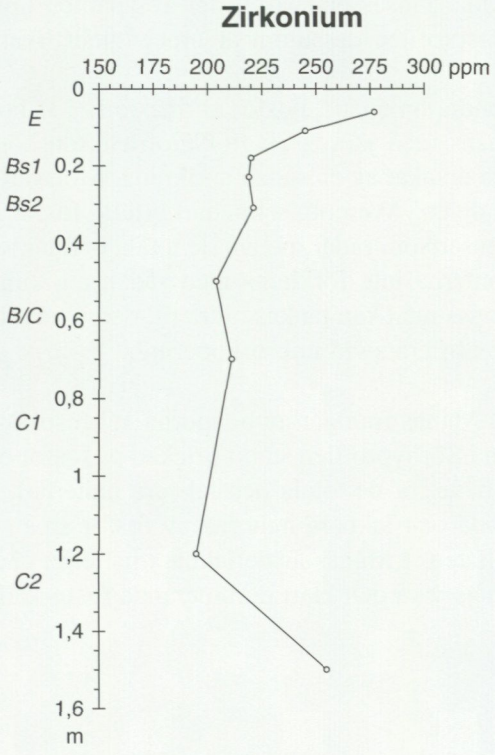


Fig. 12. Totala zirkoniumhalter i Hagforsprofilen. Avser fraktion <2 mm.

D. Jämförelse mellan olika fraktioner av de totala halterna av natrium, kalium, kalcium och magnesium

Totala halter av baselement i prov från en del av fraktionen grovsilt (intervallet 0,045–0,063 mm) jämförs i figur 13 med innehållet i fraktionen <2 mm. Prov från E- och C-horisonter i Hagfors- och Sörbyprofilerna ingår. Antalet prov är litet och spridningen är ganska stor mellan enstaka prov för alla fyra elementen. Det finns dock några tendenser i materialet.

I alla prov från moränens C-horisont i Hagforsprofilen är de fyra baselementen underrepresenterade i grovsilt i förhållande till <2 mm (ofyllda fyrkanter, fig. 13). Proven från respektive horisont är genomgående väl samlade. För den sorterade sandiga/siltiga avlagringen i Sörby är variationen betydligt större. Andelen kalcium är i grovsilt högre än i fraktionen <2 mm, vilket indikerats även för andra sorterade sediment i sydvästra Sverige (Lång 1995b). En tänkbar orsak är att kalciummineralet epidot är vanligare i grovsilt och finsand än i andra fraktioner.

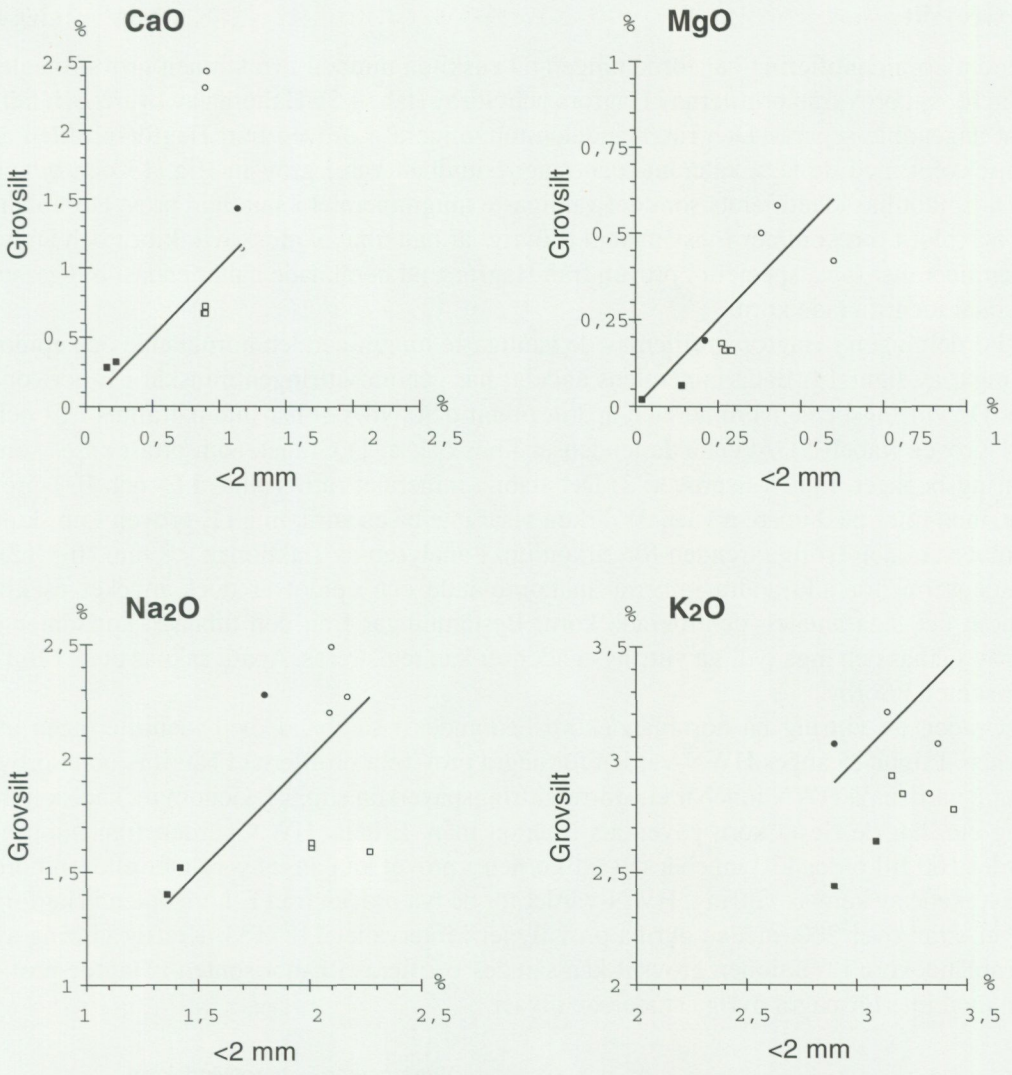


Fig. 13. Halter av baselement i fraktionerna <2 mm respektive grovsilt (0,045-0,063 mm). Omfattar prov från E- respektive C- horisonterna från Hagfors och Sörby. Fyrkant = Hagfors, ringar = Sörby, fyllda = B-horisont, ofyllda = C-horisont.

MINERALOGISK SAMMANSÄTTNING

För de geokemiska resultaten gavs exempel där elementhalter och vittringstrender relaterats till enskilda mineral. Mineralfördelningar har närmare studerats i fraktionen <2 mm, i grovsilt samt i lerfraktionen. Mineralidentifieringarna behövs för bedömning av de geokemiska resultaten samt som mineralogiska indata till modellering av vittring och grundvattnets kemiska sammansättning.

Studierna av grovsilt utförs för att bestämma vilka tungmineral som förekommer i sedimenten samt ungefärliga halter. Lerhalterna är mycket låga både i moränen i Hagfors och i Klarälvssedimenten. Leromvandlingen och fördelningen av primära mineral i lerfraktionen är dock viktiga indikatorer på den geokemiska miljön i den finkornigaste delen av sedimenten.

I ett flertal studier har utgångspunkten för beräkning av vittringens omfattning och därmed källor till frigörelse av baskatjoner varit samtliga kornstorlekar <2 mm (Olsson m.fl. 1993). För Klarälvssedimenten innebär det att i stort sett hela provmängden ingår, medan i analysen av korn <2 mm i moränen i Hagfors saknas grus och grövre fraktioner.

A. Grovsilt

Genom kornidentifiering har fördelningen av enskilda mineral i fraktionen grovsilt tagits fram för sju prov från profilerna i Hagfors och Sörby (tabell 5). Halterna av kvarts och fältspat anges inte separat. Den ringa andelen tungmineral i proven från Hagforsprofilen är konsekvent med de låga kalcium- och magnesiumhalterna i grovsilt (fig. 13 och bilaga 1:1). Epidot har identifierats som det vanligaste tungmineralet i samtliga prov. Hornblände och biotit förekommer i viss mängd. I övrigt är halterna av muskovit, klorit och andra tungmineral så låga, speciellt i proven från Hagfors, att beräknade halter endast bygger på ett fåtal identifierade korn.

Fördelningen i Hagforsprofilen av de vanligaste tungmineralen hornblände och epidot framgår av figur 14. Båda mineralens andelar har genom vittringen minskat i E-horisonten. De vittringsbenägna mineralen apatit, titanit och pyroxen har inte påträffats i E- och Bs1-proven (tabell 5). Avvikande tendenser finns också. 1) Granat, som oftast anses som vittringsbenäget, finns i E-provet. 2) Det stabila mineralet rutil saknas i E- och Bs1-proven, men finns på djupare nivåer. 3) Zirkon visar inte på en anrikning i E-proven som skulle motsvara den tydliga trenden för zirkonium i analysen av fraktionen <2 mm (fig. 12). Tendenserna för alla andra mineral än hornblände och epidot är dock mycket osäkra genom det låga antalet identifierade korn. Bestämningar från den tunna E-horisonten i Sörby saknas och inga tydliga vittringstendenser kan registreras. Apatit saknas dock i Bs1-horisonten i Sörby.

Graden av vittring på hornbländekorn bedömdes i samband med identifieringen av kornen. I figur 15 anges HWN-värden för några prov från profilerna i Hagfors och Sörby. Högre värden på HWN innebär en större vittringspåverkan (fig. 4). Genom mekanisk nötning etc. har de flesta korn påverkats i någon mån. Erhålls HWN-värden från minimivärdet 100 till cirka 130 innebär det att kornen i provet kan anses vara mer eller mindre opåverkade av kemisk vittring. HWN-värdet för de två proven från E-horisonten i Hagfors ligger strax över 200, medan övriga prov ligger i intervallet 118–133. Kraftig vittring av hornbländekorn i fraktionen grovsilt kan således verifieras i E-horisonten i Hagforsprofilen, men inte för några övriga studerade nivåer.

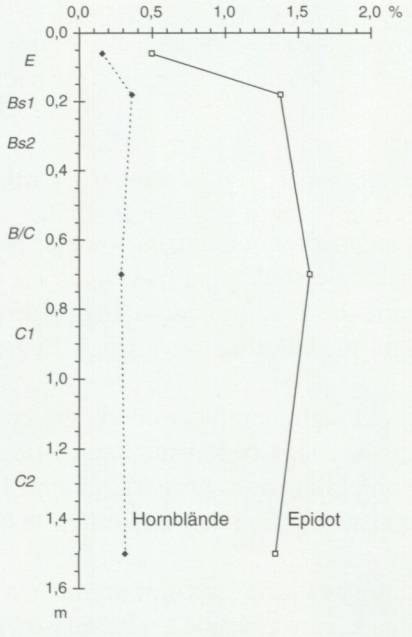


Fig. 14. Hornblände och epidot i fraktionen grovsilt i Hagforsprofilen.

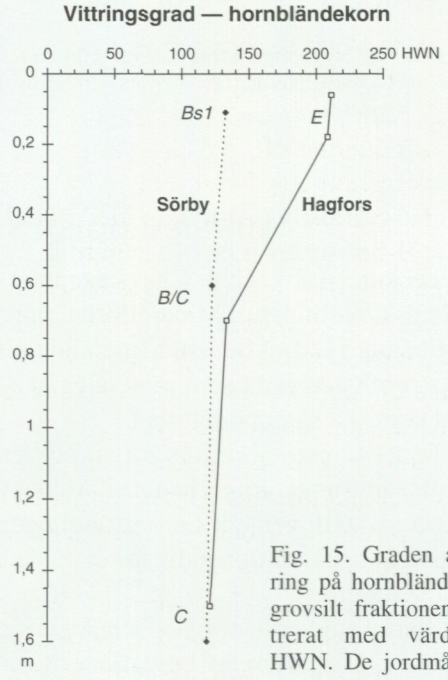


Fig. 15. Graden av vittring på hornbländekorn i grovsilt fraktionen, illustrerat med värden på HWN. De jordmånshorisonter som proven kommer från är angivna invid respektive linje.

Tabell 5. Mineralfördelning i fraktionen grovsilt. Andelarna avser viktsprocent och den totala summan är normaliserad till 100%.

	HAGFORS				SÖRBY		
Djup (m)	**0,06**	**0,18**	**0,7**	**1,5**	**0,11**	**0,6**	**1,6**
Horisont	**E**	**Bs1**	**C1**	**C2**	**Bs1**	**C1**	**C2**
Mineral	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Kvarts+fältspat	98,93	97,19	97,17	97,67	91,09	89,57	93,34
Opaka	0,01	0,18	0,16	0,02	0,22	0,25	0,04
Biotit	0,26	0,50	0,19	0,20	1,14	0,60	2,81
Muskovit	0	0	0	0,01	0,04	0	0,02
Klorit	0	0,18	0,06	0,10	0,26	0,47	0,12
Hornblände	0,16	0,36	0,29	0,31	1,43	1,78	0,85
Epidot	0,49	1,38	1,58	1,34	4,80	6,22	2,07
Granat	0,07	0	0,01	0,07	0,01	0	0,08
Apatit	0	0	0,02	0,01	0,01	0,22	0,16
Titanit	0	0	0,01	0,03	0,27	0,35	0,08
Zirkon	0,02	0,01	0,04	0,05	0,11	0,08	0,01
Pyroxen	0	0	0,07	0,08	0	0	0
Rutil	0	0	0,17	0,04	0	0,07	0
Turmalin	0	0	0	0	0	0	0,05
Övriga	0,06	0,20	0,23	0,06	0,61	0,38	0,37
Summa	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

B. Lerfraktionen

Den lermineralogiska sammansättningen har bestämts genom röntgenanalys. Ungefärliga halter har uppskattats utifrån intensiteter i tabell 3. Bestämningen av mineral i lerfraktionen har skett på prov från profilerna i Hagfors, Sörby och Månäs samt dessutom från Ekshärad och Sysslebäck i Klarälvsdalen (fig. 1).

I figur 16 visas röntgenkurvor för sex olika provbehandlingar på prov från Bs1-horisonten (0,22 m djup) i Sörbyprofilen. Dessa används för att visa på tolkningsförfarandet av den mineralogiska sammansättningen utifrån röntgenkurvorna. Toppen vid 10 Å består av illit, biotit och muskovit och den är stabil vid samtliga behandlingar. Vermikulittoppen vid 14 Å skall i normala fall förskjutas till 10 Å med KCl kombinerat med värmebehandling. Dock sker en ofullständig minskning av mellanrummen i gittret, vilket innebär att toppen har delats upp inom intervallet 14–10 Å. Detta tolkas som att aluminium gått in och bildat svårlösliga Al-hydroxider i mellanrummen, något som är vanligt i jordmånsprofilers B-horisonter (t.ex. Vicente m.fl. 1977, April m.fl. 1986, Bain m.fl. 1990).

Den del av 14 Å toppen som kvarstår vid värmebehandling tolkas med stöd av topparna vid 7 Å och 4,7 Å vara klorit. Antagandet stärks av att 7 Å toppen försvinner vid HCl-behandlingen. Den del av 7 Å toppen som varit kvar efter syrabehandlingen skulle kunna relaterats till kaolinit. I detta prov saknas dock i stort sett kaolinit, men i de flesta andra prov har kaolinit identifierats. Övriga mineral som kan identifieras i figur 16 är kvarts vid 3,33 Å samt mindre, åt höger i figuren närliggande, toppar av K-fältspat (3,24 Å) och plagioklas (3,20 Å). Amfibol (troligen hornblände) indikeras i det lufttorkade provet med en mindre topp mellan 7 och 10 Å (cirka 8,4 Å). Spår av smektit finns vid glycerolbehandlingen i form av en svag topp vid cirka 17 Å.

Fördelningen av olika mineral i lerfraktionen har erhållits genom semikvantitativ uppskattning (tabell 3). För Hagforsprofilen (fig. 17) finns analyser av lerfraktionens mineral från E-, Bs1- och C2-horisonterna. I de två övre proven har blandskiktsmineral (biotit/illit till vermikulit), vermikulit (med Al-hydroxid) och smektit (främst i E-horisont) bildats. Dessa har i varierande grad sitt ursprung i K-fältspat, plagioklas, hornblände och

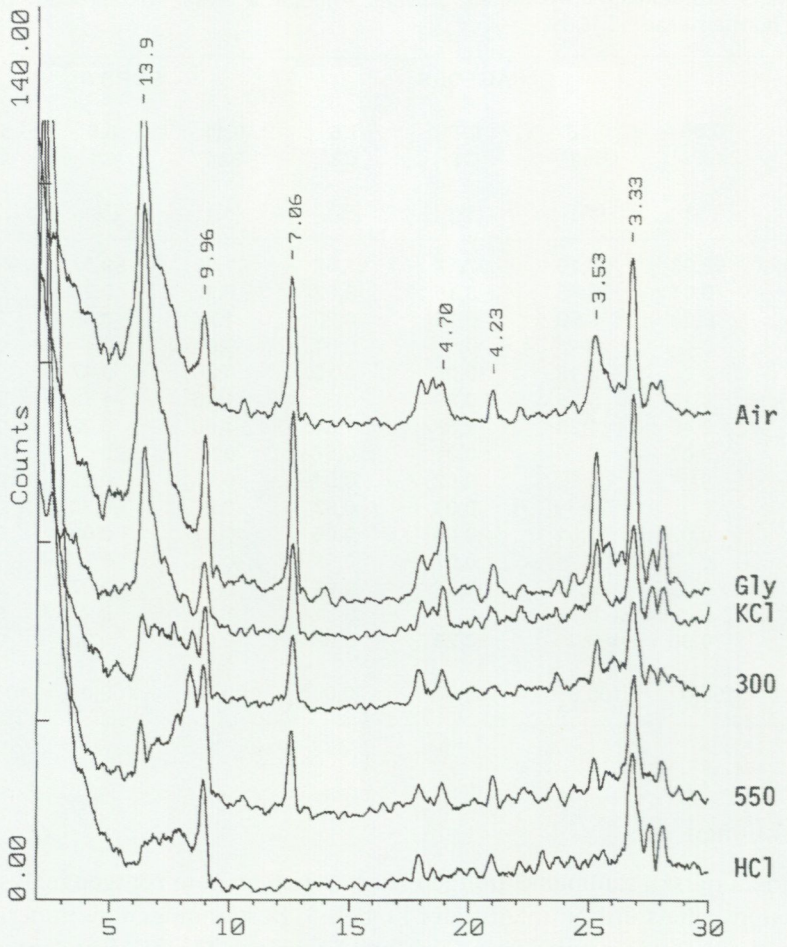


Fig. 16. Röntgendiagram för olika behandlingar av lerfraktionen på prov från Bs1-horisonten i Sörbyprofilen. Air = lufttorkat, Gly = glycerol, KCl = kaliumklorid, 300 = KCl + uppvärmning till 300°, 550 = KCl + uppvärmning till 550°, HCl = saltsyra. På X-axeln anges analysvinkeln i 2θ. Siffrorna vid enskilda toppar vid den översta kurvan avser avståndet mellan skiktlager i mineralen (enhet Å). Y-axeln visar på intensiteten.

glimmer (biotit, muskovit, illit). Glimmer tycks finnas i ungefär samma proportioner inom hela profilen.

Förhållandet mellan biotit och muskovit kan uppskattas från kvoten mellan första och andra ordningens toppar (10 Å respektive 5 Å). Lägre kvot mellan topphöjderna än 3–4 indikerar större andel biotit. Högre kvoter i den övre delen av profilerna (som kan konstateras i Hagforsprofilen, framgår ej av någon figur) antyder en relativt sett högre kvarvarande muskovithalt och att vittring skett av biotit och illit.

Figur 17 ger inte information om variationerna inom B- och övre C-horisonterna. Bildningen av smektit är sannolikt begränsad till E-horisonten och allra översta delen av B-horisonten. Blandskiktsmineral och vermikulit kan förväntas uppträda till större djup, åtminstone inom hela B-horisonten.

För Sörby finns uppskattningar av mineralinnehållet i lerfraktionen från fem olika nivåer (fig. 18). Halterna av kvarts, K-fältspat och plagioklas är relativt lika genom profilerna, med en viss högre halt av K-fältspat och plagioklas i E-horisonten. Klorit och amfibol (hornblände) förekommer i några procent, utom i proven från E- och Bs1-horisonterna där dessa mineral sannolikt har vittrat bort. På dessa nivåer saknas också i stort sett glimmer, som på djupare nivåer förekommer i betydande halter. Vittring av biotit/illit har därmed skett i den översta delen av jordmånen. Blandskiktsmineral och vermikulit har

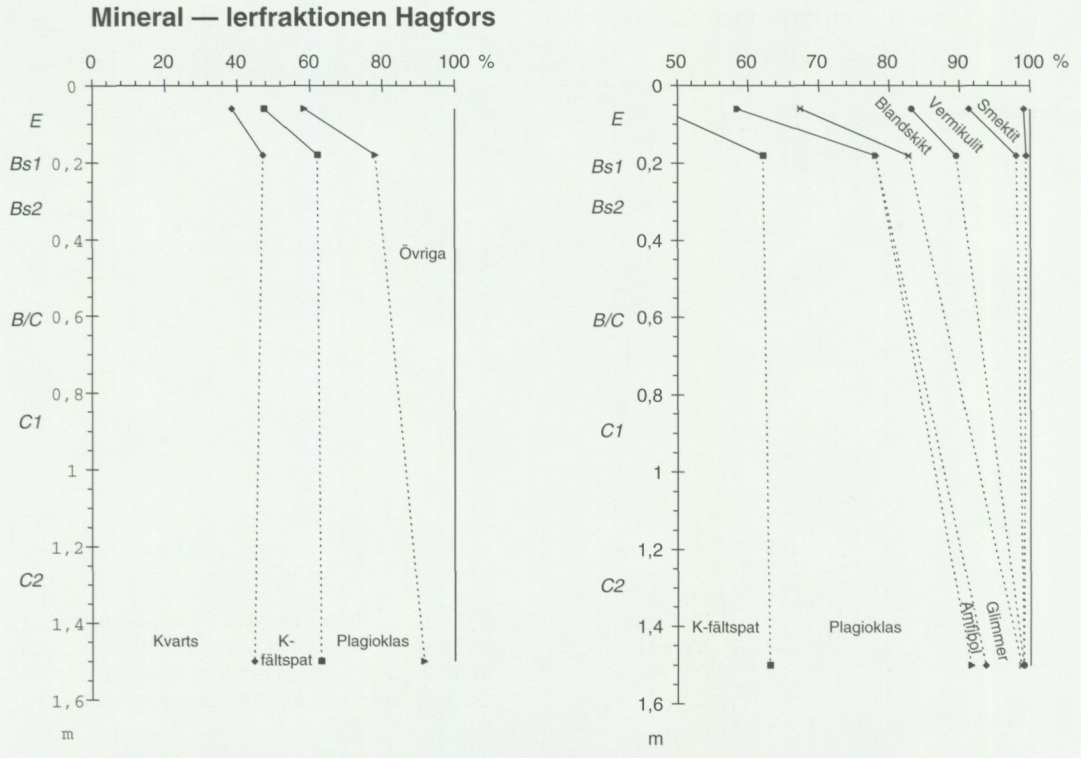


Fig. 17. Mineralogisk sammansättning i lerfraktionen i Hagforsprofilen, summerad till 100 %. För att övriga mineral utom de dominerande (kvarts, K-fältspat och plagioklas) skall framgå, finns en förstoring av övriga mineral i den högra delen av figuren.

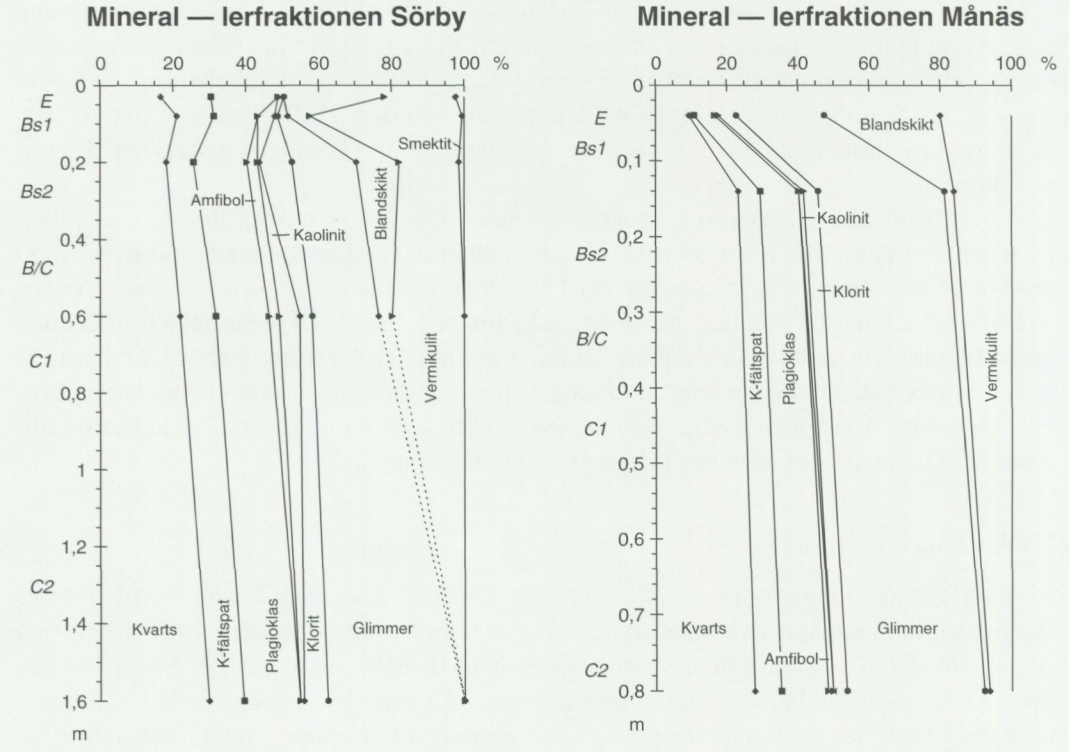


Fig. 18. Uppskattad mineralogisk sammansättning i lerfraktionen i profilerna i Sörby och Månäs.

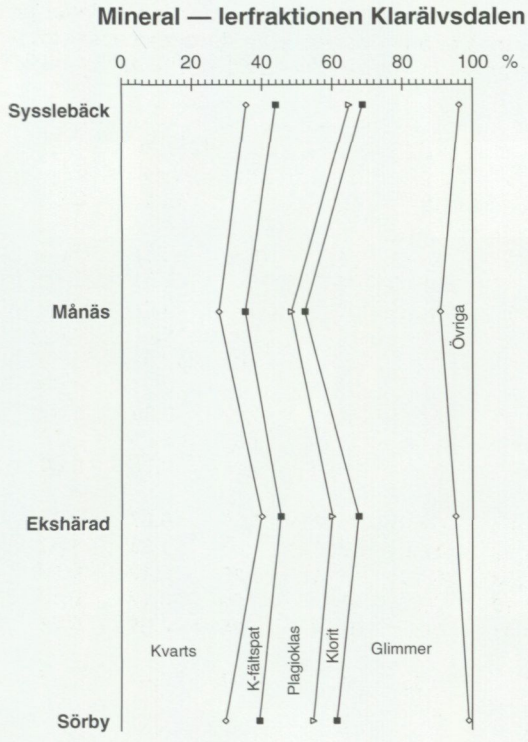


Fig. 19. Semikvantitativt uppskattad mineralfördelning i lerfraktionen i prov från C-horisonten från lokaler i Klarälvsdalen. Sträckan mellan Sörby i söder och Sysslebäck i norr är cirka 90 km.

istället bildats, och speciellt vermikulit förekommer ned till övre C-horisonten i betydande mängd. Spår av smektit har konstaterats i de övre proven. Det understa C-provet på 1,6 m djup består till hälften av kvarts, K-fältspat och plagioklas, och till hälften av glimmer, klorit samt i någon mån kaolinit och amfibol.

Mineralfördelningen i lerfraktionen i Månäs (fig. 18) visar på förekomst av samma mineral och i ungefärligen samma andelar som i Sörby. I E-provet har blandskikt och vermikulit bildats. Vermikulit förekommer i hela Månäsprofilen, som sträcker sig till 0,8 m djup. Annars är mineralfördelningen mellan proven från övre B (0,14 m) och övre C (0,8 m) likartade, och sedimentets finkornigaste del har en relativt homogen mineralogisk sammansättning.

För att bedöma variationer i lerfraktionens mineralogiska sammansättning i Klarälvsdalen har resultaten från Sörby och Månäs kompletterats med analyser från profiler i Ekshärad och Sysslebäck (fig. 1). Sedimentet i Ekshärad domineras av grovsilt, medan profilen i Sysslebäck består till allra största delen av finsand. I figur 19 ingår prov från C-horisonter. Figuren visar att samma mineral dominerar i lokalerna i Klarälvsdalen. Halterna är jämförbara, och de skillnader som förekommer beror främst på variation i andelarna glimmer och kvarts. I gruppen övriga mineral ingår främst kaolinit, amfibol samt vermikulit (avser Månäs, med det grundaste provet från 0,8 m djup).

C. Fraktionen <2 mm

Indirekta metoder krävs för att erhålla mineralinnehållet i fraktion <2 mm. Normativa beräkningar från elementanalyser har nyligen tagits fram av t.ex. Räisänen m.fl. (1995) och Snäll & Ek (1996). I denna studie har metoden MINBER94 enligt Snäll & Ek (1996) använts. Resultaten från beräkningarna från tre prov från varje lokal finns i tabell 6. Kvartshalter över 60% har beräknats för proven från E-horisonterna samt i hela Månäsprofilen. Halterna av K-fältspat och plagioklas ligger inom intervallet 12–18%. Bland skiktmineralen har de högsta halterna beräknats för muskovit. Muskovit har använts vid normaliseringen av resterande elementhalter och kan därför i viss mån vara överskattad.

Tabell 6. Mineralogisk sammansättning i fraktionen <2 mm enligt MINBER94. Tabellen omfattar primära och sekundära lermineral som har beräknats ingå i någon av proverna. Summan avser mineralen i tabellen. Dessutom har i vissa prov mindre halter av hematit, järnoxid och fri Al_2O_3 ingått i beräkningen.

	HAGFORS			SÖRBY			MÅNÄS		
Djup (m)	0,06	0,18	1,5	0,03	0,6	1,6	0,04	0,14	0,8
Horisont	E	Bs1	C2	E	C1	C2	E	Bs1	C2
Mineral	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Kvarts	66,9	54,1	57,3	60,1	54,1	53,4	65,4	63,0	63,6
Mikroklin	15,8	17,3	17,0	17,0	17,0	15,1	14,2	15,0	13,8
Plagioklas	12,1	18,3	17,8	15,8	19,2	18,4	12,6	12,9	12,8
Biotit	0,10	0,14	0,18	0,13	0,59	1,01	0,12	0,35	0,31
Muskovit	2,37	2,90	3,25	0	4,08	5,04	3,80	4,09	5,13
Klorit	0	0	0,83	0	0,82	1,99	0,17	0,76	0,80
Amfibol (Hornblände)	0,11	0,45	0,66	1,29	0,82	1,38	0,69	0,89	0,65
Epidot	0,28	1,34	1,97	3,32	2,11	2,80	1,03	1,33	1,32
Apatit	0,05	0,24	0,29	0,10	0,19	0,24	0,19	0,19	0,19
Titanit	0,05	0,42	0,21	0,10	0,14	0,28	0,09	0,12	0,11
Rutil	0,23	0,12	0,16	0,31	0,22	0,29	0,25	0,28	0,26
Vermikulit	0,40	0,97	0	0	0,55	0	0,17	0,41	0,34
Blandskikts min.	0	0	0	0,89	0	0	0	0	0
Smektit	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	99,3	96,4	101,2	99,1	100,5	101,5	98,7	99,3	99,3

Tabell 7. Jämförelse mellan skattade mineralhalter med olika metoder och fraktioner i provet från C2-horisonten på 1,5 m djup i Hagforsprofilen. X= mineralet har ej ingått i analysen.

Metod	MINBER94	Identifiering	XRD
Fraktion	<2 mm	grovsilt	ler
Mineral	(%)	(%)	(%)
Kvarts	57,3		45
Kalifältspat	17,0		18
Plagioklas	17,8		29
Summa lätta	92,1	97,7	92
Biotit	0,18	0,2	
Muskovit	3,25	0,01	
Klorit	0,83	0,1	1,0
Amfibol (Hornblände)	0,66	0,31	2,0
Epidot	1,97	1,34	X
Granat	0	0,07	X
Apatit	0,29	0,01	X
Titanit	0,21	0,03	X
Zirkon	X	0,05	X
Rutil	0,16	0,04	X
Vermikulit	0	X	0
Smektit	0	X	0

D. Jämförelse mellan fraktioner

En jämförelse mellan mineralberäkningar utförda med de olika metoderna på <2 mm, grovsilt respektive lerfraktionen finns i tabell 7. De skillnader som finns mellan beräknade halter i <2 mm och identifiering av enskilda korn i grovsilt kan t.ex. bero på 1) reella skillnader mellan fraktionerna, 2) förlust av skiktmineral i grovsilt vid separationen i tung vätska, och 3) underskattning av den totala mängden med tunga mineral då dessa kan förekomma tillsammans med lätta mineral som halvkorn. För tungmineralen har i stort sett samma mineral identifierats i grovsilt som de som ingår i beräkningen för fraktion <2 mm. Detta visar att en realistisk information om förekommande mineral erhålls för lokalerna med MINBER94.

SAMMANFATTNING GEOKEMI, MINERALOGI OCH VITTRINGSDJUP

I de undersökta profilerna råder en geokemisk miljö med låga halter av vittringsbenägna mineral. De viktigaste förekommande mineralen är kvarts, plagioklas, K-fältspat, amfibol (hornblände), epidot, apatit, klorit, biotit och illit. Den totala halten av kvarts och fältspater är högre i grovsilt i proverna från Hagfors än från Sörby. Detta är i överrensstämmelse med resultat från de geokemiska analyserna samt med den beräknade mineralfördelningen enligt MINBER94. Variationerna i sedimentens sammansättning av natrium, kalium, kalcium och magnesium (i fraktion <2 mm) är begränsad inom de övre delarna av C-horisonterna. Analysen av mineralförekomst i lerfraktionen i C-horisonterna, och den semikvantitativa uppskattningen av andelar, visar att samma mineral dominerar inom undersökningsområdet.

För vittringstrender inom profilerna framgår att:

- Minskning av halterna av baselementen natrium, kalium, kalcium och magnesium i E-horisonten har skett genom vittring av mineral som både är lakbara och icke lakbara i kungsvatten. Detta innebär att både tungmineral och fältspater vittrar i E-horisonten.
- Indikation finns på vittring av lakbara mineral i B- och möjligen även i övre C-horisonterna. Skiktmineral och vissa tungmineral kan ha vittrat, även om exempelvis studien av hornbländekornen inte indikerar någon påtaglig påverkan ens i övre B-horisonten.
- Mineralvittring har orsakat en kraftig minskning av fosforhalten i E-horisonten, till största delen förknippat med vittring av apatit.
- Zirkonium har anrikats relativt sett andra element i E-horisonten.
- I lerfraktionen har betydande vittring även skett inom B- och övre C-horisonterna, främst av skiktmineralen klorit, biotit och illit.

Resultaten anses karaktärisera den geokemiska miljön i jordlagren på ett tillfredsställande sätt, och kan användas som underlag för modellering av grundvattnets kemiska sammansättning.

MODELLERING AV VITTRINGSHASTIGHETER OCH GRUNDVATTNETS KEMISKA SAMMANSÄTTNING

Grundvattenkemiska mätdata

Det finns ett uttalat behov vid bedömning och övervakning av surt och försurningskänsligt grundvatten att försöka finna lämpliga metoder och modeller för att tolka regionala mönster. Ett huvudmål i detta projekt är att utföra modellberäkningar av den grundvattenkemiska sammansättningen i de undersökta jordlagren som har låg buffringskapacitet. Som underlag för modellering har det detaljerade materialet ovan om den geologiska/geokemiska miljön i Hagfors försöksområde och Klarälvsdalen tagits fram. Befintliga data avseende grundvattenkemisk sammansättning i försökslokalerna Hagfors, Sörby och Månäs har jämförts med resultat från modellering. I förekommande fall redovisas de beräkningar av vittringshastigheter som erhålls i samband med simuleringarna.

Information om vattentäkterna och tillgängliga grundvattenkemiska data finns i tabell 8. Jordarten avser dominerande jordart vid uttagsplats samt i anslutande område där grundvattenbildningen sker. Inga resultat från provpumpningar finns tillgängliga från Sörby och Månäs. De angivna uttagsvolymerna i tabell 8, som varit relativt likartade under driftsperioderna, antas innebära endast begränsad avsänkning invid brunn med liten påverkan på det naturliga flödesmönstret. Månäs vattentäkt har en betydande överkapacitet. Den är drygt 10 gånger det aktuella uttaget. Analysperiod avser den tid från vilken analyser har ansetts relevanta att använda. Efter 1990 finns för Sörby och Månäs analyser av enskilda baskatjoner, information som är nödvändig vid jämförelse med resultat från modellering.

Tabell 8. Information om grundvattenförhållandena i Hagfors, Sörby och Månäs.

	HAGFORS Försöksområde skogsmark	SÖRBY Kommunal vattentäkt	MÅNÄS Kommunal vattentäkt
X-koordinat	665570	665230	671380
Y-koordinat	139860	137105	135410
Jordart	sandig morän	grovsilt+finsand	finsand+mellansand
Brunnsdjup	1-1,5 m	5 m, 14 m	18 m
Anläggningsår	1986	1956, 1983	1974
Kapacitet	-	-	400 m^3/dygn
Uttag	inget	35 m^3/dygn	27 m^3/dygn
Antal anslutna 1991	inga	265 pers	140 pers
Status 1995	ingen provtagning	ur drift 1995	i drift
Analysperiod	1987-88	1966-95	1974-
Analysfrekvens	1 gång/mån	1 gång/år	1 gång/år
Omfattning av kemiska analyser	pH, natrium, kalium, kalcium, magnesium, aluminium, järn, mangan, ammonium, klorid, sulfat, fluorid, nitrat, konduktivitet	pH, alkalinitet (HCO_3), totalhårdhet (kalcium+ magnesium), järn, mangan, ammonium, klorid, sulfat, fosfat, nitrat, nitrit, konduktivitet 1983-95: aluminium 1990-95: kalcium och magnesium separat, natrium, kalium, fluorid	pH, alkalinitet (HCO_3), totalhårdhet (kalcium+ magnesium), järn, mangan, ammonium, klorid, sulfat, fosfat, nitrat, nitrit, konduktivitet 1982-: aluminium 1990-: kalcium och magnesium separat, natrium, kalium, fluorid

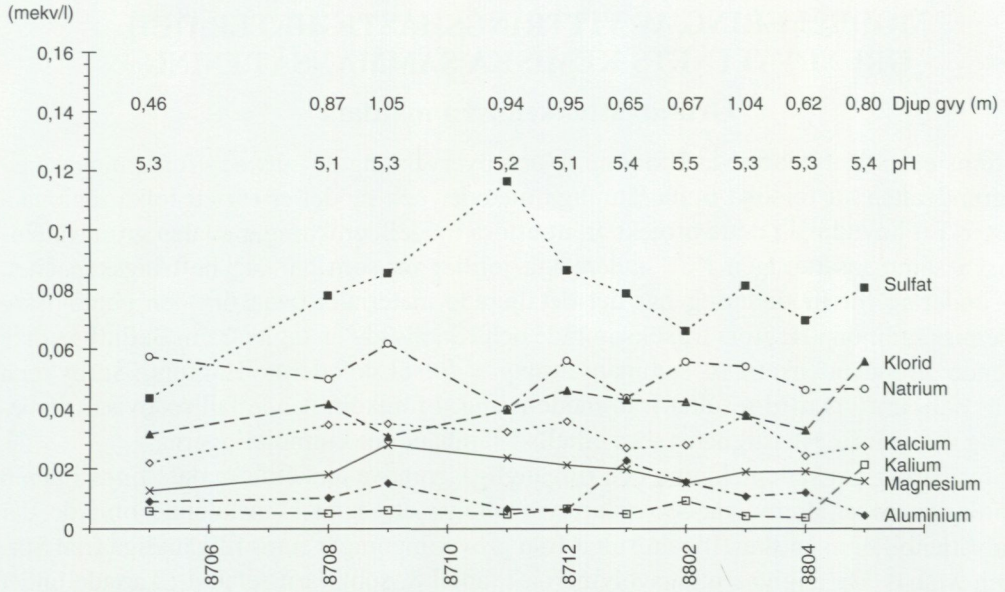


Fig. 20. Tidsmässiga variationer för rör G2 avseende grundvattennivåer, pH samt ämnen som ingår i modelleringen av grundvattnets kemiska sammansättning. Omfattar mätningar under perioden 1987-05 till 1988-05, dvs. före behandling med vedaska i V Snåret. Djup gvy avser djupet till grundvattnets nivå under markytan.

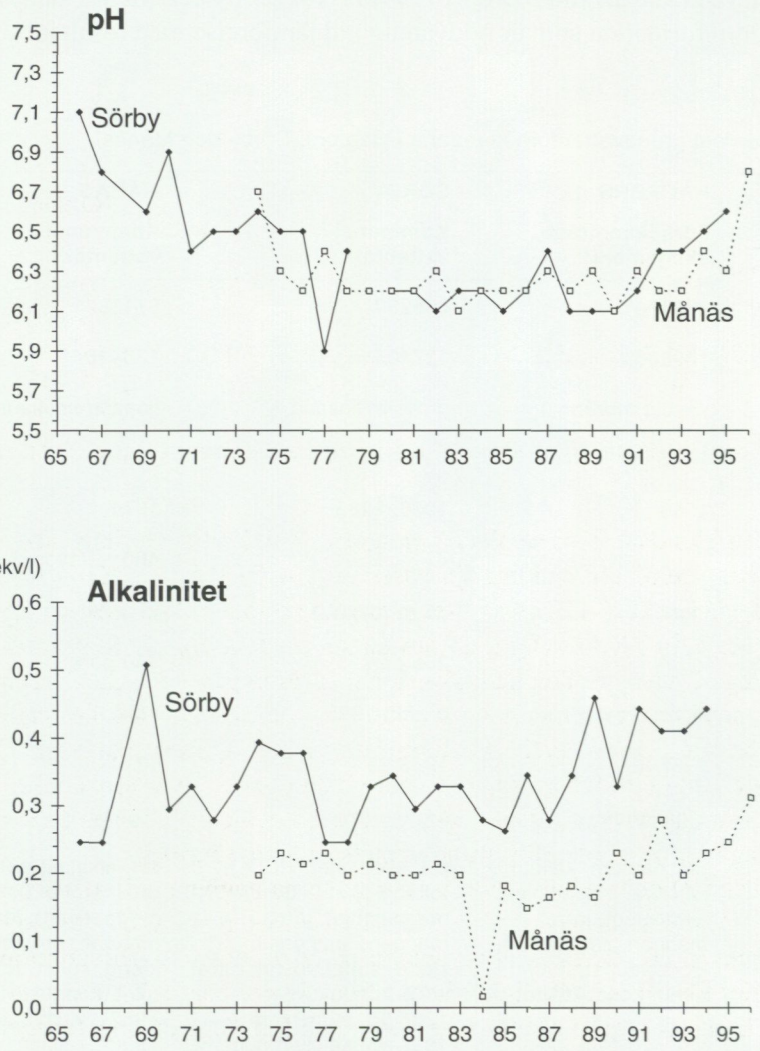


Fig. 21. Tidsserier för pH och alkalinitet för vattentäkterna i Sörby och Månäs, 1965–1996.

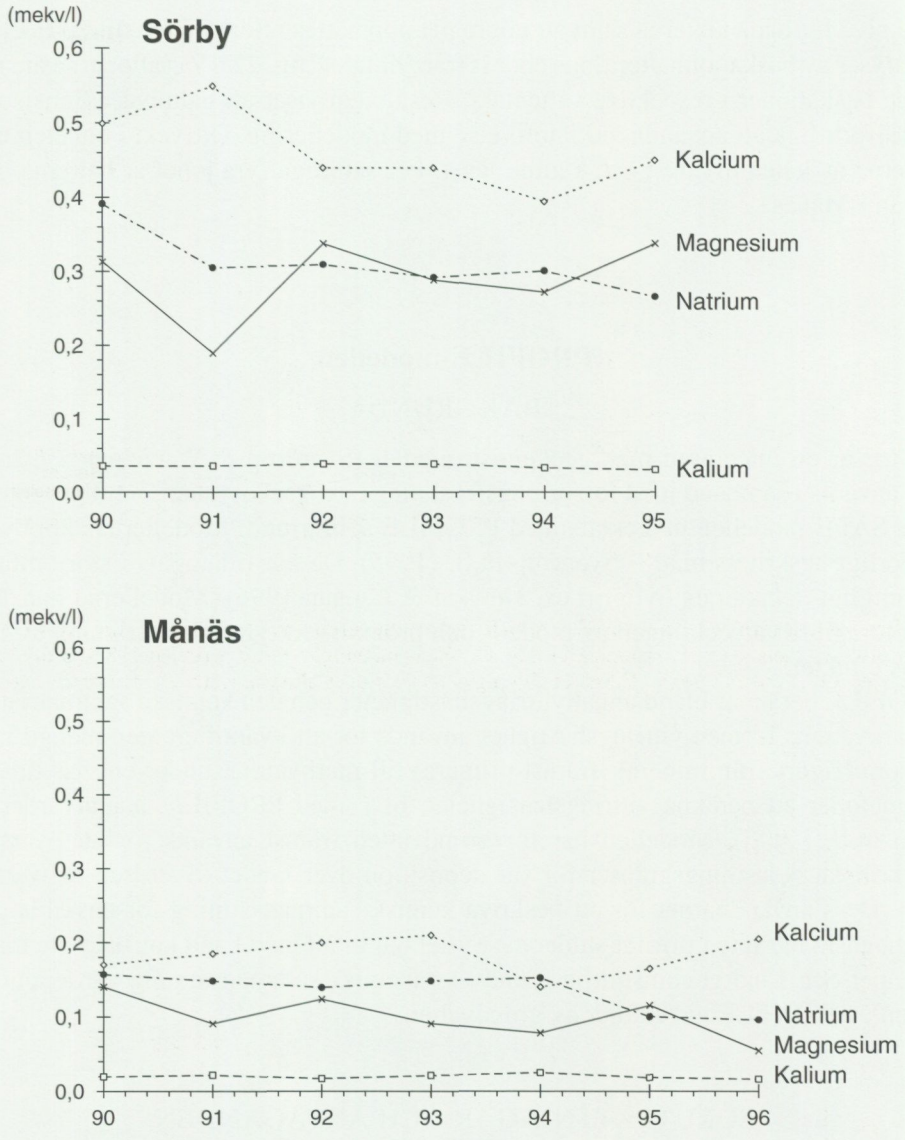


Fig. 22. Analyser av kalcium, magnesium, kalium och natrium för vattentäkterna i Sörby och Månäs, 1990–.

Grundvattenkemiska data finns samlade i bilagorna 2–4. I bilaga 2 finns medianvärden för de viktigaste analyserna för samtliga sju observationsrör i V Snåret (G1–G4) och referensområdet V Dybäcken (G5–G7). Analyserna är från perioden före vedaskning i V Snåret. Endast analyser från rör G2 (figur 2) används i modelleringen. Resultaten från de övriga rören i bilaga 2 visar att den kemiska sammansättningen i rör G2 är representativ för det ytliga grundvattnet i området. Jonstyrkan är genomgående mycket låg och med aktuellt pH kan aciditet, dvs. negativ alkalinitet, förväntas. Aciditet har dock ej ingått i analysprogrammet. I figur 20 framgår variationer i halter under ett år för rör G2. Variationerna är för de flesta analyserna relativt små, och medianvärdena i bilaga 2 (rör G2) har ansetts som godtagbara riktvärden för grundvattnets sammansättning.

För Sörby (bilaga 3) och Månäs (bilaga 4) är halterna angivna enligt analysprotokoll (vanligen i mg/l). De element som används i jämförelse med resultat från modellering redovisas även i mekv/l. För flertalet av parametrarna är de tidsmässiga variationerna begränsade. Tidsserier för pH och alkalinitet finns i figur 21 och för baskatjonerna i figur 22.

Alkaliniteten är något lägre i Månäs än i Sörby och har legat på ungefärligen samma halter fram till slutet på 80-talet. Därefter tycks alkaliniteten i båda vattentäkterna ha ökat svagt. För pH finns motsvarande tendens. Skillnaden mot alkaliniteten är att pH ligger på

samma nivå för båda täkterna samt att högre pH uppmättes i Sörby fram till 70-talets mitt.

Analyser av baskatjonhalter finns endast från 90-talet (fig. 22). Variationerna är små för enskilda baskatjoner i respektive vattentäkt. Resultaten visar att haltnivåer finns som bedöms tillförlitliga att använda vid jämförelse med modellering. Uttryckt i enheten mekv/l är halterna av kalcium högst och kalium lägst. För samtliga fyra joner är halterna högre i Sörby än i Månäs.

PROFILE-modellen

BAKGRUND

PROFILE är en integrerad markgeokemisk modell (Sverdrup & Warfvinge 1992a) som främst använts i samband med försurningsforskning i skogsekosystem. Som prognosverktyg har SAFE-modellen utvecklats med PROFILE som grund. Modellernas uppbyggnad har utförligt beskrivits bl.a. i Sverdrup m.fl. (1995). De har tillämpats i stor omfattning och samtidigt debatterats livligt (t.ex. Hodson & Langan 1996). Modellerna har därmed starkt bidragit till utvecklingen av modell- och prognosverktyg för beskrivning av försurningens effekter.

PROFILE beräknar bland annat vittringshastigheter och den kemiska sammansättningen i markvatten. Termen vittringshastighet används för att kvantifiera den mängd baskatjoner som frigörs från mineral (främst primära) till markvattnet under en viss tidsenhet. Olika metoder att beräkna vittringshastigheter, bl.a. med PROFILE, har utvärderats av Langan m.fl. (1995). Modellen har för grundvatten främst använts för att översiktligt skatta kritiska belastningsgränser för sur deposition över landet (Sverdrup & Warfvinge 1992b). Dess användbarhet för att beskriva kemisk sammansättning för enskilda grundvattenmagasin har inte utförligt studerats. Syftet här är att med känd kunskap om markens egenskaper och känd genomsnittlig grundvattenkemisk sammansättning värdera användbarheten av PROFILE vid studier av grundvatten.

FÖRUTSÄTTNINGAR OCH ANTAGANDEN

I denna studie ingår resultat från beräkningar med PROFILE av vattnets kemiska sammansättning och vittringshastigheter. För modellen behövs en rad uppgifter för den lokal som skall undersökas.

Beräkningarna utförs för vertikala jordprofiler. Versionen PROFILE 4.0 Beta för Macintosh har använts. Markprofilen delas upp i maximalt sex olika lager, med specifika indata för respektive lager (Alveteg m.fl. 1994). I figur 23 redovisas lagerindelningen vid simuleringarna för profilerna i Hagfors, Sörby och Månäs. Den använda metodiken innebär ett antal förenklingar:

- Jonsammansättningen i grundvattnet jämställs med den beräknade sammansättningen av markvattnet vid ett visst givet markdjup.
- Simuleringarna avser endast vertikalt vattenflöde. Vattnets transportsträcka och därmed uppehållstid i den mättade zonen beaktas således inte. Denna förenkling är speciellt viktig för lokalerna i Sörby och Månäs med stora, mer eller mindre sammanhängande grundvattenmagasin. Betydande arealer kan utgöra bildningsområden för grundvattnet. Någon genomsnittlig transportsträcka i grundvattnet har inte uppskattats. I Hagfors provtas det ytligaste grundvattnet som har mycket lokal prägel och antagandet om vertikalt flöde är mer relevant än i Sörby och Månäs.
- Mineralvittringen, och därmed ökningen i mark- och grundvattnets jonstyrka, sker enligt samma beräkningssätt i både den omättade och mättade zonen.

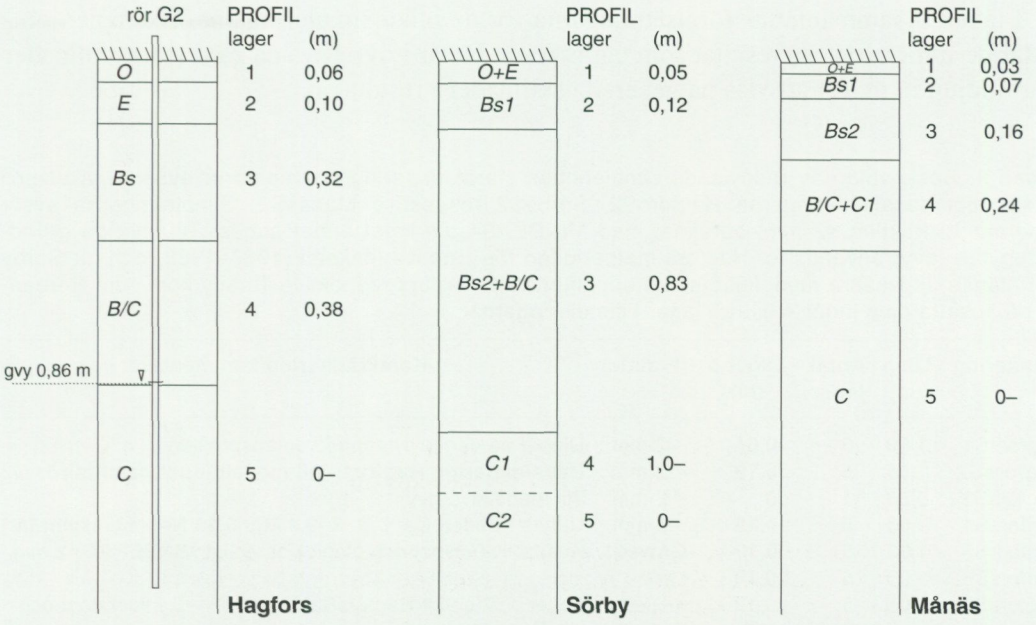


Fig. 23. Lagerindelning vid simuleringarna med PROFILE. De totala simuleringsdjupen varieras med olika skiktmäktigheter hos C-horisonten (lager 5 i Hagfors och Månäs, lager 4 och 5 i Sörby). Använda mäktigheter hos respektive skikt anges i meter.

SIMULERINGAR

För varje lokal har en bassimulering utförts med bedömt bästa indata (betecknas HagforsS2, SörbyS2 respektive MånäsS2). Bassimuleringarna redovisas i bilaga 5 (Hagfors), bilaga 6 (Sörby) och bilaga 7 (Månäs). För indata till dessa gäller att:

- Data om nederbörd, avrinning, temperatur, deposition samt upptag och barravfall från träd har erhållits från den databas som framtagits för nationell miljöövervakning utifrån riksskogstaxeringens lokaler. Uppgifterna kommer från i första hand SLU, SMHI och IVL. För Hagfors har uppgifter om deposition tillsänts från Ekologiska inst., LU.
- Uppgifter om specifik yta och mineralsammansättning har tagits fram inom projektet.
- Data för respektive markskikt vad gäller 1) vattenhalt, 2) densitet, 3) CO_2-tryck, 4) fördelning av nederbördsmängden, 5) fördelning av upptaget av baskatjoner och kväve, 6) löst organisk halt och 7) pK-gibbsit har främst tagits från referensvärden i Sverdrup m.fl. (1990), Lång (1995b) samt från opublicerade simuleringar av H. Sverdrup och P. Warfvinge, LU.

Av de parametrar som inte analyserats är det jordlagrens vattenhalt och densitet som har störst betydelse för beräknade av vittringshastigheter och markvattnets sammansättning. Högre densitet respektive högre vattenhalt medför med i övrigt samma indata en ökad beräknad vittringshastighet. Omfattande studier pågår vid Inst. för kemisk teknologi II, LU, av effekter av osäkerhet i indata vid tillämpningar med PROFILE (t.ex. Barkman 1998). Utvärdering av PROFILE-modellens känslighet begränsas här främst till den mineralogiska informationen. Dessa simuleringar omfattar;

- Varierande djup utgående från jordmånsutveckling, djup av provtagen profil, djup av omättad zon, brunnsdjup samt grundvattenbildningsområdets karaktär.
- Olika mineralsammansättning som tagits fram i denna studie med skilda metoder och för olika fraktioner.
- Den aktiv ytan på de mineralkorn som antas delta i vittringen.

I tabell 9 sammanfattas förutsättningarna för de olika simuleringarna. Exemplen omfattar de mineralogiska resultat som tagits fram. De är i övrigt valda med stora skillnader i profildjup m.m. för att visa på generella skillnader i resultaten.

Tabell 9. Beskrivning av redovisade simuleringar. Karaktärisering/kommentarer avser avvikelser i indata mot bassimuleringarna HagforsS2, SörbyS2 respektive MånäsS2. Simuleringarna avser mineralogi i fraktion <2 mm, beräknat med MINBER94 om inget annat anges. Till nivå på grundvattenytan (gvy) används för Hagfors mätperioden för grundvattenkemi (1987–1988) och för Sörby och Månäs uppskattat medeldjup enligt uppgifter från Hagfors respektive Torsby kommun. Beroende på ansatta djup ingår 4 eller 5 lager i simuleringarna.

Simulering	Djup (m)	Antal lager	Lager 5 (m)	Fraktion	Karaktärisering/kommentarer
HagforsS1	1,50	5	0,64	< 2 mm	Djupet på den provtagna jordmånsprofilen
HagforsS2	**1,05**	**5**	**0,19**	**< 2 mm**	**Bassimulering Hagfors. Till medeldjupet på slits rör G2**
HagforsS3	0,86	4	0	< 2 mm	Till medelnivå gvy
HagforsS4	1,05	5	0,19	< 2 mm	Utbyte i trädet; Ca=0,3 K=0,4 Mg=0,25 N=0,3 (kekv/ha*år)
HagforsS5	1,05	5	0,19	Grovsilt	Kvarts, K-fältspat och plagioklas enligt MINBER94 <2 mm
HagforsS6	1,05	5	0,19	Ler	
HagforsS7	1,05	5	0,19	----➤	Lager 1, 2 enligt HagforsS2; Lager 3, 4, 5 mineralogi och yta för lerfraktionen
HagforsS8	0,86	4	0	Grovsilt	Kvarts, K-fältspat och plagioklas enligt MINBER94 <2 mm Till medelnivå gvy
HagforsS9	0,86	4	0	Ler	Till medelnivå gvy
HagforsS10	0,86	4	0	----➤	Lager 1, 2 enligt HagforsS2; Lager 3, 4, 5 mineralogi och yta för lerfraktionen. Till medelnivå gvy
SörbyS1	22,0	5	18,0	< 2 mm	Uppskattat maximalt djup från övre plan till brunnsintag
SörbyS2	**4,00**	**4**	**0**	**< 2 mm**	**Bassimulering Sörby. Djup till intag i den grundare brunnen från undre plan. Gvy ~ 2 m under markytan**
SörbyS3	2,00	4	0	< 2 mm	Genomsnittligt djup till gvy vid brunnen
SörbyS4	4,00	4	0	Grovsilt	Kvarts, K-fältspat och plagioklas enligt MINBER94 <2 mm
SörbyS5	4,00	4	0	Ler	
SörbyS6	4,00	4	0	----➤	Lager 1, 2 enligt SörbyS2; Lager 3, 4, 5 mineralogi och yta för lerfraktionen
MånäsS1	0,80	5	0,3	< 2 mm	Djupet på den provtagna jordmånsprofilen
MånäsS2	**7,00**	**5**	**6,5**	**< 2 mm**	**Bassimulering Månäs. Genomsnittligt djup till gvy vid brunnen**
MånäsS3	18,0	5	17,5	< 2 mm	Brunnsdjupet
MånäsS4	7,00	5	6,5	Ler	
MånäsS5	7,00	5	6,5	----➤	Lager 1, 2 enligt MånäsS2; Lager 3, 4, 5 mineralogi och yta för lerfraktionen

RESULTAT VITTRINGHASTIGHETER

Fullständiga resultat för bassimuleringarna framgår av bilagorna 5–7. För varje horisont redovisas vittringshastigheter för respektive huvudelement samt bidraget från enskilda mineral. För respektive profil ges även summerade vittringsvärden. Resultat från övriga simuleringar ingår i tabellerna 10–12. Tabell 10 ger de summerade vittringshastigheterna för baselementen kalcium, magnesium, kalium och natrium. Tabell 11 visar vittringshastigheter för enskilda mineral och baselement för tre simuleringar från respektive lokal. Tabell 12 sammanfattar den totala andelen av baskatjonvittringen från olika mineral.

Generellt

Den mineralogiska sammansättningen i fraktion <2 mm (enligt MINBER94) har använts i simuleringarna HagforsS1–S4, SörbyS1–S3, samt MånäsS1–S3. Dominerar gör frigörelse av natrium före kalcium och kalium (tabell 10). Magnesium uppvisar de lägsta vitt-

Tabell 10. Beräknade vittringshastigheter med PROFILE för kalcium, magnesium, kalium och natrium samt summan av dessa.

Simulering	Djup (m)	VITTRINGSHASTIGHET Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Summa (kekv/ha*år)
HagforsS1	1,50	0,31	0,14	0,38	0,98	1,82
HagforsS2	1,05	0,21	0,09	0,23	0,59	1,12
HagforsS3	0,86	0,16	0,06	0,16	0,40	0,79
HagforsS4	1,05	0,21	0,09	0,24	0,60	1,14
HagforsS5	1,05	0,11	0,05	0,20	0,58	0,94
HagforsS6	1,05	0,10	0,24	0,29	0,74	1,37
HagforsS7	1,05	0,01	0,03	0,04	0,08	0,16
HagforsS8	0,86	0,08	0,04	0,13	0,39	0,65
HagforsS9	0,86	0,06	0,17	0,21	0,46	0,90
HagforsS10	0,86	0,01	0,02	0,03	0,06	0,13
SörbyS1	22,0	3,89	4,22	5,70	15,56	29,36
SörbyS2	4,0	1,07	1,06	1,46	3,98	7,57
SörbyS3	2,0	0,52	0,46	0,69	1,86	3,53
SörbyS4	4,0	0,90	0,98	1,29	4,00	7,16
SörbyS5	4,0	0,37	6,24	3,00	3,07	12,68
SörbyS6	4,0	0,07	0,66	0,33	0,38	1,44
MånäsS1	0,80	0,08	0,05	0,08	0,18	0,38
MånäsS2	7,0	0,43	0,31	0,71	1,63	3,08
MånäsS3	18,0	0,95	0,71	1,66	3,87	7,20
MånäsS4	7,0	0,23	3,63	1,62	1,51	7,00
MånäsS5	7,0	0,09	1,16	0,53	0,52	2,30

ringshastigheterna i Hagfors och Månäs, men motsvarar kalcium i Sörby. I simuleringar där mineralogin i lerfraktionen använts, beräknas magnesium men även kalium frigöras i betydligt högre grad.

Plagioklas samt K-fältspat dominerar i mineralogin för fraktionen <2 mm, medan lerfraktionen kännetecknas av biotit och andra skiktmineral. Fältspaternas beräknat stora vittringsbidrag framgår av tabellerna 11 och 12. Natrium frigörs endast från fältspaterna, och främst från plagioklas. Plagioklas är också en huvudsaklig kalciumkälla, även vid en så låg antagen anortithalt som 5%. Hornblände, epidot och apatit bidrar i stort sett med den resterande delen kalcium. Magnesium frigörs främst från hornblände, samt i simuleringar med lerfraktionens mineralogi i huvudsak från biotit. Muskovit och klorit är i vissa simuleringar viktiga som magnesiumkällor och muskovit även för kalium. Kalium kommer i övrigt nästan helt från K-fältspat.

Det är uppenbart att de halter som används på fältspater och skiktmineral är avgörande för den frigörelse av baskatjoner som beräknas med PROFILE (tabell 12). För de mineral som förekommer i låga halter är det apatit som står för det största vittringsbidraget.

Olika fraktioners mineralogi och yta

I simuleringarna HagforsS5 och SörbyS4 har mineralsammansättningen i grovsilt ersatt den för fraktionen <2 mm i bassimuleringarna HagforsS2 respektive SörbyS2. Frigörelsen av kalcium, men även magnesium och kalium, blir något lägre i HagforsS5 och Sörby S4 jämfört med bassimuleringarna. Orsaken är en lägre total halt av tungmineral och skiktmineral i skattningen för grovsilt. Det framräknade förhållandet mellan kvarts, K-fältspat och plagioklas från MINBER94 har även utnyttjats för grovsilt, vilket till stor del styr halterna av frigörelsen av natrium, kalium och delvis kalcium.

Mineralogin i lerfraktionen har på motsvarande sätt använts i simuleringarna HagforsS6, SörbyS5 och MånäsS4. Vittringshastigheterna blir högre än för bassimuleringarna (HagforsS2, SörbyS2 och MånäsS2). Detta gäller speciellt för Sörby och Månäs, där

Tabell 11. Totala vittringshastigheter från olika mineral i profiler, beräknat med PROFILE. Tre simuleringar från respektive lokal ingår.

VITTRING I HELA PROFILER

Mineral	Kalcium (kekv/ha*år)			Magnesium (kekv/ha*år)			Kalium (kekv/ha*år)			Natrium (kekv/ha*år)		
Hagfors Simulering	**S2**	**S5**	**S7**	**S2**	**S5**	**S7**	**S2**	**S5**	**S7**	**S2**	**S5**	**S7**
Kalifältspat	0	0	0	0	0	0	0,202	0,196	0,027	0,022	0,022	0,003
Plagioklas	0,060	0,058	0,008	0	0	0	0	0	0	0,567	0,554	0,081
Hornblände	0,014	0,006	0,002	0,028	0,012	0,004	0	0	0	0	0	0
Pyroxen	0	0,005	0	0	0,005	0	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,063	0,042	0,001	0,028	0,018	0	0	0	0	0	0	0
Granat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0	0	0,008	0,011	0,011	0,002	0,003	0,003	0	0	0
Muskovit	0	0	0	0,007	0	0,001	0,028	0	0,003	0	0	0
Fe-Klorit	0	0	0	0,015	0,002	0,004	0	0	0	0	0	0
Mg-Vermikulit	0	0	0	0,003	0	0,006	0,003	0	0,006	0	0	0
Apatit	0,076	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaolinit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sörby Simulering	**S2**	**S4**	**S6**	**S2**	**S4**	**S6**	**S2**	**S4**	**S6**	**S2**	**S4**	**S6**
Kalifältspat	0	0	0	0	0	0	1,12	1,12	0,091	0,124	0,125	0,010
Plagioklas	0,406	0,408	0,038	0	0	0	0	0	0	3,86	3,88	0,365
Hornblände	0,154	0,103	0,011	0,312	0,210	0,214	0	0	0	0	0	0
Pyroxen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,267	0,234	0,016	0,114	0,100	0,007	0	0	0	0	0	0
Granat	0	0,007	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0	0	0,274	0,648	0,489	0,069	0,162	0,122	0	0	0
Muskovit	0	0	0	0,067	0	0,023	0,269	0,001	0,092	0	0	0
Fe-Klorit	0	0	0	0,284	0,023	0,093	0	0	0	0	0	0
Mg-Vermikulit	0	0	0	0,005	0	0,028	0,005	0	0,028	0	0	0
Apatit	0,241	0,144	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaolinit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Månäs Simulering	**S2**	**S3**	**S5**	**S2**	**S3**	**S5**	**S2**	**S3**	**S5**	**S2**	**S3**	**S5**
Kalifältspat	0	0	0	0	0	0	0,523	1,212	0,109	0,058	0,135	0,012
Plagioklas	0,166	0,393	0,054	0	0	0	0	0	0	1,575	3,73	0,508
Hornblände	0,048	0,103	0,031	0,097	0,210	0,062	0	0	0	0	0	0
Pyroxen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,085	0,175	0,004	0,036	0,075	0,002	0	0	0	0	0	0
Granat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0	0	0,051	0,123	0,947	0,013	0,031	0,237	0	0	0
Muskovit	0	0	0	0,039	0,097	0,045	0,157	0,390	0,180	0	0	0
Fe-Klorit	0	0	0	0,072	0,174	0,102	0	0	0	0	0	0
Mg-Vermikulit	0	0	0	0,012	0,031	0	0,012	0,031	0	0	0	0
Apatit	0,131	0,282	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaolinit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 12. Bidraget från enskilda mineral till den totala vittringen, beräknat med PROFILE. Simuleringarna förklaras i tabell 9. Förkortning av mineral enligt; Kfsp = K-fältspat, Plag = plagioklas, Hbd = hornblände, Pyr = pyroxen, Epi = epidot, Gra = granat, Bio = biotit, Mus = muskovit, Klo = klorit, Ver = vermikulit, Apa = apatit och Kao = kaolinit.

	VITTRINGSBIDRAG FRÅN ENSKILDA MINERAL												
Simulering	**Djup** (m)	**Kfsp** (%)	**Plag** (%)	**Hbd** (%)	**Pyr** (%)	**Epi** (%)	**Gra** (%)	**Bio** (%)	**Mus** (%)	**Klo** (%)	**Ver** (%)	**Apa** (%)	**Kao** (%)
HagforsS1	1,50	20,0	57,8	3,79	0	6,51	0	0,89	3,09	1,55	0,30	6,03	0
HagforsS2	1,05	20,0	55,8	3,70	0	8,03	0	0,85	3,07	1,37	0,48	6,75	0
HagforsS3	0,86	19,2	54,5	3,59	0	9,23	0	0,85	3,11	1,25	0,68	7,53	0
HagforsS4	1,05	20,4	56,3	3,79	0	7,47	0	0,84	3,07	1,35	0,47	6,38	0
HagforsS5	1,05	23,2	65,4	1,95	1,00	6,47	0,08	1,47	0	0,25	0	0,20	0
HagforsS6	1,05	16,0	58,0	5,25	0	0	0	10,6	2,05	1,52	6,45	0	0,17
HagforsS7	1,05	18,6	55,4	3,60	0	0,90	0	8,93	2,37	2,32	6,87	0,78	0,19
HagforsS8	0,86	22,4	64,8	1,95	1,07	7,58	0,03	1,69	0	0,27	0	0,19	0
HagforsS9	0,86	16,2	54,4	3,65	0	0	0	11,8	2,29	1,61	9,81	0	0,26
HagforsS10	0,86	20,0	53,0	2,10	0	1,16	0	8,70	2,52	2,49	8,81	1,00	0,24
SörbyS1	22,0	16,0	56,8	5,61	0	4,70	0	4,92	4,95	4,24	0,04	2,70	0
SörbyS2	4,0	16,4	56,3	6,16	0	5,04	0	4,53	4,44	3,75	0,14	3,19	0
SörbyS3	2,0	17,2	56,2	6,24	0	5,57	0	3,96	4,01	3,14	0,30	3,35	0
SörbyS4	4,0	17,4	59,8	4,37	0	4,67	0,13	11,3	0,02	0,32	0	2,01	0
SörbyS5	4,0	5,87	25,9	1,20	0	0	0	47,4	9,11	7,14	2,78	0	0,66
SörbyS6	4,0	6,95	27,9	2,21	0	1,58	0	42,2	7,95	6,44	3,81	0,23	0,70
MånäsS1	0,80	17,2	49,4	5,21	0	9,75	0	2,03	5,88	2,36	0,82	7,41	0
MånäsS2	7,0	18,9	56,6	4,73	0	3,95	0	2,06	6,39	2,33	0,81	4,25	0
MånäsS3	18,0	18,7	57,4	4,35	0	3,47	0	2,14	6,77	2,42	0,86	3,92	0
MånäsS4	7,0	4,73	23,3	3,39	0	0	0	53,7	10,3	4,63	0	0	0,02
MånäsS5	7,0	5,26	24,5	4,07	0	0,22	0	51,5	9,80	4,45	0,02	0,16	0,01

stora bidrag av magnesium och kalium erhålls från biotit. Att använda ytan för fraktion <2 mm tillsammans med lerfraktionens mineralfördelning är en alltför grov approximation. Exemplen visar dock att skillnader i beräknade vittringshalter kan bli stora när mineralogi från olika fraktioner används, speciellt när lerfraktionen ingår.

Baselementens totala och lakbara halter har minskat kraftigt i E-horisonterna och i viss mån i den översta delen av B-horisonterna (fig. 8, 9 och 10). Djupare i profilerna är det förändringar i lerfraktionens mineralogiska sammansättning som konstaterats. Vittring av hornbländekorn är uppenbar endast i E-horisonter. I simuleringarna HagforsS7, SörbyS6 och MånäsS5 har dessa faktiska vittringsindikatorer följts genom att 1) använda mineralogin och ytan för fraktion <2 mm i lager 1 och 2 (se profiler i fig. 23), samt 2) anta att endast vittring av lerfraktionen sker i resterande delar av profilerna (lager 3–5), varvid mineralogin och ytan i lerfraktionen används. Jämfört med basberäkningarna för respektive lokal framgår att:

- Då endast vittring av lerfraktionen beaktas på djupet i profilerna blir vittringshastigheterna avsevärt lägre i Hagfors och Sörby.
- Andelen av det totala vittringsbidraget som kommer från magnesium är högre för simuleringarna med lerfraktionen på djupet (främst från biotit). För Månäs del erhålls en högre vittring av magnesium i MånäsS5 än i bassimulering MånäsS2.

Profildjup

Vid i övrigt samma indata ökar de beräknade vittringshastigheterna proportionerligt med ökat profildjup. Profilen är i bassimulering HagforsS2 1,05 m ned till medelnivån på rör G2s slits. Profilen i simulering HagforsS1 är 1,50 m vilket motsvarar hela den provtagna

profilens djup och som under torrperioder kan vara omättad. Simulering HagforsS3 representerar ett medeldjup till grundvattenytan på 0,86 m. Av tabell 10 framgår att frigörelsen av baskatjoner i stort sett är fördubblad i HagforsS1 mot HagforsS3. HagforsS1–S3 omfattar ett sannolikt djupintervall för vittringen, om huvuddelen antas ske inom den omättade eller övre delen av den mättade zonen i Hagforsmoränen.

För Sörby visar simulering SörbyS3 resultatet för en 2 m djup profil som motsvarar djupet till grundvattenytan vid brunnarna. MånäsS1 visar på vittringen inom den 0,80 m djupa studerade profilen. Några exempel ges också med stora profildjup, SörbyS1 (22 m) och MånäsS5 (18 m). PROFILE beräknar i dessa fall mycket högre totala vittringsvärden än bassimuleringarna (tabell 10). Det är således helt avgörande för beräknade vittringshastigheter vilka profildjup som ansatts. Detta diskuteras vidare nedan i samband med utvärdering mot grundvattnets kemiska sammansättning.

RESULTAT GRUNDVATTENKEMISK SAMMANSÄTTNING

Vattenkemiska resultat för bassimuleringarna framgår av bilagorna 5–7. Den kemiska sammansättningen av vattnet när det lämnar respektive markskikt redovisas. Sammansättningen i det understa lagret motsvarar markvattnet ut från profilen, som här har jämförts med analyser på grundvattnet. Simuleringarna ger pH, alkalinitet/aciditet (ANC – Acid Neutralizing Capacity), total baskatjonhalt (BC) och enskilda halter av kalcium, magnesium, kalium, natrium samt aluminium (organiskt och oorganiskt), kisel, nitrat, ammonium, klorid och sulfat. Av dessa ingår främst pH, alkalinitet, kalcium, magnesium, kalium, natrium, klorid och sulfat i utvärderingen.

I tabell 13 redovisas både resultat från simuleringarna och medelvärden från analys av grundvattnet. Högre vittringshastigheter medför fler baskatjoner ut till vattnet. Trender i resultaten från de olika simuleringarna som gavs för vittringen ovan gäller därför också för halter av baskatjoner i markvattnet. Redovisningen nedan avser hur olika simuleringar och enskilda element överensstämmer med mätdata.

Hagfors

För samtliga simuleringar är de beräknade halterna av baskatjoner högre än de som uppmätts i grundvattnet. Detta gäller speciellt för natrium och kalium. För basimuleringen HagforsS2, där mineralogin för fraktionen <2 mm använts, är halterna från två gånger högre för magnesium till drygt tio gånger högre för kalium. Med samma yta, men med mineralogin i grovsiltfraktionen (HagforsS5), erhålls något lägre halter av baskatjonerna än i HagforsS2. Den lägsta frigörelsen, och för lokalen därmed den bästa anpassningen mot uppmätta halter, erhålls med HagforsS7 och HagforsS10. Dessa bygger på fraktionen <2 mm i de översta profillagren 1 och 2 och med lerfraktionens mineral som indata för lager 3–5 och då endast med lerfraktionens yta som aktiv vid vittringen.

Uppgift om alkalinitet/aciditet saknas i tabell 13 för Hagfors, då analys av negativ alkalinitet (aciditet) inte utförts. Med hänsyn till övrig jonsammansättning och jonbalanser kan aciditet förväntas. pH visar både högre och lägre värden vid simuleringarna än den genomsnittligt uppmätta.

Indata som påverkar halterna av klorid och sulfat har inte varierats i simuleringarna. Samma värden erhålls därför för de olika lagren i samtliga simuleringar. Under jordmånsprofilen (från lager 4) erhålls samma värden oberoende av djup (bilagorna 5–7, tabell 13). De beräknade halterna av klorid respektive sulfat är dubbelt så höga som de uppmätta.

Den kemiska sammansättningen i rör G2 kan anses vara representativ för det ytliga grundvattnet i moränen i Hagforsområdet (bilaga 1). De skillnader i vattenkemisk sammansättning som finns mellan simuleringar och mätdata för rör G2 är betydligt större än variationen i halter mellan olika grundvattenrör i Hagfors. Sulfathalten är dock genom-

Tabell 13. Resultat av med PROFILE beräknad samt uppmätt kemisk sammansättning hos grundvattnet. Analyserna för Hagfors är från rör G2 i V Snåret, och från vattentäkterna i Sörby och Månäs på råvatten. Markvatten i Hagfors kommer från närliggande lysimeter (data från B. Nihlgård, LU).

Simulering	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Kalcium (mekv/l)	Magnesium (mekv/l)	Kalium (mekv/l)	Natrium (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)
Hagfors								
HagforsS1	6,16	0,392	0,126	0,059	0,134	0,354	0,082	0,156
HagforsS2	5,56	0,117	0,095	0,041	0,089	0,231	0,082	0,156
HagforsS3	4,73	-0,021	0,078	0,032	0,066	0,173	0,082	0,156
HagforsS4	5,68	0,149	0,098	0,048	0,095	0,235	0,082	0,156
HagforsS5	5,15	0,052	0,064	0,031	0,079	0,227	0,082	0,156
HagforsS6	5,84	0,203	0,058	0,088	0,107	0,278	0,082	0,156
HagforsS7	4,49	-0,201	0,036	0,027	0,032	0,073	0,082	0,156
HagforsS8	4,63	-0,063	0,055	0,027	0,059	0,170	0,082	0,156
HagforsS9	4,86	0,019	0,045	0,067	0,082	0,190	0,082	0,156
HagforsS10	4,47	-0,226	0,035	0,025	0,030	0,066	0,082	0,156
Analyser								
medelvärde	5,3		0,030	0,019	0,007	0,051	0,040	0,078
std	0,14		0,005	0,004	0,005	0,007	0,008	0,018
medianvärde	5,3		0,030	0,019	0,005	0,052	0,041	0,080
Markvatten	5,0		0,062	0,028	0,021	0,068	0,031	0,119
Sörby								
SörbyS1	7,58	9,619	1,323	1,408	1,914	5,247	0,075	0,200
SörbyS2	6,97	2,347	0,382	0,356	0,504	1,387	0,075	0,200
SörbyS3	6,58	0,985	0,199	0,157	0,247	0,679	0,075	0,200
SörbyS4	6,94	2,211	0,325	0,331	0,444	1,393	0,075	0,200
SörbyS5	7,21	4,061	0,147	2,095	1,015	1,083	0,075	0,200
SörbyS6	6,05	0,305	0,053	0,228	0,131	0,185	0,075	0,200
Analyser								
medelvärde	6,4	0,415	0,462	0,289	0,035	0,310	0,235	0,257
std	0,19	0,047	0,054	0,056	0,003	0,043	0,029	0,036
medianvärde	6,4	0,425	0,444	0,300	0,036	0,302	0,226	0,271
Månäs								
MånäsS1	4,53	-0,159	0,056	0,024	0,047	0,113	0,067	0,184
MånäsS2	6,53	0,877	0,173	0,112	0,255	0,598	0,067	0,184
MånäsS3	6,94	2,257	0,348	0,246	0,575	1,343	0,067	0,184
MånäsS4	6,93	2,179	0,105	1,216	0,559	0,557	0,067	0,184
MånäsS5	6,37	0,617	0,061	0,395	0,195	0,227	0,067	0,184
Analyser								
medelvärde	6,3	0,241	0,182	0,099	0,020	0,134	0,113	0,087
std	0,23	0,042	0,025	0,029	0,003	0,025	0,036	0,028
medianvärde	6,3	0,229	0,185	0,090	0,019	0,148	0,113	0,083

gående högre i flertalet andra rör (0,120–0,136 mekv/l) än i rör G2, vilket ger en bättre överensstämmelse med den vid simuleringar med PROFILE erhållna halten sulfat. Markvattnet har analyserats genom provtagning i lysimeter på cirka 0,3 m djup i B-horisonten invid rör G2 (Nihlgård, LU). Även sulfathalten i markvattnet är genomsnittligt högre (0,119 mekv/l, tabell 13) än för rör G2. De erhållna sulfathalterna i simuleringarna kan därför anses som rimliga och att de uppmätta halterna i rör G2 relativt sett är låga.

Liksom för sulfat är halterna av baskatjoner i genomsnitt högre i markvattnet än i rör G2. Resultaten kan indikera vattnets infiltration och flödesmönster. Flödet i större porer kan ge en snabbare transport till det ytliga grundvattnet, medan en del av det markvatten

som erhålls i lysimetrarna är hårdare bundet. En begränsad kontakttid och kontaktyta hos den del av det infiltrerande vattnet som transporteras i grövre porer har en direkt betydelse för tolkning av resultaten vid jämförelse mellan simulerade och uppmätta data. Den simulerade vattensammansättningen ut från lager 3 i HagforsS2 (bilaga 5) är den som bäst motsvarar djupet för analyserat markvatten (cirka 0,3 m). Halterna visar god överensstämmelse (tabell 14).

Tabell 14. Halter av baskatjoner i Hagfors. Markvattenhalter och bidraget från den totala deposition från undersökningar av B. Nihlgård, LU.

	Kalcium (mekv/l)	Magnesium (mekv/l)	Kalium (mekv/l)	Natrium (mekv/l)
HagforsS2-lager 3	0,043	0,019	0,033	0,087
Markvatten	0,062	0,028	0,021	0,068
Deposition (våt+torr)	0,019	0,009	0,011	0,038

Simuleringarna med PROFILE representerar väl markvattnet i översta delen av B-horisonten. Två huvudfaktorer medför sedan att halten baskatjoner i simuleringarna blir högre än grundvattnets halter på större djup:

- Progressiv ökning av halterna i simuleringarna.
- Lägre halter i grundvattnet än i markvattnet, eventuellt styrt av mönstret i porvattenflödet och av lysimetrarnas funktion.

Jämförelserna mellan simulerade och uppmätta halter bygger på att mineralvittringen direkt avspeglar vattnets sammansättning och att ett slutstadium (*steady state*) uppnåtts vad gäller försurande deposition. Resultaten skall ses mot bakgrund av att vattnet har låg jonstyrka. Den våt- och torrdeponerade mängden baskatjoner utgör en betydande del av jontillskottet. Jonbytet, främst inom den övre delen av jordmånen, modifierar också fördelningen mellan baskatjonerna innan det når grundvattnet.

Sett till relativa andelar av olika baskatjoner för de beräknade respektive de uppmätta halterna, tycks rimliga proportioner gälla för den skattade frigörelsen av kalcium och magnesium. Vid användning av mineralsammansättningen i fraktion <2 mm respektive grovsilt är skillnaderna små i beräknade halter av respektive baskatjon. Om lerfraktionens mineralogi med relativt höga biotithalter används är den relativa ökningen av magnesium troligen för stor. För halterna av kalium och natrium är de simulerade värdena alltför höga för att kunna förklaras med exempelvis osäkra mineralogiska indata eller effekter av jonbyte.

Simuleringarna visar att det ytliga grundvattnets kemiska sammansättning i Hagfors kan beskrivas med PROFILE under förutsättning att det jonbidrag som beräknas från mineralvittringen i B/C- och C-horisonterna reduceras, främst vad gäller kalium och natrium.

Sörby

För bassimulering SörbyS2 har profildjupet 4 m antagits, vilket motsvarar djupet från markytan ned till den övre, äldre, brunnens intag av grundvatten. Halter av kalcium och magnesium erhålls som är i paritet med analyserna på grundvattnet. SörbyS2 beräknar cirka 20% lägre kalciumhalter respektive högre magnesiumhalter än analysdata. Skillnaderna är dock betydande för kalium och natrium, närmare 15 respektive 5 gånger högre i SörbyS2. Resultaten följer samma trend som i Hagfors, med betydligt högre simulerade än analyserade halter av kalium och natrium, medan halterna av kalcium och magnesium är mer jämförbara.

De höga beräknade halterna av natrium och kalium i SörbyS2 innebär att alkaliniteten kraftigt överskattas. Även pH är drygt 0,5 enheter högre. Kloridhalterna är däremot lägre i simuleringarna från Sörby än i mätdata. Andra kloridkällor än nederbörden är mindre sannolika, men kan inte helt uteslutas. Till dessa hör kvarvarande, mer salthaltigt grundvatten, i finkornigare delar av avlagringen, och salt från vägsaltning på landsvägen genom grundvattenbildningsområdet. Sulfathalten i beräkningarna motsvarar det genomsnittliga analysvärdet.

Det har framgått att antagna profildjup är helt avgörande för resultaten vid simuleringarna med PROFILE. I SörbyS1 används ett skattat maximalt djup från markytan på det högre liggande planet (fig. 3) till brunnsintaget på 22 m. I övrigt ingår samma indata som i SörbyS2. SörbyS1 överskattar jonhalterna så kraftigt att angreppssättet inte kan anses relevant. Vittringshastigheter och vattenkemi kan rimligen inte beräknas genom progressiv ökning i så djupa profiler.

I SörbyS3 sätts istället profildjupet till 2 m, motsvarande den omättade zonen invid brunnen. Alkaliniteten och den totala halten av baskatjoner överstiger även i denna beräkning mätvärdena, beroende på höga kalium- och natriumhalter. Kalcium- och magnesiumhalterna är lägre än analyserade halter.

SörbyS4 visar de simulerade halterna på 4 m djup (motsvarande SörbyS2), men med mineralogin i grovsilt som indata. Endast marginella skillnader råder mot resultaten från bassimuleringen. För simulering SörbyS5 används mineralsammansättningen i lerfraktionen, men med bibehållen total yta för fraktion <2 mm. Denna simulering överskattar främst halterna av magnesium mycket kraftigt beroende på hög beräknad biotitvittring (tabell 13). Det är uppenbart att denna ansats är orealistisk, när halter av skiktmineral i lerfraktionen är så höga som i Klarälvssedimenten (fig. 20).

Simulering SörbyS6 beräknar sammansättningen när för lager 3–5 på motsvarande sätt lerfraktionens mineralogi används, men med endast specifika ytan för lerfraktionen. I simulering SörbyS6 underskattas halten av kalcium kraftigt och natrium måttligt, magnesium visar jämförbara halter, medan kalium överskattas. Eftersom lerfraktionen utgör endast någon procent av hela sedimentets kornsammansättning, blir den totala ytan marginell i simuleringen mot när fraktionen <2 mm används. Resultaten från Sörby indikerar att simuleringar som skall kunna efterlikna grundvattnets sammansättning förutsätter att:

- information om mineralsammansättningen i sand-, silt- och lerfraktionerna erhålls och kombineras,
- generell begränsning sker av mineralvittringen, företrädesvis genom reducering av den aktiva ytan,
- vittringshastigheterna för fältspaterna reduceras,
- lämpliga profildjup kan ansättas,
- hänsyn tas till utfällningsreaktioner vid simulering av djupa profiler.

Månäs

Bassimuleringarna har för Hagfors och Sörby beräknats till djupet för grundvattenintag. Brunnsdjupet i Månäs är 18 m och för att undvika en alltför djup profil som bassimulering MånäsS2 används istället ett skattat genomsnittligt djup till grundvattenytan på 7,0 m. Halterna av kalcium och magnesium simuleras väl i MånäsS2, med avvikelser på 5% respektive 13%. När indata för mineralogin i fraktion <2 mm används tycks proportionerna mellan kalcium och magnesium i simulerad vittring och därmed vattenkemi stämma väl för Månäs. Kaliumhalten överskattas mycket kraftigt (0,225 mekv/l mot analysvärde 0,020 mekv/l) liksom natriumhalten (fem gånger). Detta innebär också att den beräknade alkaliniteten blir knappt fyra gånger så hög som analysdata.

Två exempel på beräkningar med olika profildjup ges. MånäsS1 avser bara den provtagna profilen på 0,8 m djup. Med denna beräkning motsvarar halterna av kalium och nat-

rium de uppmätta halterna, medan halterna av kalcium och magnesium är alltför låga. De mycket låga pH- och alkalinitetsvärdena motsvarar inte grundvattnets sammansättning. Simulering MånäsS1 visar att djup på mindre än 1 m (dvs. jordmånen samt den översta delen av C-horisonten), motsvarar en alltför liten aktiv del av sedimentet för att beskriva bildningen av grundvattnets kemiska sammansättning. MånäsS3 visar sammansättning vid simulering motsvarande brunnsdjupet 18 m. Överskattningen blir betydande för samtliga baskatjoner, alkalinitet och pH.

När mineralogin i lerfraktionen används för samma djup, men med totala ytan för fraktion <2 mm (MånäsS4), erhålls mycket högre halter av magnesium, kalium och natrium i simuleringen än i analyserna. I motsvarande simulering som för Hagfors och Sörby med bara lerfraktionens yta och mineralogin i lerfraktionen i lager 3–5 (MånäsS5) är den relativa överskattningen av magnesium och kalium störst, medan halten av kalcium är lägre. Alkaliniteten är cirka 10 gånger högre i simuleringarna.

Kloridhalterna är något lägre och sulfathalterna högre i simuleringarna än i mätdata. Deras inverkan på jonbalanser är därför begränsad och avvikelserna i klorid- och sulfathalter mot analysdata påverkar inte trenderna i de utförda simuleringarna.

Resultaten från Månäs visar att rimliga kalcium- och magnesiumhalter kan simuleras med PROFILE i detta sandiga sediment med låg halt av baselement, när profildjupet sätts till den omättade zonens djup. Halterna av kalium och natrium överskattas liksom i Hagfors och Sörby.

SAMMANFATTNING

Simuleringarna med PROFILE är utförda på vertikala markprofiler. I första hand har mineralogisk sammansättning och specifik yta för fraktion <2 mm använts. Mineralvittringens omfattning överskattas ned till intagsdjupet för grundvattnet i observationsrör eller brunn. Vid beräkningar med bara den omättade zonens mäktighet är överensstämmelsen bättre, exempelvis för Månäs. Motsvarande resultat erhålls när den mineralogiska sammansättningen approximeras med fraktionen grovsilt. Exemplen där lerfraktionens mineralogi utnyttjas i simuleringarna visar på stort genomslag av den glimmerrika sammansättningen i Klarälvssedimentens allra finkornigaste del.

Jonbalanserna för grundvattenanalyserna är tillfredställande. Halterna av klorid och sulfat är i samma storleksordning för både simuleringar och analyser. De totala katrespektive anjonhalterna är dock oftast betydligt högre i simuleringarna än i analyserna. Orsaken är förhöjda halter av kalium och natrium i simuleringarna som medför hög alkalinitet. Plagioklas är den enda betydande mineralkällan för natrium till vattnet, vilket gör att studien indikerar en relativt sett alltför hög vittring av plagioklas. Största bidraget av kalium kommer i simuleringar med fraktion <2 mm från K-fältspat, vars vittring sannolikt också överskattas. För övriga mineral som innehåller kalcium, magnesium och kalium tycks ansatserna om vittringshastigheter i PROFILE och uppmätta halter i grundvattnet vara bättre anpassade vid här givna förutsättningar för modelleringen.

PHRQKIN-modellen

BAKGRUND

Det geokemiska programmet PHRQKIN är framtaget vid Institutionen för Kärnkemi, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg (Nyström Claesson 1995). Programmet simulerar förändringar i vattens kemiska sammansättning med hjälp av kinetisk upplösning av silikatmineral, utfällning av sekundära mineral samt jämviktsreaktioner. Programmet har testats på ett väl kontrollerat system och resultatet från simuleringen stämde väl överens med experimentella data samt andra litteraturdata. För testsimuleringen valdes ett experiment i

laboratorium med upplösning av albit (Nyström Claesson & Andersson 1995). För vidare validering och bedömning av dess potential att beräkna sammansättningen hos olika naturliga grundvatten bör PHRQKIN även testas på andra mer komplicerade system. Materialet som framtagits inom detta projekt har ansetts lämpligt för några inledande simuleringar av jonsvaga grundvatten.

UPPBYGGNAD

Programmet PHRQKIN bygger liksom PROFILE på den kinetiska upplösningen av enskilda mineral och att mineralens upplösningshastigheter är kända. I PHRQKIN används det termodynamiska jämviktsprogrammet PHREEQE (Parkhurst m.fl. 1980). PHREEQE (pH, REdox EQuilibrium Equations) hanterar jämviktsreaktioner för mineral, lösta komponenter, pH och redoxpotential. PHREEQE-programmet används i PHRQKIN i första hand för att beräkna komponentfördelningen i vattnet och mineraljämvikter. I figur 24 visas en hierarkisk struktur av PHRQKIN-modellen.

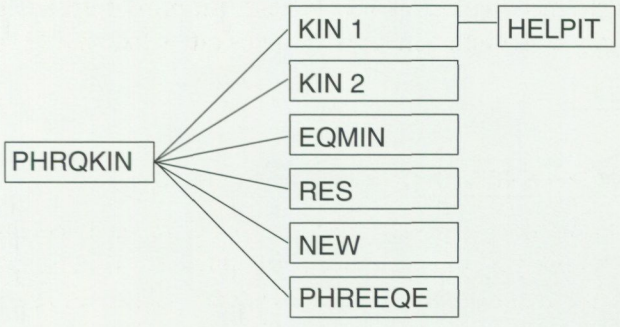


Fig. 24. Hierarkisk beskrivning av PHRQKIN (Nyström Claesson 1995).

I en simulering med PHRQKIN anropas ett antal subprogram som utför de olika momenten i en beräkning (fig. 25). Ett helt beräkningssteg med PHRQKIN-modellen omfattar följande delsteg:

Delsteg 1. PHREEQE beräknar komponentfördelningen utifrån den kemiska sammansättningen i det vatten som används som indata.
Delsteg 2. KIN1 läser in de mineral som ingår i simuleringen med tillhörande mängder och kinetiska konstanter. Utifrån den beräknade sammansättningen i lösningen från steg 1 beräknar KIN1 upplösningshastigheterna för mineralen och gör en ny indatafil till PHREEQE. KIN1 kallar på programmet HELPIT om PHREEQE misslyckats med att konvergera beräkningarna av lösningens sammansättning i steg 1.
Delsteg 3. PHREEQE gör en ny beräkning på lösningen.
Delsteg 4. KIN2 beräknar med hjälp av halterna OH-, Si och Al en utfällningshastighet för ett amorft aluminiumsilikatmineral. Programmet gör också en ny indatafil till PHREEQE.
Delsteg 5. EQMIN hanterar mineral som anses ha en kinetik som är tillräckligt snabb och kan betraktas vara i jämvikt. Dessa mineral läggs till i indatafilen som KIN2 producerade.
Delsteg 6. PHREEQE gör en ny beräkning på lösningen.
Delsteg 7. Programmet RES läser av resultatet från utdatafilen och sparar dessa.
Delsteg 8. Programmet NEW läser utdatafilen och producerar en ny indatafil till nästa hela beräkningssteg.

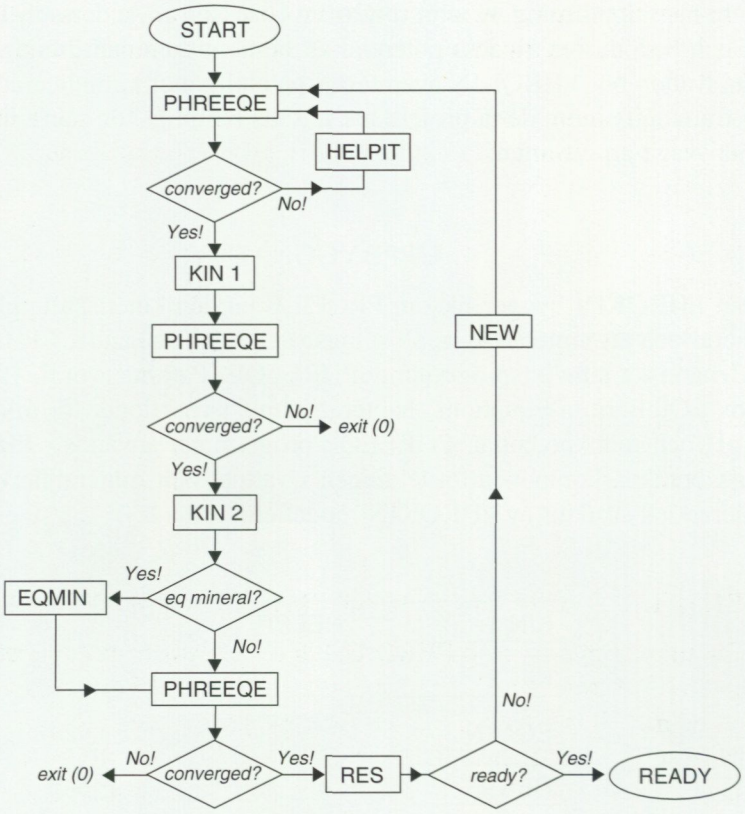


Fig. 25. Flödet i PHRQKIN.

De parametrar som läses in av KIN1 är specifika ytan (m^2/m^3), reaktionstid och markens porositet. För varje mineral finns det en fil med kinetiska data som innehåller konstanter och index för upplösningsreaktionen. EQMIN hämtar information om vilka mineral som anses gå till jämvikt under den givna tidsperioden.

SIMULERINGAR

Simuleringar med PHRQKIN har genomförts med de ingångsdata som använts för bassimuleringarna HagforsS2 och SörbyS2 samt vid Månäs för den grundare profilen MånäsS1 (tabell 9). Lagerindelningen i profilerna är densamma som för simuleringarna med PROFILE (fig. 24). Varje lager har en underindelning i delnivåer, vilket gör att inom respektive lager erhålls en beräknad vattenkemisk sammansättning på flera nivåer. Inom varje delnivå har sedan beräkningen skett med 16–20 beräkningssteg. Beräkningen sker från övre delen på lager 1, med nederbördens sammansättning som indata, och vidare nedåt till profilens undre begränsning. I tabell 15 framgår antalet delnivåer och hela beräkningssteg för respektive simulering.

Till en simulering med PHRQKIN behövs information om 1) specifika ytan, 2) fördelningen av enskilda mineral i de olika jordlagren samt 3) sammansättningen av olika komponenter i vattnet inklusive CO_2-tryck och löst organiskt kol. De antagna mineralsammansättningarna på de olika jordlagren i simuleringarna är desamma som använts i PROFILE (bilagorna 5–7).

I simuleringarna med PHRQKIN har följande angreppssätt använts:

- Upplösningshastigheterna för de primära mineralen har varit desamma som i PROFILE.

- $FeOH_3$ har ansatts som ett sekundärt mineral som gått till jämvikt. Mineralet har fällts ut med en jämviktsreaktion, men har tillåtits en viss övermättnad i lösningen (log Si=0,3).
- Reglering av aluminium och kiselhalterna har skett med ett amorft sekundärt mineral av smektitsammansättning och med kapacitet att medfälla katjoner.

Tabell 15. Andel delnivåer (D) och antal hela beräkningssteg per delnivå (B) vid simuleringarna med PHRQKIN.

Simulering	lager 1		lager 2		lager 3		lager 4		lager 5	
	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B
HagforsS2-PHRQKIN	3	20	5	20	8	20	8	16	8	18
SörbyS2-PHRQKIN	5	20	5	24	8	26	10	30	10	20
MånäsS1-PHRQKIN	6	15	5	14	6	9	5	12	5	10

RESULTAT GRUNDVATTENKEMISK SAMMANSÄTTNING

Generellt för simuleringarna med PHRQKIN är att pH stiger mot djupet av profilen och stabiliseras vid pH 5 (fig. 26). Vad gäller baskatjonerna erhålls för natrium en tydlig progressiv ökning mot djupet. Även kalium ökar svagt mot djupet, men halterna är låga. Kalcium visar de högsta värdena mellan 0,5–1,0 m djup för att sedan avta mot djupet. Magnesium ökar svagt i den övre delen av profilerna, medan halten stabiliseras eller svagt avtar från ca 0,5 m djup och nedåt.

För natrium och kalium erhålls värden som är i samma storleksordning som de uppmätta halterna (tabell 16). Simuleringen MånäsS1-PHRQKIN avser bara 0,8 m av profilen, men då simuleringen ger en progressiv ökning på djupet av natrium- och kaliumhalterna kan dessa halter på större djup tänkas motsvara de uppmätta halterna på grundvattnet från Månäs vattentäkt.

I simuleringen med PHRQKIN för Hagfors är även halterna av kalcium, magnesium och pH jämförbara med mätvärdena. Vid större djup till grundvattnet underskattas dock både kalcium- och magnsiumhalterna (Sörby och Månäs), eftersom avtagande halter beräknas på djupet. Den totala jonstyrkan blir då också för låg, vilket exempelvis återspeglas i att även Sörby har så lågt pH som 5,0 på 4 m djup. Resultaten innebär att antagandena för mineralupplösning och utfällning i dessa preliminära simuleringar inte är relevanta för kalcium och magnesium.

Tabell 16. Jämförelse mellan uppmätta halter och simulerade med PHRQKIN.

Simulering	pH	Kalcium (mekv/l)	Magnesium (mekv/l)	Kalium (mekv/l)	Natrium (mekv/l)
Hagfors					
HagforsS2-PHRQKIN	5,0	0,083	0,028	0,014	0,082
Analyser medianväde	*5,3*	*0,030*	*0,019*	*0,005*	*0,052*
Sörby					
SörbyS2-PHRQKIN	5,0	0,069	0,010	0,017	0,259
Analyser medianvärde	*6,4*	*0,444*	*0,300*	*0,036*	*0,302*
Månäs					
MånäsS1-PHRQKIN	5,0	0,070	0,016	0,018	0,070
Analyser medianvärde	*6,3*	*0,182*	*0,099*	*0,020*	*0,134*

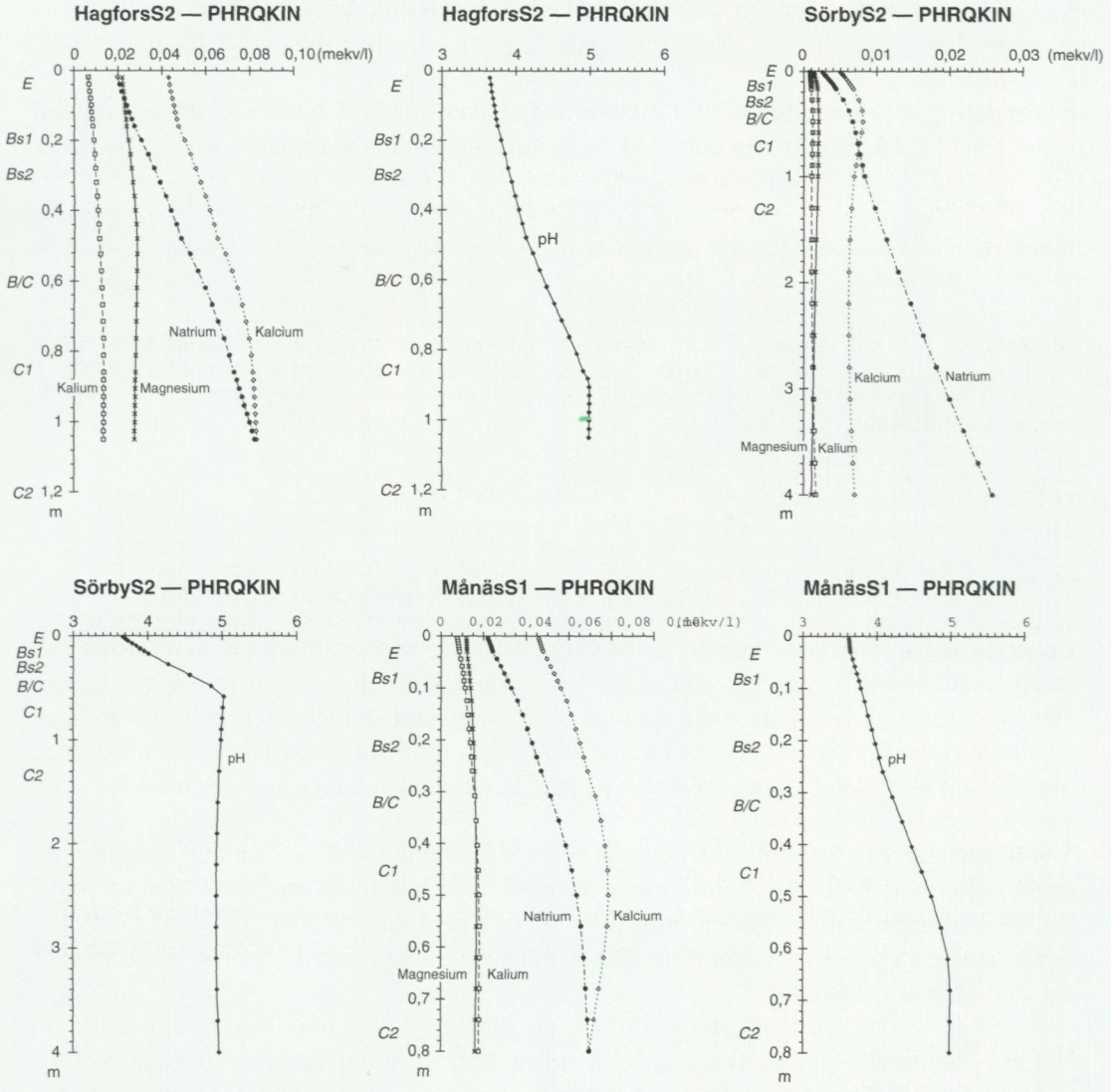


Fig. 26. Simulerade halter av kalcium, magnesium, natrium, kalium samt pH med PHRQKIN.

SAMMANFATTNING

Rimliga halter av natrium och kalium i grundvattnet erhålls med simuleringen med PHRQKIN, medan tillskottet av kalcium och magnesium är för litet under jordmånen. Vittringen av fältspatmineral och dess bidrag till vattnets jonsammansättning tycks vara användbar med givna antaganden. Modifiering av utfällningsreaktioner, jonbyte, större hänsyn till aktuell lermineralogi, etc. krävs för att utveckla användningen av PHRQKIN för naturliga, jonsvaga grundvatten.

BRUNNSANALYSER FRÅN NORRA VÄRMLAND

Material

Denna del av undersökningen syftar till att visa på grundvattnets kemiska sammansättning regionalt i norra Värmland och bedöma hur representativa vattenkemiskt de lokaler är där modellberäkningarna genomförts. Med norra Värmland avses norr om X-koordinat 665000 (främst Torsby kommun och norra Hagfors kommun). Det material som använts framgår av tabell 17.

Tabell 17. Brunnsundersökningar som använts vid sammanställningen för norra Värmland. Avser grävda brunnar anlagda i morän eller sorterade sediment dominerade av grus eller sand. Analys av pH, alkalinitet, sulfat och klorid finns i samtliga undersökningar. Tillgänglig information om baskatjoner anges i tabellen.

Referens	Antal brunnar	Brunns-djup	Analyser
SGUs arkiv; Klein (1996)	220	nej	Totalhårdhet (Ca+Mg), vissa magnesium separat, ej kalium och natrium
Jonasson m.fl. (1985)	66	vissa	Totalhårdhet (Ca+Mg), ej kalium och natrium
Monfelt & Aronson (1986)	64	ja	Totalhårdhet (Ca+Mg), ej kalium och natrium

Resultat

Brunnsanalyserna redovisas i bilaga 8. Resultaten sammanfattas i bilaga 9, där brunnarna indelas utifrån jordart på platsen i morän eller sorterade, grusiga-sandiga sediment. Jordarterna har i huvudsak bestämts från kartmaterial. Brunnar med djup angivet har även fördelats i olika djupintervall. De genomsnittliga halterna är för respektive jordart mycket lika:

Morän (221 brunnar)	pH 5,9	alkalinitet 0,25 mekv/l	totalhårdhet 0,24 mekv/l
Sorterade sediment (129 brunnar)	pH 5,9	alkalinitet 0,25 mekv/l	totalhårdhet 0,28 mekv/l

För båda jordarterna och inom samtliga fyra djupintervall (<2 m, 2–<3 m, 3–<4 m respektive 4 m eller djupare) är median-pH 5,9 eller lägre (bilaga 9). I figur 27 redovisas alkaliniteten avsatt mot kalcium respektive magnesium. För flertalet prov finns endast uppgift om totalhårdhet (kalcium + magnesium). Magnesium har analyserats separat på vattenprov från 15 brunnar i morän och 11 brunnar i sorterade sediment. Magnesium utgör i genomsnitt 29% (morän) respektive 22% (sorterade sediment) av totalhårdheten på ekvivalentbasis. Vid framställning av figur 27 har dessa procentsatser använts för att approximera andelen kalcium respektive magnesium av totalhårdheten för resterande analyser.

Brunnar med mindre djup än 2 m har något lägre alkalinitet än genomsnittet för brunnarna i samma jordart. De djupare brunnarna i morän (4 m eller mer) har högre alkalinitet. Detsamma gäller för kalcium i de djupare brunnarna, och både för morän och sorterade sediment. Djupare brunnar i morän innebär i allmänhet större djup till grundvattenytan och att grundvattnet transporterats djupare och längre tid i marklagren. För de större grundvattenmagasinen i sorterade sediment (som inom Klarälvsdalen), är brunnsdjupet sannolikt mer en funktion av brunnens placering i terrängen. Grundvatten med mycket stor skillnad i uppehållstider i både omättad och mättad zon kan förväntas ingå i materialet.

Enstaka analyser avviker med betydligt högre jonstyrka (bilaga 8). Orsaker kan vara att

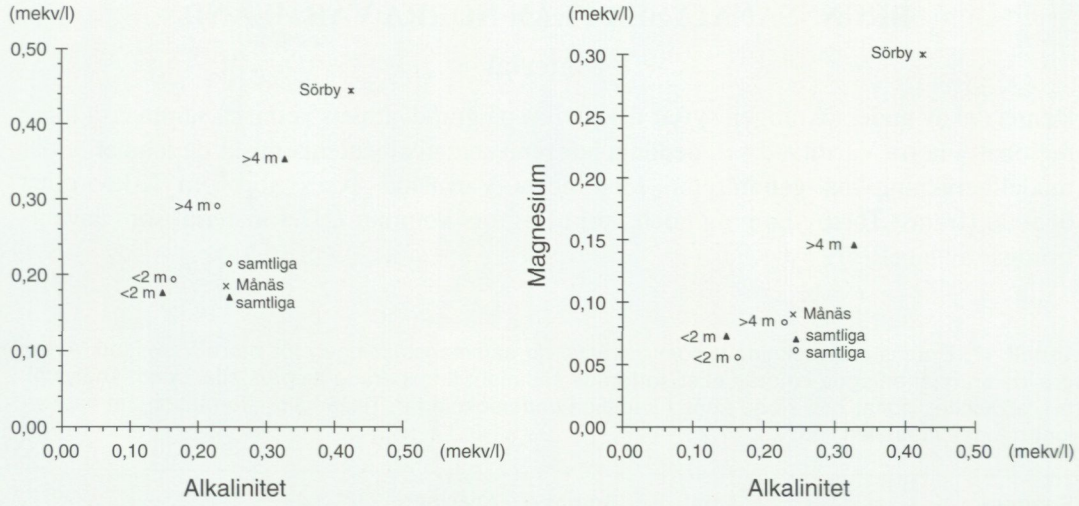


Fig. 27. Medianvärden för alkalinitet samt skattade värden för kalcium och magnesium från analys av totalhårdhet. Omfattar resultat från olika brunnspopulationer (bilaga 9) samt Sörby och Månäs. Triangel = morän, cirkel = sorterade sediment.

1) brunnen är belägen i eller i anslutning till finkornigare sediment som inte framgått av använt kartmaterial, 2) moränen (och sedimenten) lokalt har en högre halt av baselement från de spridda hyperitförekomsterna i väster (Lundegårdh m.fl. 1992) som ökat jonstyrkan i grundvattnet, eller 3) annan lokal, antropogen påverkan finns. I stort visar dock brunnsanalyserna en klart begränsad variation i kemisk sammansättning.

Månäs vattentäkt har en sammansättning som enligt figur 27 motsvarar genomsnittliga halter för brunnarna. Sörby har både högre alkalinitet och totalhårdhet, där en bidragande orsak kan vara sedimentens höga silthalt.

Från uppgifterna från brunnarna och vattentäkterna har i figur 28 en modell över genomsnittlig alkalinitet skissats för grundvattnet i jordlagren i norra Värmland. Denna bygger på att vattnet efter en viss transport i omättad och mättad zon (styrd av tid och sträcka) uppnår vad som betraktas som ett stabilt läge för den kornstorlek och mineralo-

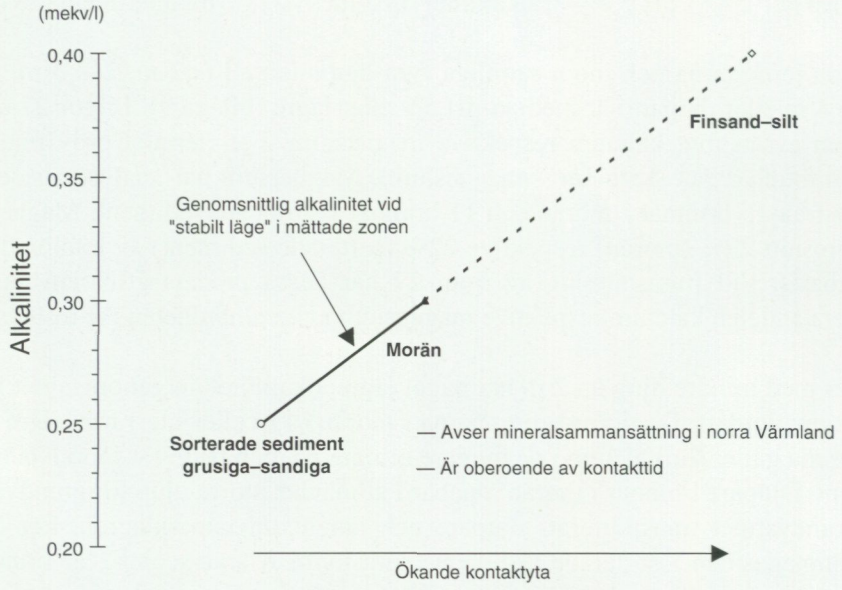


Fig. 28. Skiss över den genomsnittliga alkalinitet som uppnås i grundvattnen i N Värmland i olika jordarter. Stabilt läge avser att ytterligare alkalinitetsökning inte sker vid längre transportsträcka/uppehållstid i grundvattenmagasinet.

giska sammansättning som råder i avlagringen. Längre transportsträcka och uppehållstid hos grundvattnet innebär inget ytterligare jontillskott av betydelse. Den skissade linjen för stabilt läge gäller specifikt för de mineralogiska förutsättningar som finns i norra Värmland. Den förslagna modellen gäller i första hand de grövre sorterade sedimenten och morän, medan finsand-silt medtagits som exempel på täkten från Sörby. Stabila lägen kan anses ha uppnåtts för grundvatten i Sörby och Månäs, medan det ytliga grundvattnet som provtas i Hagforslokalen är mycket långt från stabilt läge.

Exempel på tänkbara förutsättningar och villkor för att ta fram skisser för stabila lägen motsvarande figur 28 ges nedan:

- Efter att stabilt läge uppnåtts är grundvattnets kemiska sammansättning inte beroende av uppehållstiden. Förändringar från det stabila läget skulle kunna ske i samband med större klimatsvängningar, påverkan genom försurande deposition, större uttag, etc. Jonbyte och upplösning/utfällning av sekundära mineral kan tänkas orsaka en större del av uppkomna vattenkemiska variationer, medan förändringar i vittringsbidraget från primära mineral bör vara små.
- Angreppssättet med stabila lägen är troligen endast användbar för grövre jordar och öppna grundvattenmagasin. Alltför stor inverkan av flödesvägar, jonbyte, etc. i anslutning till finkorniga sediment kan göra uppskattningar av stabila lägen alltför osäkra.
- Stabilt läge uppnås främst i jordlager med låg halt av vittringsbenägna mineral.

Figur 28 avser stabilt läge för alkalinitet. Resultaten från brunnsanalyserna (ex. i fig. 27) indikerar att figur 28 också kan anses gälla för kalcium (och då även med samma halter i mekv/l). För övriga baskatjoner har inte tillräckligt med analyser funnits för att bedöma om stabila lägen kan skisseras.

SLUTSATSER OCH KOMMENTARER

Modellering

I rapporten görs jämförelser mellan simulerade resultat med två geokemiska modeller och analyser av grundvatten. Modellen PROFILE har haft en stor användning i undersökningar av skogsmark och i det utförande som modellen använts i här har bästa resultat erhållits för det allra ytligaste grundvattnet. För modellering av djupare grundvatten fordras dämpning av tillskottet av baskatjoner från mineralvittringen. Resultaten här kan jämföras med simuleringar från Gardermoen i Norge (Heidenstrøm 1999) där PROFILE inte anses lämplig att använda under cirka 1,5 m djup eftersom reaktioner för mineralutfällning som reducerar jontillskottet till markvattnet saknas. PHRQKIN har inte tillämpats praktiskt för jonsvaga grundvatten, men undersökningen visar att modellen är utvecklingsbar.

Modeller för att beskriva vattnets transport i marken har inte använts i studien. Exempelvis bör kunskap om vattnets flödesvägar och uppehållstider i moräner samt dess inverkan på den kemiska sammansättningen i markvatten och ytligt grundvatten (t.ex. Lundin 1995; Nyberg 1995) tas med vid modellberäkningar. Om stabila lägen för grundvattenkemi kan beskrivas för avgränsade geokemiska miljöer, bör verifieringen av modellberäkningar kunna underlättas. För att geokemiska modeller skall kunna avspegla mätdata visar undersökningen på det stora behovet av att parallellt med grundforskning och modelluppbyggnad utföra empiriska tester.

Vittring

Utgångspunkten för val av indata till simuleringarna har varit variation av specifika ytor, mineralogi från olika fraktioner och dokumenterade vittringstrender. Halterna av basele-

menten (främst kalcium, magnesium och kalium) är för svenska förhållanden låga i de undersökta lokalerna. Detta gäller för både de totala och lakbara halterna. Tydlig vittring av både lakbara och icke lakbara mineral förekommer främst i E-horisonterna samt i någon mån i översta delarna av B-horisonterna. Jontillskottet till grundvattnet genom vittring i övre delen av Hagforsmoränen är mycket begränsat. I förhållande till det totala mineralinnehållet antas att jontillskottet till grundvattnet i Klarälvssedimenten är betydande från biotit/illit och klorit, men begränsat från K-fältspat och plagioklas. Detta har inte kunnat simuleras med PROFILE, medan med PHRQKIN har bättre överensstämmelse uppnåtts för natrium och kalium.

Denna undersökning visar att vid tester av geokemiska modeller bör information om mineralogi och specifik yta finnas tillgänglig för flera fraktioner, speciellt i övre delen av markprofilen (E- och övre B-horisonten). Mineralogi och specifik yta för fraktion <2 mm analyseras i hela profiler och mineralogin i lerfraktionen bör vara känd. Användningen av fraktioner bör bygga på konstaterad vittring i aktuell geologisk/mineralogisk miljö. Specifik yta modifieras till att gälla så verklig kontaktyta som möjligt. Bedömningen kan vara att endast ler eller ler+siltfraktionerna är aktiva i vittringsprocessen eller i motsats att vittring i grövre fraktioner bör prioriteras. Erfarenheter från vittring i moränprofiler visar att även grövre fraktioner som grus vittrar påtagligt, främst i E-horisonter (Ek & Snäll 1997). Den yta som då utnyttjas och vid vittringen successivt skapas kan ha betydande inverkan på den totala vittringen. Andra studier av korn i urlakningshorisonten visar att hyfer av mykorriza kan tränga in i mineralen och sannolikt sker via starka organiska syror ett direkt upptag till vegetationen av bland annat baselementen utan omvägen via markvattnet (Jongmans m.fl. 1997). En totalt sett större vittringspotential kan därför finnas än vad som tagits hänsyn till i denna undersökning.

Tillämpning och utveckling

Vid Sveriges geologiska undersökning pågår utredningsarbeten, bland annat inom miljöövervakningen, med tester av geokemiska modeller. Resultat och erfarenheter från denna undersökning kan användas i det vid SGU fortlöpande arbetet. Det finns material lagrat inom olika enheter vid SGU avseende jordarter, geokemi och grundvatten som kan användas för vidare modelltester. Även utförande av nya analyser inom olika undersökningsprogram bör ske på sådant sätt att de kan användas i geokemiska modeller.

Studier av markprofiler i Värmland visar att pH är lägre samt att halterna av aluminium (totala och oorganiska) är högre i södra än i norra Värmland (Lundström m.fl. 1998). Några indikationer på antropogen markförsurning anses inte föreligga för norra Värmland. Studierna av grundvattnet visar på de lägsta värdena på pH, alkalinitet och total jonstyrka i norra Värmland (t.ex. Jonasson m.fl. 1990). Detta utgör dock ingen motsats, då denna undersökning tydligt visar att de geologiska faktorerna är styrande för sammansättningen på det vatten som uppnått en viss uppehållstid i marken. Att i framtida studier integrerat bearbeta data från mark-, yt- och grundvatten i Värmland är av stort intresse för att dels beskriva naturliga processer, dels att bedöma miljöpåverkan.

REFERENSER

Alveteg, M., Warfvinge, P. & Sverdrup, H., 1994: *PROFILE 3.2. User´s guidance for the Apple Macintosh version.* Opubl. rapport, Inst. för kemisk teknologi II, Kemiskt Centrum, Lunds Universitet. 43 s.

April, R.H., Hluchy, M.M. & Newton, R.M., 1986: The nature of vermiculite in Adirondack soils and till. *Clays and Clay Minerals 34*, 549–556.

Andersson, M. & Lax, K., 1996: Markgeokemiska kartan. Område 20–22, J-L. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 85*, 35 s.

Bain, D.C., Mellor, A. & Wilson, M.J., 1990: Nature and origin of an aluminous vermiculitic weathering product in acid soils from upland catchments in Scotland. *Clay Minerals 25*, 467–475.

Bain, D.C., Mellor, A., Wilson, M.J. & Duthie, D.M.L., 1994: Chemical and mineralogical weathering rates and processes in an upland granitic till catchment in Scotland. *Water, Air, and Soil Pollution 73*, 11–27.

Barkman, A., 1998: *Critical loads – assessment of uncertainty.* Ph.D. Thesis. Inst. för kemisk teknologi II, Kemiskt Centrum, Lunds Universitet. 161 s.

Drever, J.I., 1973: The preparation of oriented clay mineral specimens for X-ray diffraction analysis by filter-membrane peel technique. *American Mineralogist 58*, 553–554.

Ek, J. & Snäll, S., 1997: Vittringsbenägenhet hos olika bergarter. *Sveriges geologiska undersökning, slutrapport projekt 4145,* 26 s.

Eriksson, E., 1996: Skogsmarkskalkningens effekter på grundvattnets beskaffenhet. I H. Staaf, T. Persson & U. Bertills (red.): *Skogsmarkskalkning. Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet, Naturvårdsverket, Rapport 4559,* 189–196.

Fransman, B. & Nihlgård, B., 1995: Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in south Sweden. *Water, Air and Soil Pollution 85*, 895–900.

Hodson, M.E. & Langan, S.J., 1996: An appraisal of the use of the PROFILE model to calculate mineral weathering rates. In S.H. Bottrell (ed.): *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Geochemistry of the Earth´s Surface, 22–28 July 1996, Ilkley, Yorkshire, England,* Short papers, 581–585.

Heidenstrøm, B., 1999: Geokjemisk modellering av Gardermoen akviferen. *Fane prosjekt Gardermoen, Rapport serie C14*, Universitetet i Oslo. 111 s.

Jacks, G. & Knutsson, G., 1982: Känsligheten för grundvattenförsurning i olika delar av landet (huvudrapport). *Projekt Kol-Hälsa-Miljö, Teknisk rapport 49,* 114 s.

Jackson, M.L., 1956: *Soil chemical analysis / advanced course (fifth printing 1969).* Dept. of Soil Science, Univ. Wisconsin, Madison. 895 s.

Jonasson, S.A., Lång, L.-O. & Swedberg, S., 1990: Vattnets surhet i grävda brunnar i Värmland, 1949-85. *Statens Naturvårdsverk, Rapport 3831,* 52 s.

Jongmans, A.G., van Breemen, N., Lundström, U., van Hees, P.A.W., Finlay, R.D., Srinivasan, M., Unestam, T., Giesler, R., Melkerud, P.-A. & Olsson, M., 1997: Rock-eating fungi. *Nature 389*, 682-683.

Klein, Å., 1996: *Grundvattnets kvalitet i Värmland. Rumsliga och tidsmässiga variationer.* Inst. för geovetenskap, Hydrologi, Uppsala universitet. Uppsala. 98 s.

Krumbein, W.C. & Pettijohn, F. J., 1938: *Manual of sedimentary petrography.* Appleton-Century-Crofts Inc. New York. 549 s.

Langan, S.J., Hodson, M.E., Bain, D.C., Skeffington, R.A. & Wilson, M.J., 1995: A preliminary review of weathering rates in relation to their method of calculation for acid sensitive soil parent materials. *Water, Air, and Soil Pollution 73*, 11-27.

Lundegårdh, P.H., Lindh, A. & Gorbatschev, R., 1992: Berggrundskarta över Värmlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ba 45.*

Lundin, L., 1995: Soil water chemistry dependence on water pathways and turnover. *Water, Air and Soil Pollution 85*, 1695–1700.

Lundqvist, J., 1958: Beskrivning av jordartskarta över Värmlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 38,* 229 s.

Lundqvist, J., 1996: The late-glacial development of the upper Klarälven valley, Sweden. *GFF 118*, 49–62.

Lundström, U.S., Nyberg, L., Danielsson, R., van Hees, P.A.W., & Andersson, M., 1998: Forest Soil Acidification: Monitoring on the Regional Scale, Värmland, Sweden. *Ambio 27*, 551–556.

Lång, L.-O., Swedberg, S. & Jonasson, S.A., 1994: Effekter av skogsvitalisering på ytligt grundvatten i SNV:s försöksområde Hagfors, Värmlands län. *Geologiska inst., Chalmers tekniska högskola/Göteborgs universitet, B392.* 8 s.

Lång, L.-O., 1995a: *Geological influences upon soil and ground water acidification in southwestern Sweden.* Ph.D. Thesis. Geologiska institutionen. Geovetarcentrum. Göteborgs Universitet, A6. 85 s.

Lång, L.-O., 1995b: Mineral weathering rates and primary mineral depletion in forest soils, SW Sweden. *Ecological Bulletins 44*, 100–113.

Melkerud, P.-A., Olsson, M.T. & Rosén, K. 1992: Geochemical Atlas of Swedish Forest Soils. *Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära 65, Inst. för skoglig marklära, Lantbruksuniversitetet,* Uppsala. 85 s.

Monfelt, C. & Aronson, J.-A., 1986: *Grundvatteninventering i Torsby kommun 1985.* Miljötjänst HB. Karlstad. 53 s.

Nihlgård, B., 1984: *Markkalkning i små avrinningsområden. Projekt "Åtgärder mot försurning".* Ekologiska inst., Lunds universitet. 37 s.

Nyberg, L., 1995: *Soil- and Groundwater Distribution, Flowpaths, and Transit Times in a Small Till Catchment.* Ph.D. Thesis. Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 97. Uppsala. 147 s.

Nyberg, L., Lundström, U., van Hees, P. & Andersson, M., 1998: Skogsmarkens kemi i Värmland – en jämförelse av ståndortskarteringen och Värmlandsundersökningen. *Högskolan i Karlstad, Naturvetenskap/Teknik, Arbetsrapport 98:1.* 38 s.

Nyström Claesson, A., 1995*: Kinetic modelling of aluminium silicate minerals in geochemical systems.* Licentiate Thesis. Inst. för Kärnkemi, Chalmers tekniska högskola/Göteborgs universitet, Göteborg. 135 s.

Nyström Claesson, A. & Andersson, K., 1995: PHRQKIN, a program simulating dissolution and precipitation kinetics in groundwater solutions. *Computers & Geosciences 22*, 559–567.

Olsson, M., Rosén, K. & Melkerud, P.-A., 1993: Regional modelling of base cations losses from Swedish forest soils due to whole-tree harvesting. *Applied Geochemistry Suppl. Issue 2*, 189–194.

Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C. & Plummer, L.N., 1980: PHREEQE – a computer program for geochemical calculations. *U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations, Report SGS/WRI-80-96.* 147 s.

Räisänen, M.L., Tarvainen, T. & Aatos, S., 1995: NORMA - a program to calculate a normative mineralogy for glacial tills and rocks from chemical analysis. *GFF 117*, 215–224.

Snäll, S., Persson, Ch. & Wikström, A., 1979: Mineralogisk undersökning av morän från ett område väster om Katrineholm. *Sveriges geologiska undersökning, C 761*, 32 s.

Snäll, S, & Ek, J., 1996: Moräners mineralogi och kemi över vissa bergartstyper i Sverige. *Sveriges geologiska undersökning, slutrapport projekt 5074 och 5094*, 117 s.

Statens Livsmedelsverk, 1989: Statens livsmedelsverks kungörelse om dricksvatten. *SLV författningssamling 1989:30,* 56 s.

Stake, E., 1997: Surt och försurningskänsligt grundvatten. Kap. 3 i Miljötillståndet i Värmland. Årsrapport från miljöövervakningen 1995/96. *Länsstyrelsen i Värmlands län, Miljöenheten, Karlstad, Rapport 1997:2,* 14–15.

Sverdrup, H.U., De Vries, W. & Henriksen, A., 1990: Mapping Critical Loads. *Nordiska Ministerrådet, Nord 1990:98.* Köpenhamn. 124 s.

Sverdrup, H. & Warfvinge, P., 1992a: PROFILE – A mechanistic geochemical model for calculation of field weathering rates. In V. K. Kharaka & A. S. Maest (eds.): *Proceedings 7th International Symposium on Water-Rock Interaction*, 585-590. A. A. Balkema. Rotterdam.

Sverdrup, H. & Warfvinge, P., 1992b: Critical loads for groundwater. In P. Sandén & P. Warfvinge (eds.): *Modelling groundwater respons to acidification.* RH No 5, 171–186, SMHI, Norrköping.

Sverdrup, H., Alveteg, M., Langan, S. & Pacés, T., 1995: Biogeochemical Modelling of Small Catchments using PROFILE and SAFE. In S.T. Trudgill (ed.): *Solute Modelling in Catchment Systems*, 75–99. John Wiley and Sons Ltd.

Vicente, M. A., Razzaghe, M. & Robert, M., 1977: Formation of aluminium hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acidic conditions. *Clay Minerals 12*, 101–111.

Hagfors – geokemiska analyser

Bilaga 1:1

<2 mm **Totalhalter**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)
0,06	87,27	0,25	6,38	1,43	0,01	0,14	0,23	1,36	2,90	0,02	99,99	358	48	277	2
0,11	87,08	0,25	6,72	1,24	0,01	0,02	0,16	1,42	3,09	0,04	100	379	43	245	4
0,18	80,15	0,29	10,7	2,51	0,02	0,22	0,74	2,06	3,21	0,10	99,98	426	125	220	19
0,23	81,61	0,27	9,58	2,25	0,02	0,25	0,74	1,98	3,15	0,13	99,98	416	122	219	8
0,31	81,22	0,27	9,29	2,21	0,05	0,34	1,08	2,15	3,30	0,09	100	443	124	221	23
0,50	80,85	0,24	9,70	2,13	0,02	0,24	0,82	2,35	3,54	0,10	99,99	490	133	204	15
0,70	81,41	0,26	9,16	2,19	0,05	0,26	0,89	2,27	3,44	0,10	100	453	138	211	10
1,20	82,52	0,25	8,58	2,15	0,02	0,29	0,90	2,01	3,16	0,12	100	425	129	195	16
1,50	83,19	0,25	8,24	1,79	0,02	0,27	0,90	2,01	3,21	0,12	100	440	127	255	86

<2 mm **Kungsvattenlakade**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)
0,06	0,047	0,024	0,07	0,16	0,002	0,003	0,003	0,005	0,010	0,006	0,326	
0,11	0,039	0,039	0,08	0,24	0,002	0,003	0,007	0,004	0,010	0,005	0,436	
0,18	0,530	0,206	3,65	3,19	0,005	0,044	0,058	0,003	0,013	0,043	7,742	15
0,40	0,138	0,084	0,67	0,60	0,004	0,075	0,044	0,001	0,010	0,035	1,666	7
0,70	0,100	0,082	0,49	0,63	0,005	0,091	0,110	0,002	0,009	0,047	1,573	9
1,50	0,083	0,093	0,41	0,64	0,007	0,094	0,188	0,003	0,018	0,068	1,605	8

Grovsilt **Totalhalter**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)
0,06	89,05	0,24	5,46	0,98	0,04	0,06	0,32	1,40	2,44	0,02	100	362	74	524	16
0,11	88,50	0,21	6,20	0,60	0,01	0,02	0,28	1,52	2,64	0,01	99,99	413	69	398	1
0,70	86,19	0,25	7,00	1,21	0,02	0,18	0,67	1,59	2,78	0,10	99,99	444	90	391	18
1,20	86,12	0,28	6,99	1,14	0,01	0,16	0,67	1,61	2,93	0,12	100	457	85	358	24
1,50	86,26	0,28	6,88	1,18	0,02	0,16	0,72	1,63	2,85	0,04	100	461	100	486	28

Grovsilt **Kungsvattenlakade**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)
0,06	0,033	0,012	0,03	0,14	0,001	0,009	0,032	0,018	0,010	0,008	0,286	3
0,70	0,067	0,073	0,27	0,50	0,003	0,045	0,146	0,021	0,009	0,077	1,211	7
1,50	0,045	0,042	0,14	0,33	0,002	0,038	0,117	0,022	0,008	0,057	0,798	6

Sörby – geokemiska analyser

Bilaga 1:2

<2 mm **Totalhalter**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)
0,03	83,99	0,35	7,57	1,97	0,04	0,21	1,14	1,80	2,90	0,04	100	589	245	357	8
0,08	80,82	0,39	9,66	2,61	0,04	0,33	0,97	1,87	3,00	0,33	100	578	164	399	25
0,11	80,59	0,35	9,70	2,60	0,04	0,37	1,00	2,04	3,16	0,17	100	609	187	395	12
0,20	81,36	0,34	9,24	2,32	0,04	0,36	1,03	2,04	3,15	0,12	100	609	178	359	12
0,60	81,75	0,28	9,15	1,91	0,04	0,38	0,90	2,17	3,33	0,08	99,99	636	179	275	16
1,00	81,18	0,29	9,44	2,12	0,04	0,43	0,91	2,10	3,37	0,08	99,96	632	158	272	12
1,60	80,48	0,40	9,54	2,43	0,05	0,60	1,17	2,09	3,14	0,10	100	591	185	406	28
4,5	80,08	0,34	9,84	2,36	0,04	0,54	1,15	2,22	3,31	0,12	100	625	173	341	32

<2 mm **Kungsvattenlakade**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)
0,03	0,092	0,04	0,20	0,32	0,014	0,015	0,033	0,004	0,013	0,018	0,749	13
0,08	0,249	0,06	1,83	1,28	0,027	0,089	0,048	0,002	0,019	0,334	3,936	21
0,20	0,098	0,06	0,78	0,82	0,010	0,146	0,085	0,002	0,028	0,114	2,141	18
0,60	0,065	0,06	0,63	0,78	0,013	0,187	0,112	0,002	0,058	0,101	2,000	19
1,00	0,083	0,09	0,61	0,93	0,011	0,196	0,142	0,003	0,051	0,090	2,194	23
1,60	0,085	0,12	0,88	1,27	0,020	0,334	0,253	0,004	0,098	0,134	3,198	36

Grovsilt **Totalhalter**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)
0,03	80,08	0,77	9,35	2,74	0,06	0,19	1,43	2,28	3,07	0,02	99,99	576	226	1596	33
0,60	77,82	0,83	9,71	3,37	0,08	0,50	2,31	2,27	2,85	0,24	99,98	562	282	1446	50
1,00	77,82	0,60	9,78	2,93	0,08	0,58	2,43	2,49	3,07	0,22	100	596	257	928	46
1,60	81,83	0,29	9,27	1,43	0,03	0,42	1,14	2,20	3,21	0,18	100	623	151	221	16

Grovsilt **Kungsvattenlakade**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)
0,03	0,046	0,04	0,04	0,61	0,003	0,008	0,047	0,014	0,010	0,008	0,822	4
1,60	0,073	0,05	0,44	0,57	0,009	0,191	0,15	0,018	0,061	0,091	1,653	16

Månäs – geokemiska analyser

Bilaga 1:3

<2 mm **Totalhalter**

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)
0,04	85,68	0,29	7,07	1,90	0,02	0,21	0,56	1,43	2,77	0,08	100	486	124	188	17
0,07	84,50	0,33	7,37	2,24	0,04	0,37	0,66	1,48	2,92	0,08	99,99	506	136	270	16
0,14	84,69	0,33	7,14	2,28	0,04	0,35	0,66	1,46	2,96	0,08	99,99	495	129	224	8
0,22	83,96	0,33	7,44	2,07	0,04	0,65	1,04	1,52	2,89	0,12	100,06	514	134	264	12
0,60	84,12	0,29	7,69	2,10	0,04	0,35	0,70	1,67	2,92	0,12	100	531	152	183	12
0,80	84,84	0,31	7,31	2,15	0,04	0,35	0,63	1,45	2,86	0,08	100	511	131	233	12

<2 mm Kungsvattenlakade

Djup (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	summa (%)	Ba (ppm)
0,04	0,077	0,040	0,20	0,37	0,003	0,042	0,038	0,001	0,011	0,007	0,783	8
0,07	0,081	0,024	0,34	0,55	0,007	0,123	0,057	0,001	0,022	0,049	1,250	9
0,14	0,088	0,053	0,44	0,83	0,009	0,154	0,109	0,002	0,034	0,065	1,779	13
0,80	0,067	0,049	0,37	0,86	0,010	0,147	0,120	0,002	0,030	0,069	1,723	18

Grundvattnets kemiska sammansättning i Hagfors Bilaga 2

		V Snåret				V Dybäcken		
Rör		**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**G5**	**G6**	**G7**
pH		4,6	5,3	5,2	5,9	4,7	5,1	4,9
Kalcium	(mekv/l)	0,065	0,030	0,051	0,038	0,024	0,084	0,036
Magnesium	(mekv/l)	0,039	0,019	0,031	0,018	0,009	0,047	0,028
Natrium	(mekv/l)	0,075	0,052	0,067	0,057	0,046	0,062	0,062
Kalium	(mekv/l)	0,007	0,005	0,005	0,007	0,001	0,007	0,008
Aluminium	(mekv/l)	0,012	0,010	0,031	0,004	0,093	0,071	0,073
Klorid	(mekv/l)	0,052	0,041	0,042	0,048	0,033	0,037	0,041
Sulfat	(mekv/l)	0,136	0,080	0,130	0,048	0,120	0,132	0,131

Medianvärden för perioden 870521-880515, före vedaskning i V Snåret.
Antal mätmätningar är 6-10 för respektive rör.
Resultaten för rör G2 används vid jämförelse med simulerade värden.
Rörens läge framgår av figur 2.

Sörby – grundvattenkemiska data

Bilaga 3:1

Provtagningsdatum	660620	670620	690911	700906	710806	720613	730619	740611	750624
pH	7,1	6,8	6,6	6,9	6,4	6,5	6,5	6,6	6,5
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	15	15	31	18	20	17	20	24	23
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,246	0,246	0,508	0,295	0,328	0,278	0,328	0,393	0,377
Totalhårdhet (Ca mg/l)	9	11	11	10	8	7	9	10	8
Kalcium (mg/l)									
Kalcium (mekv/l)									
Magnesium (mg/l)									
Magnesium (mekv/l)									
Natrium (mg/l)									
Natrium (mekv/l)									
Kalium (mg/l)									
Kalium (mekv/l)									
Järn (mg/l)	<0,1	<0,1	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<0,1
Mangan (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminium (mg/l)									
Ammonium (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Nitrat (mg/l)	14	10	16	10	15	8	<2	12	14
Nitrit (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfat (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05
Flourid (mg/l)									
Klorid (mg/l)	8	11	10	14	8	4	11	6	7
Klorid (mekv/l)	0,226	0,310	0,282	0,395	0,226	0,113	0,310	0,169	0,197
Sulfat (mg/l)	7	11	6	7	8	6	9	3	0
Sulfat (mekv/l)	0,146	0,229	0,125	0,146	0,167	0,125	0,187	0,062	0,000
Konduktivitet (mS/m)	8,9	9,6	9,5	9	7,8	6	7,3	6,1	7,4

Sörby – grundvattenkemiska data Bilaga 3:2

Provtagningsdatum	760621	770608	780627	800610	810622	820614	830620
pH	6,5	5,9	6,4	6,2	6,2	6,1	6,2
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	23	15	15	20	21	18	20
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,377	0,246	0,246	0,328	0,344	0,295	0,328
Totalhårdhet (Ca mg/l)	9	6	9	10	12	12	13
Kalcium (mg/l)							
Kalcium (mekv/l)							
Magnesium (mg/l)							
Magnesium (mekv/l)							
Natrium (mg/l)							
Natrium (mekv/l)							
Kalium (mg/l)							
Kalium (mekv/l)							
Järn (mg/l)	<0,1	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mangan (mg/l)	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminium (mg/l)							<0,02
Ammonium (mg/l)	<0,1	<0,1	0,3	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrat (mg/l)	7	<2	<2	18	16	8	10
Nitrit (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfat (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Flourid (mg/l)							
Klorid (mg/l)	7	8	7	9	9	10	9
Klorid (mekv/l)	0,197	0,226	0,197	0,254	0,254	0,282	0,254
Sulfat (mg/l)	10	13	16	10	2	8	10
Sulfat (mekv/l)	0,208	0,271	0,333	0,208	0,042	0,167	0,208
Konduktivitet (mS/m)	6,6	5,7	7,2	9,3	7,3	8,2	8,3

Sörby – grundvattenkemiska data

Bilaga 3:3

Provtagningsdatum	840618	850612	860610	870611	880614	890613
pH	6,2	6,1	6,2	6,4	6,1	6,1
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	20	17	16	21	17	21
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,328	0,278	0,262	0,344	0,278	0,344
Totalhårdhet (Ca mg/l)	16	13	13	16	14	16
Kalcium (mg/l)						
Kalcium (mekv/l)						
Magnesium (mg/l)						
Magnesium (mekv/l)						
Natrium (mg/l)						
Natrium (mekv/l)						
Kalium (mg/l)						
Kalium (mekv/l)						
Järn (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,16	0,05
Mangan (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminium (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ammonium (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrat (mg/l)	10	18	18	19	20	17
Nitrit (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfat (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Flourid (mg/l)						
Klorid (mg/l)	12	12	12	12	11	10
Klorid (mekv/l)	0,338	0,338	0,338	0,338	0,310	0,282
Sulfat (mg/l)	8	11	8	16	13	20
Sulfat (mekv/l)	0,167	0,229	0,167	0,333	0,271	0,416
Konduktivitet (mS/m)	10,9	12,3	12	14	12,9	13,3

Sörby – grundvattenkemiska data

Bilaga 3:4

Provtagningsdatum	900611	910612	920611	930616	940615	950620	950803
pH	6,1	6,2	6,4	6,4	6,5	6,6	6,3
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	28	20	27	25	25	27	21
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,459	0,328	0,442	0,409	0,409	0,442	0,344
Totalhårdhet (Ca mg/l)	16	15	15	15	13	14	14
Kalcium (mg/l)	10	11	8,8	8,8	7,9	9	8,4
Kalcium (mekv/l)	0,499	0,549	0,439	0,439	0,394	0,449	0,419
Magnesium (mg/l)	3,8	2,3	4,1	3,5	3,3	4,1	3,4
Magnesium (mekv/l)	0,313	0,189	0,337	0,288	0,271	0,337	0,280
Natrium (mg/l)	9	7	7,1	6,7	6,9	6,1	6,3
Natrium (mekv/l)	0,391	0,304	0,309	0,291	0,300	0,265	0,274
Kalium (mg/l)	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,2	1,4
Kalium (mekv/l)	0,036	0,036	0,038	0,038	0,033	0,031	0,036
Järn (mg/l)	0,11	0,07	0,24	0,17	0,21	0,29	0,03
Mangan (mg/l)	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,05	<0.02
Aluminium (mg/l)	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ammonium (mg/l)	<0.01	<0.01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0.01
Nitrat (mg/l)	3,6	4,2	3,6	3,7	3,5	3,2	3,5
Nitrit (mg/l)	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	<0,001
Fosfat (mg/l)	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Flourid (mg/l)	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,2
Klorid (mg/l)	10	9	8	8	7	8	5
Klorid (mekv/l)	0,282	0,254	0,226	0,226	0,197	0,226	0,141
Sulfat (mg/l)	9	13	12	13	13	14	14
Sulfat (mekv/l)	0,187	0,271	0,250	0,271	0,271	0,291	0,291
Konduktivitet (mS/m)	14,1	13,9	16,2	11,6	14,4	14,9	11,6

Månäs – grundvattenkemiska data

Bilaga 4:1

Provtagningsdatum	740318	750211	760216	770222	780215	790306	800221	810127	820524
pH	6,7	6,3	6,2	6,4	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	12	14	13	14	12	13	12	12	13
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,197	0,229	0,213	0,229	0,197	0,213	0,197	0,197	0,213
Totalhårdhet (Ca mg/l)		5	5	5	6	5	6	5	5
Kalcium (mg/l)									
Kalcium (mekv/l)									
Magnesium (mg/l)									
Magnesium (mekv/l)									
Natrium (mg/l)									
Natrium (mekv/l)									
Kalium (mg/l)									
Kalium (mekv/l)									
Järn (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mangan (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminium (mg/l)									<0,02
Ammonium (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrat (mg/l)	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	3	2
Nitrit (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfat (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Flourid (mg/l)					<0,1			<0,1	
Klorid (mg/l)	4	5	6	6	5	6	7	6	8
Klorid (mekv/l)	0,113	0,141	0,169	0,169	0,141	0,169	0,197	0,169	0,226
Sulfat (mg/l)	5	4	6	2	2	5	4	<2	3
Sulfat (mekv/l)	0,104	0,083	0,125	0,042	0,042	0,104	0,083	<0.042	0,062
Konduktivitet (mS/m)	3,4	3,4	3,5	3,3	3,7	3,9	3,6	3,4	4,6

Månäs – grundvattenkemiska data

Bilaga 4:2

Provtagningsdatum	830517	840507	850528	860602	870518	880517	890517
pH	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,2	6,3
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	12	1	11	9	10	11	10
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,197	0,016	0,180	0,148	0,164	0,180	0,164
Totalhårdhet (Ca mg/l)	6	5	5	5	5	6	6
Kalcium (mg/l)							
Kalcium (mekv/l)							
Magnesium (mg/l)							
Magnesium (mekv/l)							
Natrium (mg/l)							
Natrium (mekv/l)							
Kalium (mg/l)							
Kalium (mekv/l)							
Järn (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16
Mangan (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Aluminium (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ammonium (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrat (mg/l)	2	<2	<2	2	2	2	<2
Nitrit (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fosfat (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Flourid (mg/l)							
Klorid (mg/l)	9	6	6	5	10	3	3
Klorid (mekv/l)	0,254	0,169	0,169	0,141	0,282	0,085	0,085
Sulfat (mg/l)	2	3	5	2	3	<2	5
Sulfat (mekv/l)	0,042	0,062	0,104	0,042	0,062	<0.042	0,104
Konduktivitet (mS/m)	3,1	4	4,4	4	4,3	4,4	4,6

Månäs – grundvattenkemiska data

Bilaga 4:3

Provtagningsdatum	900507	910612	920604	930601	940510	950607	960605
pH	6,1	6,3	6,2	6,2	6,4	6,3	6,8
Alkalinitet, HCO_3 (mg/l)	14	12	17	12	14	15	19
Alkalinitet, HCO_3 (mekv/l)	0,229	0,197	0,279	0,197	0,229	0,246	0,311
Totalhårdhet (Ca mg/l)	6	5	7	6	4	6	5
Kalcium (mg/l)	3,4	3,7	4,0	4,2	2,8	3,3	4,1
Kalcium (mekv/l)	0,170	0,185	0,200	0,210	0,140	0,165	0,205
Magnesium (mg/l)	1,7	1,1	1,5	1,1	0,95	1,4	0,66
Magnesium (mekv/l)	0,140	0,090	0,123	0,090	0,078	0,115	0,054
Natrium (mg/l)	3,6	3,4	3,2	3,4	3,5	2,3	2,2
Natrium (mekv/l)	0,157	0,148	0,139	0,148	0,152	0,100	0,096
Kalium (mg/l)	0,76	0,84	0,66	0,82	0,97	0,72	0,63
Kalium (mekv/l)	0,019	0,021	0,017	0,021	0,025	0,018	0,016
Järn (mg/l)	<0,03	0,03	0,1	<0,03	0,03	0,09	<0,05
Mangan (mg/l)	0,01	0,02	0,08	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02
Aluminium (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02
Ammonium (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrat (mg/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nitrit (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fosfat (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
Flourid (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Klorid (mg/l)	3	5	3	6	4	4	3
Klorid (mekv/l)	0,085	0,141	0,085	0,169	0,113	0,113	0,085
Sulfat (mg/l)	2		4	6	5	4	4
Sulfat (mekv/l)	0,042		0,083	0,125	0,104	0,083	0,083
Konduktivitet (mS/m)	4,3	3,7	7,7	4,1	6,3	4,3	5,1

Indata

För lokalen

Antal markskikt		5			
Nederbörd	(m/år)	0,8			
Avrinning	(m/år)	0,44			
Marktemperatur	°C	3,7			
		Sulfat	Klorid	Nitrat	Ammonium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,498	0,264	0,281	0,271
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Natrium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,085	0,043	0,048	0,150
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Kväve
Upptag vegetation	(kekv/ha*år)	0,04	0,04	0,04	0,10
Utbyte i trädkrona	(kekv/ha*år)	0	0	0	0
Förna nedfall	(kekv/ha*år)	0,25	0,25	0,25	0,25
Mineralisering -bio	(kekv/ha*år)	0	0	0	0

För enskilda markskikt

Marklager nr (figur 23)		1	2	3	4	5
Marklagrets mäktighet	(m)	0,06	0,10	0,32	0,38	0,19
Vattenhalt	(kg/m^3)	0,15	0,20	0,25	0,35	0,40
Skrymdensitet	(m^3/m^3)	200	900	1250	1400	1400
Specifik yta	(m^2/m^3)	550000	970000	1340000	1200000	1380000
CO_2 tryck	(* atm)	5	10	25	30	30
Andel av nederbördsmängd till lagret	(%)	100	70	60	45	40
Andel av nederbördsmängd från lagret	(%)	70	60	45	40	40
Upptag av kväve	(% av max)	30	30	40	0	0
Upptag av katjoner	(% av max)	50	30	20	0	0
Löst organisk halt i markvatten (DOC)	(mg/l)	54	36	9	6	5
pK gibbsit		6,5	7,6	8,8	9,2	9,2
Mineralfördelning (resterande kvarts):						
K-fältspat	(%)	15,8	15,8	17,3	17,0	17,0
Plagioklas [andel anortit]	(%) [%]	12,1 [5]	12,1 [5]	18,3 [5]	17,8 [5]	17,8 [5]
Hornblände	(%)	0,11	0,11	0,45	0,66	0,66
Pyroxen	(%)	0	0	0	0	0
Epidot	(%)	0,28	0,28	1,34	1,97	1,97
Granat	(%)	0	0	0	0	0
Biotit	(%)	0,10	0,10	0,14	0,18	0,18
Muskovit	(%)	2,37	2,37	2,90	3,25	3,25
Klorit	(%)	0,90	0,90	0	0,82	0,82
Vermikulit	(%)	0,40	0,40	0,97	0	0
Apatit	(%)	0,05	0,05	0,24	0,29	0,29
Kaolinit	(%)	0	0	0	0	0
Kalcit	(%)	0	0	0	0	0

Resultat vittring

Vittringshastighet för element

Lager nr	Medeldjup i profil (m)	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
1	0,030	0,001	0	0,003	0,004	0,022	0
2	0,110	0,003	0,002	0,008	0,014	0,080	0,001
3	0,320	0,060	0,019	0,056	0,145	0,756	0,022
4	0,670	0,097	0,042	0,093	0,242	1,246	0,031
5	0,955	0,052	0,024	0,073	0,185	0,923	0,015
Totalt		0,212	0,087	0,234	0,589	3,027	0,068

Vittringshastighet för enskilda mineral

	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
K-fältspat	0	0	0,2016	0,0224	0,6720	0
Plagioklas	0,0597	0	0	0,5670	1,8800	0
Hornblände	0,0137	0,0278	0	0	0,0208	0
Pyroxen	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,0632	0,0271	0	0	0,1264	0
Granat	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0,0076	0,0019	0	0,0095	0
Muskovit	0	0,0069	0,0276	0	0,2755	0
Klorit	0	0,0154	0	0	0,0108	0
Vermikulit	0	0,0027	0,0027	0	0,0321	0
Apatit	0,0758	0	0	0	0	0,0682
Kaolinit	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0

Vittringshastighet totalt för kalcium, magnesium, kalium och natrium, uppdelat på mineral och marklager

Marklager	1 (kekv/ha*år)	2 (kekv/ha*år)	3 (kekv/ha*år)	4 (kekv/ha*år)	5 (kekv/ha*år)	totalt (kekv/ha*år)	andel (%)
K-fältspat	0,0028	0,0083	0,0520	0,0888	0,0722	0,2240	19,95
Plagioklas	0,0038	0,0144	0,1544	0,2576	0,1965	0,6267	55,81
Hornblände	0,0001	0,0004	0,0079	0,0199	0,0132	0,0415	3,70
Pyroxen	0	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,0003	0,0012	0,0262	0,0451	0,0174	0,0902	8,03
Granat	0	0	0	0	0	0	0
Biotit	0,0000	0,0002	0,0021	0,0044	0,0028	0,0095	0,85
Muskovit	0,0002	0,0009	0,0080	0,0154	0,0099	0,0344	3,07
Klorit	0,0002	0,0009	0	0,0089	0,0055	0,0154	1,37
Vermikulit	0,0001	0,0003	0,0050	0	0	0,0054	0,48
Apatit	0,0002	0,0011	0,0242	0,0340	0,0164	0,0758	6,75
Kaolinit	0	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0	0

PROFILE – Simulering HagforsS2 Bilaga 5:3

Resultat markvattenhalter

Sammansättningen i det vatten som lämnar respektive marklager

Marklager		1	2	3	4	5
Medeldjup i profil	(m)	0,03	0,11	0,32	0,67	0,955
pH		4,02	3,99	4,37	4,74	5,57
ANC (alkalinitet +, aciditet -)	(mekv/l)	0,025	-0,104	-0,172	-0,017	0,119
Kalcium	(mekv/l)	0,045	0,038	0,043	0,078	0,094
Magnesium	(mekv/l)	0,037	0,029	0,019	0,035	0,042
Kalium	(mekv/l)	0,038	0,032	0,033	0,066	0,089
Natrium	(mekv/l)	0,027	0,035	0,087	0,173	0,231
Aluminium-organiskt	(mmol/l)	0,012	0,088	0,061	0,031	0,003
Aluminium-oorganiskt	(mmol/l)	0,003	0,047	0,063	0,017	0
Ammonium	(mekv/l)	0,088	0,032	0,001	0	0
Klorid	(mekv/l)	0,047	0,055	0,073	0,082	0,082
Sulfat	(mekv/l)	0,089	0,104	0,139	0,156	0,156
Nitrat	(mekv/l)	0,074	0,111	0,142	0,131	0,099
Kisel	(mekv/l)	0,004	0,019	0,207	0,572	0,829

Indata

För lokalen

Antal markskikt		4			
Nederbörd	(m/år)	0,75			
Avrinning	(m/år)	0,40			
Marktemperatur	°C				
		Sulfat	Klorid	Nitrat	Ammonium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,599	0,225	0,283	0,289
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Natrium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,091	0,022	0,061	0,180
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Kväve
Upptag vegetation	(kekv/ha*år)	0,04	0,04	0,04	0,09
Utbyte i trädkrona	(kekv/ha*år)	0	0	0	0
Förna nedfall	(kekv/ha*år)	0,22	0,22	0,22	0,50
Mineralisering -bio	(kekv/ha*år)	0	0	0	0

För enskilda markskikt

För enskilda markskikt					
Marklager nr (figur 23)		1	2	3	4
Marklagrets mäktighet	(m)	0,05	0,12	0,83	3,00
Vattenhalt	(kg/m^3)	0,20	0,25	0,25	0,30
Skrymdensitet	(m^3/m^3)	900	1200	1350	1400
Specifik yta	(m^2/m^3)	780000	880000	1440000	2380000
CO_2 tryck	(* atm)	10	20	30	30
Andel av nederbördsmängd till lagret	(%)	100	70	60	40
Andel av nederbördsmängd från lagret	(%)	70	60	40	40
Upptag av kväve	(% av max)	30	40	30	0
Upptag av katjoner	(% av max)	50	20	30	0
Löst organisk halt i markvatten (DOC)	(mg/l)	36	10	7	4
pK gibbsit		7,6	8,6	9,0	9,2
Mineralfördelning (resterande kvarts):					
K-fältspat	(%)	17,0	17,0	17,0	15,1
Plagioklas [andel anortit]	(%) [%]	15,8 [5]	15,8 [5]	19,2 [5]	18,4 [5]
Hornblände	(%)	1,29	1,29	0,82	1,38
Pyroxen	(%)	0	0	0	0
Epidot	(%)	3,32	3,32	2,11	2,80
Granat	(%)	0	0	0	0
Biotit	(%)	0,13	0,13	0,59	1,01
Muskovit	(%)	0	0	4,08	5,04
Klorit	(%)	0	0	0,82	1,99
Vermikulit	(%)	0,90	0,90	0,55	0
Apatit	(%)	0,10	0,10	0,19	0,24
Kaolinit	(%)	0	0	0	0
Kalcit	(%)	0	0	0	0

Resultat vittring

Vittringshastighet för element

Lager nr	Medeldjup i profil (m)	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
1	0,025	0,006	0,003	0,004	0,008	0,047	0,001
2	0,110	0,020	0,010	0,012	0,030	0,169	0,002
3	0,585	0,154	0,105	0,241	0,614	3,141	0,031
4	2,500	0,888	0,940	1,206	3,329	17,23	0,183
Totalt		1,068	1,058	1,463	3,981	20,58	0,217

Vittringshastighet för enskilda mineral

	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
K-fältspat	0	0	1,12015	1,12015	3,73384	0
Plagioklas	0,40591	0	0	0	12,7872	0
Hornblände	0,15383	0,31233	0	0	0,23355	0
Pyroxen	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,26693	0,1144	0	0	0,53424	0
Granat	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0,27448	0,06862	0,06862	0,34276	0
Muskovit	0	0,0672	0,26879	0,26879	2,68821	0
Klorit	0	0,28419	0	0	0,19865	0
Vermikulit	0	0,00538	0,00538	0,00538	0,06458	0
Apatit	0,24131	0	0	0	0	0,21717
Kaolinit	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0

Vittringshastighet totalt för kalcium, magnesium, kalium och natrium, uppdelat på mineral och marklager

Marklager	1 (kekv/ha*år)	2 (kekv/ha*år)	3 (kekv/ha*år)	4 (kekv/ha*år)	totalt (kekv/ha*år)	andel (%)
K-fältspat	0,00404	0,01298	0,22181	1,00578	1,24461	16,44
Plagioklas	0,00825	0,03195	0,65402	3,56784	4,26206	56,31
Hornblände	0,00193	0,00591	0,05108	0,40724	0,46616	6,16
Pyroxen	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,00564	0,01716	0,05801	0,30052	0,38133	5,04
Granat	0	0	0	0	0	0
Biotit	0,00012	0,00045	0,02925	0,31328	0,34311	4,53
Muskovit	0	0	0,03861	0,29738	0,33598	4,44
Klorit	0	0	0,01717	0,26702	0,28419	3,75
Vermikulit	0,00027	0,0011	0,00939	0	0,01076	0,14
Apatit	0,00079	0,00256	0,03427	0,20368	0,24131	3,19
Kaolinit	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0

Resultat markvattenhalter

Sammansättningen i det vatten som lämnar respektive marklager

Marklager		1	2	3	4
Medeldjup i profil	(m)	0,025	0,110	0,585	2,500
pH		4,10	4,33	5,58	6,97
ANC (alkalinitet +, aciditet -)	(mekv/l)	-0,005	-0,137	0,135	2,347
Kalcium	(mekv/l)	0,047	0,04	0,086	0,382
Magnesium	(mekv/l)	0,033	0,022	0,042	0,356
Kalium	(mekv/l)	0,041	0,032	0,102	0,504
Natrium	(mekv/l)	0,036	0,048	0,277	1,387
Aluminium-organiskt	(mmol/l)	0,067	0,053	0,003	0
Aluminium-oorganiskt	(mmol/l)	0,023	0,05	0	0
Ammonium	(mekv/l)	0,074	0,029	0	0
Klorid	(mekv/l)	0,043	0,05	0,075	0,075
Sulfat	(mekv/l)	0,114	0,133	0,200	0,200
Nitrat	(mekv/l)	0,078	0,125	0,097	0,007
Kisel	(mekv/l)	0,008	0,042	0,98	5,899

PROFILE – Simulering MånäsS2 Bilaga 7:1

Indata

För lokalen

Antal markskikt		5			
Nederbörd	(m/år)	0,75			
Avrinning	(m/år)	0,44			
Marktemperatur	°C	2			
		Sulfat	Klorid	Nitrat	Ammonium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,551	0,202	0,261	0,270
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Natrium
Våt- och torrdeposition	(kekv/ha*år)	0,085	0,022	0,055	0,161
		Kalcium	Magnesium	Kalium	Kväve
Upptag vegetation	(kekv/ha*år)	0,04	0,04	0,04	0,09
Utbyte i trädkrona	(kekv/ha*år)	0	0	0	0
Förna nedfall	(kekv/ha*år)	0,21	0,21	0,21	0,47
Mineralisering -bio	(kekv/ha*år)	0	0	0	0

För enskilda markskikt

Marklager nr (figur 23)		1	2	3	4	5
Marklagrets mäktighet	(m)	0,03	0,07	0,16	0,24	6,5
Vattenhalt	(kg/m^3)	0,20	0,25	0,25	0,30	0,30
Skrymdensitet	(m^3/m^3)	900	1200	1300	1400	1400
Specifik yta	(m^2/m^3)	1040000	1100000	800000	990000	740000
CO_2 tryck	(* atm)	10	20	30	30	30
Andel av nederbördsmängd till lagret	(%)	100	70	60	50	40
Andel av nederbördsmängd från lagret	(%)	70	60	50	40	40
Upptag av kväve	(% av max)	30	40	20	10	0
Upptag av katjoner	(% av max)	50	30	20	0	0
Löst organisk halt i markvatten (DOC)	(mg/l)	36	10	8	6	3
pK gibbsit		7,6	8,6	9,0	9,2	9,2
Mineralfördelning (resterande kvarts):						
K-fältspat	(%)	14,2	15,0	15,0	12,2	12,2
Plagioklas [andel anortit]	(%) [%]	12,6 [5]	12,9 [5]	12,9 [5]	12,8 [5]	12,8 [5]
Hornblände	(%)	0,69	0,89	0,89	0,65	0,65
Pyroxen	(%)	0	0	0	0	0
Epidot	(%)	1,03	1,33	1,33	1,32	1,32
Granat	(%)	0	0	0	0	0
Biotit	(%)	0,12	0,35	0,35	0,31	0,31
Muskovit	(%)	3,80	4,09	4,09	5,13	5,13
Klorit	(%)	0,17	0,76	0,76	0,80	0,80
Vermikulit	(%)	0,17	0,41	0,41	0,34	0,34
Apatit	(%)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Kaolinit	(%)	0	0	0	0	0
Kalcit	(%)	0	0	0	0	0

Resultat vittring

Vittringshastighet för element

Lager nr	Medeldjup i profil (m)	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
1	0,015	0,002	0,001	0,003	0,004	0,027	0,001
2	0,065	0,008	0,005	0,008	0,016	0,097	0,003
3	0,180	0,014	0,008	0,014	0,030	0,173	0,004
4	0,380	0,029	0,016	0,028	0,065	0,381	0,009
5	3,750	0,377	0,278	0,652	1,518	8,368	0,101
Totalt		0,430	0,308	0,705	1,634	9,046	0,118

Vittringshastighet för enskilda mineral

	Kalcium (kekv/ha*år)	Magnesium (kekv/ha*år)	Kalium (kekv/ha*år)	Natrium (kekv/ha*år)	Aluminium (kekv/ha*år)	Fosfor (kekv/ha*år)
K-fältspat	0	0	0,5226	0,0581	1,7421	0
Plagioklas	0,1658	0	0	1,5755	5,2240	0
Hornblände	0,0480	0,0975	0	0	0,0729	0
Pyroxen	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,0851	0,0365	0	0	0,1703	0
Granat	0	0	0	0	0	0
Biotit	0	0,0508	0,0127	0	0,0634	0
Muskovit	0	0,0393	0,1573	0	1,5734	0
Klorit	0	0,0716	0	0	0,0501	0
Vermikulit	0	0,0125	0,0125	0	0,1496	0
Apatit	0,1307	0	0	0	0	0,1176
Kaolinit	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0

Vittringshastighet totalt för kalcium, magnesium, kalium och natrium, uppdelat på mineral och marklager

Marklager	1 (kekv/ha*år)	2 (kekv/ha*år)	3 (kekv/ha*år)	4 (kekv/ha*år)	5 (kekv/ha*år)	totalt (kekv/ha*år)	andel (%)
K-fältspat	0,0024	0,0075	0,0124	0,0222	0,5362	0,5807	18,88
Plagioklas	0,0047	0,0169	0,0313	0,0698	1,6185	1,7413	56,60
Hornblände	0,0007	0,0025	0,0041	0,0064	0,1317	0,1455	4,73
Pyroxen	0	0	0	0	0	0	0
Epidot	0,001	0,0040	0,0065	0,0135	0,0964	0,1215	3,95
Granat	0	0	0	0	0	0	0
Biotit	0,0001	0,0008	0,0014	0,00259	0,0583	0,0635	2,06
Muskovit	0,0005	0,0017	0,0031	0,00881	0,1826	0,1967	6,39
Klorit	0,0001	0,0008	0,0015	0,00348	0,0659	0,0716	2,33
Vermikulit	0,0000	0,0003	0,0006	0,00112	0,0229	0,0249	0,81
Apatit	0,0009	0,0028	0,0048	0,01042	0,1117	0,1307	4,25
Kaolinit	0	0	0	0	0	0	0
Kalcit	0	0	0	0	0	0	0

Resultat markvattenhalter

Sammansättningen i det vatten som lämnar respektive marklager

Marklager		1	2	3	4	5
Medeldjup i profil	(m)	0,015	0,065	0,18	0,38	3,75
pH		4,12	4,36	4,42	4,48	6,53
ANC (alkalinitet +, aciditet -)	(mekv/l)	0,012	-0,111	-0,189	-0,212	0,877
Kalcium	(mekv/l)	0,043	0,034	0,035	0,048	0,173
Magnesium	(mekv/l)	0,031	0,019	0,016	0,019	0,112
Kalium	(mekv/l)	0,038	0,028	0,028	0,038	0,255
Natrium	(mekv/l)	0,032	0,040	0,056	0,092	0,598
Aluminium-organiskt	(mmol/l)	0,063	0,050	0,066	0,060	0
Aluminium-oorganiskt	(mmol/l)	0,020	0,042	0,071	0,080	0
Ammonium	(mekv/l)	0,077	0,034	0,006	0,001	0
Klorid	(mekv/l)	0,038	0,045	0,054	0,067	0,067
Sulfat	(mekv/l)	0,105	0,123	0,147	0,184	0,184
Nitrat	(mekv/l)	0,065	0,100	0,130	0,159	0,009
Kisel	(mekv/l)	0,004	0,023	0,067	0,186	2,518

Brunnsanalyser från N Värmland (norr om X-koordinat 665000).
Referens A = SGUs arkiv (Klein, 1996), B = Jonasson m.fl. (1985) och C = Monfelt & Aronson (1986).

Referens	Beteckning	Djup	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Jordart
A	17830014		6,6	0,573	0,241	0,154	0,085	morän
A	17830027		6,0	0,393	0,379	0,144	0,113	morän
A	17370528		5,8	0,262	0,310	0,146	0,085	morän
A	17830034		6,2	0,606	0,620	0,375	0,197	morän
A	17830039		6,1	0,246	0,310	0,204	0,141	morän
A	17370680		5,6	0,049	0,103	0,167	0,113	morän
A	17370695		5,7	0,098	0,103	0,083	0,056	morän
A	17830042		5,3	0,115	0,172	0,104	0,028	morän
A	17830139		5,7	0,131	0,172	0,133	0,014	morän
A	122280002		5,6	0,131	0,207	0,137	0,062	morän
A	132480004		6,8	0,229	0,172	0,079	0,039	morän
A	17370034		5,4	0,016	0,103	0,083	0,028	morän
A	17370524		5,4	0,082	0,172	0,208	0,028	morän
A	122480002		6,3	0,671	0,344	0,092	0,031	morän
A	17300041		5,8	0,197	0,138	0,146	0,282	morän
A	17370001		5,7	0,082	0,069	0,062	0,028	morän
A	17370006		6,3	0,475	0,551	0,125	0,451	morän
A	17370028		5,7	0,278	0,138	0,083	0,169	morän
A	17370030		5,8	0,115	0,207	0,125	0,056	morän
A	17370041		6,1	0,115	0,103	0,042	0,056	morän
A	17370374		5,2	0,016	0,103	0,250	0,113	morän
A	17370502		5,6	0,180	0,172	0,083	0,056	morän
A	17370503		5,9	0,213	0,138	0,042	0,028	morän
A	17370504		6,1	0,426	0,275	0,042	0,028	morän
A	17370505		6,1	0,852	0,585	0,104	0,169	morän
A	17370507		5,5	0,098	0,103	0,104	0,028	morän
A	17370508		5,7	0,033	0,275	0,083	0,056	morän
A	17370510		5,5	0,131	0,241	0,083	0,169	morän
A	17370516		5,9	0,262	0,344	0,125	0,226	morän
A	17370518		6,0	0,197	0,172	0,062	0,056	morän
A	17370519		6,2	0,835	0,275	0,083	0,085	morän
A	17370521		6,3	0,377	0,344	0,125	0,056	morän
A	17370523		5,7	0,115	0,413	0,042	0,621	morän
A	17370527		5,4	0,049	0,103	0,083	0,310	morän
A	17370529		5,4	0,229	0,275	0,167	0,169	morän
A	17370531		6,5	0,491	0,482	0,187	0,141	morän
A	17370533		5,6	0,147	0,138	0,104	0,056	morän
A	17370535		6,2	0,393	0,448	0,208	0,197	morän
A	17370536		5,6	0,393	0,310	0,167	0,056	morän
A	17370538		5,6	0,147	0,103	0,062	0,056	morän
A	17370539		6,1	0,295	0,172	0,042	0,028	morän
A	17370540		6,0	0,655	0,723	0,083	0,423	morän
A	17370541		5,5	0,115	0,103	0,125	0,056	morän
A	17370542		5,8	0,360	0,310	0,125	0,056	morän
A	17370543		5,6	0,262	0,344	0,125	0,282	morän
A	17370545		5,9	0,426	0,344	0,083	0,226	morän
A	17370550		5,5	0,147	0,207	0,167	0,226	morän
A	17370551		5,3	0,016	0,103	0,291	0,085	morän
A	17370553		5,8	0,131	0,138	0,042	0,028	morän
A	17370554		5,7	0,066	0,103	0,146	0,085	morän
A	17370556		5,9	0,098	0,103	0,083	0,113	morän
A	17370557		5,6	0,098	0,138	0,125	0,085	morän
A	17370601		5,0	0,016	0,103	0,187	0,056	morän
A	17370602		5,7	0,082	0,103	0,083	0,028	morän

Brunnsanalyser från norra Värmland Bilaga 8:2

Referens	Beteckning	Djup	pH	Alkalinitet	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Jordart (mekv/l)
A	17370607		6,1	0,475	0,448	0,250	0,056	morän
A	17370610		6,4	0,737	0,482	0,104	0,028	morän
A	17370614		6,3	0,442	0,344	0,021	0,028	morän
A	17370615		5,9	0,229	0,275	0,083	0,028	morän
A	17370618		5,8	0,328	0,241	0,042	0,028	morän
A	17370621		5,7	0,164	0,172	0,042	0,028	morän
A	17370622		5,8	0,491	0,413	0,125	0,226	morän
A	17370624		5,1	0,016	0,103	0,083	0,113	morän
A	17370625		5,9	0,311	0,207	0,062	0,113	morän
A	17370627		5,8	0,213	0,241	0,062	0,056	morän
A	17370633		5,8	0,197	0,482	0,250	0,085	morän
A	17370636		5,4	0,082	0,103	0,104	0,056	morän
A	17370648		5,5	0,016	0,103	0,062	0,056	morän
A	17370649		5,6	0,164	0,172	0,062	0,085	morän
A	17370651		5,4	0,164	0,207	0,083	0,113	morän
A	17370658		5,2	0,016	0,103	0,062	0,113	morän
A	17370661		5,4	0,147	0,172	0,146	0,169	morän
A	17370662		5,9	0,328	0,689	0,083	0,903	morän
A	17370663		5,4	0,147	0,103	0,062	0,169	morän
A	17370678		6,1	0,557	0,413	0,208	0,085	morän
A	17370679		5,5	0,082	0,138	0,125	0,113	morän
A	17370681		5,8	0,098	0,172	0,146	0,113	morän
A	17370684		6,4	0,246	0,207	0,104	0,085	morän
A	17370685		5,4	0,066	0,103	0,125	0,085	morän
A	17370686		6,0	0,671	0,551	0,146	0,113	morän
A	17370690		6,2	0,360	0,310	0,416	0,113	morän
A	17370692		5,2	0,016	0,103	0,125	0,056	morän
A	17370693		6,3	0,262	0,138	0,062	0,085	morän
A	17370704		6,1	0,278	0,241	0,062	0,085	morän
A	17370705		7,0	0,328	0,620	0,083	0,085	morän
A	17820121		5,9	0,737	0,861	0,333	0,226	morän
A	17820123		5,9	0,147	0,103	0,083	0,056	morän
A	17820124		6,2	0,491	0,448	0,229	0,169	morän
A	17820125		6,1	0,639	0,585	0,146	0,169	morän
A	17820126		6,2	0,590	0,482	0,125	0,226	morän
A	17820131		6,5	0,475	0,379	0,125	0,310	morän
A	17820134		6,5	0,983	0,482	0,125	0,028	morän
A	17820136		6,4	0,328	0,310	0,083	0,085	morän
A	17830007		5,8	0,213	0,207	0,112	0,085	morän
A	17830009		7,0	0,229	0,138	0,071	0,056	morän
A	17830012		5,4	0,246	1,171	0,108	1,495	morän
A	17830015		6,6	1,458	1,067	0,791	0,056	morän
A	17830017		6,1	0,868	0,826	0,271	0,282	morän
A	17830021		6,2	0,328	0,448	0,085	0,056	morän
A	17830025		5,9	0,295	0,275	0,117	0,056	morän
A	17830026		6,1	0,295	0,275	0,133	0,014	morän
A	17830029		6,4	0,409	0,379	0,179	0,056	morän
A	17830030		5,6	0,197	0,207	0,229	0,169	morän
A	17830033		6,4	0,377	0,344	0,150	0,014	morän
A	17830036		6,5	1,015	0,723	0,094	0,028	morän
A	17830037		6,4	0,753	0,620	0,075	0,113	morän
A	17830038		6,4	0,671	0,620	0,085	0,014	morän
A	17830045		6,3	0,295	0,241	0,129	0,014	morän
A	17830047		5,8	0,360	0,344	0,142	0,113	morän
A	17830049		6,1	0,524	0,413	0,083	0,014	morän
A	17830068		6,1	0,344	0,241	0,085	0,113	morän
A	17830087		7,1	0,802	0,585	0,098	0,014	morän

Brunnsanalyser från norra Värmland

Bilaga 8:3

Referens	Beteckning	Djup	pH (mekv/l)	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid	Jordart
A	17830088		6,3	0,311	0,344	0,094	0,028	morän
A	17830089		6,1	0,639	0,551	0,179	0,085	morän
A	17830090		6,5	1,146	0,895	0,175	0,226	morän
A	17830091		7,1	1,539	0,999	0,106	0,085	morän
A	17830094		6,9	0,671	0,654	0,142	0,028	morän
A	17830095		5,7	0,115	0,241	0,196	0,056	morän
A	17830108		6,0	0,016	0,241	0,198	0,113	morän
A	17830110		5,6	0,131	0,138	0,137	0,028	morän
A	17830117		6,3	0,311	0,379	0,154	0,056	morän
A	17830119		7,2	1,032	0,723	0,092	0,014	morän
A	17830120		6,2	0,278	0,241	0,077	0,014	morän
A	17830121		6,0	0,147	0,172	0,090	0,014	morän
A	17840003		5,3	0,049	0,069	0,125	0,113	morän
A	17840004		5,7	0,278	0,207	0,604	0,113	morän
A	17840026		5,2	0,000	0,207	0,229	0,339	morän
A	17840029		6,3	1,048	0,654	0,146	0,028	morän
A	17840031		5,7	0,180	0,207	0,250	0,141	morän
A	17840032		5,9	0,328	0,344	0,333	0,141	morän
A	17840033		5,7	0,197	0,138	0,208	0,085	morän
A	17840035		5,7	0,115	0,172	0,375	0,141	morän
A	122180002		6,3	0,197	0,551	0,110	0,189	morän
A	122280001		5,5	0,115	0,413	0,119	0,059	morän
A	123180001		6,5	0,459	1,412	0,081	0,234	morän
A	123180005		5,9	0,197	0,344	0,142	0,056	morän
A	123280002		6,4	0,328	0,310	0,131	0,155	morän
A	123380001		6,3	0,246	0,310	0,117	0,037	morän
A	123380002		6,1	0,278	0,379	0,094	0,065	morän
A	123480004		6,8	0,622	0,585	0,079	0,147	morän
A	124180002		5,8	0,164	0,138	0,062	0,054	morän
A	132280001		5,7	0,147	0,172	0,075	0,034	morän
A	132280002		5,8	0,131	0,310	0,094	0,231	morän
A	132480001		6,4	0,409	0,310	0,087	0,031	morän
A	142180002		7,4	3,112	2,996	0,148	2,116	morän
A	17370526		6,1	0,197	0,138	0,042	0,085	morän
A	17370548		5,7	0,197	0,241	0,333	0,339	morän
A	17370558		5,8	0,115	0,172	0,167	0,085	morän
A	17370559		5,7	0,278	0,689	0,146	0,677	morän
A	17370623		5,1	0,016	0,103	0,062	0,056	morän
A	17370657		5,7	0,999	0,103	0,104	0,113	morän
A	17830001		6,1	0,295	0,310	0,090	0,014	morän
A	17830093		7,2	1,196	0,861	0,158	0,056	morän
A	17830003		5,5	0,066	0,138	0,121	0,028	morän
B	3705	4,0	6,2	0,377	0,138		0,141	morän
B	3709	1,5	5,8	0,180	0,379	0,104	0,141	morän
B	3713	2,0	5,4	0,098	0,103		0,141	morän
B	3724	4,0	6,2	0,328	0,344		0,000	morän
B	3747	3,0	6,9	3,243	2,066		0,536	morän
B	3755	2,0	5,7	0,131	0,138	0,083	0,085	morän
B	3761		6,2	0,671	0,379	0,125	0,141	morän
B	3770	4,0	5,9	0,262	0,310		0,197	morän
B	3772		5,7	0,409	0,344	0,083	0,169	morän
B	3774	4,5	5,9	0,442	0,585		0,169	morän
B	3775	3,5	5,9	0,393	0,551		0,169	morän
B	3783	1,5	5,8	0,180	0,275		0,113	morän
B	3787	3,5	5,9	0,377	0,379		0,564	morän
B	3788	2,5	5,6	0,262	0,275		0,197	morän
B	3789	2,0	5,9	0,213	0,034	0,312	0,451	morän

Brunnsanalyser från norra Värmland

Bilaga 8:4

Referens	Beteckning	Djup	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Jordart
B	8305	5,0	5,9	0,197	2,755		0,367	morän
B	8309	8,0	5,6	0,262	1,515		1,749	morän
B	8310	3,0	6,4	0,229	0,241		0,085	morän
B	8319	4,0	6,8	1,703	1,446		0,592	morän
B	8325	3,0	6,7	1,114	0,517		0,113	morän
B	8332	3,0	5,7	0,147	0,000		0,141	morän
B	8337	6,0	6,5	0,835	0,654		0,113	morän
B	8349	1,5	6,2	0,131	0,241		0,339	morän
B	8358		6,8	0,295	0,138		0,113	morän
B	8359	3,0	5,7	0,344	0,551		0,339	morän
B	8360		5,9	0,360	0,344		0,197	morän
C	1	2,0	5,7	0,082	0,069	0,062	0,028	morän
C	30	2,0	5,8	0,115	0,207	0,125	0,056	morän
C	374	3,0	5,2	0,016	0,103	0,250	0,113	morän
C	502	4,1	5,6	0,180	0,172	0,083	0,056	morän
C	504	2,6	6,1	0,426	0,275	0,042	0,028	morän
C	508	7,8	5,7	0,033	0,275	0,083	0,056	morän
C	510	1,2	5,5	0,131	0,241	0,083	0,169	morän
C	513	4,5	5,7	0,229	0,310	0,083	0,028	morän
C	514	1,7	6,0	0,197	0,172	0,021	0,028	morän
C	516	5,5	5,9	0,262	0,344	0,125	0,226	morän
C	518	1,5	6,0	0,197	0,172	0,062	0,056	morän
C	519	5,2	6,2	0,835	0,275	0,083	0,085	morän
C	633	3,1	5,8	0,197	0,482	0,250	0,085	morän
C	636	3,1	5,4	0,082	0,103	0,104	0,056	morän
C	640	5,1	6,3	0,868	0,654	0,125	0,056	morän
C	648	3,4	5,5	0,016	0,103	0,062	0,056	morän
C	649	2,0	5,6	0,164	0,172	0,062	0,085	morän
C	651	3,0	5,4	0,164	0,207	0,083	0,113	morän
C	653	2,3	5,6	0,098	0,069	0,146	0,028	morän
C	657	2,3	5,7	0,999	0,103	0,104	0,113	morän
C	659	2,5	5,4	0,229	0,172	0,062	0,339	morän
C	661	2,4	5,4	0,147	0,172	0,146	0,169	morän
C	662	2,4	5,9	0,328	0,689	0,083	0,903	morän
C	663	1,6	5,4	0,147	0,103	0,062	0,169	morän
C	668	1,2	6,1	0,377	0,344	0,187	0,141	morän
C	670	2,0	5,7	0,131	0,138	0,062	0,197	morän
C	672	1,5	6,1	0,147	0,172	0,104	0,028	morän
C	678	3,9	6,1	0,557	0,413	0,208	0,085	morän
C	679	1,9	5,5	0,082	0,138	0,125	0,113	morän
C	681	1,4	5,8	0,098	0,172	0,146	0,113	morän
C	684	1,5	6,4	0,246	0,207	0,104	0,085	morän
C	686	2,4	6,0	0,671	0,551	0,146	0,113	morän
C	690	1,4	6,2	0,360	0,310	0,416	0,113	morän
C	691	2,5	5,6	0,229	0,207	0,104	0,056	morän
C	692	1,2	5,2	0,016	0,103	0,125	0,056	morän
C	694	0,8	5,4	0,016	0,103	0,125	0,056	morän
C	695	1,2	5,7	0,098	0,103	0,083	0,056	morän
C	702	4,5	6,2	0,328	0,413	0,021	0,451	morän
C	703	2,5	5,9	0,311	0,310	0,083	0,141	morän
C	704	2,0	6,1	0,278	0,241	0,062	0,085	morän
C	705	2,0	7,0	0,328	0,620	0,083	0,085	morän
C	707	2,8	5,3	0,016	0,379	0,042	0,056	morän
A	17370609		6,2	0,606	0,379	0,167	0,028	isälvssediment
A	17370520		5,9	0,426	0,448	0,208	0,197	isälvssediment
A	17370544		5,6	0,229	0,138	0,104	0,169	isälvssediment
A	17370547		5,8	0,246	0,207	0,125	0,226	isälvssediment

Brunnsanalyser från norra Värmland

Bilaga 8:5

Referens	Beteckning	Djup	pH (mekv/l)	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid	Jordart
A	17370629		5,2	0,016	0,069	0,062	0,085	isälvssediment
A	17370653		5,6	0,098	0,069	0,146	0,028	isälvssediment
A	17370659		5,4	0,229	0,172	0,062	0,339	isälvssediment
A	17830005		5,6	0,180	0,275	0,173	0,169	Isälvssediment
A	17830022		5,4	0,147	0,207	0,142	0,113	Isälvssediment
A	17830023		5,9	0,328	0,344	0,127	0,056	Isälvssediment
A	17830065		5,7	0,164	0,138	0,121	0,056	Isälvssediment
A	17830097		6,0	0,278	0,344	0,271	0,169	Isälvssediment
A	17840005		5,9	0,344	0,448	0,062	0,621	isälvssediment
A	122400003		6,3	0,393	0,310	0,075	0,039	isälvssediment
A	123480002		6,3	0,344	0,310	0,106	0,068	isälvssediment
A	124180003		5,8	0,164	0,207	0,062	0,099	isälvssediment
A	132400018		5,3	0,131	0,310	0,000	0,395	isälvssediment
A	132480002		6,5	0,459	0,310	0,137	0,189	isälvssediment
A	133180003		5,8	0,131	0,103	0,067	0,048	isälvssediment
A	142280001		6,2	0,213	0,172	0,075	0,024	isälvssediment
A	17370628		5,7	0,197	0,172	0,062	0,141	isälvssediment
A	17370637		6,2	0,393	0,723	0,104	0,621	isälvssediment
A	17370660		5,9	0,426	0,413	0,083	0,282	isälvssediment
A	17830031		6,1	0,508	1,377	0,333	1,241	isälvssediment
A	17830044		6,6	0,164	0,172	0,154	0,028	isälvssediment
A	17830118		5,8	0,180	0,275	0,154	0,028	isälvssediment
A	17840002		6,2	0,360	0,172	0,146	0,141	isälvssediment
A	17840006		5,4	0,033	0,069	0,208	0,085	isälvssediment
A	17840007		5,7	0,082	0,103	0,146	0,254	isälvssediment
A	17830006		6,3	0,934	0,689	0,098	0,141	isälvssediment
B	3740	8,0	5,5	0,147	0,275		0,169	isälvssediment
B	3745	5,0	6,1	0,590	0,448		0,226	isälvssediment
B	3746		5,6	0,180	0,172		0,141	isälvssediment
B	3756		6,7	0,328	0,241		0,169	isälvssediment
B	3758		6,1	0,442	0,172	0,416	0,339	isälvssediment
B	3760		7,0	0,557	0,448	0,083	0,395	isälvssediment
B	3771	6,0	5,6	0,131	0,241	0,083	0,508	isälvssediment
B	3773		6,0	0,360	0,551		0,367	isälvssediment
B	3779		6,8	0,868	0,826		0,367	isälvssediment
B	3780	3,0	5,6	0,197	0,207		0,197	isälvssediment
B	8306	5,5	6,0	0,000	0,069		0,282	isälvssediment
B	8331	3,0	6,4	0,557	0,275		0,141	isälvssediment
A	17830126		5,9	0,295	0,344	0,154	0,113	sand
A	122480001		6,1	0,360	0,310	0,146	0,020	sand
A	17370549		5,4	0,082	0,103	0,104	0,790	sand
A	17370638		6,0	0,540	0,758	0,250	0,564	sand
A	17370640		6,3	0,868	0,654	0,125	0,056	sand
A	17370677		5,7	0,213	0,207	0,167	0,028	sand
A	17830055		5,7	0,197	0,207	0,208	0,085	sand
A	17830060		6,3	0,737	0,448	0,146	0,085	sand
A	17830061		5,9	0,147	0,138	0,090	0,056	sand
A	17830067		5,7	0,213	0,413	0,312	0,959	sand
A	17830069		5,7	0,164	0,103	0,119	0,141	sand
A	17830111		6,1	0,606	0,964	0,208	0,310	sand
A	17830114		6,9	0,802	0,826	0,250	0,113	sand
A	17830115		6,0	0,426	0,413	0,250	0,113	sand
A	17830128		5,9	0,229	0,413	0,169	0,056	sand
A	17830140		6,2	0,213	0,310	0,189	0,085	sand
A	17830144		5,7	0,197	0,413	0,770	0,564	sand
A	123180004		5,9	0,082	0,207	0,071	0,037	sand
A	17370552		6,5	0,328	0,172	0,042	0,085	sand

Brunnsanalyser från norra Värmland

Bilaga 8:6

Referens	Beteckning	Djup	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Jordart
A	17370668		6,1	0,377	0,344	0,187	0,141	sand
A	17370703		5,9	0,311	0,310	0,083	0,141	sand
A	17830011		6,2	0,688	0,861	0,156	0,226	sand
A	17830146		5,6	0,082	0,172	0,081	0,014	sand
A	123280004		6,6	0,524	0,723	0,291	0,152	sand
A	123380003		6,1	0,098	0,172	0,075	0,031	sand
A	17830142		6,5	0,770	0,517	0,146	1,410	sand
A	17370670		5,7	0,131	0,138	0,062	0,197	sand
A	17370676		5,4	0,016	0,103	0,229	0,056	sand
A	17830056		6,5	1,294	0,758	0,185	0,056	sand
A	17830059		7,1	2,620	1,825	0,106	0,014	sand
A	17830062		6,1	0,164	0,172	0,229	0,141	sand
A	17830112		6,4	0,459	1,136	0,874	0,014	sand
A	17830131		7,1	1,343	0,964	0,058	0,014	sand
A	17830143		6,0	0,278	0,310	0,154	0,085	sand
A	133180001		5,2	0,000	0,138	0,077	0,045	sand
A	133180002		5,0	0,000	0,138	0,123	0,039	sand
A	17370675		6,3	0,229	0,138	0,042	0,113	sand
B	3714		4,9	0,000	0,138	0,042	0,197	sand
B	3716	1,0	5,9	0,737	0,448		0,226	sand
B	3727	5,0	6,5	0,704	1,343	0,187	1,354	sand
B	3734	4,2	5,7	0,197	0,275		0,113	sand
B	3744	3,0	6,0	0,540	0,310		0,282	sand
B	3751		5,8	0,147	0,585	0,437	0,197	sand
B	3752	7,0	6,4	0,180	0,138	0,062	0,085	sand
B	3753		6,3	0,671	0,344		0,169	sand
B	3763		6,3	0,573	0,448		0,141	sand
B	3766	4,0	5,9	0,164	0,000		0,141	sand
B	3776		6,4	1,441	0,861		0,480	sand
B	3778		6,1	0,328	0,207		0,254	sand
B	3781		5,7	0,164	0,138	0,104	0,113	sand
B	3784	1,8	5,8	0,229	0,241		0,141	sand
B	8303		6,8	0,868	0,758		0,169	sand
B	8308	3,0	5,7	0,393	0,689		3,300	sand
B	8315	3,0	5,7	0,311	0,344		1,410	sand
B	8320	3,5	5,6	0,262	0,344		0,226	sand
B	8326	7,0	5,6	0,164	0,207		0,113	sand
B	8330	5,0	6,3	0,442	0,241		0,282	sand
B	8335		6,1	0,278	0,241		0,874	sand
B	8339	3,0	5,9	0,197	0,138		0,141	sand
B	8341		5,6	0,246	1,274		0,818	sand
B	8343	6,0	5,9	0,246	0,000		0,141	sand
B	8345		5,9	0,164	0,585		0,282	sand
B	8346		5,7	0,147	0,000	0,271	0,169	sand
B	8348	3,0	7,4	2,342	1,687		0,733	sand
B	8356	6,0	5,8	0,393	0,413		1,241	sand
C	6	6,2	6,3	0,475	0,551	0,125	0,451	sand
C	33	32,0	6,0	0,164	0,172	0,042	0,085	sand
C	34	5,0	5,4	0,016	0,103	0,083	0,028	sand
C	41	1,5	6,1	0,115	0,103	0,042	0,056	sand
C	61	1,8	6,0	0,213	0,241	0,104	0,169	sand
C	62	2,0	6,2	0,049	0,172	0,062	0,056	sand
C	436	5,1	5,9	0,229	0,207	0,104	0,169	sand
C	520	4,5	5,9	0,426	0,448	0,208	0,197	sand
C	521	3,1	6,3	0,377	0,344	0,125	0,056	sand
C	523	2,1	5,7	0,115	0,413	0,042	0,621	sand
C	631	5,5	5,2	0,016	0,310	0,125	0,113	sand

Brunnsanalyser från norra Värmland

Bilaga 8:7

Referens	Beteckning	Djup	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Jordart
C	637	5,5	6,2	0,393	0,723	0,104	0,621	sand
C	638	3,5	6,0	0,540	0,758	0,250	0,564	sand
C	656	3,4	5,8	0,278	0,517	0,062	0,056	sand
C	658	2,8	5,2	0,016	0,103	0,062	0,113	sand
C	660	3,8	5,9	0,426	0,413	0,208	0,113	sand
C	666	9,8	6,2	0,459	0,551	0,187	0,226	sand
C	676	0,8	5,4	0,016	0,103	0,229	0,056	sand
C	677	1,1	5,7	0,213	0,207	0,167	0,028	sand
C	683	1,1	5,5	0,082	0,138	0,104	0,282	sand
C	685	1,1	5,4	0,066	0,103	0,125	0,085	sand
C	693	4,5	6,3	0,262	0,138	0,062	0,085	sand

Sammanställning av brunnsanalyser från norra Värmland Bilaga 9

Sammanfattande resultat för pH, alkalinitet, totalhårdhet, sulfat och klorid.
Data från SGUs arkiv (Klein, 1996), Jonasson m.fl. (1985) samt Monfelt & Aronson (1986).

Morän

Brunnar	Beräkning	Antal	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Avvikande antal brunnar
samtliga	median	221	5,90	0,246	0,241	0,104	0,085	sulfat = 200, klorid = 220
djup <2 m	median	16	5,80	0,147	0,250	0,104	0,113	sulfat = 14
djup 2-<3 m	median	20	5,70	0,221	0,274	0,083	0,099	sulfat = 18
djup 3-<4 m	median	13	5,80	0,229	0,549	0,156	0,113	sulfat = 6
djup 4 + >4 m	median	15	5,90	0,328	0,499	0,083	0,155	sulfat = 8, klorid = 14
samtliga	medel	221	5,93	0,348	0,351	0,130	0,150	sulfat = 200, klorid = 220
djup <2 m	medel	16	5,82	0,163	0,293	0,125	0,111	sulfat = 14
djup 2-<3 m	medel	20	5,77	0,263	0,357	0,101	0,168	sulfat = 18
djup 3-<4 m	medel	13	5,89	0,529	0,637	0,160	0,189	sulfat = 6
djup 4 + >4 m	medel	15	6,04	0,476	0,985	0,075	0,306	sulfat = 8, klorid = 14
samtliga	standardav.	221	0,45	0,398	0,363	0,092	0,237	sulfat = 200, klorid = 220
djup <2 m	standardav.	16	0,35	0,102	0,129	0,093	0,076	sulfat = 14
djup 2-<3 m	standardav.	20	0,37	0,227	0,267	0,063	0,203	sulfat = 18
djup 3-<4 m	standardav.	13	0,51	0,865	0,761	0,086	0,176	sulfat = 6
djup 4 + >4 m	standardav.	15	0,34	0,425	1,028	0,044	0,448	sulfat = 8, klorid = 14

Sorterade sediment, grusiga-sandiga

Brunnar	Beräkning	Antal	pH	Alkalinitet (mekv/l)	Totalhårdhet (mekv/l)	Sulfat (mekv/l)	Klorid (mekv/l)	Avvikande antal brunnar
samtliga	median	129	5,90	0,246	0,275	0,125	0,141	sulfat = 98
djup <2 m	median	8	5,75	0,164	0,250	0,115	0,113	sulfat = 6
djup 2-<3 m	median	3	5,70	0,049	0,250	0,062	0,113	
djup 3-<4 m	median	12	5,90	0,385	0,499	0,167	0,212	sulfat = 4
djup 4 + >4 m	median	21	5,90	0,229	0,374	0,104	0,169	sulfat = 12
samtliga	medel	129	5,97	0,359	0,377	0,153	0,268	sulfat = 98
djup <2 m	medel	8	5,73	0,209	0,287	0,128	0,130	sulfat = 6
djup 2-<3 m	medel	3	5,70	0,060	0,333	0,056	0,263	
djup 3-<4 m	medel	12	6,03	0,535	0,728	0,161	0,602	sulfat = 4
djup 4 + >4 m	medel	21	5,94	0,276	0,497	0,115	0,316	sulfat = 12
samtliga	standardav.	129	0,43	0,378	0,325	0,126	0,397	sulfat = 98
djup <2 m	standardav.	8	0,27	0,227	0,170	0,064	0,090	sulfat = 6
djup 2-<3 m	standardav.	3	0,50	0,050	0,236	0,012	0,311	
djup 3-<4 m	standardav.	12	0,50	0,583	0,602	0,084	0,935	sulfat = 4
djup 4 + >4 m	standardav.	21	0,35	0,192	0,432	0,054	0,360	sulfat = 12

I SGUs serie Rapporter och meddelanden har hittills utgivits:

* 1. Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1–2. 1931.
* 2. **Sahlström, K.E.** Sveriges lodade sjöar. 1945.
* 3. **Ödman, O.H.** Rapport över manganmalmsletningen i Jokkmokks socken 1940–48.
4. **Stålhös, G.** Bidrag till kännedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. 1959.
5. **Johansson, H.G. och Ericsson, B.** Grusutredningen -74. Översiktlig inventering av sand- och grusförekomster – Försöksverksamhet. 1976.
6. **Knutsson, G., m.fl.** Grustillgångarna i Östersundsområdet. Del 1 inventering. 1976.
7. **Ericsson, B.** Svallgrustillgångar längs Kilsbergen, Örebro län. 1977.
8. **Gustafsson, O. och De Geer, J.** Skånes större grundvattentillgångar. 1977.
9. **Knutsson, G. och Fagerlind, T.** Grundvattentillgångar i Sverige. 1977.
10. **Modig, S., Knutsson, G., Nordberg. L. och Persson, G.** Särtryck ur Ymer 1978 – Bebyggelsen och vattnet. 1978.
11. **Guy-Ohlson, D.** Jurassic biostratigraphy of three borings in NW Scania. (A brief palynological report.) 1978.
12. **Gustafsson, O., Andersson, J.-E. och De Geer, J.** Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadsslätten. 1979.
13. **Hörnsten, Å.** Sand och övriga jordarter i Öresund. Maringeologiska kartor över Öresund. 1979.
* 14. Hydrogeologi vid SGU. Särutgåva av Vannet i Norden. 1979.
15. **Knutsson, G., Lindén, A. och Rudmark, L.** Grus- och moräntillgångar i Nybroregionen. 1979.
16. **Wilson, M.R. och Sundin, N.O.** Isotopic age determinations on rocks and minerals from Sweden. 1960-1978.
17. **Karlqvist, L. och Qvarfort, U.** Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand-bentonitskikt. 1980.
18. **Karlqvist, L. och Qvarfort, U.** Gruvhanteringens inverkan på Bersboområdet, Åtvidabergs kommun. 1980.
19. **Wilson, M.R. and Åkerblom, G.** Uranium enriched granites in Sweden. 1980.
* 20. **Cato, I och Engdahl, M.** Beskrivning till temakartor utvisande var särskild uppmärksamhet av stabilitetsförhållanden erfordras inom vissa bebyggda eller detaljplanerade områden med lerjord. 1982.
21. **Olsson, T.** Ground-water-level fluctuations as a measure of the effective porosity and ground-water recharge. 1980.
22. **Bergström, J. och Shaikh, N.A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kristianstads län. Projekt i länsplanering 1980. 1980.
23. **Lilja, A.** Störning av berggrundens temperaturförhållanden vid hammarborrning. 1981.
24. **Agrell, H.** Gotska Sandöns kvartärgeologi. (Summary: The Quaternary geology of the island of Gotska Sandön in the Baltic.) 1981.
25. **Laufeld, S. (Ed.).** Proceedings of Project Ecostratigraphy Plenary Meeting, Gotland, 1981. 1981.
26. **Fredén, C., m.fl.** Tuveskredet, 1977-11-30. Geologiska undersökningar. Särtryck av SGI Rapp. 11 B. 1981.
27. SWIM 81. Intruded and relict groundwater of marine origin. Proceedings of Seventh Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, Sweden, 14–17 September 1981. 1981.
28. **Aastrup, M., Aneblom, T., Henriksson, B. och Persson, G.** PMK-grundvatten. Lägesrapport mars 1982. 1982.
29. Energigeologi. Exempel på verksamhet inom energisektorn vid SGU. April 1982.
30. **Åkerblom, G. and Wilson, C.** Radon – geological aspects of an environmental problem. 1982.
31. **Bergström, J. och Shaikh, N.A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Malmöhus län. 1982.
32. **Ericsson, B. och Grånäs, K.** SGU:s grusdataarkiv. 1983.
33. **Sivhed, U.** Upper Cretaceous Ostracodes from the Malen Limestone quarry and the river Stensån, southern Sweden. 1983.
34. Berggrundsgeokemi som prospekteringsmetod i Sveriges urberg. Föredrag och inlägg från ett symposium i Uppsala den 17–18 mars 1983 anordnat av Sveriges geologiska undersökning och Svenska Gruvföreningen. O. Selinus (Red.). 1983.

35. Vanadin. 1984.
37. **Andersson, M. och Ohlsson, S.-Å.** Geokemisk kartering. 1984.
38. **Lundqvist, Th.** Färg- och teckenschema för SGU:s berggrundskartering. 1984.
39. **Lindewald, H.** Salt grundvatten i Sverige. 1985.
40. **Guy-Ohlson, D. and Malmquist, E.** Lower Jurassic biostratigraphy of the Oppegård Bore No. 1, NW Scania, Sweden. 1985.
41. **Andersson, M.** Geokemisk kartering. Tungmineralanrikad morän. Kartbladen 15–16, C–D och 16–17, G. 1985.
42. **Ressar, H. och Ohlsson, S.-Å.** Geokemisk kartering. Bäcktorv. Bilaga: Beskrivning av de fjorton spårelementens exogena geokemiska kretslopp av John Ek. 1985.
43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
45. **Shaikh, N.A., Samuelsson, L., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. 1986.
46. **Fredén, C.** Quaternary marine shell deposits in the region of Uddevalla and Lake Vänern. 1986.
47. **Ahlberg, O.** Den svenska kontinentalsockelns berggrund. 1986.
48. **Ressar, H., Ohlsson, S-.Å. och Ekelund, L.** Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Kalmar, Oskarshamn, Sundsvall och Vilhelmina. 1986.
49. **Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. och Ekelund, L.** Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Malmö och Sundsvall. 1987.
50. **Shaikh, N.A., Persson, L., Sundberg, A. och Wik, N-.G.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Jönköpings län. 1989.
51. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i Bäckvattenväxter. Översiktsbladen Göteborg och Borås. 1988.
52. **Gustafsson, O., Jonasson, S.A. och Andersson, C.** Grundvattenundersökningar på Kristianstadsslätten 1976–1987. 1988.
53. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. 1988.
54. **Shaikh, N.A., Karis, L., Kumpulainen, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G**. Kalksten och dolomit i Sverige. Del 1. Norra Sverige. 1989.
55. **Shaikh, N.A., Karis, L., Snäll, S., Sundberg, A., och N.-G. Wik.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 2. Mellersta Sverige. 1989.
56. **Shaikh, N.A., Bruun, Å., Karis, L., Kjellström, G., Sivhed, U., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 3. Södra Sverige. 1990.
57. **Modig, H., Miller, U. och Robertsson, A.-M.** Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
59. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 16–18., G–I. 1989.
60. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 14–16, G–H. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
61. **Kornfält, K.-A., Samuelsson, L., Sundberg, A., Wik, N-.G. och Wikman, H.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kronobergs län. 1990.
62. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–21, H–J. 1990.
63. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 8–10, A–D. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
64. **Cato, I.** Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. 1990.
65. **Bruun, Å., Kornfält, K.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G., Wikman, H. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kalmar län. 1991.
66. **Frietsch, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Register över svenska fyndigheter av malmmineral och industriella mineral och bergarter. 1991.
67. **Robertsson, A.-M.** Strandförskjutningar i Eskilstunatrakten för ca 9000 till 4000 år sedan. 1991.
68. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 5–7, I–K och 8–10, E–G. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1991.
69. **Selinus, O.** (ed.). 2nd International Symposium on Environmental Chemistry. (Abstracts). 1991.
70. **Andersson, M.** Från Falkenberg till Blomstermåla; nuläge och framtida effekter av syrabelastning. 1992.
71. **Hopsu, V.** Norbergs gruvor på 1960-, 70- och 80-talen. 1992.
72. **Gustafsson, O.** Radonhalten i grundvatten från granitområden i Malmöhus län. 1992.

73. **Andersson, M. och Nilsson, C.A.** Markgeokemiska kartan 3–7, F–H. 1992.
74. **Cato, I.** Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. 1992.
75. **Ekelund, L., Nilsson, C.-A. och Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 8–10, G–J och 11–12, H–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1993.
76. **Stephens, M.B. och Wahlgren, C.-H.** (Conveners). Workshop. Ductile shear zone in the Swedish segment of the Baltic Shield. Abstracts and excursion guide. Uppsala 1993.
77. **Sander, A.** Värderingsmodell för naturresurser. Tillämpning på ballasttillgångar.
78. **Nilsson, C.-A. och Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 11–12, E–H, 12–13, G–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1995.
79. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1994. 1995.
80. **Bruun, Å., Nilsson, C.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Östergötlands län. 1995.
81. **Andersson, M. och Nilsson, C.-A**. Markgeokemiska kartan 7–9 D–E, 7–9 E–H. 1995.
82. **Kornfält, K.-A., Andersson, M., Daniel, E. och Persson, M.** Kadmium i marken i sydöstra Skåne. 1996.
83. **Robertsson, A.-M., Erlström, M., Damell, D., Qvarfort, U. och Fredriksson, D.** Bakgrundsdata för metaller – surhet och landskapsutveckling från sedimentundersökningar. Sammanställning av data från Örebro. 1996.
84. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1995. 1996.
85. **Andersson, M. och Lax, K.** Markgeokemiska kartan 20–22, I–L. 1996.
86. **Selinus, O. (red.)**. Miljögeologi. Kartor för samhällsplanerare och miljövårdare. Exempel från Mittnordenområdet. 1996.
87. 14th Salt Water Intrusion Meeting. SWIM 96. 1996.
88. **Larsson, J.-O.** Diamanter – en blivande bristvara?. 1997.
89. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanställning av pågående undersökningar 1996. 1997.
90. **Holmberg, J. och Ressar, H.** Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i bäckvattenväxter. Norra Värmland och Sydvästra Dalarna. 1997.
91. **Andersson, U.B.** Petrogenesis of some Proterozoic granitoid suites and associated basic rocks in Sweden (geochemistry and isotope geology). 1997.
92. **Frietsch, R.** The Iron Ore Inventory Programme 1963–1972 in Norrbotten County. 1997.
93. **Rosén, B., Ek, B.-M., Ek, J. och Mattson, H.** Radon i bostäder. Markradonhaltens betydelse för riskklassificering. 1997.
94. **Andersson, M., Johansson, P. och Lax, K**. Markgeokemiska kartan i östra Norrbottens inland, västra Småland och södra Halland, samt markkemiska variabler. 1997.
95. **Cato, I.** Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. 1997.
96. **Lundqvist, I. och Wik, N.-G.** Industriella mineral och bergarter i Hallands län. 1998.
97. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanställning av pågående undersökningar 1997. 1998.
98. **Wahlgren, C.-H. (red.).** Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanställning av pågående undersökningar 1998. 1999.
99. **Aastrup, M. (red.).** Grundvattnets tillstånd i Sverige. Årsskrift från miljöövervakningen 1999.
100. **Wik, N.-G., Sundberg, A. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Södermanlands län. 1999.

* Utgången

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning
Box 670
751 28 UPPSALA
Tel. 018-17 90 00
Fax. 018-17 93 70

ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-614-8

Tryck: Elanders Gotab AB, Stockholm 1999