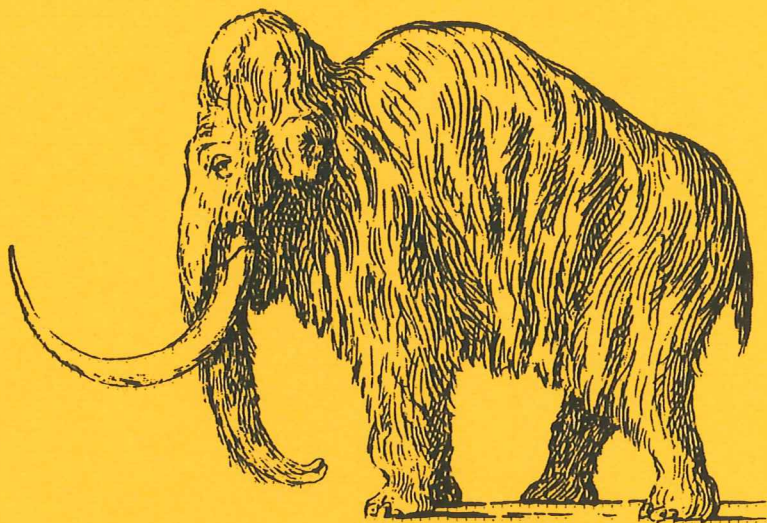


EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA

Kvartärgeologi



**Hydrogeologisk studie av grundvattnets kloridhalter
på östra Listerlandet, Blekinge**

Esbjörn Tagesson

Per

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

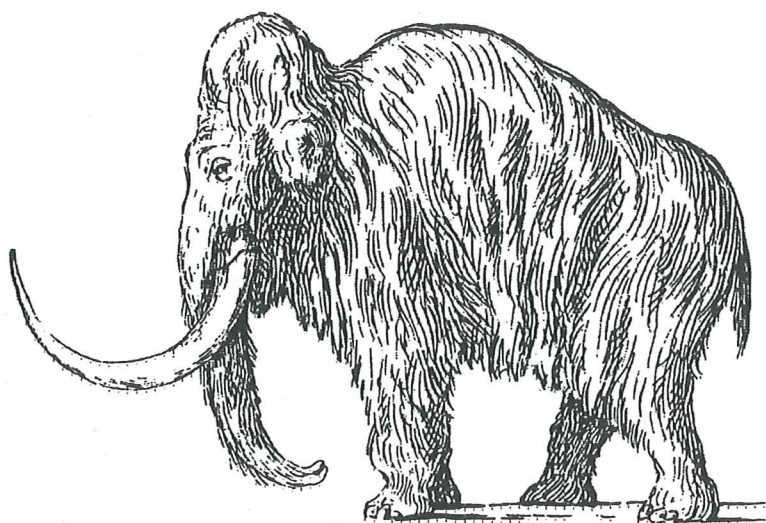
600955230

Examensarbete, 20 p
Bibliotekets Institutionen, Lunds Universitet

Nr 93

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Kvartärgeologi



Hydrogeologisk studie av grundvattnets kloridhalter på östra Listerlandet, Blekinge

Esbjörn Tagesson

Innehåll

	Abstract	1
1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Undersökningsområdet	2
1.3	Syfte	2
2.	Regionalgeologisk beskrivning	3
2.1	Översikt	3
2.2	Urberg	3
2.3	Sedimentär berggrund	4
2.4	Jordarter	4
3.	Hydrogeologisk beskrivning	6
3.1	Allmän beskrivning	6
3.2	Saltvattensproblematik	6
3.2.1	Allmänt	6
3.2.2	Saltvatteninträngning	7
3.2.3	Fossilt saltvatten	8
4.	Befintligt material	10
4.1	Vattenbalans	10
4.2	Grundvattenmagasin	10
4.3	Vattenuttagsbedömningar	11
5.	Utförda undersökningar	12
5.1	Strategi	12
5.2	Konduktivitetmätningar	13
5.2.1	Teori	13
5.2.2	Utförande	13
5.3	Resistivitetmätningar	13
5.3.1	Allmänt	13
5.3.2	Utförande	14
5.3.3	VES	15
5.3.4	CVES	15
6.	Resultat	16
6.1	Konduktivitetmätningar	16
6.2	Resistivitetmätningar	16
6.2.1	VES	16
6.2.2	CVES	16
7.	Tolkning	20
7.1	Konduktivitetmätningar	20
7.2	Resistivitetmätningar	20
7.2.1	VES vid Källeviken	20
7.2.2	VES vid Kladdeviken	22
7.2.3	CVES vid Kladdeviken	22
7.2.4	VES vid Lörby	22
7.2.5	CVES vid Lörby	23

8.	Diskussion	25
8.1	Slutsatser	25
8.2	Riskanalys	25
8.3	Förslag till vidare undersökningar	26
8.4	Utvärdering av metoder	26
9.	Sammanfattning	27
	Tack	28
	Referenser	29
	Bilaga 1: Passning mellan indata och möjlig geologisk modell i resistivitetsmodellering	
	Bilaga 2: Rådata från resistivitetsmodellering	

A hydrogeological study of chloride ion concentrations in groundwater on eastern Listerlandet, Blekinge

ESBJÖRN TAGESSON

Tagesson, E., 1998: A hydrogeological study of chloride ion concentrations in groundwater on eastern Listerlandet, Blekinge. Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet - Kvärtärgeologi, nr 93. 29 pp.

Esbjörn Tagesson, Department of Quaternary Geology, Lund University, Sölvegatan 13. S-223 62 Lund, Sweden

The municipality of Sölvesborg, western Blekinge, is somewhat concerned about their future water supply. Problems with salty groundwater have occurred, and two municipal groundwater wells has been closed because of too high chloride ion concentrations. High chloride ion concentrations gives the water a salty, unpleasant taste and has a corroding effect on metals. This investigation has been carried out in the eastern part of the peninsula Listerlandet, a part of the municipality that is supposed to have threats on their groundwater quality in form of fossil saltwater in sediments previously situated below sea level, and saltwater intrusion in the coastal areas.

Conductivity measurements have been done in groundwater wells to examine the concentrations as well as the variations in chloride ion concentrations. Resistivity investigations have been carried out in the purpose of localising fossil saltwater and the interface between salt and fresh water in the coastal areas. The conductivity measurements showed that the chloride ion concentrations were

well within the limits given by the Swedish National Food Administration. Resistivity investigations did not indicate any fossil saltwater in the examined area. The coastal investigations suggest the saltwater-freshwater interface to be situated 80-200 m from the coastline in the eastern part and approximately 250 m from the coastline in the north-eastern part of the investigated area. No saltwaterintrusion can be determined in the eastern part whereas the saltwater-freshwater interface in the north-eastern part indicates a landward motion of salty groundwater.

Under present conditions the examined area has, in means of chloride concentrations, a relatively good groundwater quality. Suggestions for further investigations aiming at a better understanding of the municipalities groundwater conditions are given. Those are a extended investigation of the chloride ion concentrations in the groundwater and annual resistivity investigations to control the positions of the saltwater-freshwater interfaces in the coastal areas.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vattenförsörjningen i Sölvesborgs kommun baserar sig idag till allra största delen på grundvatten. Vattenbehovet är stort och i dagsläget räknar man med att resurserna i flera områden utnyttjas till fullo. Det har därför under de senaste årtiondena gjorts ett antal hydrogeologiska utredningar, i syfte att försäkra sig om den framtida vattenförsörjningen.

I dessa utredningar har bl a framkommit att det i kommunen finns riskområden för saltvatteninträngning och områden där fossilt saltvatten kan förekomma i sedimenten (Jeppsson & Landberg 1995b). Man har observerat förhöjda salthalter i kommunala och privata grundvattentäkter och på Sölvesborgshalvön har de två vattenverken Majvivan och Stadshotellet tvingats stänga p g a för höga salthalter. På Listerlandet har situationen ännu inte gått så långt, men eftersom ett mycket stort grundvattenuttag sker, bör man vara mycket observant på områdets grundvattenkvalitet.

1.2 Undersökningsområdet

I området öster om Mjällby (fig. 1) sker, p g a Mjällby industriens, kommunens och lantbrukets vattenbehov, ett mycket stort grundvattenuttag. Områdets närhet till havet och Lörby mosse, med förmodat fossilt saltvatten, gör att områdets grundvattentillgångar torde vara speciellt utsatta för ökande salthalter vid ett fortsatt högt grundvattenuttag.

Genom svallningsprocesser under successiva havsnivåförändringar har det bildats ytligt liggande, mycket sandiga jordarter med hög permeabilitet. Detta medför att bevattningsbehovet, i synnerhet under torra somrar, är mycket stort. Vidare torde området vara extra känsligt för saltvatteninträngning då kuststräckan, till skillnad från tex södra Listerlandet, inte har något lågpermeabelt urberg som blockerar havsvattnets väg in i bergakvifären.

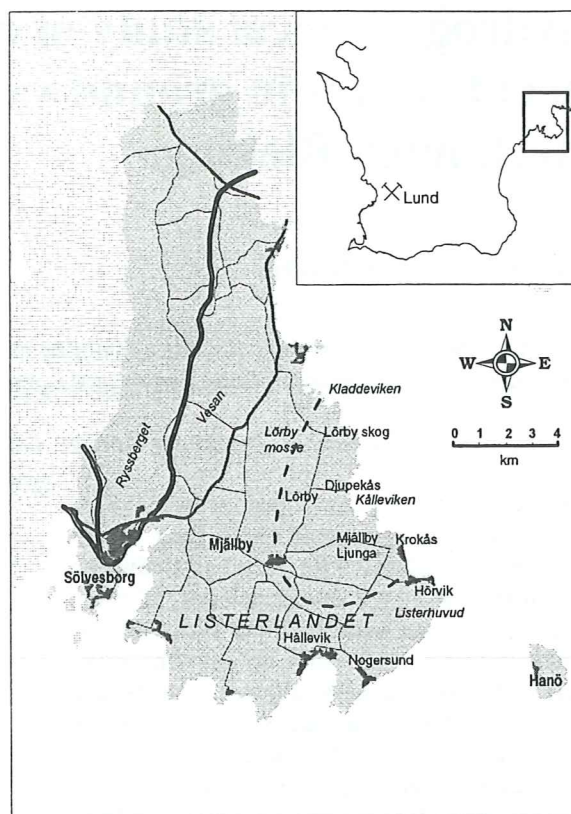


Fig. 1. Karta över Sölvesborgs kommun med undersökningsområdet öster om streckad linje.

1.3 Syfte

Syftet med detta arbete är att inom undersökningsområdet:

- kartlägga grundvattnets variationer i kloridhalt.
- undersöka utbredning av en eventuell saltvatteninträngning.
- undersöka förekomsten av fossilt saltvatten.
- med hjälp av ovanstående information göra en riskanalys och ge förslag till vidare undersökningar av områdets grundvattentillgångar.

Dessutom har använda undersökningsmetoder utvärderats med avseende på användbarhet vid denna typ av undersökningar.

2. Regionalgeologisk beskrivning

2.1 Översikt

Listerlandet tillhör geologiskt sett Kristianstads-slätten med ett urbergsbäcken fyllt av yngre sedimentära bergarter (fig. 2). Urberget i botten, bestående av Karlshamnsgranit och metavulkaniter, har en starkt undulerande överyta vilket syns genom de uppstickande urbergsöarna. I urbergs-sänkorna finns vittringsleror såsom kaolinlera och därpå sedimentär sandsten, kalksten och övergångsformer mellan dem. Ovanpå de sedimentära bergarterna avsattes de kvartära avlagringarna såsom morän, isälvsavlagringar och glacial lera. De ytliga sedimenten är svallade av de successiva havsnivåförändringarna efter den sista nedisningen (Kornfält & Bergström 1990).

2.2 Urberg

Tvärs över Listerlandet går bergartsgränsen mellan Karlshamnsgraniten i söder och metavulkaniten i norr (fig. 3). Gränsen kan följas från Ryssbergets sydligaste kant och vidare under Mjällby och österut (Kornfält & Bergström 1990), och går således genom undersökningsområdet.

Urberghöjderna i söder består av Karlshamnsgranit. Karlshamnsgraniten är en rödaktig, medelgrovkornig, porfyrisk granit. De dominerande

mineralen är kvarts, plagioklas, kalifältspat och ibland hornblände. Grundmassan är vanligtvis grå med röda, 1-2 cm stora kalifältspatögon. I Listerlandets sydliga urberghöjder finns inneslutningar av finkornig gnejs som ibland är mer eller mindre upplöst i graniten och därtill deformerad. Karlshamnsgranitens ålder är ca 1400 miljoner år (Kornfält & Bergström 1990).

Metavulkaniterna återfinns i hela Ryssbergets sträckning samt som ett antal urbergsöar i den sedimentära berggrunden. Dessa metavulkaniter ingår i den s k Västanåformationen och har i allmänhet en ryolitisk sammansättning. Bergarten är mycket finkornig och färgen är mörkgrå på färskta ytor och mycket ljusgrå på vittrade ytor. Metavulkaniterna utgörs av vulkaniska avlagringar och bildades för något mer än 1700 miljoner år sedan. Österut övergår de gradvis i Blekinge kustgnejs (Kornfält & Bergström 1990).

Vid kritatidens början hade urberget under lång tid varit utsatt för genomgripande vittring. Klimatet var varmt och fuktigt, varvid bl a kaolinlera bildades genom fältspatvittring. Vittringen var aktiv i ytan samt följde svaghetszoner i berggrunden. En del av dessa vittringsprodukter finns kvar *in situ* i form av residualkaolin. Residualkaolinet återfinns i sprickor och andra kaviteter i urberget (Kornfält & Bergström 1990).

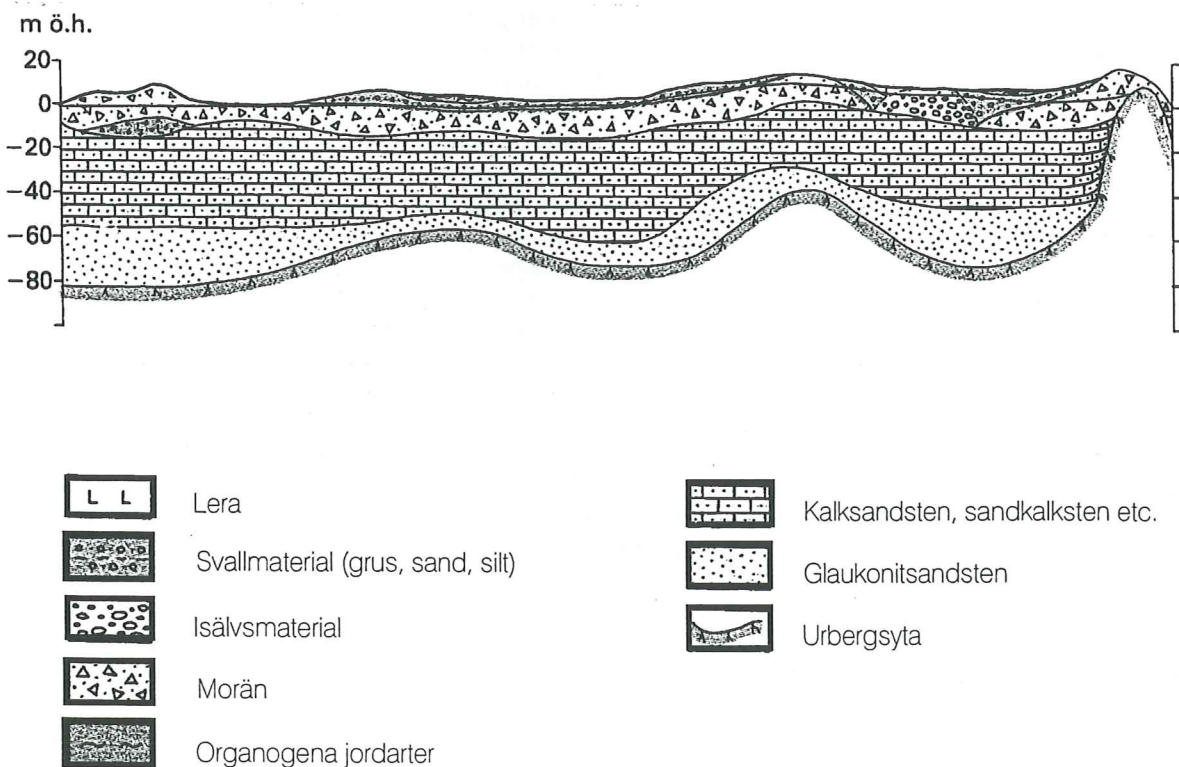
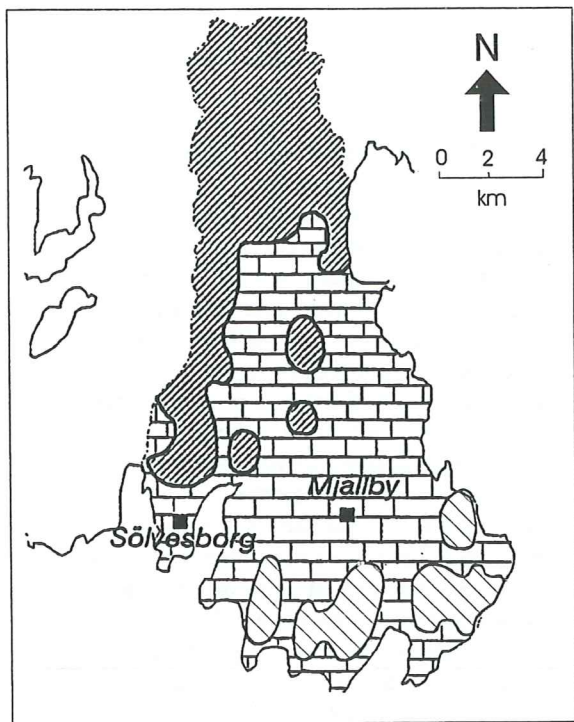


Fig. 2. Schematisk profil över Listerlandets geologiska lagerföljd (från Engquist et al. 1983).



Metavulkanit Karlshamnsgranit

Krita ospecificerad

Fig. 3. Översiktlig berggrundskarta över Sölvesborgs kommun (efter Kornfält & Bergström 1990).

2.3 Sedimentär berggrund

Under kritatidens transgressions/regressionscykler omlagrades delar av urbergets vittringsprodukter. Leran tvättades ur och omlagrades som sedimentär lera, medan de grövre fraktionerna bildade sandstenar och övergångsformer mot överlagrande kalkstenar. Underst i den sedimentära stratigrafien finner vi följaktligen fläckvis sedimentära leror. Vittringslerans mäktighet är vanligtvis 5-10 m och den förekommer oftast i urbergssänkornas lägsta partier. Ovanpå vittringslerorna finner man en ofta okonsoliderad sandsten med inslag av det gröna mineralet glaukonit, därför ofta benämnd glaukonitsandsten (fig. 2). Sandstenen har oftast en uppåt ökande kornstorlek och dess mäktighet är vanligtvis 20-30 m. Vidare uppåt påträffas kalkstenar uppbyggda av fragment från t ex musslor, bläckfiskskal, sjöborrar, brachiopoder och kalkalger. Kalkhalten varierar mellan ca 10 % upp till ca 90 % och benämns därefter från kalkig kvartssandsten till kvartshaltig kalksten. Högre kalkhalt indikerar högre konsolideringsgrad och lägre permeabilitet. Kalkstenen på Listerlandet

klassificeras mestadels som ospecificerad krita på berggrundskartan, fig. 3 (Kornfält & Bergström 1990).

2.4 Jordarter

Listerlandet blev isfritt under en tidsperiod om ca 200 år med början ca 12 900 år BP (Björck & Möller 1987). Avsmältningen skedde i N-S riktning, vilket i stort är den samma som isrörelseriktningen (Persson 1995). Isrörelseriktningen markeras också tydligt av det flertal drumlinerna som förekommer på Listerlandet. Drumlinerna är av bergkärnetyp med exponerad, proximalt liggande bergkärna omgiven av stötsidesavlagrad morän och strömlinjeformad drumlinsvans, utdragen i isrörelseriktningen (Åmark 1984). Inom undersökningsområdet finner man morän med en mäktighet på 10-20 m som relativt heltäckande överlagrar kalkstenen (fig. 2). Ytligt är moränen till största del blockfattig och, som en effekt av svallningsprocesser, sandig moig. På större djup indikerar borrhningar en högre lerhalt i moränen (Persson 1995). Tunna grovsediment har områdesvis påträffats mellan kalkstenen och moränen (Gustavsson et al. 1979).

Vid isavsmältningen låg stora delar av Listerlandet under vatten, dvs under Baltiska issjön. Vid smältvattentunnlarnas mynnningar avsattes rullstensåsar och samtidigt, på något större avstånd från glaciärfronten, glacial lera. Högsta kustlinjen, vilken i området således är utbildad av Baltiska issjön, ligger i områdets norra delar på 57 m ö h och i söder på 53 m ö h, på grund av den olikformade landhöjningen. Högsta kustlinjen finns ofta välutbildad på urbergshöjderna på södra Listerlandet i form av högsta belägna förekomsten av strandhak och strandvallar. Under Baltiska issjöns successiva regression utbildades i exponerade lägen, t ex längs Listerhuvuds östsida, storartade strandvallskomplex (Hellberg 1971). Vid Baltiska issjöns tappning, ca 10.300 år BP, sänktes vattennivån från ca 25 m ö h ner till Yoldiahavets nivå, minst 20-30 m under nuvarande kustlinje, och sötvatten ersattes med bräckvatten. Den efterföljande Ancylussjöns sötvattenstadie höjde åter vattenytan till 5 m ö h, men den sjönk gradvis till någon meter under nuvarande kustlinje. Med det därpå följande Littorinahavet (ca 7000-3000 år BP) höjdes kustlinjen till 9 m ö h och låglandet täcktes av saltvatten med högre salthalt än dagens. Under Littorinahavets successiva havsnivåsenkning svalades de vågexponerade, lågliggande delarna av Listerlandet och de därav resulterande svallsedimenten har stor utbredning, fig. 4 (Persson 1995).

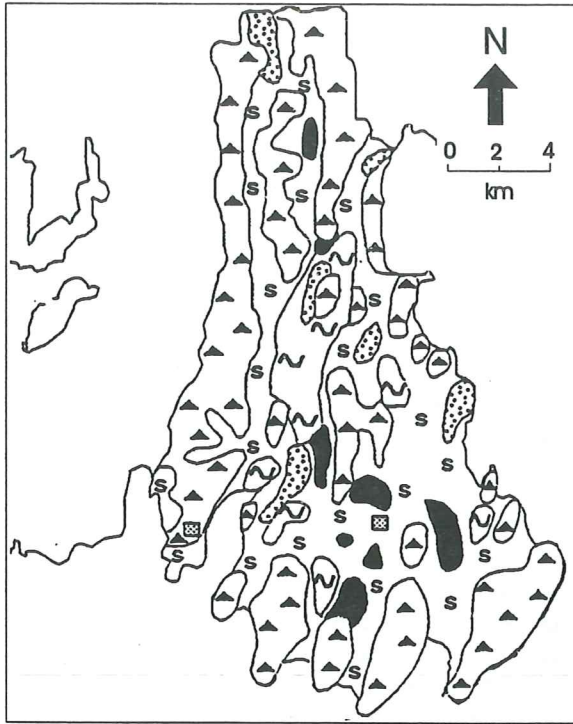


Fig. 4. Översiktlig jordartskarta över Sölvesborgs kommun (efter Persson 1995).

3. Hydrogeologisk beskrivning

3.1 Allmän beskrivning

Listerlandets geologiska uppbyggnad innebär att man kan urskilja ett flertal akvifärer. Den vanligtvis okonsoliderade glaukonitsandstenen (fig. 5), utgör bergakvifären. Glaukonitsandstenen har ofta en uppåt tilltagande kornstorlek, och är därför lämpligast för vattenuttag i sina övre delar. Den har ofta hög porositet och stor horisontell utbredning, vilket ger hög permeabilitet och god lateral kommunikation, varför bergakvifären är idealisk för vattenuttag. I den överliggande kalkstenen, som är mer konsoliderad och har lägre porositet, sker vattenföringen mestadels genom sprickor och den hydrauliska konduktiviteten är därmed relativt lägre än i sandstenen. Kalkstenen kan därför karakteriseras som en akvitard, vari ett visst vertikalt läckage sker avhängigt rådande tryckförhållanden. Eftersom kalksten och jordlager överlagrar glaukonitsandstenen är bergakvifären sluten. Områdesvis påträffas grovsediment mellan kalkstenen och moränen. Dessa har hydraulisk kontakt med kalkstenen och bergakvifären (Gustavsson et al. 1979).

Jordlagerna på Listerlandet bildar ett flertal akvifärer. Moränen har i allmänhet dålig vattenföring medan svallsedimenten och förekommande isälvsavlagringar har relativt god vattenföring. Svallsedimenten utgör en öppen akvifär vilket isälvsavlagringen mellan Lörbyskog och Djupekås (Lörbyåsen) också gör (Gustavsson et al. 1979). De jordlagerbrunnar som finns i undersöknings-

området är därför vanligtvis placerade i svallsedimenten, alternativt i Lörbyåsen. Akvifärerna i jordlagren benämns här gemensamt som jordakvifären, fig. 5.

Det underliggande urberget är ur vattensynpunkt ointressant, dels för att man har god grundvattentillgång i överliggande lager och dels för att de övre spricksystemen oftast är igensatta med vittningsleror (Gustavsson et al. 1979).

Tryckytan för bergakvifären ligger ca 2-4 m under markytan (fig. 5), något fluktuerande under året. Jordakvifärens grundvattenyta ligger vanligtvis 1-2 m högre (fig. 5) och därigenom sker det ett vertikalt nedåtriktat läckage. Storleken på läckaget är avhängigt jordlagernas och kalkstens art och permeabilitet. I undersökningsområdet antas ett betydande vertikalt läckage ske vid Lörbyåsen. Vid urbergshöjderna i syd och Ryssberget i norr sker en viss nybildning av grundvatten i kontakten mellan urberg och kalksten, fig. 3 (Jeppsson & Landberg 1995b).

3.2 Saltvattensproblematik

3.2.1 Allmänt

Statens Livsmedelsverk har satt ett tekniskt och estetiskt grundat gränsvärde för kloridjonskoncentrationen på 300 mg/l. Över denna gräns finns risk för smakförändringar och vattnet anses som

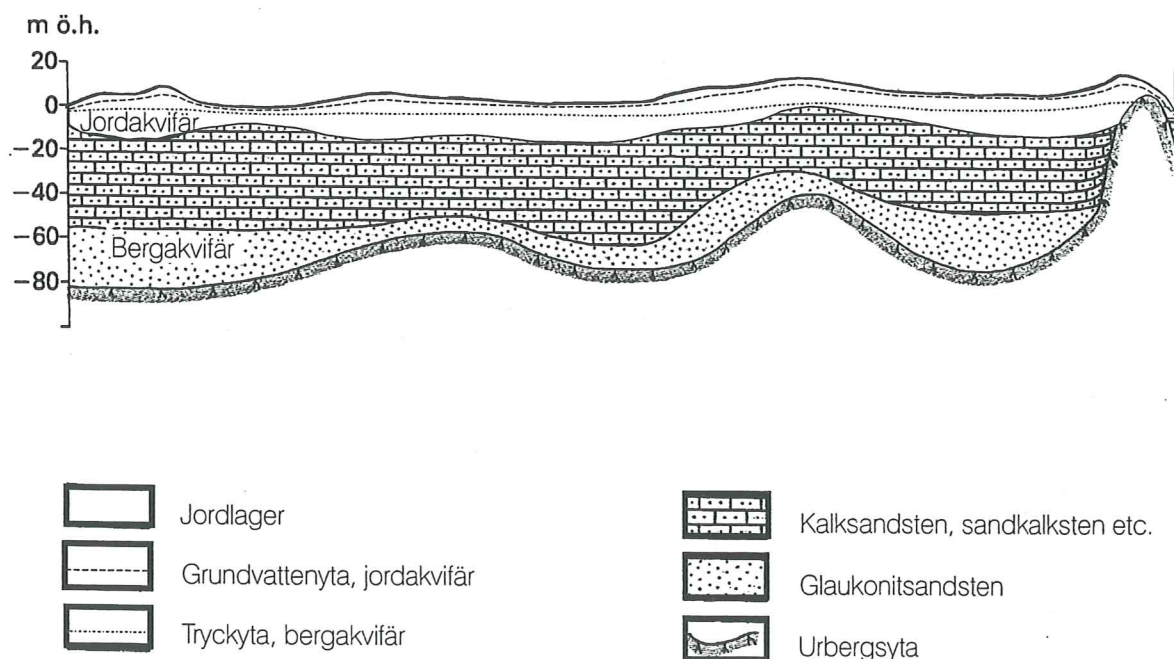


Fig. 5. Schematisk profil över Listerlandets hydrogeologiska indelning (modifierad efter Engquist et al. 1983).

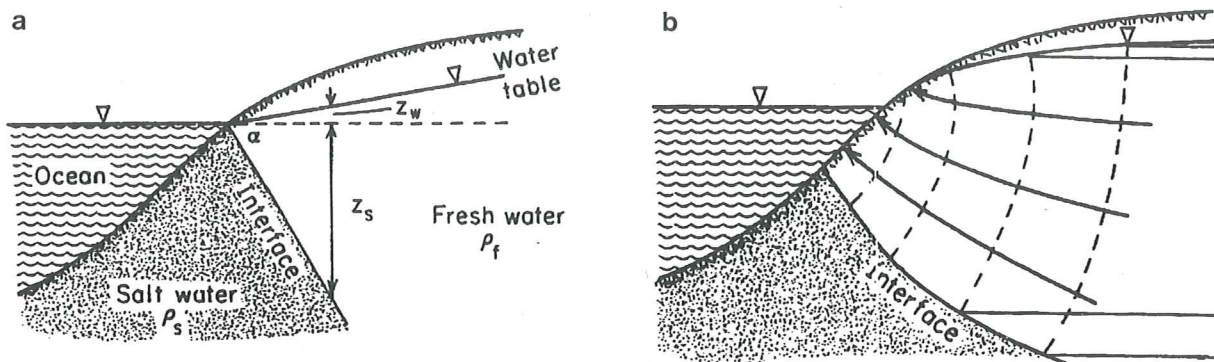


Fig. 6. Saltsprångskiktens utformning under (a) hydrostatiska grundvattenförhållanden och (b) dynamiska grundvattenförhållanden med kustriktat grundvattenflöde (från Freeze & Cherry 1982).

med tvekan tjänligt. Vid 100 mg/l klassificeras vattnet som tekniskt anmärkningsvärt. Höga kloridhalter medför ökad korrosion på ledningar m m och ger salt smak i kombination med natriumjoner (Statens Livsmedelsverk 1993). En kloridhalt överstigande 50 mg/l bör uppmärksammas. En dylik förhöjd kloridhalt kan indikera att halterna kommer att öka vid fortsatta, och i synnerhet vid ökande, uttag (Knutsson & Morfeldt 1993).

Förhöjda kloridhalter i grundvatten kan ha olika ursprung. Nederbörden har naturligt en kloridhalt på 0.5-10 mg/l, beroende på dess avstånd till havet. Föroreningar från deponier och liknande kan medföra förhöjda kloridhalter. En annan källa som lokalt kan påverka grundvattnets kloridhalt är halkbekämpning av vägar med vägsalt, NaCl och KCl. Dessa faktorer är oftast lokala och kan relativt lätt åtgärdas. Den vanligaste, mest svåråtgärdade och oförutsägbara orsaken till förhöjda kloridhalter är att grundvattnet har påverkats av salt havsvatten, recent eller fossilt (Lindewald 1985).

Medianvärdet för kloridhalter i alla Sveriges kloridhaltsanalyserade brunnar belägna i sedimentberggrund är 28.0 mg/l. I Skåne är motsvarande värde 32.5 mg/l (Engquist et al. 1985).

3.2.2 Saltvatteninträngning

I en kustzon kan två separata grundvattenenheter urskiljas. Under havet består grundvattnet av saltvatten, och under land är grundvattnet sött. På grund av densitetskillnader är gränsen ej vertikal utan har en inåt land sluttande gradient. Gränsen mellan sött grundvatten (W_f) och salt grundvatten (W_s), benämnd saltsprångskiktet, kan antingen vara skarp eller diffus beroende på grundvattenströmningen (Fetter 1994).

Förutsatt att hydrostatiska förhållanden gäller, skall trycket av en sötvattenpelare från grundvattenytan (Z_w+Z_s) vara ekvivalent med trycket av en saltvattenpelare från havsytan till samma djup (Z_s), vilket ger djupet till saltsprångskiktet (Z_w+Z_s), jämför fig. 6a. Denna princip beskrivs i

Ghyben-Herzbergs ekvation som gäller i en öppen, homogen kustakvifär med hydrostatiska förhållanden (Fetter 1994):

$$Z_s = Z_w \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \quad (\text{ekv. 1})$$

där Z_s =avstånd havsyta-saltsprångskikt (m), Z_w =avstånd havsyta-grundvattenyta (m), ρ_f =densitet för sötvatten (1.0003 kg/dm^3 (Sjöberg 1992)), ρ_s =densitet för saltvatten (1.0057 kg/dm^3 (Sjöberg 1992)).

De ovan beskrivna förhållandena gäller inte på Listerlandet. Bergakvifären är sluten och situationen är ej heller hydrostatisk, utan ett visst kustriktat grundvattenflöde antas ske. Vid denna situation kan man istället anta ett mot kusten förskjutet, diffust saltsprångskikt, mer likt situationen i fig. 6b. Akvifären antas vara homogen. Ghyben-Herzbergs modell får i detta fall därför ses som ett teoretiskt antagande som kan ge en uppfattning om grundvattensituationen.

Om de naturliga grundvattenförhållandena förändras, av naturliga eller antropogena skäl, är inte längre relationen mellan salt och sött grundvatten i balans. Detta kan leda till passiv eller aktiv saltvatteninträngning. En passiv saltvatteninträngning orsakas av att grundvattenytan sänks, men inte lägre än havsytans nivå. Saltsprångskiktet kommer då sakta att anpassas efter de nya förhållandena, en process som kan ta upp till hundratals år. Betydligt allvarigare är den aktiva saltvatteninträngningen, vilken utlöses av att grundvattenytan sänks under havsnivån. I detta fallet uppstår en situation där grundvattengradienten vänds inåt land och saltvatten kommer att flöda mot grundvattenytans lägsta punkt, fig. 7 (Fetter 1994).

Saltsprångskiktets teoretiska positioner har med hjälp av Ghyben-Herzbergs ekvation beräknats för Källeviken och Kladdeviken, fig. 8a och b. Dessa har baserats på grundvattennivåer i bergakvifären från SGU:s hydrogeologiska karta (Engquist et al. 1983). Saltsprångskiktmodellerna är beräknade för samma profil som följts vid resistivitetmätningarna, fig. 11.

3.2.3 Fossilt saltvatten

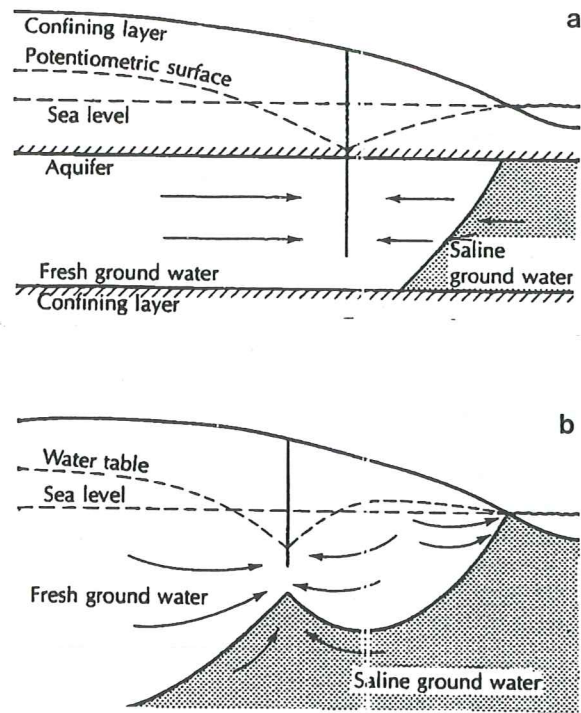


Fig. 7. Aktiv saltvatteninträngning i (a) slutna akvifär och (b) öppna akvifär (från Fetter 1994).

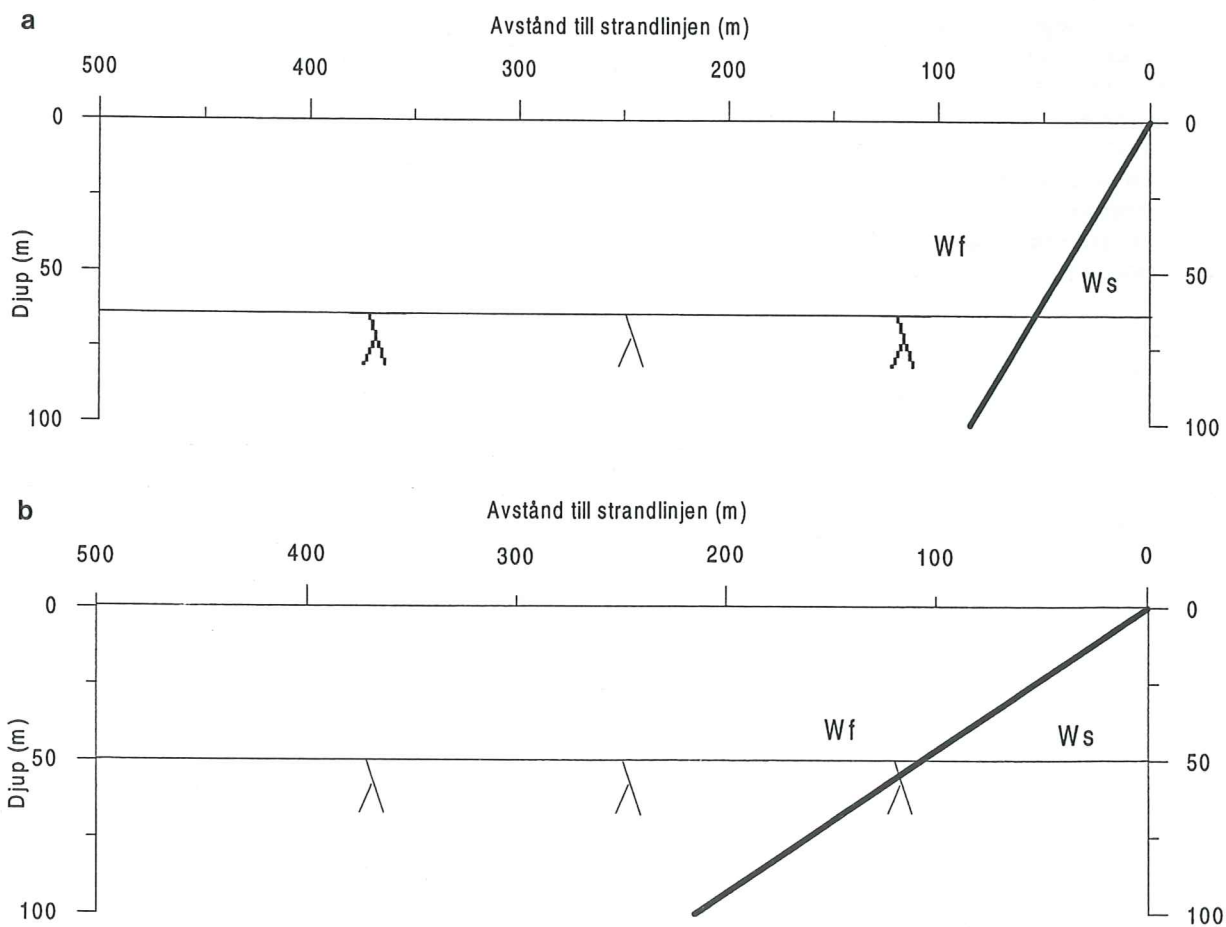


Fig. 8. Teoretisk position för saltsprångskiktet i (a) Källeviken och (b) Kladdeviken enligt Ghyben-Herzbergs modell.

stadie, och då regressionen var successiv har låg-
liggande land varit havstäckt även i senare tid
(Persson 1995).

4500 år BP var hela Vesansänkan inklusive Lör-
by mosse och området SV Mjällby havstäckt, me-
dan södra delarna av Listerlandet var friliggande
från fastlandet, jämför fig. 1. På grund av landhöj-
ning ökade landarealen, men fortfarande in på
1900-talet var Vesansänkan en sjö i höjd med havs-
nivån. 1926 invallades sänkan för att utöka åker-
marken. Fortfarande ligger delar av Vesansänkan

under havsnivå, som lägst 1.8 m under havet, och
pumpningarna fortgår idag för att hålla sänkan
vattenfri (Jönsson 1976).

Härav följer att dessa områden varit exponerade
för havsvatten relativt nyligen och dess sediment
kan därför innehålla fossilt saltvatten. Ett exempel
finns i Vesansänkan, där en brunn i jordlager ger
saltvatten under artesiskt tryck (opublicerad data,
Brunnsarkivet, SGU Lund). Fossilt saltvatten skul-
le därför också kunna förekomma i Lörby mosse,
vilket skulle kunna ge upphov till förhöjda klorid-
halter inom undersökningsområdet.

4. Befintligt material

4.1 Vattenbalans

Jeppsson & Landberg (1995) och Perers & Rytta (1978) har utfört vattenbalansberäkningar för Listerlandet. Från dessa har följande värden tagits. I Sölvesborgsområdet antas en genomsnittlig nettonebörd på ca 180 mm/år. På Listerlandet inklusive södra Ryssberget, med ca 128 km² yta, innebär detta att ca 23 miljoner m³/år är tillgängligt för ytavrinning och grundvattenbildning till jordlagerna. Av detta antas ca 7.7 miljoner m³/år gå vidare till berggrunden genom läckage. Dock antas inte hela grundvattenbildningen vara utnyttjningsbar, då hänsyn måste tagas till t ex magasinets hydrauliska egenskaper, påverkan på ytvatten, och risk för saltvatteninträngning. Man har kommit fram till att högsta möjliga grundvattenuttaget ur bergakvifären är 5 miljoner m³/år. Medeluttaget/år på Listerlandet inklusive södra Ryssberget är 3.5 miljoner m³ under normalår respektive 5.0 miljoner m³ under torrår, vilket motsvarar en utnyttjandegrad på 68 % resp 100 %. Grundvattenuttagen är inte jämt fördelade på Listerlandet, utan i princip koncentrerade till området Mjällby-Lörby-Mjällby Ljunga samt Hörvik, Nogersund och Häl-

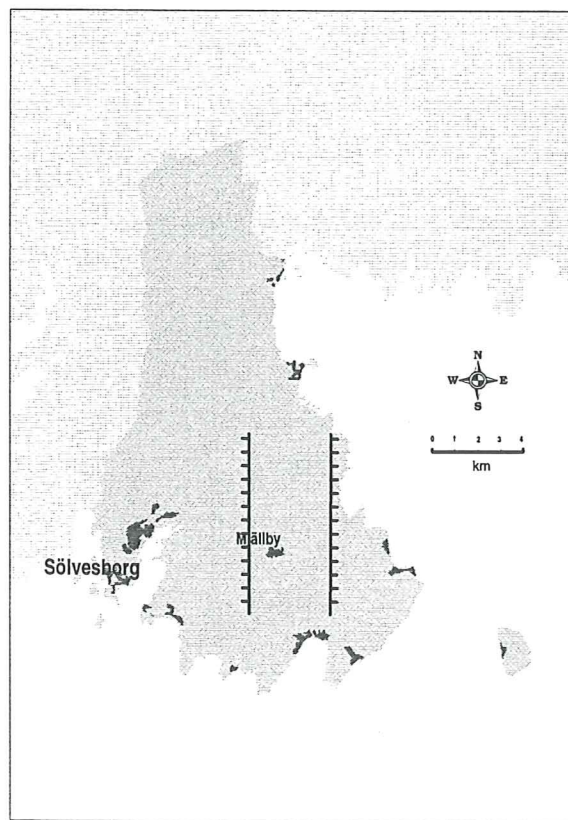
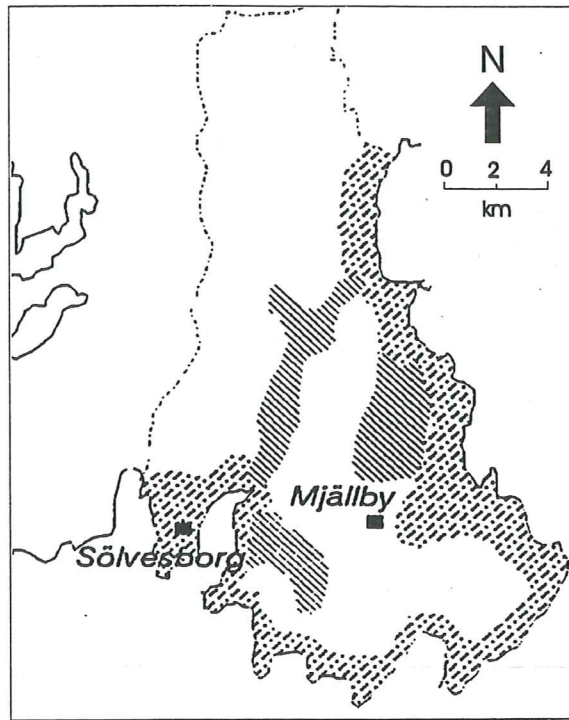


Fig. 9. Mjällbymagasinet, med semipermeabla hydrauliska gränser i öster och väster markerade (efter Jeppsson & Landberg 1995a).



Hög risk för saltvatteninträngning



Grundvatten med kloridhalt över 100 mg/l vanligt förekommande

Fig. 10. Uppskattade riskområden för saltvatteninträngning och områden där en kloridhalt på 100 mg/l i berggrundvattnet torde vara vanligt förekommande (efter Jeppsson & Landberg 1995b).

levik. Detta innebär att utnyttjandegraden inom dessa områden kan överstiga 100 %, medan den på andra ställen ligger långt under 100 %.

4.2 Grundvattenmagasin

I bergakvifären inom undersökningsområdet kan en hydraulisk enhet urskiljas. Denna enhet bildar ett grundvattenmagasin benämnt Mjällbymagasinet. Vid en provpumpning utförd 1977 vid Mjällby stärkelsefabrik analyserades magasinets utbredning och det antas ha en N-S utbredning (fig. 9). I söder avgränsas magasinet av uppstickande urberg, som utgör en negativ hydraulisk gräns och i viss mån av havet, som utgör en positiv hydraulisk gräns. I norr avgränsas det dels av en stigande urbergsyta, vilken kan liknas vid en semipermeabel hydraulisk gräns, och dels av havet, som innebär en positiv hydraulisk gräns. I öster och väster minskar akvifärens mäktighet och konsolideringsgraden ökar, varför magasinet antas avgränsas i Ö

och V av semipermeabla hydrauliska gränser. Mjällbymagasinet totala utbredning antas vara ca 30 km² (Jeppsson & Landberg 1995a).

4.3 Vattenuttagsbedömningar

I samband med en översikt av kommunens grundvattentillgångar (Jeppsson & Landberg 1995b) gjordes ett förslag till framtida användande av Listerlandets grundvattentillgångar. Denna bygger på en prognos av vattenbehovet i ett perspektiv fram till år 2013 samt på dagens utnyttjande av grundvattnet. Av Listerlandets inklusive södra Ryssbergets årliga utnyttjningsbara grundvattentillgångar, 5 miljoner m³, räknar man med att 2.84 miljoner m³ kommer att gå till kommunen, industrin och lantbruket (exklusive bevattning). Överskottet, 2.16 miljoner m³, kommer därför att vara tillgängligt för bevattningsändamål. I dagsläget används

under torrår ca 2.5 miljoner m³ till bevattning, vilket i relation till det antagna övriga behovet (2.84 miljoner m³) medför ett överuttag på 0.34 miljoner m³. Bevattningsuttagen måste därför minskas med 0.34 miljoner m³ för att försäkra den framtida kommunala grundvattenförsörjningen. I samma förslag klassificeras området Djupekås-Krokås-Mjällby Ljunga som ett område där grundvattenuttaget bör minskas, framförallt eftersom grundvattenbildningen här utnyttjas i hög grad och att en stor risk för saltvatteninträngning anses föreliggande. I området väster om Mjällby Ljunga in mot Mjällby och upp till Lörby anses bevattningsuttagen vara för höga och bör därför minskas då risk för överuttag och saltvatteninträngning föreligger. Norr om Djupekås anses ökade grundvattenuttag för hushållsändamål kunna ske, men man bör då vara mycket observant på risken för saltvatteninträngning (Jeppsson & Landberg 1995b).

5. Utförda undersökningar

5.1 Strategi

I första hand har befintligt material såsom vattenverkens vattenanalyser, SGU:s hydrogeologiska kartor, berggrundskartor, jordartskartor och tidigare hydrogeologiska utredningar studerats. Då detta materialet inte givit tillräckligt underlag för att uppnå syftet med denna undersökning har vidare fältundersökningar utförts.

För att klargöra bergakvifärens koncentrationer och variationer i kloridhalt konduktivitet mäts brunnar inom undersökningsområdet. Kartläggningen av konduktiviteten omfattar 44 bevattnings- och hushållsbrunnar som tar vatten från sedimentberggrunden (fig. 11). Genom bearbetning av dessa resultat bestämdes lämpliga platser för utförande av resistivitetmätningar.

VES-mätningar, Vertical Electrical Sounding, har utförts vid Källeviken: VES A (20 m från havet), VES B (80 m från havet), VES C (200 m från

havet), och VES D (380 m från havet). I Kladdeviken gjordes två resistivitetssonderingar, VES E (80 m från havet), VES F (215 m från havet). Målet var att hitta ett saltsprångskikt och påvisa en eventuell utökad utbredning av salt grundvatten inåt land. Vidare gjordes VES-mätningar (VES G och VES H) väster om Lörby, i riktning Lörbymosse, i syfte att påvisa en eventuell förekomst av fossilt saltvatten i sedimenten (fig. 11).

CVES-mätningar, Continuous Vertical Electrical Sounding, utfördes i Kladdeviken (CVES I) för att få en mer detaljerad bild av saltsprångskiktssituationen. En mätning gjordes också vid Lörby (CVES II) för att få vidare klarhet i den eventuella förekomsten av fossilt saltvatten i sedimenten (fig. 11).

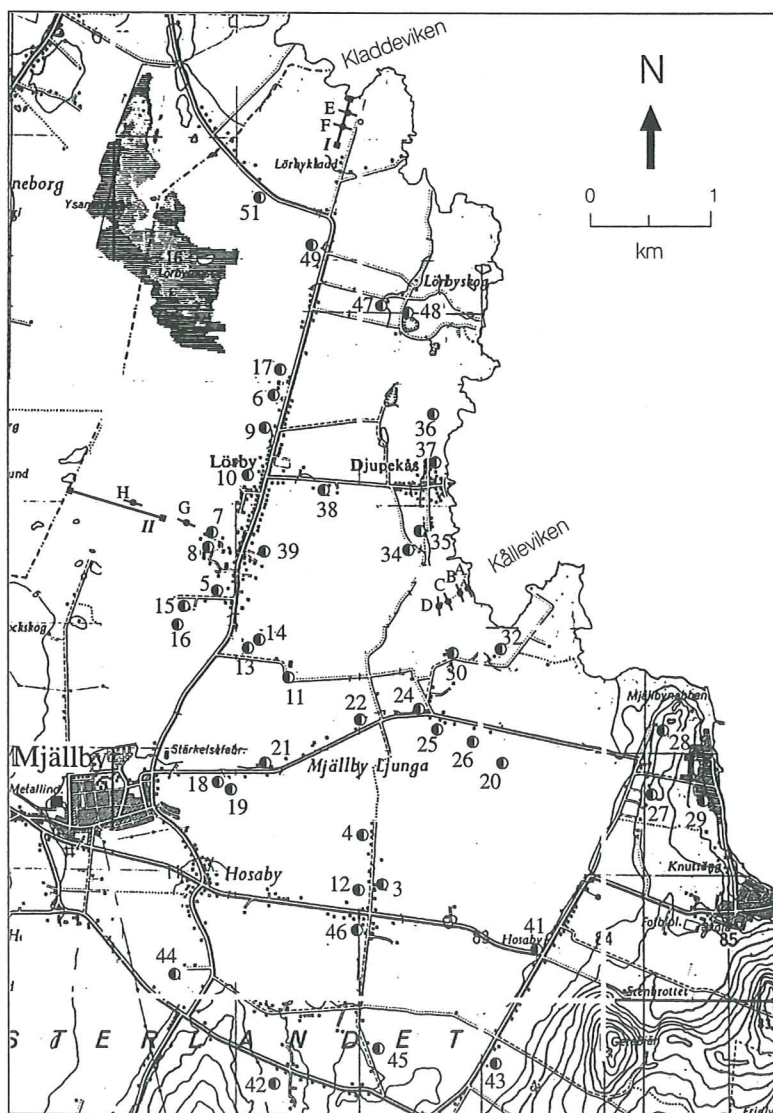


Fig. 11. Konduktivitets-, VES- och CVES mätningarnas position med brunnnummer och benämningar för resistivitetmätningarna.

5.2 Konduktivitetsmätningar

5.2.1 Teori

Konduktiviteten, eller specifika elektriska ledningsförmågan, är ett mått på ett materials förmåga att leda ström och anges vanligtvis i enheten mS/m, milliSiemens/meter. I en lösning är konduktiviteten en funktion av koncentration, jontyp och temperatur. Generellt gäller sambandet att högre koncentration ger högre konduktivitet, förutsatt att jontypen är densamma. Högre temperatur medför likaledes ökad konduktivitet. Vidare bör nämnas att konduktivitet är omvänt ekvivalent med resistivitet, $1/\rho$ (Davis & de Wiest 1966).

De vanligaste anjonerna i vatten är HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} och Cl^- . De inbördes förhållandena mellan dem ligger till grund för hydrogeokemisk klassificering av olika vattentyper. Generellt har ett vatten av HCO_3^- , CO_3^{2-} och SO_4^{2-} -typ låg konduktivitet medan Cl^- -joner ökar konduktiviteten drastiskt (Davis & de Wiest 1966). Om koncentrationen på alla joner utom klorid är känd i en lösning kan kloridhalt räknas ut från konduktiviteten. Detta var dock inte fallet vid denna undersökning. Enligt Davis & De Wiest (1966) kan konduktivitet och kloridhalt ungefärligt relateras till varandra genom:

$$C = 0.7 K \quad (\text{ekv. 2})$$

där C = kloridjonskoncentration (mg/l), K = konduktivitet (mS/m).

Detta gäller för ett vatten av genomsnittlig sammansättning. För att få ett mer specifikt förhållande för Listerlandets vattentyp har en empirisk formel, ekv. 3, tagits fram. Denna bygger på konduktivitets-kloridjons förhållandet i trettio fullständiga vattenanalyser från de inom undersökningsområdet liggande Mjällby- och Djupåskås vattenverk:

$$C = 0.67 K \quad (\text{ekv. 3})$$

där C = kloridjonskoncentration (mg/l), K = konduktivitet (mS/m).

5.2.2 Utförande

Vattenprov togs i alla tillgängliga brunnar, varvid konduktiviteten mättes på plats med en konduktivitetmätare. I bevattningsbrunnar som inte varit i bruk sedan bevattningssäsongen fick vattnet först flöda i ca 5 minuter för att erhålla friskt vatten. Därefter samlades vatten upp i en behållare, mätinstrumentet doppades ner i vattnet och konduktiviteten mättes.

Vanligtvis mäts konduktivitet vid 25°C, men detta har inte varit möjligt vid provtagningen av bevattningsbrunnarna. Temperaturen vid provtag-

ningstillfällena varierar mellan 6.6°C och 23.4°C. Då konduktivitetmätaren är temperaturkompen- serande räknas konduktiviteten automatiskt om till motsvarande värde vid 25°C.

Genom ekv. 3 har kloridhalter (mg/l) räknats ut från konduktiviteten (mS/m).

5.3 Resistivitetsmätningar

5.3.1 Allmänt

Resistivitet är ett mått på ett materials "motvilja" att leda elektrisk ström och definieras som resistansen mellan motsatta sidor av en enhetskub av materialet (Kearey & Brooks 1991). I en cylinder med resistansen δR , längden δL och tvärsnittsarean δA blir resistiviteten således:

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad (\text{ekv. 4})$$

Den erhållna måttenheten på resistiviteten blir ohmmeter (Ωm). Resistivitet är omvänt ekvivalent med konduktiviteten ($1/K$).

Resistivitetsmätning, s k geoelektrik, används ofta i geologiska och hydrogeologiska undersökningar för att utreda markens uppbyggnad. Metoden utnyttjar att olika geologiska material har olika resistivitet, och genom att kartlägga hur resistiviteten varierar med djupet kan man bestämma lagerföljden. Metoden lämpar sig bäst i områden med horisontella lagerföljder (Kearey & Brooks 1991).

Resistiviteten är inte bara beroende av materialets sammansättning, utan även på temperaturen, materialets porositet, porernas kommunikation, dess vattenmättnad och porvattnets jonkoncentration. Därför kan likartade material uppvisa mycket skiftande resistiviter på grund av olikhet i de ovan nämnda parametrarna (jämför fig. 12). Ett material som befinner sig under grundvattenytan har vanligtvis lägre resistivitet än ett torrt material, och är materialets porvatten salt uppvisar det ytterligare lägre resistiviteter (Dahlin 1996). Härav följer att resistivitetsmätning är en mycket lämplig metod att använda vid sökande efter salt grundvatten.

I Archies lag beskrivs sambandet mellan porositet, materialets resistivitet och porvattnets resistivitet:

$$\rho = a \rho_w n^{-m} \quad (\text{ekv. 5})$$

där ρ = materialets resistivitet, ρ_w = porvattnets resistivitet, n = porositet och parametrarna a och m materialberoende konstanter.

Saltvattnets resistivitet är ca 1 Ωm (Dahlin 1996) och medelporositeten för sedimentberggrunden på kristianstadsslätten ca 27 % (Gustavsson et al. 1979). För kalksandsten antas a och m vara 0.95

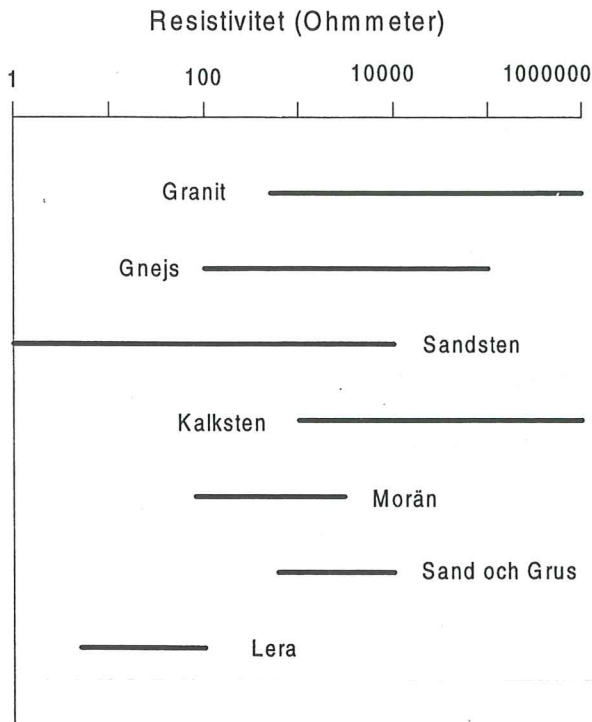


Fig. 12. Översikt över olika materials ungefärliga resistiviteter (efter Palacky 1987 och Keller & Frischknecht 1970).

resp. 2.10 (Keller & Frischknecht 1970). Genom ekv. 5 kan den förväntade resistiviteten på Listerlandets sedimentberggrund med salt porvatten grovt uppskattas till ca 15 Ω m. Temperaturen har liten effekt vid resistivitetmätningar och har därför inte tagits hänsyn till vid dessa undersökningar.

5.3.2 Utförande

En resistivitetmätning görs genom att sticka ner två strömelektroder och två potentialelektroder i marken. Över strömelektroderna läggs en spänning vilken alstrar en likström i marken och därefter mäts potentialskillnaden mellan de två inre potentialelektroderna (fig. 13). Potentialskillnaden är beroende av elektrodavståndet och markens resistivitet. Med hjälp av ekv. 6 kan sedan den skenbara resistiviteten (ρ_a) räknas ut (Kearey & Brooks 1991). Genom att öka elektrodavståndet ökar nedträngningsdjupet.

$$\rho_a = R \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \quad (\text{ekv. 6})$$

där ρ_a = skenbar resistivitet (Ω m), R = resistans (Ω), L = avståndet centrum-strömelektrod (m), l = avståndet centrum-potentialelektrod.

Det finns flera elektroduppställningar, var och en med sitt speciella ändamål. De två som har använts vid dessa resistivitetmätningar kallas Schlumberger-uppställningen och Wenner- α -uppställningen (fig. 14).

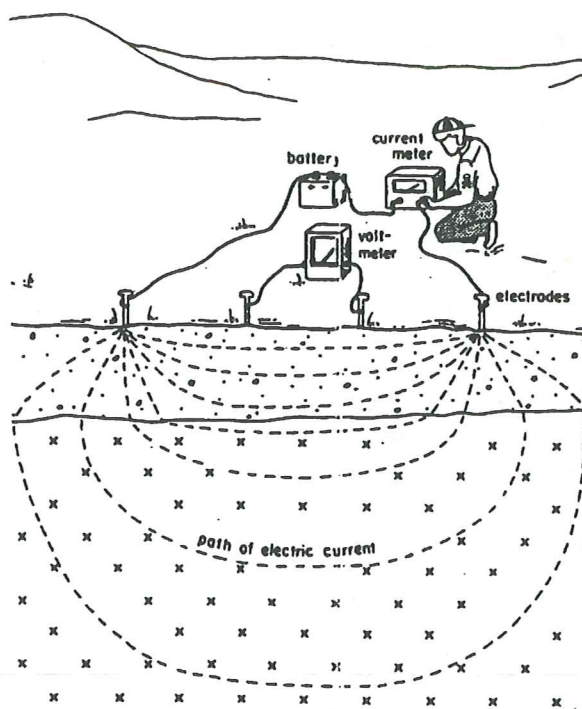


Fig. 13. Principen för resistivitetmätning (från Robinson & Coruh 1988).

Vid resistivitetmätningar kan man använda sig av två tekniker, sondering och profilering. Vid en sondering ökas successivt elektrodavståndet, vilket ger mätningar i samma punkt med ökande djup. Vid profilering behåller man det inbördes elektrodavståndet och flyttar hela uppsättningen och erhåller därmed mätningar längs en horisontell linje (Kearey & Brooks 1991).

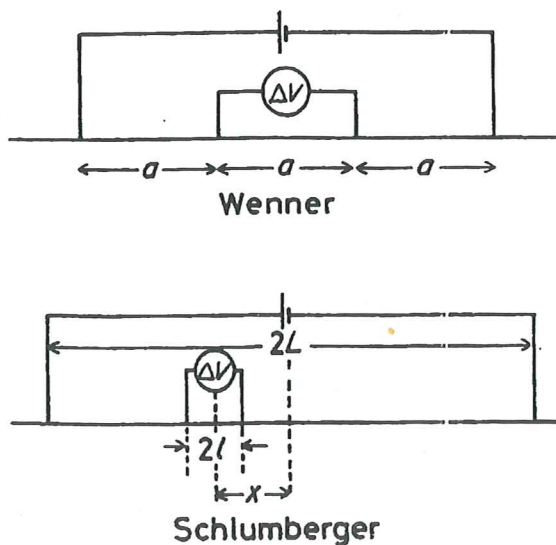


Fig. 14. Wenner- α och Schlumberger uppställning av elektroder (från Kearey & Brooks 1991).

5.3.3 VES

Vid VES-mätningarna, Vertical Electrical Sounding, användes Schlumberger-uppställningen (fig. 14). Minsta L-avståndet var 1 m och för att detektera de vertikala variationerna ner till berggrunden användes ett maximalt L-avstånd på 190 m. Vid denna typ av mätningar erhålls tolkningsbar information ner till ca 1/3 av L-avståndet (muntlig information Jeppsson 1997). Alltså var den maximala djupnedträngningen i detta fallet ca 63 m. För att upptäcka skillnaderna i grundvattnets sammansättning gjordes sonderingarna med elektroduppställningen parallellt med strandlinjerna, och med ökande avstånd till dem.

De vid mätningarna erhållna resistanserna räknas genom ekv. 6 om till skenbara resistiviteter. De skenbara resistiviteter används som indata till tolkningsprogrammet DC-RES. Efter bearbetning i DC-RES erhålls en möjlig tolkningsmodell som innehåller de tolkade lagrens mäktigheter och, i detta skedet, dess tolkade lagerresistiviteter. Modellerna från DC-RES har jämförts med förväntade lagerföljder baserade på berggrunds- och jordartskartor, samt för sonderingarna vid Kålleviken och Kladdeviken, med Ghyben-Herzbergs modell för saltsprångskiktpositionerna, fig. 8.

5.3.4 CVES

Principen för CVES, Continuous Vertical Electrical Sounding, är den samma som för konventionel-

la resistivitetsmätningar. Denna metod kombinerar profileringar med sonderingar, och man erhåller därmed en tvådimensionell bild av marken. En mätning utförs genom att lägga ut fyra 100-meters kablar med elektroduttag var femte meter. Kablarna ansluts därefter till en Terrameter, elektrodväljare, Booster och en fältdator. Datorn väljer genom mätprogrammet ERIC de fyra elektroder som skall utföra en mätning. Mätprogrammet skiftar automatiskt till nästa elektrodkonfiguration och fortsätter på samma vis till utläggets alla mätningar är klara. För att få en längre täckning flyttas kabel 1 bortom kabel 4, och en ny serie mätcykler kan göras, fig. 15 (Dahlin 1996).

Vid CVES-mätningarna användes Wenner- α -uppställningen (fig. 14). Det minsta a-avståndet var 5 m och det största 120 m. För denna elektroduppställning är djupet till vilket tolkningsbar information erhålls ungefär 1/2 a-avståndet (muntlig information Dahlin 1997), alltså blir den maximala djupnedträngningen ca 60 m. Mätningen vid Kladdeviken gjordes vinkelrätt mot strandlinjen och med första elektroden i strandkanten.

Resultatet från CVES-mätningarna erhålls som skenbara resistiviteter längs en profil. Dessa skenbara resistiviteter tolkas sedan med tolkningsprogrammet RES2DINV och en möjlig modell med tolkade resistiviteter erhålls. Modellerna från RES2DINV har jämförts med förväntade lagerföljder baserade på berggrunds- och jordartskartor, samt för Kladdeviken, Ghyben-Herzbergs modell för saltsprångskiktpositionen, fig. 8b.

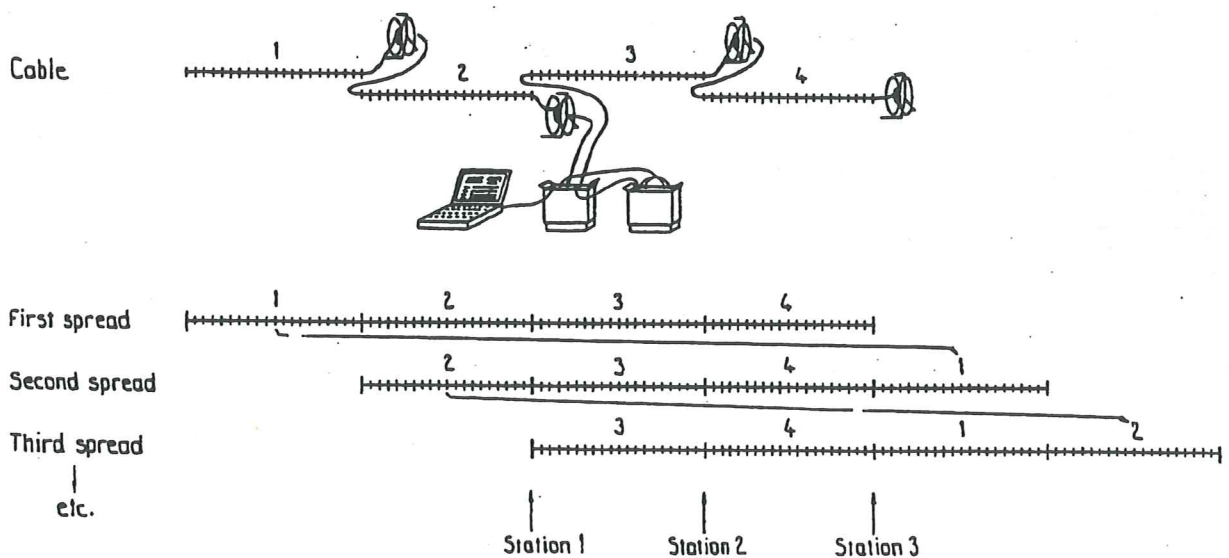


Fig. 15. Principen för CVES-mätning (från Dahlin 1996).

6. Resultat

6.1 Konduktivitetsmätningar

Resultaten från konduktivitetsmätningarna redovisas i tabell 1 med brunnnummer, uppmätt konduktivitet och genom ekv. 3 uträknad kloridhalt. De undersökta brunnarnas kloridhalter redovisas i fig. 16. De streckade områdena visar ansamlingar av brunnar som uppvisar kloridhalt ≥ 50 mg/l, jämför kap. 3.2.1. Medianvärdet för de provtagna brunnarnas kloridhalter är 32.7 mg/l.

Tabell 1. Brunnnummer, konduktivitet och genom ekv. 3 uträknad kloridhalt i de undersökta brunnarna.

Brunns nr.	konduktivitet	Kloridhalt	Brunns nr.	konduktivitet	Kloridhalt
3	50.9	34.1	26	30.2	20.2
4	89.8	60.2	27	38.9	26.1
5	53.4	35.8	28	36.9	24.7
6	27.0	18.1	29	45.0	30.2
7	89.3	59.8	30	25.6	17.2
8	89.5	60.0	32	37.0	24.8
9	60.1	40.3	34	83.3	55.8
10	31.5	21.1	35	44.7	29.9
11	46.7	31.3	36	25.7	17.2
12	125.9	84.4	37	35.5	23.8
13	68.8	46.1	38	74.8	50.1
14	65.5	43.9	39	75.7	50.7
15	52.9	35.4	41	30.7	20.6
16	32.5	21.8	42	59.1	39.6
17	41.0	27.5	43	40.3	27.0
18	63.7	42.7	44	49.9	33.4
19	98.5	66.0	45	81.6	54.7
20	34.7	23.2	46	56.5	37.9
21	64.7	43.3	47	43.8	29.3
22	46.5	31.2	48	38.1	25.5
24	37.5	25.1	49	93.1	62.4
25	53.7	36.0	51	48.0	32.2

6.2 Resistivitetsmätningar

6.2.1 VES

Resultaten från resistivitetsmätningarna redovisas i logaritmiskt diagram (fig. 17). I bilaga 1 ses varje mättnings resistans (R), uträknad resistivitet (ρ) samt korrigerad resistivitet (korr ρ). I bilaga 2 redovisas passningen mellan den datortolkade resistivitetsmodellen och den manuellt bearbetade resistivitetsmodellen.

6.2.2 CVES

Resultaten från CVES-mätningarna redovisas i form av tvådimensionella profiler med uppmätta skenbara resistiviteter, s k pseudosektioner (fig. 18a). Varje mätpunkt är markerad med en svart punkt i profilen. Färgerna hänvisar till värdet på den skenbara resistiviteten, mörkrött för $>220 \Omega\text{m}$ och mörkblått för $<46 \Omega\text{m}$.

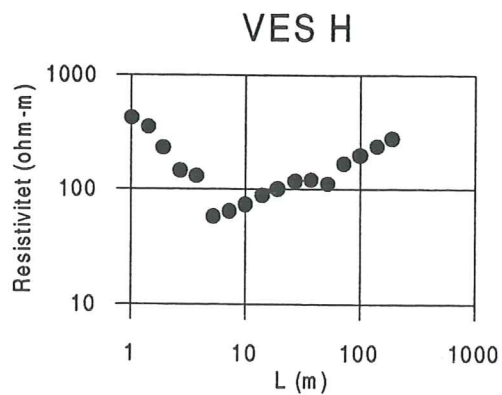
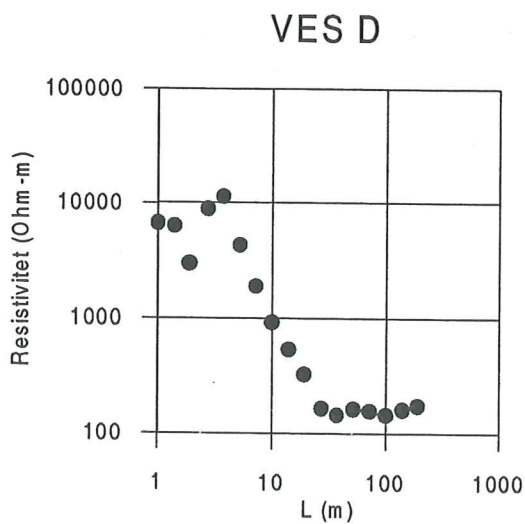
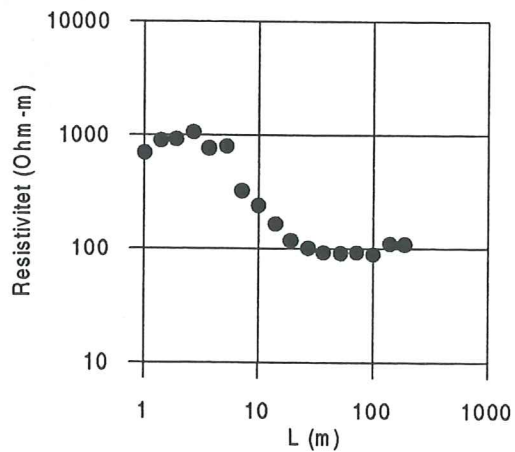
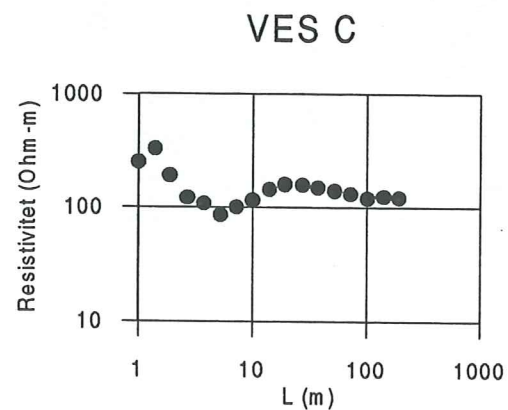
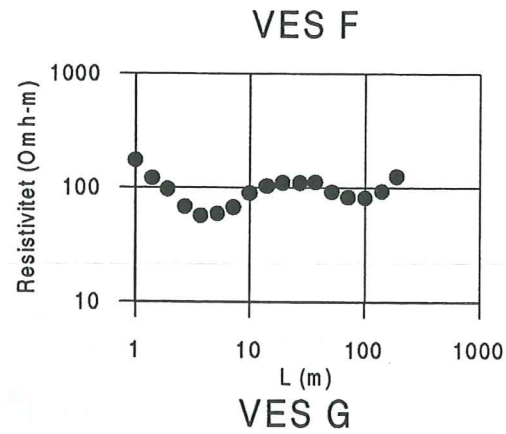
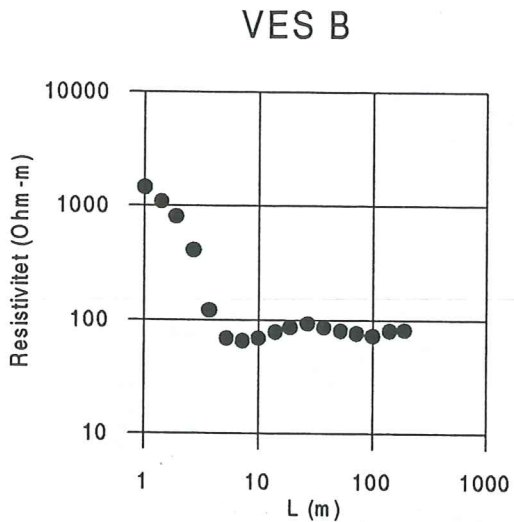
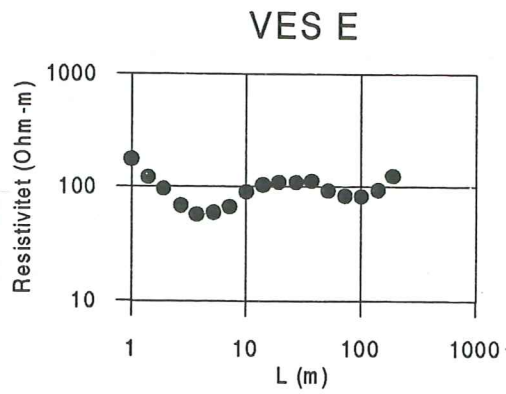
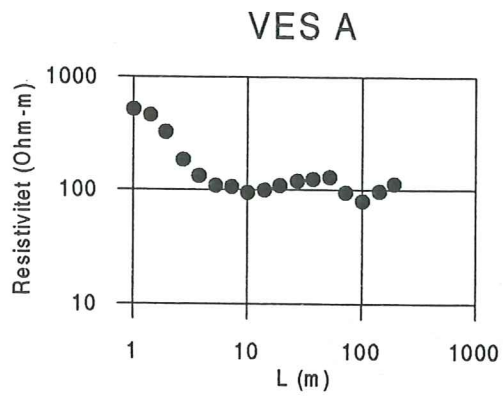


Fig. 17. Resultat från VES-mätningarna i logaritmisk avbildning.

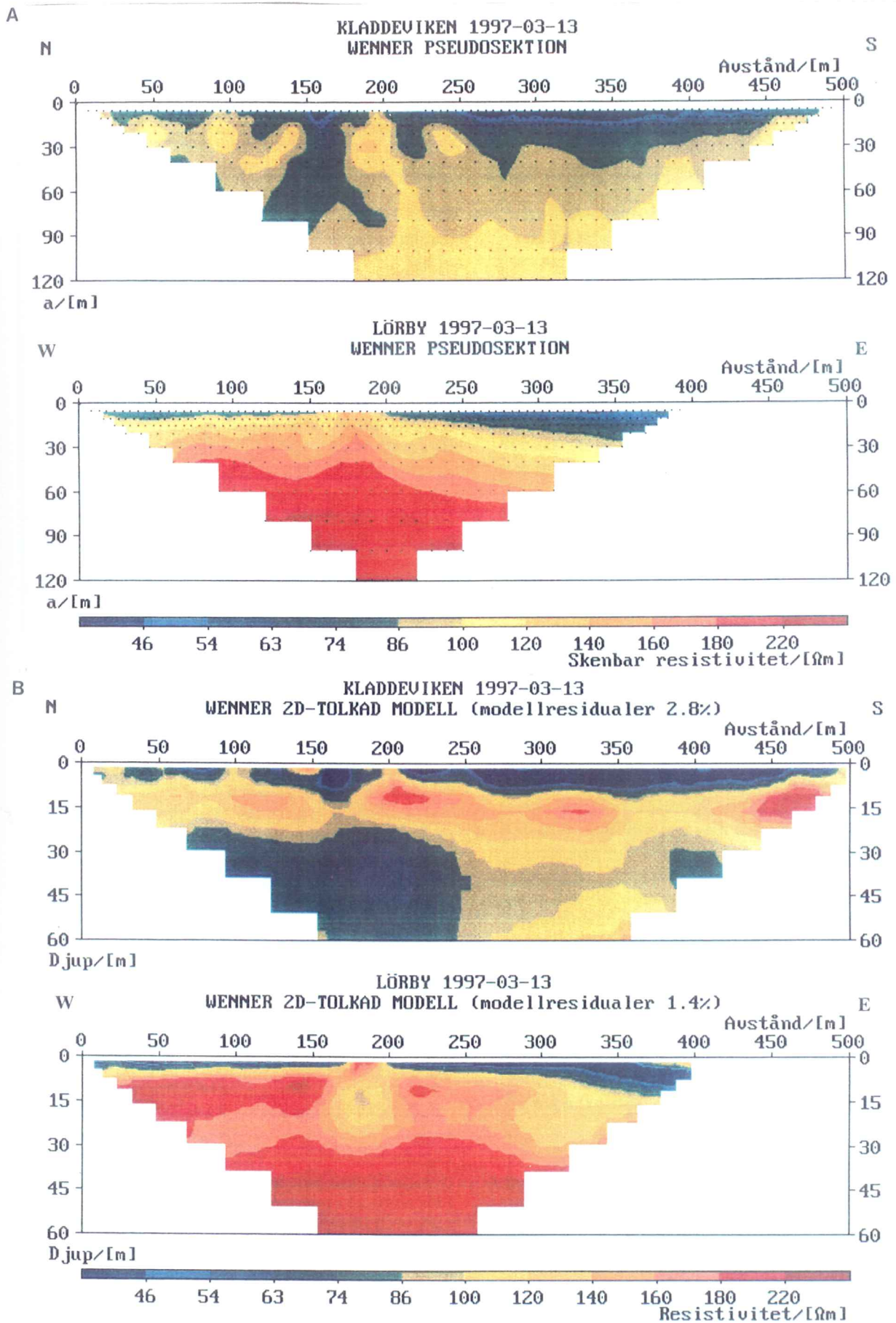


Fig. 18. (a) Pseudosektioner samt (b) tolkade tvådimensionella profiler av CVES-mätningarna vid Kladdeviken (CVES I) och Lörby (CVES II).

7. Tolkning

7.1 Konduktivitetmätningar

Kartläggningen visar att kloridhalterna skiftar mycket inom området. Även närliggande brunnar ger mycket skiftande koncentrationer, varför konduktivitetmätningarna ger svårtolkade resultat.

Generellt visar mätningarna att kloridhalterna ligger väl inom de av svenska Livsmedelsverket uppsatta gränsvärdena (jämför kap 3.2.1). Dock syns två områden, streckade i fig. 16, inom vilka kloridhalterna är ≥ 50 mg/l (jämför kap. 3.2.1).

I det markerade området söder om Mjällby Ljunga kan de höga konduktivitetvärdena förklaras av antropogena faktorer. Brunnarna 12 och 4 (fig. 11) är grunda, ca 30 m (muntlig information av brunnsägarna), jämfört med ca 50 m för övriga, vilket medför att de är känsligare för ytliga föroreningar. Problem har tidigare förekommit med nitratföroreningar vid brunn 12 (muntlig information av brunnsägaren), varför det troligen är höga nitrathalter snarare än förhöjda kloridhalter som givit upphov till den höga konduktiviteten i brunn 12 och i viss mån i brunn 4. Vid konduktivitetmätning av brunn 19 (fig. 11) var vattnet grumligt, varför det troligen är andra orsaker än förhöjda kloridhalter som givit upphov till den förhöjda konduktiviteten.

I det markerade området söder om Lörby provtogs 5 bergboreade brunnar som gav kloridhalter över 50 mg/l. I detta område kunde ingen antropogen förklaring ses till de förhöjda kloridhalterna. Dessa förhöjda kloridhalter kan möjligen vara orsakade av det höga grundvattenuttag som sker i området. Detta höga uttag kan ha satt salt grundvatten, som naturligt finns i de kustnära sedimenten, i rörelse. Möjligen kan även fossilt saltvatten, som kan finnas i de lågliggande sedimenten i sänkan nordväst om området, ha kommit att påverka grundvattnet. Huruvida de ovan beskrivna källorna kan vara ursprung till de förhöjda kloridhalterna, behandlas under kapitel 8.1.

I övrigt har dessa mätningar visat att kloridhalterna i området vid tidpunkten för provtagningarna är inom Statens Livsmedelsverks fastslagna gränsvärden, kap 3.2.1.

7.2 Resistivitetmätningar

I fig. 19 och 20 redovisas tolkningarna samt möjlig geologisk lagerföljd av VES-mätningarna, VES A-VES H. Tolkningarna av CVES-mätningarna redovisas i form av tvådimensionella profiler i fig. 18b.

7.2.1 VES vid Källeviken

Tre av sonderingarna vid Källeviken (fig. 19), VES A, VES B och VES C, uppvisar en 5-lagerföljd, och den fjärde, VES D en 4-lagerföljd. De tre sonderingarna som gav en 5-lagerföljd beskrivs först.

Lager 1, med resistiviter 600-1500 2Ω och ca 1 m mäktigt, motsvarar svallad morän ovanför grundvattenytan. Det underliggande **lager 2** med resistivitet på 85-50 Ω m motsvarar svallad alternativt osvallad morän under grundvattenytan. **Lager 3** i VES A och VES B, beläget på ett djup av 8 till 25 m, är sedimentberggrund. Dess resistivitet, 205-305 Ω m, indikerar att porvattnet är sött. I sonderingspunkt VES A och VES B uppträder ett lågresistivt lager, **lager 4**, på ca 25 meters djup. Detta indikerar sedimentär berggrund med salt porvatten. I sonderingspunkterna VES C och VES D uppträder inte detta lager med salt porvatten, vilket indikerar att saltsprångskiktet återfinns på ett avstånd av 80 till 200 m från strandlinjen. Sedimentberggrunden i VES C och VES D visar lägre resistivitet än sedimentberggrunden med sött grundvatten i VES A och VES B, vilket möjligtvis skulle kunna indikera en diffus front med successivt minskande salthalt inåt land. Underst i stratigrafin på ca 65 meters djup återfinns urberget. I tolkningen motsvarar det **lager 5** (i VES D lager 4), med resistivitet 200-815 Ω m.

I sonderingspunkt VES C uppträder ett lager mellan jordlagret under grundvattenytan och sedimentberggrunden som inte återfinns i de andra sonderingarna. Detta har en resistivitet på 525 Ω m och är ca 5 m mäktigt. Lagret utgörs troligtvis av grovsediment och skulle möjligtvis kunna vara en sydlig, dold förlängning av Lörbyåsen, avsatt i subglacialt läge. I sonderingspunkt VES D har jordlagren, jämfört med de andra sonderingarna, mycket höga resistiviteter. VES D gjordes på en skogsväg och de höga resistiviteterna kan bero på väguppbyggnadsmaterialets egenskaper.

Resistivitetssonderingarna i Källeviken har givit resultat som stämmer relativt bra överens med den antagna lagerföljden. Salt grundvatten har påvisats i sonderingspunkterna VES A och VES B. I sonderingspunkterna VES C och VES D syns ingen markant skillnad i resistivitet som kan härledas till ett saltsprångskikt. Resultatet kan istället tyda på en diffus front med successivt minskande salthalt inåt land.

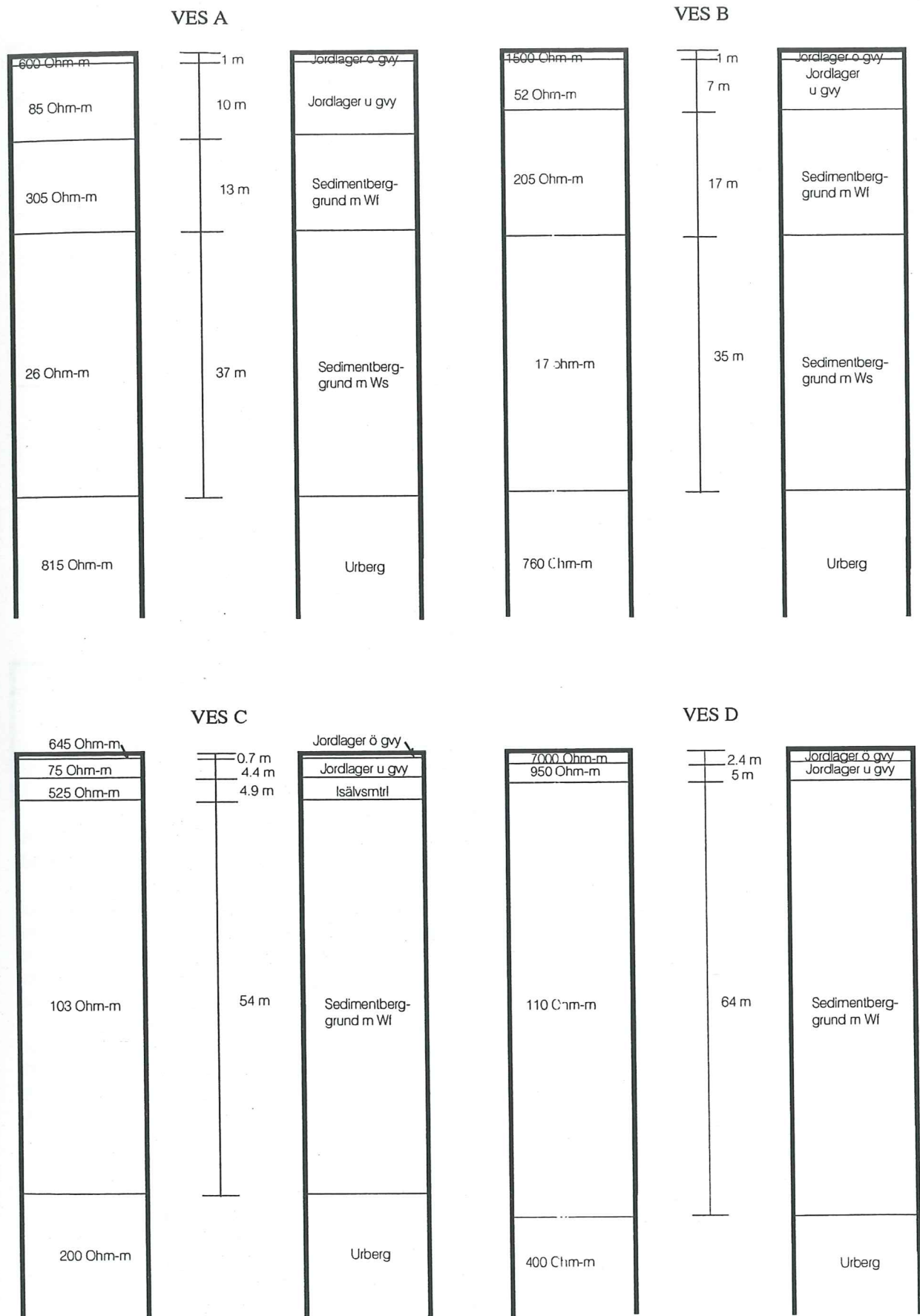


Fig. 19. Tolkning och möjlig geologisk lagerföljd för VES-mätningarna VES A-VES D, Källeviken.

7.2.2 VES vid Kladdeviken

Vid Kladdeviken gjordes 2 VES-sonderingar, VES E och VES F (fig. 20). Sonderingarna gav 5-lagerföljder.

Lager 1, med resistivitet kring $200 \Omega\text{m}$ och ca 1 m mäktigt, består av svallsediment. Därunder påträffas ett mycket lågresistivt lager, **lager 2** med resistivitet ca $15 \Omega\text{m}$ och 1-2 meter mäktigt. Detta är troligen glacial lera under grundvattenytan. I en schaktgrop, belägen ca 375 m från strandlinjen i profilens riktning, observerades ett lerlager ca 1 m under markytan, sammanfallande med grundvattenytan. **Lager 3** med resistivitet runt $300 \Omega\text{m}$ och ca 6 m tjockt tolkas som morän under grundvattenytan. **Lager 4** börjar under moränen och fortsätter ner till urbergsöverytan. Detta har en resistivitet på $30\text{--}60 \Omega\text{m}$ och motsvarar sedimentär berggrund med salt grundvatten.

Om det, som i Kållevisen, hade funnits ett språngskikt mellan sött och salt grundvatten, borde denna enhet istället givit två separata lager med inbördes olika resistiviter. Här framkommer varken ett tydligt saltsprångskikt eller en tendens mot avtagande salthalt inåt land. Mätningarna indikerar att salt grundvatten finns i sedimentberggrunden på ett avstånd av minst 215 m från strandlinjen samt att hela sedimentberggrunden är påverkad av detta saltare grundvatten. **Lager 5**, tolkat som urberg, kommer ca 50 m under markytan och uppvisar en resistivitet på $200\text{--}300 \Omega\text{m}$.

7.2.3 CVES vid Kladdeviken

CVES-mätningarna vid Kladdeviken (CVES I) gjordes med ett 500 m långt elektrodlägg. De översta 2 metrarna faller bort p g a mättekniska skäl. Se fig. 18b för den tolkade profilen.

I de översta 10 m syns lateralt undulerande resistiviter, mestadels under $46 \Omega\text{m}$. Detta torde vara moränen och den glaciala, ej heltäckande, lera som ger detta ytlager. Lagrets lateralt inhomogena resistiviter kan orsakas av inbördes skillnader i lerhalt och porositet, och därmed vattenhalt. På 10 meters djup ökar resistiviteten till ca $150 \Omega\text{m}$, vilket indikerar sedimentberggrunden. Vid ca 22 meters djup sjunker resistiviteten åter, i synnerhet norr om $x=250$ m. Detta är troligtvis den permeabla sandstenen som ligger mellan den övre sedimentberggrunden och urberget. Den lågresistiva strukturen med förlängning norrut är med största sannolikhet salt grundvatten som har trängt in i den permeabla bergakvifären. Strukturen uppvisar dock inte de helt låga resistiviter som förväntas av sandsten med salt grundvatten av havsursprung, jämför kap. 5.3.1, utan det är troligtvis en zon av blandat salt och sött grundvatten. Den lågresistiva strukturens konvexa form mot land skulle kunna

indikera att salt grundvatten är i rörelse inåt land. Vid motsatta förhållanden hade antagligen fronten uppvisat konvex form mot havet p g a det tillbakapressande sötare grundvattnet, jämför fig. 6b. Söder om $x=250$ m ökar åter resistiviteten som en effekt av att grundvattnet blir sötare, men en tendens till ett vidaregående lågresistivt lager kan följas söderut. Vid $x=400$ m, mellan 30 och 45 meters djup, syns ännu en antydning till sänkt resistivitet, ca $80 \Omega\text{m}$. Grundvatten med förhöjd salthalt kan här ha fått en ytterligare utbredning söderut genom den permeabla sandstenen. I botten av profilen skymtas en ökning av resistiviteten. Detta kan eventuellt vara en effekt av urberget som här uppträder på ca 50 meters djup.

Resistivitetsmätningarna vid Kladdeviken har visat att den undre permeabla sedimentberggrunden har grundvatten med förhöjd kloridhalt åtminstone så långt som 250 m från kustlinjen. Saltfrontens konvexa form mot land kan vara indikation på rörelse av salt grundvatten inåt land. Resistiviteten för det salthaltiga grundvattnet är dock något högre än förväntat för havsvatten i sandsten, varför det troligtvis rör sig om en diffus front av blandat sött och salt grundvatten.

7.2.4 VES vid Lörby

VES-sonderingarna vid Lörby gav en 2-lagerföljd (VES G) och en 3-lagerföljd (VES H) (fig. 20). VES G beskrivs först.

Lager 1 har en resistivitet på $900 \Omega\text{m}$ och är ca 3 m mäktigt. Detta torde motsvara svallsediment, vilket överensstämmer med jordartskartan. Något utslag för grundvattenytan som borde återfinnas i detta lager, kan ej påvisas. **Lager 2** har en resistivitet på $100 \Omega\text{m}$ och indikerar att moränens överyta har nåtts. En undre begränsning för detta kan ej fastställas då det i resistivitetslagerföljden är det understa lagret. Gränserna morän-sedimentberggrund och sedimentberggrund-urberg borde dock kunna påvisas, varför denna sonderings användbarhet måste bedömas som begränsad. I en närliggande borrhål nås kalkstenen på 12 m djup och urberget på 65 m djup (Persson 1995). En möjlig förklaring till detta kan vara att resistivitetsskillnaderna mellan lagren är så små att de ej detekterades vid denna resistivitetsmätning.

Sondering VES H gav en 3-lagerföljd. **Lager 1**, resistivitet $550 \Omega\text{m}$ och 1 m mäktigt, motsvarar sannolikt lera. Den ovanligt höga resistiviteten beror troligen på att lagret är ovanför grundvattenytan och är påverkat av diverse jordbruksaktiviteter. I det underliggande **lager 2**, vilket är 5 m mäktigt, faller resistiviteten till $45 \Omega\text{m}$ vilket indikerar lera under grundvattenytan. Dessa två översta lager överensstämmer bra med jordartskartan som visar glacial lera i dagen. Med **lager 3** stiger resistiviteten till $250 \Omega\text{m}$, vilket torde indi-

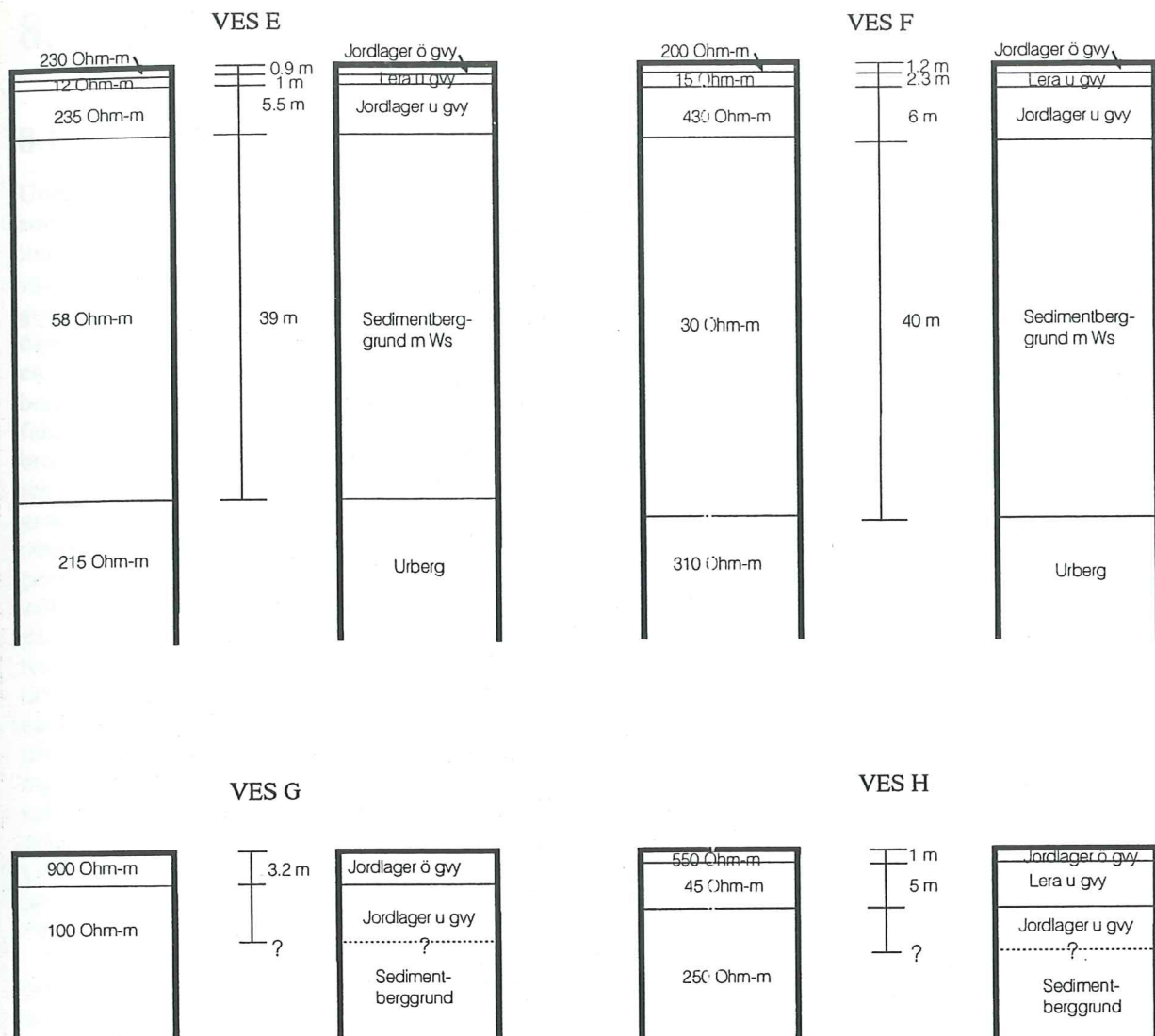


Fig. 20. Tolkning och möjlig geologisk lagerföljd för VES-mätningarna VES E-VES H, Kladdeviken samt Lörby.

keras att moränen har nåtts. Lager 3 är det understa lagret och sedimentberggrunden eller urberget har inte heller i denna sondering kunnat påvisas. Förklaringen härtill är sannolikt den samma som för sondering VES G.

Informationen som sonderingarna i Lörby givit var ej tillfredsställande och målet att undersöka förekomsten av relict saltvatten uppnåddes ej. Kompletteringar med CVES-mätningar gjordes därför.

7.2.5 CVES vid Lörby

CVES-mätningarna vid Lörby (CVES II) gjordes med ett 400 m långt elektrodlägg. De översta 2 metrarna faller bort på mättekniska skäl. Se fig. 18b för den tolkade profilen.

I ytan syns ett lågresistivt lager, ca 3 m mäktigt, som öster om $x=370$ m överlagras av ett mer högresistivt material. Detta lågresistiva lager ut-

görs av glacial lera som österut överlagras av svallsediment. Denna gräns stämmer med jordartskartan. Under leran, på ca 5 meters djup, ökar resistiviteten åter. På detta djup kommer moränens övertyta och vid ca 12 m kommer sedimentberggrunden. Gränsen morän-sedimentberggrund är dock svårupptäckt. Sedimentberggrundens översta 20 m uppvisar lateralt varierande resistivitet, vilket torde orsakas av permeabilitetsskillnader. Vid ca 40 m djup stabiliseras resistiviteten på värden över 200 Ω m. På detta djup har troligen sedimentberggrunden övergått mot sandigare facies vilken här uppvisar jämnare och högre resistivitet. Urberget ligger i området på ca 65 meters djup och detekteras därmed inte i dessa mätningar.

Vid $x=180$ m syns en markant resistivitetsökning i ytan, och därunder en struktur med lägre resistivitet än lateralt omkringliggande material. Till detta avvikande parti har ingen geologisk signifikant förklaring hittats, utan det har troligen sin förklaring i behandlingen av mätdata.

Det i området förväntade fossila saltvattnet har inte kunnat påvisas. Hade fossilt saltvatten förekommit i sedimenten skulle markant lägre resistivitet erhållits. Det ytliga lågresistiva lerlagret

skulle kunna omtolkas som jordlager innehållande saltvatten, men då lagret korreleras med jordartskartan som glacial lera, är den möjligheten högst osannolik.

8. Diskussion

8.1 Slutsatser

Undersökningen om grundvattnets kloridhalt har som tidigare nämnts givit resultat som ligger väl inom Statens Livsmedelsverks fastslagna gränsvärden. Brunnarna med kloridhalter ≥ 50 mg/l ligger inte i de helt kustnära områdena. Längs hela östra kuststräckan syns provtagna brunnar som har en lägre kloridhalt än de mera centralt liggande brunnarna med något förhöjda kloridhalter. Detta faktum torde utesluta att någon av de provtagna brunnarna skulle vara påverkade av recent saltvatten i form av saltvatteninträngning. Eftersom en gradient med ökande kloridhalter mot havet inte observerats, utan snarare en omvänd gradient, ligger det närmare till hands att det förmodade fossila saltvattnet i området väster om Lörby givit upphov till de något förhöjda kloridhalterna i Lörbytrakten. Dock påvisar resistivitetsmätningarna vid Lörby ingen förekomst av salt grundvatten i det undersökta avsnittet, och brunnar i nära anslutning till Lörby uppvisar kloridhalter långt under 50 mg/l. Det kan trots det inte uteslutas att fossilt saltvatten kan finnas i Lörbymosse utanför det undersökta avsnittet. För området söder om Mjällby Ljunga var det troligen inte förhöjda kloridhalter utan snarare höga nitrathalter som gav den förhöjda konduktiviteten.

Kanske kan de låga kloridhalterna i de östliga brunnarna, exempelvis nr 30, 32, 35, 36, 37, 47 och 48, härledas till Lörbyåsens sträckning där en stor nybildning av grundvatten till bergakvifären antas ske. I detta område är grundvattnets uppehållstid kortare jämfört med områden längre från ställen där nybildning av grundvatten antas ske, varför grundvattnet inte hunnit ta upp salter från sedimentberggrunden i någon större utsträckning. Detta faktum förklarar också de jämförelsevis högre kloridhalterna i brunnar som ligger längre från områden där grundvatten antas nybildas. Vidare verkar de något högre kloridhalterna ha en tendens att ligga inom Mjällbymagasinet utsträckning.

Det bör även nämnas att medianvärdet på de uppmätta kloridhalterna, 32.7 mg/l, inte skiljer sig mycket från medianvärdet för kloridhalten i Sveriges brunnar i sedimentär berggrund (28.0 mg/l) eller motsvarande värde i Skåne (32.5 mg/l) (Engquist et al. 1985), varför även ett av saltvatten opåverkat grundvatten kan uppvisa liknande kloridhalter.

Resistivitetsmätningarna utförda vid Kladdeviken har påvisat salthaltigt grundvatten ca 250 m från strandlinjen. Saltfrontens konvexa form mot land skulle kunna indikera en rörelse av salthaltigt grundvatten inåt land. Resistivitetererna på det salthaltiga grundvattnet är något högre än förväntat av

sedimentberggrund med salt grundvatten, varför det troligen rör sig om en diffus front av blandat salt och sött vatten. Av resultaten från Källeviken påvisas salthaltigt grundvatten i bergakvifären 80 m från strandlinjen och sött grundvatten 200 m från strandlinjen. Saltsprångskiktet bör alltså finnas någonstans mellan 80 och 200 m från strandlinjen. Också vid dessa mätningar har något höga resistiviteter på sedimentberggrunden med salt grundvatten erhållits, varför det troligen även här rör sig om en diffus front av blandat salt och sött vatten. Resistivitetsmätningarna utförda vid Lörby har inte påvisat fossilt saltvatten i sedimenten.

Enligt Ghyben-Herzbergs modell skall saltsprångskiktet vid Kladdeviken ligga under sedimentberggrunden på ett avstånd av ca 100 m från strandlinjen och på ett avstånd av ca 50 m från strandlinjen vid Källeviken. En direkt jämförelse mellan de av resistivitetsmätningarna och de av Ghyben-Herzbergs modell erhållna saltsprångskiktpositionerna, och därav säga om saltvatteninträngning föreligger, är ej möjligt. Ghyben-Herzbergs modell är en förenklad matematisk modell som bygger på många generaliseringar. Jämförelsen visar snarast att modellen ger otillräcklig exakthet vid detaljerade studier av saltsprångskikt. Då inga tidigare undersökningar gjort om saltsprångskiktens position är det svårt att fastställa huruvida dagens situation är stabil eller om en tendens till saltvatteninträngning föreligger. Den eventuella inträngning av salt grundvatten som har registrerats i Kladdeviken kan vara utlöst av viss grundvattenavsänkning, vilket kan ha medfört passiv saltvatteninträngning. Inga indicier på grundvattennivåer under havsytan har upptäckts inom undersökningsområdet, varför en aktiv saltvatteninträngning inte verkar trolig.

8.2 Riskanalys

I dagsläget finns rekommendationer för storleken på vattenuttag ur bergakvifären inom undersökningsområdet, se kap. 4.3. Av största vikt är att uttagen för bevattningsändamål minskas från nuvarande uttag under torrår, 2.5 miljoner m^3 , till ett maximalt årsuttag på 2.16 miljoner m^3 . Detta för att säkerställa den kommunala vattenförsörjningen. Speciellt viktigt är uttagsminskningar i området Mjällby-Lörby. Vidare har ett kontrollprogram föreslagits för att i god tid kunna observera sjunkande grundvattennivåer samt ökande kloridhalter. I detta innefattas bl a observation av ett antal kustnära brunnar i vilka konduktiviteten och grundvattennivån regelbundet skall mätas.

Följs ovanstående rekommendationer anses dagslägets grundvattenkvalitet, avseende kloridhalter, kunna bibehållas. Som kontroll av grundvattensituationen bör kontrollprogrammet följas, samt de föreslagna vidare undersökningarna (kap. 8.3) utföras.

Uppkommer ett scenario med överuttag under en längre tid kan dettas innebära att grundvattennivån sjunker under havsytans nivå vilket skulle medföra aktiv saltvatteninträngning. Detta skulle i sin tur medföra ett obrukbart grundvattenmagasin, åtminstone i de kustnära områdena, och det skulle ta mycket lång tid innan det åter blir brukbart.

8.3 Förslag till vidare undersökningar

En mer omfattande konduktivitetsskartering som täcker in hela Listerlandet bör göras för att få en helhetsbild av kloridhalterna i kommunens grundvatten. Huruvida det förekommer säsongsbundna variationer i kloridhalter bör också utredas. Detta görs förslagsvis genom att konduktiviteten mäts i samma brunnar som mätts vid denna undersökning. Mätningarna bör utföras före, under och efter bevattningssäsongen för att klargöra hur det stora vattenuttaget under sommarmånaderna påverkar grundvattenkvaliteten. Som uppföljning kan resistivitetmätningar göras på samma platser som gjorts i denna undersökning. Detta bör göras årligen för kontroll av saltsprångskiktens positioner. I Kladdeviken kan profilen förlängas ytterligare längre inåt land för att följa upp antydningen till förhöjda salthalter i söder delen av profilen (fig. 18b). Resistivitetmätningarna görs förslagsvis med CVES-metoden för att erhålla största möjliga upplösning. Av intresse vore en närmare undersök-

ning av hur invallningsprojekten vid Vesan, med de genom pumpning avsänkta grundvattennivåerna, inverkar på saltsprångskiktens positioner.

8.4 Utvärdering av metoder

Vid denna typ av undersökningar är konduktivitetmätningar ett enkelt och billigt sätt att få en grov uppfattning om kloridhalter i grundvattnet. Dock finns vissa osäkerheter i sambandet mellan konduktivitet och kloridhalt. Även en koncentrationshöjning av vissa andra ämnen kan ge ett likartat utslag i förhöjd konduktivitet. Därför bör man vara försiktig vid jämförelse mellan olika brunnar och med att dra alltför ingående slutsatser avseende kloridhalter från en kartläggning av konduktiviteten. Ett säkrare men dyrare sätt är att göra en specifik laboratorieanalys av kloridhalten.

Den stora fördelen med resistivitetmätningar, jämfört med direkta undersökningsmetoder såsom borrhning, är de lägre kostnaderna. Metoden innebär dessutom mycket små ingrepp i naturen. Nackdelar för metoden är framför allt, liksom för alla geofysiska metoder, flertydigheten. Eftersom man har två okända parametrar, i det här fallet lagrens mäktighet och resistivitet, kan flera olika modeller ge samma resultat. CVES-metodens stora fördel gentemot konventionella VES-mätningar är framförallt den stora mängden mätdata som erhålls. Vid goda förhållanden erhålls 120 mätningar på mindre än en timme, vilket kan jämföras med ca 19 mätningar/timme för VES-mätningar. Förberedelserna inför en CVES-mätning tar dock lång tid och lämpar sig bäst för områden där man vill ha en detaljerad bild av marken. VES-mätningar används med fördel för att skapa sig en översiktlig uppfattning om de geologiska förhållandena. Behövs mer detaljerade undersökningar kan CVES utnyttjas.

9. Sammanfattning

Detta arbete har syftat till att undersöka kloridhalterna i bergakvifärens grundvatten på östra Listerlandet. Genom konduktivitetmätningar av brunnar som går ner i bergakvifären har värden på kloridhalter och dess variation i området uppskattats. Resultaten visar att alla kloridhalter ligger väl inom Statens Livsmedelsverks gränsvärden, 300 mg/l för med tvekan tjänligt dricksvatten och 100 mg/l för tekniskt anmärkningsvärt vatten. Medianvärdet för de undersökta brunnarna är 32.7 mg/l, jämfört med 28.0 mg/l för hela Sveriges brunnar i sedimentberggrund och 32.5 mg/l för dito i Skåne. Alltså har slutsatsen dragits att områdets kloridhalter generellt är normala. I området söder om Mjällby Ljunga samt i området sydöst om Lörby gav konduktivitetmätningar kloridhalter ≥ 50 mg/l. I detta fall bör man vara uppmärksam på grundvattenkvaliteten (jämför kap. 3.2.1).

I området söder om Mjällby Ljunga var det troligen inte förhöjda kloridhalter utan snarare höga nitrathalter som gav den förhöjda konduktiviteten. För området sydöst om Lörby skulle de något förhöjda kloridhalterna kunna orsakas av fossilt saltvatten i Lörby mosse samt av saltvatteninträngning i bergakvifären. Resistivitetmätningar utfördes därför som två profiler vid kusten, i Källeviken och Kladdeviken, samt in mot Lörby mosse. Vid Källeviken kunde saltsprångskiktet lokaliseras till beläget mellan 80 m och 200 m från strandlinjen.

Denna position kan jämföras med dess teoretiska position, ca 50 m från strandlinjen, erhållen från Ghyben-Hertzbergs ekvation som delvis bygger på hypotetiska antaganden. Huruvida saltvatteninträngning föreligger i Källeviken är därför svårt att fastställa. I Kladdeviken kunde saltsprångskiktet lokaliseras till ca 250 från strandlinjen. Enligt Ghyben-Hertzbergs ekvation skall saltsprångskiktet här ligga ca 100 m från strandlinjen. Det är också här svårt att fastställa om det föreligger saltvatteninträngning. Saltfrontens konvexa form i riktning inåt land skulle dock kunna indikera en rörelse av salt grundvatten från havet. Resistivitetmätningarna utförda vid Lörby påvisade inte fossilt saltvatten i det undersökta avsnittet. Med ledning av saltsprångskiktens positioner och avsaknandet av fossilt saltvatten kan slutsatsen dras att orsaken till det tidigare nämnda områdets något förhöjda kloridhalter inte beror på saltvatteninträngning och troligen inte heller på fossilt saltvatten.

I dagsläget har man, med avseende på kloridhalter, relativt god grundvattenkvalitet. För att behålla denna bör man följa de fastställda rekommendationerna för grundvattenuttag ur bergakvifären. Dessutom bör grundvattennivåer och grundvattnets kloridhalter regelbundet kontrolleras samt mätningar av saltsprångskiktens positioner utföras.

Tack

Ett stort tack för hjälp och handledning till Hans Jeppsson (VBB Viak) och Per Möller (Kvartärgeologiska avdelningen vid Geologiska institutionen). Jag vill också tacka Torleif Dahlin (Institutionen för Geoteknologi, LTH) för hjälp med automatise-

rade resistivitmätningar, CVES, samt Lennart Jönsson (Sölvesborgs Energi och Vatten AB) för tillhandahållande av material. Till sist tack till Mia Hending, Lars Bjulemar, Lisa Gunnemyr och Marcus Liljeberg för hjälp med fältarbete.

Referenser

- Björck, S. & Möller, P., 1987: Late Weichselian Environmental History in Southeastern Sweden during the Deglaciation of the Scandinavian Ice Sheet. *Quaternary Research* 28. 1-37.
- Dahlin, T., 1996: *Manual for Lund Imaging System*. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. 50 pp.
- Davies, S.N. & De Wiest, R.J.M., 1966: *Hydrogeology*. John Wiley & Sons, inc., New York, London, Sydney. 444pp.
- Engquist, P., Fagerlind, T., Lundström, A., Sandström, S., 1985: SVENSKT VATTENARKIV, Grundvattenkvalitet. *Sveriges Geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden nr 44*. 43-46.
- Engquist, P., Fogdestam, B., Gustavsson, O., Pousette, J., 1983: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Blekinge län. *Sveriges Geologiska undersökning Ah 4*. 67pp.
- Fetter, C.V., 1994: *Applied Hydrogeology*. Macmillan College Publishing Company. 691pp.
- Freeze, R.A. & Cherry J.A., 1979: *Groundwater*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 604pp.
- Gustavsson, O., Andersson, J-E., De Geer, J., 1979: Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadsslätten. *Sveriges Geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden nr 12*. 84pp.
- Hellberg, K., 1971: Inlandsisens Recession och den Senglaciala Strandförskjutningen i Västra Blekinge och Nordöstra Skåne. *Lunds Universitets Naturgeografiska Institution, Rapporter och Notiser nr 9*. 124pp.
- Jeppsson, H. & Landberg, J., 1995a: Lyckebystärkelsen Vattendom. Tekniskt underlag. *VBB Viak Rapport S8130*. 32pp.
- Jeppsson, H. & Landberg, J., 1995b: Vattentillgångar i Sölvesborgs kommun- Översikt och förslag till vattenplan. *VBB Viak Rapport S7481*. 89pp.
- Jönsson, N-E., 1976: Anteckningar från tal vid sammankomst för Vesans invallningsföretag. 2pp.
- Kaerey, P & Brooks, M., 1991: *An introduction to Geophysical exploration*. Blackwell Scientific Publications. 245pp.
- Keller, G.V & Frischknecht, F.C., 1966: *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon press. Oxford. 519pp.
- Knutsson, G. & Morfelt C-O., 1993: *GRUNDTVATTEN- Teori & Tillämpning*. AB Svensk Byggtjänst, Solna. 304 pp.
- Kornfält, K-A. & Bergström, J., 1990: Berggrundskartor och beskrivning till Berggrundskartorna Karlshamn SV och SO. *Sveriges Geologiska Undersökning Af 167 och 168*. 74pp.
- Lindewald, H., 1985: Salt grundvatten i Sverige. *Sveriges Geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden nr 39*. 96pp.
- Palacky, G.J., 1987: Resistivity characteristics of geological targets. *Electromagnetic methods in applied geophysics*. Society of Exploration Geophysics, Tulsa. 53-130.
- Perers. J & Rytta P.A., 1978: Redogörelse för undersökningar utförda på Listerlandet 1977-1978. *Viak Rapport 88.1272*. 32pp.
- Persson, M., 1995: Jordartskarta och beskrivning till jordartskartan Karlshamn SO. *Sveriges Geologiska Undersökning Ae 116*. 76pp.
- Robinson, E.S. & Coruh, C., 1988: *Basic Exploration Geophysics*. Wiley, New York. 562 pp.
- Sjöberg, B., 1992: Hav och kust. *Sveriges Nationalatlas*. Bra Böcker, Höganäs. 128 pp.
- Statens Livsmedelsverk., 1993: Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten, SLV FS 1993:35. *Livsmedelsverkets författningssamling*. 60-66.
- Åmark, M., 1984: The Deglaciation of the Eastern Part of Skåne, Southern Sweden: A Study of Till and Stratified Drift. *LUNDQUA Thesis 15*. 124 pp.

VES A

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	69	520.24				520
1.4	0.2	30.7	462.94				463
1.9	0.2	11.57	324.40				324
2.7	0.2	3.29	187.33				187
3.7	0.2	1.23	131.86				132
5.2	0.2	0.515	109.20	1	3.01	123.11	109
7.2	0.2	0.263	106.99	1	1.474	117.71	107
10				1	0.687	106.83	95
14				1	0.357	109.35	100
19				1	0.211	119.31	110
27	5.2	2.65	561.92	1	0.118	134.93	120
37	5.2	0.35	141.88	1	0.061	131.07	125
52	5.2	0.18	145.55				130
72	5.2	0.07	109.04				95
100	5.2	0.03	90.37				80
140	5.2	0.019	112.33				97
190	5.2	0.012	130.76				114

VES B

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	190	1432.56				1433
1.4	0.2	78.6	1185.25				1185
1.9	0.2	28.6	801.90				801
2.7	0.2	7.19	409.40				409
3.7	0.2	1.14	122.21				122
5.2	0.2	0.325	68.91	1	1.643	67.20	69
7.2	0.2	0.201	81.77	1	0.798	63.72	65
10				1	0.443	68.89	69
14				1	0.256	78.41	78
19				1	0.151	85.38	86
27	5.2	0.542	114.92	1	0.081	92.62	93
37	5.2	0.286	115.93	1	0.04	85.95	86
52	5.2	0.133	107.54				80
72	5.2	0.065	101.25				76
100	5.2	0.033	99.41				73
140	5.2	0.018	106.42				80
190	5.2	0.01	108.96				82

VES C

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	33.6	253.33				253
1.4	0.2	22	331.75				332
1.9	0.2	6.86	192.34				192
2.7	0.2	2.15	122.42				122
3.7	0.2	1	107.20				108
5.2	0.2	0.407	86.307	1	10.81	442.16	86
7.2	0.2	0.541	220.09	1	26.8	2140.22	220
10				1	3.48	541.17	115
14				1	0.496	151.92	29
19				1	0.281	158.90	31
27	5.2	0.733	155.42	1	0.139	158.95	32
37	5.2	0.362	146.74	1	0.07	150.41	30
52	5.2	0.174	140.70				30
72	5.2	0.085	132.41				28
100	5.2	0.04	120.50				24
140	5.2	0.021	124.16				27
190	5.2	0.011	119.86				26

VES D

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	882	6650.12				6650
1.4	0.2	423	6378.68				6379
1.9	0.2	105.8	2966.49				2966
2.7	0.2	155.1	8831.60				8832
3.7	0.2	105.6	11321.04				11321
5.2	0.2	20.2	4283.56	1	203	8303.41	4284
7.2	0.2	4.66	1895.85	1	30.8	2459.66	1896
10				1	7.54	1172.54	910
14				1	2.26	692.24	530
19				1	0.748	422.98	323
27	5.2	0.911	193.17	1	0.181	206.98	164
37	5.2	0.416	168.63	1	0.086	184.80	145
52	5.2	0.231	186.79				162
72	5.2	0.118	183.81				157
100	5.2	0.056	168.70				145
140	5.2	0.031	183.28				160
190	5.2	0.018	196.14				172

VES E

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	23.3	175.67				176
1.4	0.2	8.01	120.78				121
1.9	0.2	3.41	95.61				96
2.7	0.2	1.197	68.15				68
3.7	0.2	0.527	56.49				56
5.2	0.2	0.277	58.73	1	1.531	62.62	59
7.2	0.2	0.164	66.72	1	0.87	69.47	67
10				1	0.6	93.30	90
14				1	0.353	108.12	103
19				1	0.204	115.35	110
27	5.2	0.502	106.44	1	0.099	113.21	110
37	5.2	0.27	109.45	1	0.055	118.18	112
52	5.2	0.109	88.14				92
72	5.2	0.051	79.44				83
100	5.2	0.026	78.32				82
140	5.2	0.014	82.77				93
190	5.2	0.011	119.86				125

VES F

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	23	173.42				173
1.4	0.2	10.12	152.61				153
1.9	0.2	3.84	107.67				108
2.7	0.2	1.66	94.52				95
3.7	0.2	0.51	54.68				55
5.2	0.2	0.122	25.87	1	1.141	46.67	47
7.2	0.2	0.096	39.06	1	0.543	43.36	43
10				1	0.327	50.85	51
14				1	0.21	64.32	64
19				1	0.143	80.86	81
27	5.2	0.439	93.09	1	0.078	89.20	89
37	5.2	0.255	103.37	1	0.046	98.85	99
52	5.2	0.117	94.61				90
72	5.2	0.048	74.77				71
100	5.2	0.025	75.31				70
140	5.2	0.014	82.78				77
190	5.2	0.01	108.97				100

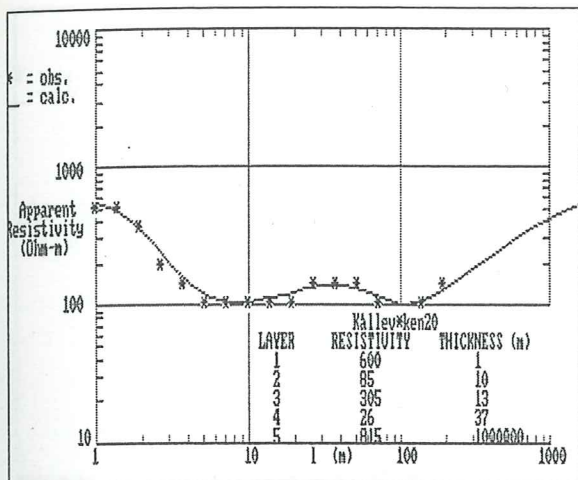
VES G

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	92	693.66				694
1.4	0.2	59.2	892.71				893
1.9	0.2	32.8	919.67				920
2.7	0.2	18.63	1060.82				1061
3.7	0.2	7.09	760.10				760
5.2	0.2	3.75	795.22	1	21	858.97	795
7.2	0.2	0.793	322.62	1	7.32	584.57	323
10				1	1.661	258.30	240
14				1	0.564	172.76	165
19				1	0.228	128.93	118
27	5.2	0.56	118.75	1	0.096	109.78	100
37	5.2	0.257	104.18	1	0.097	208.44	92
52	5.2	0.129	104.32				90
72	5.2	0.069	107.49				92
100	5.2	0.034	102.43				88
140	5.2	0.021	124.16				110
190	5.2	0.012	130.76				108

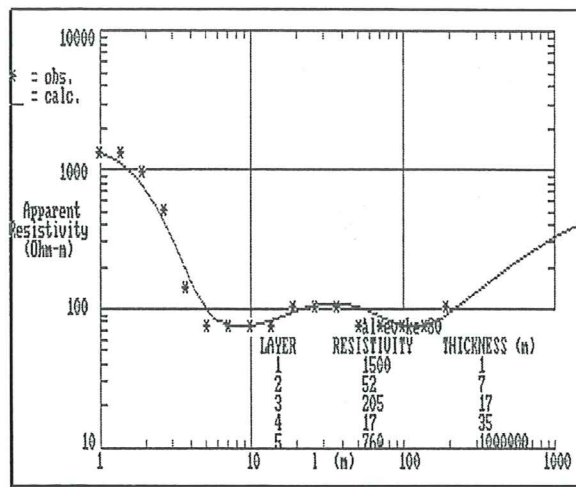
VES H

L (m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	l (m)	R (Ω)	ρ (Ω m)	Korr. ρ
1	0.2	55.4	417.70				418
1.4	0.2	23.2	349.84				350
1.9	0.2	8.2	229.91				260
2.7	0.2	2.53	144.06				144
3.7	0.2	1.206	129.29				129
5.2	0.2	0.274	58.10	1	1.39	56.85	58
7.2	0.2	0.157	63.87	1	0.738	58.93	64
10				1	0.471	73.24	73
14				1	0.288	88.21	88
19				1	0.176	99.52	100
27	5.2	0.553	117.26	1	0.103	117.78	118
37	5.2	0.306	124.04	1	0.056	120.33	120
52	5.2	0.167	135.04				135
72	5.2	0.106	165.12				165
100	5.2	0.065	195.81				196
140	5.2	0.04	236.50				237
190	5.2	0.025	272.41				272

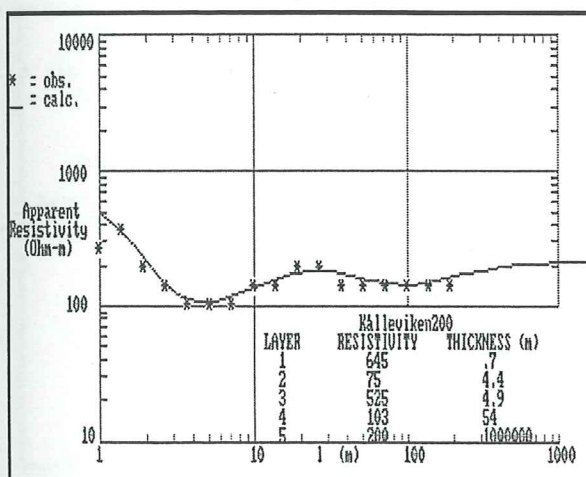
VES A



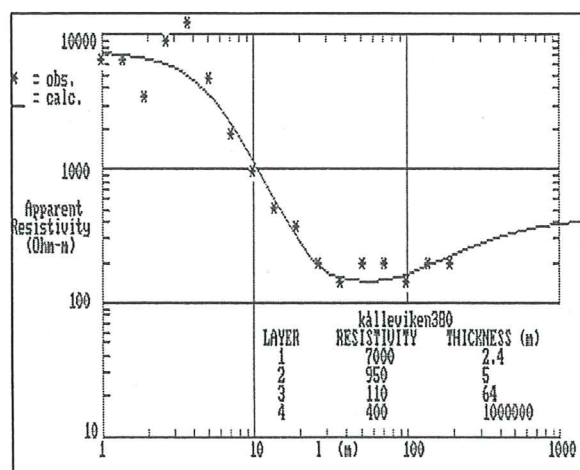
VES B



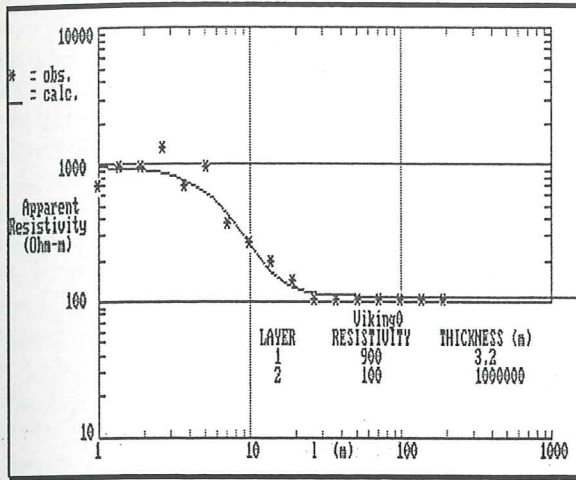
VES C



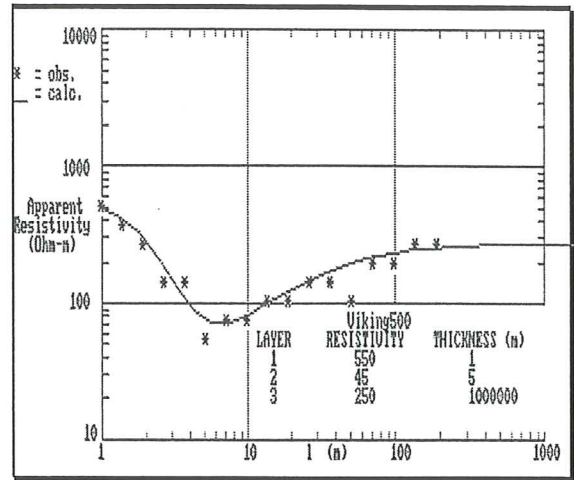
VES D



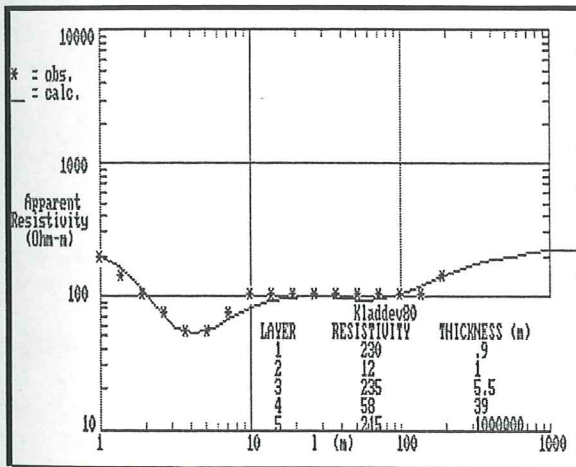
VES E



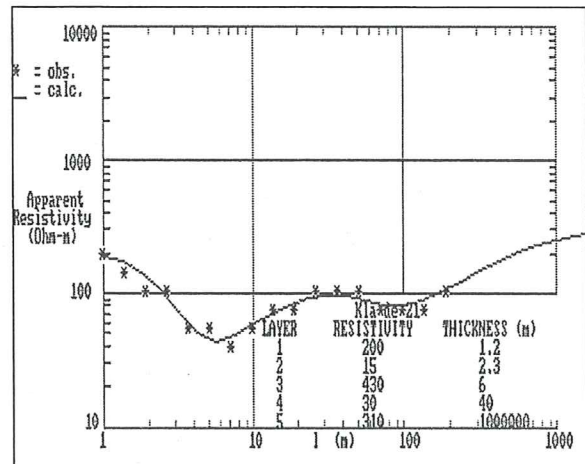
VES F



VES G



VES H



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

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

- of the lower part of the Planetfjella Group in the area around Mosseldalen, northern Ny Friesland, Svalbard.
60. Remelin, Mika, 1994: Palaeogeographic and sedimentation models for the Whitehill-Irati sea during the Permian of South America and southern Africa.
 61. Hagman, Mats, 1994: Bevattning med avloppsvatten - en hydrogeologisk studie.
 62. Sandström, Olof, 1994: Petrology and depositional history of the Campanian strata at Maltesholm, Scania, southern Sweden.
 63. Pålsson, Christian, 1995: Middle-Upper Ordovician trilobites and stratigraphy along the Kyrkbäcken rivulet in the Röstånga area, southern Sweden.
 64. Gustafson, Lars, 1995: Senkvartär stratigrafi och utveckling i Örseryd, mellersta Blekinge.
 65. Gichina, Boniface M., 1995: Early Holocene water level changes as recorded on the island of Senoren, eastern Blekinge, southeastern Sweden.
 66. Nilson, Tomas, 1996: Process- och miljötolkning av sedimentationen i en subglacial läsi-deskavit, Järnavik, S. Blekinge.
 67. Andersson, Jenny, 1996: Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden.
 68. Olsson, Ingela, 1996: Sedimentology of the Bajocian Fuglunda Member at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
 69. Calner, Hanna, 1996: Trace fossils from the Paleocene-Middle Eocene Monte Sporno flysch complex, Northern Apennines, Italy.
 70. Calner, Mikael, 1996: Sedimentary structures and facies of fine grained deep-water carbonate turbidites in a Paleocene-Middle Eocene flysch complex, Monte Sporno, Northern Apennines, Italy.
 71. Hesbøl, Ros-Mari, 1996: Retrograded eclogites of the Richarddalen Complex, NW Svalbard - Petrology and P/T-conditions.
 72. Eriksson, Mats, 1996: Lower Silurian polychaetaspid and ramphoprionid polychaetes from Gotland: aspects on taxonomy and palaeoecology.
 73. Larsson, Daniel, 1996: Proterozoic hydrothermal alteration and mineralization along the Protogine Zone in southern Sweden.
 74. Rees, Jan, 1996: A new hybodont shark fauna from the Upper Jurassic Vitabäck Clays at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
 75. Bengtsson, Fredrik, 1996: Paleomagnetisk undersökning av senpaleozoiska gångbergarter i Skåne; Kongadiabas, melafyr och kullait.
 76. Björngreen, Maria, 1996: Kontrollprogram vid avfallsupplag - en utvärdering.
 77. Hansson, Anders, 1996: Adaptations and evolution in terrestrial carnivores.
 78. Book, Jenny, 1996: A Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy study of coccoliths from two bore holes along the City Tunnel Line in Malmö, Sweden.
 79. Broström, Anna, 1996: The openness of the present-day landscape reflected in pollen assemblages from surface sediments in lakes - a first step towards a quantitative approach for the reconstruction of ancient cultural landscapes in south Sweden.
 80. Paulsson, Oskar, 1996: Sevekomplexets utbredning i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
 81. Sandelin, Stefan, 1997: Tektonostratigrafi och protoliter i Mårma-Vistasområdet, Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
 82. Meyerson, Jacob, 1997: Uppermost Lower Cambrian - Middle Cambrian stratigraphy and sedimentary petrography of the Almbacken drill-core, Scania, southern Sweden.
 83. Åkesson, Mats, 1997: Moränsedimentologisk undersökning och bestämning av postglacialt bildade järn- och manganmineral i en drumlinformad rygg.
 84. Ahlgren, Charlotte, 1997: Late Ordovician communities from North America.
 85. Strömberg, Caroline, 1997: The conodont genus *Ctenognathodus* in the Silurian of Gotland, Sweden.
 86. Borgenlöv, Camilla, 1997: Vätskeinklusioner som ledtrådar till bildningsmiljön för Bölets manganmalm, Västergötland, södra Sverige.
 87. Mårtensson, Thomas, 1997: En petrografisk och geokemisk undersökning av inneslutningar i Nordingrågraniten.
 88. Gunnemyr, Lisa, 1997: Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen, Hallstahammar, Västmanland.
 89. Antonsson, Christina, 1997: Inventering, hydrologisk klassificering samt bedömning av hydrogeologisk påverkan av våtmarksområden i samband med järnvägstunnelbyggnation genom Hallandsåsen, NV Skåne.
 90. Nordborg, Fredrik, 1997: Granens markpåverkan - en studie av markkemi, jordmånsbildning och lermineralogi i gran- och lövskogsbestånd i södra Småland.
 91. Dobos, Felicia, 1997: Pollen-stratigraphic position of the last Baltic Ice Lake drainage.
 92. Nilsson, Johan, 1997: The Brennvinnsfjorden Group of southern Botniahalvøya, Nordaustlandet, Svalbard - structure, stratigraphy and depositional environment.
 93. Tagesson, Esbjörn, 1998: Hydrogeologisk studie av grundvattnets kloridhalter på östra Listerlandet, Blekinge.