

Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Örebro och Kumla samt delar av angränsande kommuner

Carl-Fredrik Müllern



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-870-8

För mer detaljerad information om jordarter och berggrund
hänvisas till SGUs jordartskartor och berggrundskartor.

Närmare upplysningar erhålls genom

Sveriges geologiska undersökning
Box 670
751 28 Uppsala
Tel: 018-17 90 00
Fax: 018-17 92 10
E-post: kundservice@sgu.se
Webbplats: www.sgu.se

Omslagsbild: Minnestavla vid S:t Olofs källa nära Hardemo kyrka.
Foto: Carl-Fredrik Müllern.

FÖRORD

Kartan över grundvattenförekomster i Örebro, Kumla samt delar av angränsande kommuner ingår i en serie kommuninriktade grundvattenkartor som framställs av Sveriges geologiska undersökning, SGU. I områden utanför Örebro och Kumla kommuner har fortsättningen av traktens största åsstråk in i Hallsbergs (ett kortare avsnitt), Askersunds och Lindesbergs kommuner också undersökts. Kartläggningen av dessa åsavsnitt ingår i SGUs arbeten med Miljömålet *Grundvatten av god kvalitet*. Hela åssträckan från sjön Råswalen i norr till Mariedamm i söder bildar en naturlig enhet i regionens vattenförsörjning. Inom Örebro och Kumla kommuner visas lokal berggrundskapacitet (bedömda grundvattenförhållanden i berggrunden). I områden utanför Örebro och Kumla kommuner visas istället regional berggrundskapacitet, eftersom ingen lokal information fanns för dessa områden. Kartan är avsedd att i första hand komma till användning i den kommunala verksamheten, men den kan givetvis utnyttjas även i andra grundvattenrelaterade sammanhang.

Kartan är speciellt anpassad för att utgöra ett av de beslutsunderlag som krävs i samband med kommunal planering enligt miljöbalken, plan- och bygglagen och Agenda 21 för t.ex. markanvändning, vattenförsörjning, grundvattenskydd samt grundvattenrelaterade tillstånds- och tillsynsfrågor.

Informationen i kartan är inlagrad i en databas med en noggrannhet som huvudsakligen är avsedd att passa en framställning i skala 1:50 000. Framställningar av analoga kartor över hela eller delar av kartdatabasen kan göras i såväl större som mindre skala, vilket emellertid kräver insikt i att noggrannheten inte alltid överensstämmer med den förändrade kartskalan.

Bedömningarna av grundvattentillgångarna i de kvartära avlagringarna, i första hand sand- och grusavlagringarna, har grundats på de hydrogeologiska fältarbeten som utförts inom ramen för SGUs grundvattenundersökningar i de aktuella områdena, dels 1969–1973, SGU serie Ag 1, 2, 3 och 5 (Möller m.fl. 1971, 1974) och dels 2003–2004 (föreliggande grundvattenkarta). Dessa arbeten har innefattat geofysiska mätningar med georadar (dock inte 1969–1973) och seismik samt sonderingsborrningar med drivning av observationsrör. Den hydrogeologiska översiktskartan över Örebro län i skala 1:250 000, SGU Ah 20 (Pousette m.fl. 1999) har också varit en viktig utgångspunkt för bedömningarna. En sammanställning av grundvattenförhållandena i de sedimentära bergarterna gjordes i samband med grundvattenkarteringen 1969–1973 (Möller m.fl. 1976).

De nya undersökningarna har givetvis lett till nya insikter om grundvattenförhållandena, varför den nya kartan i flera avseenden skiljer sig från de äldre kartorna. Det gäller t.ex. grundvattnets strömningsriktningar, torra åsavsnitt, källor m.m. Arbetena med den nya kartan har även inneburit en avsevärt säkrare kvantifiering av grundvattentillgångarna och grundvattenmagasinen genom bl.a. de geofysiska mätningarna och borrningarna, varvid grundvattenmagasinens faktiska storlek kunnat uppmätas.

Textbidrag har lämnats av Bo Thunholm (grundvattennivåer och grundvattnets kemi i allmänhet), Bo Wållberg (metodbeskrivningar – georadar och seismik), Leif Eriksson (metodbeskrivning – elektriska motståndsmätningar), Magnus Åsman (metodbeskrivningar – kriging och variogramanalys samt kartorna över kemiska parametrar).

Kvalitetsgranskning och bearbetning av beskrivningen har utförts av Åsa Gierup och Linda Ahlström. Bild- och layoutbearbetning har gjorts av Kerstin Carlstedt respektive Kerstin Finn.

Vid kartläggningen som genomfördes 2003–2004 leddes de geofysiska arbetena av Bo Wållberg och borrningarna av Roger Smedberg. I fältarbetena medverkade Barbro Aastrup, Eva Elsmark Müllern, Sune Rurling, John-Erik Larsson, Björn Johansson, Linda Ahlström och Emil Gunnarsson.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	6
Utförda arbeten	6
De viktigaste grundvattentillgångarna	7
Grundvattentillgångar	10
Naturresursen grundvatten	10
Vattnets kretslopp	10
Grundvattnet i och intill en grusås	12
Grundvattenbildning	12
Tidsmässiga variationer i grundvattennivå	13
Årstidsvariationer	15
Dricksvatten	16
Inducerad infiltration	16
Konstgjort grundvatten	18
Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångarna	21
Grundvatten i jordlagren	21
Grundvatten i berggrunden	27
Förkastningar och större sprickzoner	29
Grundvattenundersökningar i Karlslundsåsen	31
Avsnittet Råsvalen–Yxe, Lindemagasinet	31
Avsnittet Yxe–Ringholmen, Yxemagasinet	36
Avsnittet Ringholmen–Hammarby, Järlemagasinet	39
Avsnittet Tripphultssjön–Mörtsjön, Åsbromagasinet	48
Avsnittet Mörtsjön–Mariedamm, Långsjömagasinet	61
Isälvsavlagringarna vid Rönneshytta, Rönneshyttamagasinet	70
Grundvattenundersökningar i Lännäsåsen	74
Avsnittet Östmossa–Kullasjön, Korsmo- och Kullasjömagasinen	74
Salt grundvatten och motåtgärder	77
Förekomsten av salt grundvatten	77
Åtgärder mot salt grundvatten	79
Grundvattnets sårbarhet	80
Grundvattenpåverkan	80
Konsekvens- och riskanalys	80
Skydd av grundvattnet	80

Metodbeskrivningar	82
Georadar	82
Geologiska förutsättningar	82
Tillämpningsområden	83
Seismik	83
Grundläggande principer	83
Mätförfarande	84
Geologiska förutsättningar	84
Tillämpningsområden	85
Elektriska motståndsmätningar	85
Kriging och variogramanalys	86
Databasstruktur	89
Referenser, litteratur och grundvattenkartor	90
Referenser	90
Allmän litteratur	91
SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel	94
Grundvattenkartor	94
SGU serie Ag	94
SGU serie Ah	95
SGU serie An	96
SGU serie K	96

SAMMANFATTNING

Utförda arbeten

De arbeten som genomfördes i samband med kartläggningen av grundvattentillgångarna omfattade bl.a. brunnsinventering, georadarmätningar, seismiska mätningar, sonderingsborrningar, observationsrörborrningar med provtagning av jordarter och grundvatten samt avvägningar.

Figur 1 visar en principbild av hur det kan se ut på djupet i en sand- och grusavlagring. De arbeten som genomfördes i detta sammanhang har huvudsakligen syftat till att utreda frågor om grundvattenmagasinens storlek och grundvattnets strömningsriktningar. För att göra detta är det av största vikt att ta reda på hur berggrundsytan ser ut under sand- och grusmaterialet. Höga berglägen innebär små eller inga grundvattenmagasin. Höga berglägen kan också innebära grundvattendelare. Låga berglägen medger stora grundvattenmagasin och så vidare.

I områden med höga berglägen kan vissa grundvattenytor representera helt isolerade, mer eller mindre obetydliga hållkar. Sådana grundvattenytor faller ofta helt utanför ramen för vad som ger rimliga gradienter för sammanhängande grundvattenytor i sand- och gruslager.

Arbetet har haft sin utgångspunkt i SGUs jordarts- och berggrundskartor, grundvattenkartorna Örebro SV, SO, NV och NO samt grundvattenkartan över Örebro län och har sedan, sammanfattningsvis, bestått av följande moment:

- Genomgång av äldre utredningar och arkivmaterial.
- Inventering av 194 brunnar och äldre observationsrör.
- Inventering av kända källor samt uppletande av ytterligare källor.
- Avvägning av 124 brunnar och observationsrör.
- Georadarmätningar i 75 profiler med en sammanlagd längd av 79 960 m.
Utöver detta har 22 profiler med en sammanlagd längd av 7 745 m uppmätts över grundvattenmagasinet vid Hammarby mellan Kil och Mogetorp på uppdrag av Skråmsta vattenverk, Örebro kommun.
- Seismiska mätningar i 11 profiler med en sammanlagd längd av 2 470 m.
Vid Hammarby har 16 profiler med sammanlagt 4 530 m uppmätts i nämnda uppdrag.
- Höjdbestämning av georadar- och seismiska profiler.
- Sonderingsborrningar på 27 platser med sammanlagt 588 m och drivning av observationsrör på 10 platser med en sammanlagd längd av 205,3 m.
Vid Hammarby har 21 sonderingar med sammanlagt 682 m utförts och 4 observationsrör med sammanlagt 138 m drivits inom uppdraget.
- Provtagning av grundvattnet i 7 observationsrör och i 4 källor för kemisk analys.
- Inlagring i databaser av:
 - brunnsgata
 - georadar- och seismiska data
 - borrhingsdata
 - grundvattennivådata
- Upprättande av kartdatabaser över:
 - grundvattentillgångar i berggrunden
 - grundvattentillgångar i jordlagren
 - större sprickzoner i berggrunden
 - strykings- och stupningsvärden på berggrundsstrukturer
 - grundvattnets strömningsriktningar
 - källor
- Sammanställning av dessa databaser med Lantmäteriets digitala topografiska karta (T5) till kartan Grundvattenförekomster i Örebro och Kumla samt delar av angränsande kommuner.

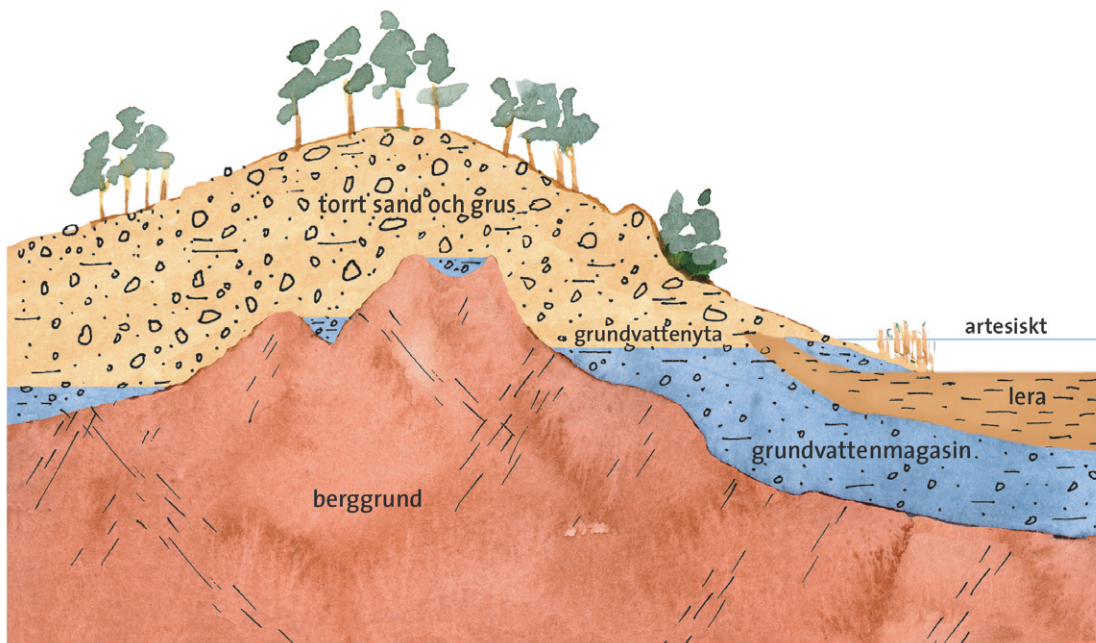


Fig. 1. Principbild av höga och låga berglägen – stora och små grundvattenmagasin i en grusavlagring. Lägga märke till hållkaren, de små grundvattensamlingarna, där bergläget är som högst. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Brunns- och källinventeringar utfördes i anslutning till de större isälvavlagringarna (sand- och grusavlagringarna). De geofysiska mätningarna, sonderingsborrningarna och observationsrördrivningarna genomfördes i regel på ställen som bedömdes ha bäst förutsättningar för större grundvattenförekomster och som varit viktiga för att utreda grundvattnets strömningsmönster och lägen för grundvattendelare etc.

Grundvattenprover togs, och analyserades kemiskt, i sådana delar av sand- och grusavlagringarna som i dag inte utnyttjas, men som med avseende på sin potential skulle kunna utnyttjas i framtiden.

Grundvattennivåerna som anges på kartan och i beskrivningen uppmättes vid ett gemensamt tillfälle, kring månadsskiftet maj–juni 2004. Nivåerna är angivna i höjdsystemet RH 70 och tillhör med få undantag det primära åsmaterialets grundvattenmagasin. Angivna nivåkurvor och strömningsriktningar avser alltid det primära åsmaterialets grundvattenmagasin.

De viktigaste grundvattentillgångarna

Föreliggande beskrivning berör Örebro och Kumla kommuner i sin helhet samt delar av Karlslundsåsen inom Lindesbergs och Askersunds kommuner samt i viss mån även Hallsbergs kommun.

Grundvattnet inom kartbladen Örebro SV, NV, SO och NO har kartlagts tidigare och berörs här endast översiktligt, förutom åsavsnitt 6 (fig. 2) vilket beskrivs närmare.

Beträffande grundvattnet i jordlagren är det isälvavlagringarnas grundvattentillgångar som undersökts. Grundvattentillgångarna i berggrunden har utvärderats genom statistisk bearbetning av brunnsuppgifter i SGUs Brunnsarkiv.

Karlslundsåsen är den största isälvavlagringen inom det undersökta området. Den har en dominerande betydelse för regionens vattenförsörjning, såväl nuvarande som en framtida utbyggd med alternativ och reserver (SWECO 1998).

Avsnitt 4 (fig. 2), Lindemagasinet, har genom mycket goda förutsättningar för inducering av vatten från sjöar och vattendrag tillgångar av storleksordningen 200 l/s.

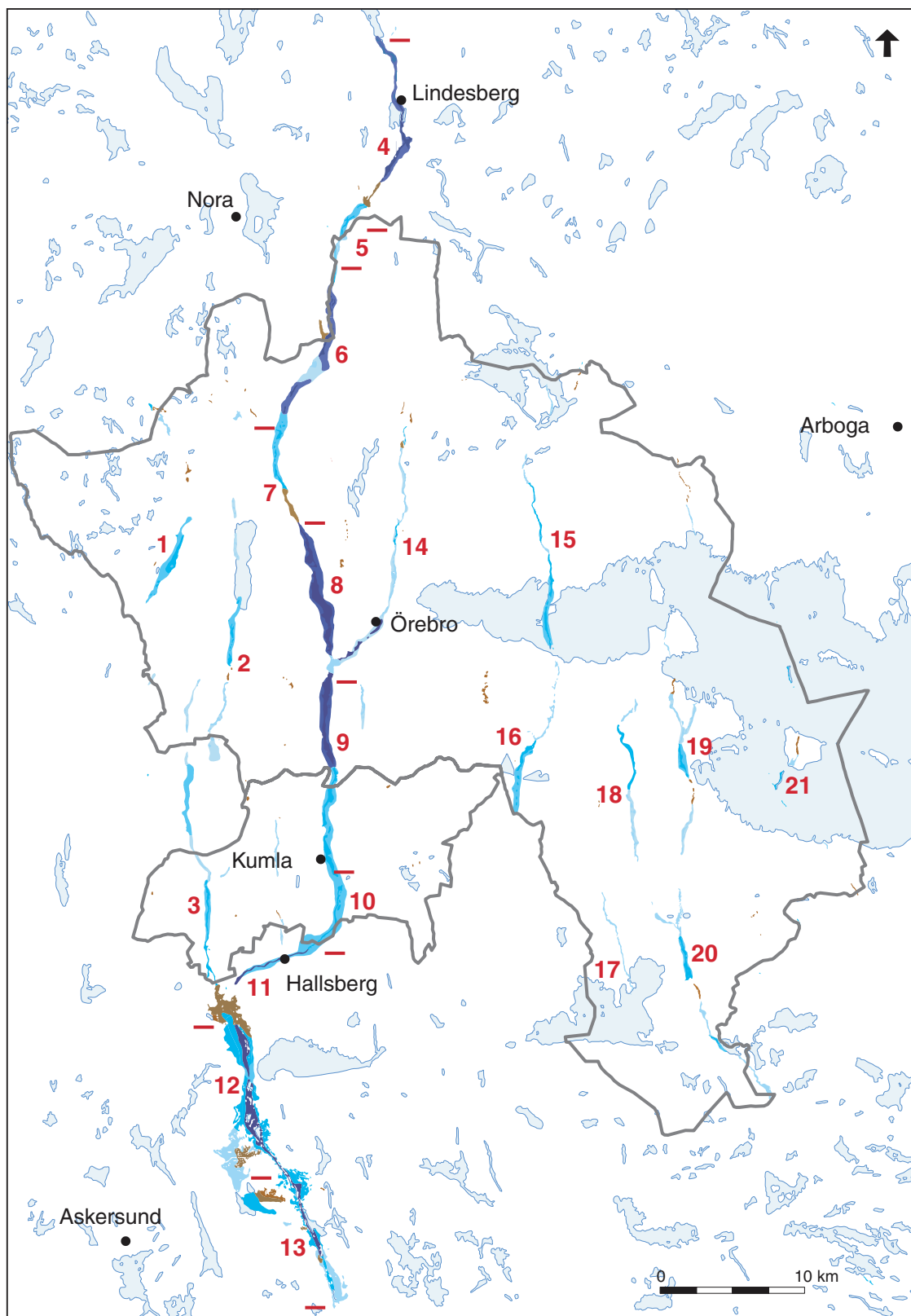


Fig. 2. Karteringsområdets isälvsvlagningar – åsar – indelade i avsnitt som beskrivs i texten. Röda streck markerar åsavsnittens början och slut.

Avsnitt 6 (fig. 2), Järlemagasinet, bedöms ha en naturlig grundvattenbildning kring 20–30 l/s. Det är emellertid möjligt att inducering från Järleån kan uppstå vid pumpning, varvid större vattenuttag kan göras. Avlagringarna i det södra delmagasinet, Hammarbymagasinet, är så mäktiga och vattengenomsläppliga att de skulle tillåta betydligt större uttag om konstgjord grundvattenbildning är möjlig.

I avsnitt 8 (fig. 2) är Örebro vattentäkter belägna. Här sker ett grundvattenuttag av omkring 450 l/s, som nästan helt är baserat på konstgjord grundvattenbildning av infiltrerat ytvatten från Svartån.

I avsnitt 10 (fig. 2) är Kumlas och Hallsbergs vattentäkter belägna. Vattenuttaget är här ca 115 l/s, vilket till övervägande del kan göras genom konstgjord grundvattenbildning av vatten från sjön Tisaren.

Avsnitten 12 och 13 (fig. 2), Åsbro- och Långsjömagasinen, har nu undersökts närmare. De bedöms ha en naturlig grundvattenbildning av sammanlagt ca 160 l/s. Denna vattenmängd kan troligtvis förstärkas genom konstgjord grundvattenbildning och inducering, men båda dessa grundvattenmagasin och särskilt Åsbromagasinet berörs i stor utsträckning av bebyggelse, vägar och järnväg. På Åsbromagasinet ligger dessutom t.ex. en impregneringsanläggning och en benstation. Allt detta kan göra det svårt att i praktiken utnyttja dessa grundvattenmagasin för mer storskalig grundvattenutvinning.

Övriga grundvattentillgångar inom karteringsområdet är av mindre storleksordning och bedöms inte vara av samma betydelse för den regionala vattenförsörjningen.

GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

Naturrensursen grundvatten

Av allt vatten på jorden är bara några få procent sötvatten. Resten finns i haven. Större delen av sötvattnet är lagrat som grundvatten och nästan hela återstoden är bundet i form av is och snö, mestadels i polartrakterna. Ytvattenmagasinen – sjöar, floder och mindre vattendrag – innehåller bara en obetydlig del av jordens sötvattenförråd, mindre än en promille. Att det ändå finns stora sötvattensjöar och floder beror på att omsättningstiden i dessa magasin är kort. Stora vattenmängder kan alltså passera genom magasinen under kort tid.

När nederbördsvatten infiltrerats i markytan passerar det först genom den luftade eller omättade zonen. I den finns både luft och vatten i markens por- och sprickutrymmen, och flödet kallas för perkolation. Djupare ner i marken, i den mättade zonen, fyller enbart vatten porerna och sprickorna. Det är det vattnet som kallas grundvatten. Strömningen ned till grundvattenytan kan ta allt från mindre än en timme till flera år. I sand och grus och i stora sprickor i berg sker transporten snabbare än i finkorniga jordarter och småsprickigt berg.

En geologisk bildning som är så genomsläpplig att grundvatten kan utvinnas ur den i användbara mängder kallas för en akvifer. I den kan finnas ett eller flera grundvattenmagasin. Magasinen är skilda åt i sidled genom grundvattendelare, som kan vara rörliga, dvs. de ändrar läge om vatten förs till eller tas bort från magasinen. Från vattendelarna strömmar grundvattnet åt motsatta håll. Akviferer och magasin kan också finnas ovanpå varandra, skilda åt av täta eller svårgenomträngliga lager.

I den mättade zonen (grundvattenzonen) sker vattenströmningen betydligt långsammare än i den omättade. Det beror på att lutningen hos grundvattnets tryckyta vanligen är liten. Ytligt grundvatten kan nå markytan och bilda ytvatten efter någon dag, medan djupare strömning kan ta många år.

Grundvattnet har över lag god beskaffenhet. Vanligen har det en låg, jämn temperatur, är fritt från organiska föroreningar och innehåller ämnen som lösts ut ur marken och som är nyttiga för människor, djur och växter. Från borrhåll eller grävda brunnar kan vattnet ofta användas helt utan rening.

Eftersom nästan allt ytvatten är bildat av grundvatten beror vattenbeskaffenheten i sjöar och vattendrag till stora delar på det tillrinnande grundvattnets kvalitet. Kvaliteten kan variera något under året och från år till år, liksom grundvattennivåerna eller trycknivåerna. Förändringar i trycknivåerna beror främst på variationer i nederbörd och temperatur. En grundvattentillgång kan ökas på konstgjord väg genom att man infiltrerar ytvatten i sand- och grusavlagringar.

De största vattentillgångarna förekommer i de stora isälvsavlagringarna – sand- och grusavlagringar – som bildades under avsmältningen av den senaste inlandsisen.

Enskilda hushåll, som använder vatten från egna grävda eller borrhåll brunnar för sin vattenförsörjning, omfattar drygt en miljon människor i vårt land. Lika många utnyttjar grundvatten i sitt fritidsboende. Grundvatten har många användningsområden. Några sådana är:

- för vattenförsörjning, både kommunal och enskild,
- som avlopp, där vattnet fungerar som transportmedel och lösnings- och spädningsmedel,
- i jordbruket för djurhållning och konstbevattning,
- som processvatten i vissa industrier,
- för trädgårdsbevattning,
- som energikälla genom värmeutvinning samt
- för kylning i t.ex. industriprocesser.

Vattnets kretslopp

Grundvattnet ingår i vattnets kretslopp och är därför en förnybar naturresurs. Det som driver kretsloppet är solens värmeenergi, tyngdkraften och jordrotationen. Av den nederbörd som faller

avdunstar ungefär hälften och återförs direkt till atmosfären genom inverkan av solenergin. Nästan hela återstoden infiltrerar i marken. Det gäller också nederbörd som tillfälligt eller under längre perioder lagras som snö eller is. Bara en liten del rinner av från markytan som ytvatten till sjöar och vattendrag. Det kan t.ex. vara regn eller snö som faller på hårdgjorda ytor såsom gator, vägar och hustak. Under den varma årstiden används mycket av det vatten som sipprar ned i marken av växtligheten, som återlämnar en del till atmosfären genom transpiration.

När de övre marklagren har nått en viss vattenmättnad kan överskottet sjunka vidare ned i marken och bilda grundvatten. Genom tyngdkraftens inverkan rör sig grundvattnet från högre terrängavsnitt mot lägre. Vilka vägar det tar och hur fort transporten går beror på grundvattenytans lutning och marklagrens genomsläpplighet.

Där grundvattnets trycknivå når upp till eller ligger högre än markytans nivå kan ett utströmningsområde bildas. Om jordlagren (i vissa fall berglagren) är genomsläppliga flödar grundvatten ut. Det uppstår källor och våtmarker. Grundvatten kan också strömma ut i botten av sjöar och vattendrag. Eftersom det bara är en liten del av den nederbörd som faller över land som rinner direkt ut i ytvatten är källflöden och långsam utströmning av grundvatten på bred front det som bestämmer vattentillgången i vattendrag och sjöar.

Från vattenytorna i sjöar och hav avdunstar vatten som tillsammans med vattenångan från markavdunstning och växternas transpiration bildar moln. Ur molnen faller nederbörd, och på så sätt fullbordas vattnets kretslopp (fig. 3).

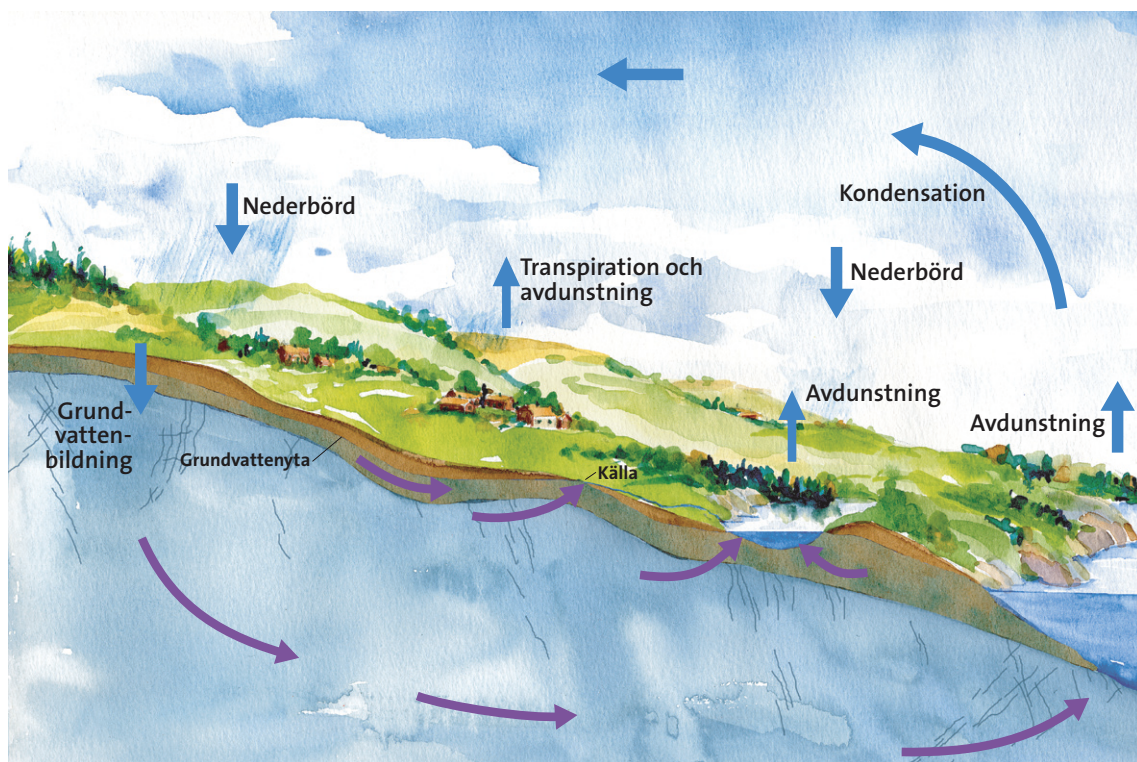


Fig. 3. Vattnets kretslopp. Grundvattnet rinner ut huvudsakligen i botten av bäckar, åar och sjöar samt i källor.
Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Grundvattnet i och intill en grusås

Figur 4 visar en dalgång med en isälvsavlagring – rullstensås – med sand, grus och block. Det är i åsarna som de största grundvattentillgångarna finns. Till höger i bilden finns också ett berg- och moränområde. Utanför åsarna finns de viktigaste grundvattentillgångarna i allmänhet i berggrunden. Terrängen i bilden ligger under högsta kustlinjen, dvs. landet har någon gång efter den senaste nedisningen varit täckt av hav, så som fallet är för större delen av området som behandlas i denna beskrivning. Den landskapstypen är ganska vanlig i Sverige. På bilden ligger grundvattnets tryckyta i åsen högre än i dalgången. Det gör att vatten kan läcka ut vid åsfoten och att brunnar i lerområdet kan vara självdrinande, artesiska. I andra delar av isälvsavlagringen och dess närmaste omgivning kan tryckytan ligga lägre och då strömmar vatten in mot åsen, den dränerar sin omgivning. Vattentransporten sker sedan vidare i åsens längdriktning.

Grundvattenbildning

För att nytt grundvatten ska kunna bildas fordras att de övre marklagren är så fuktiga att ett vattentillskott får vatten att rinna vidare nedåt och fylla på grundvattenmagasinet. Hur det fungerar kan man se när man vattnar en krukväxt. Först fylls markfuktigheten på, och efter en stund börjar vatten rinna ut ur hålet i blomkrukans botten.

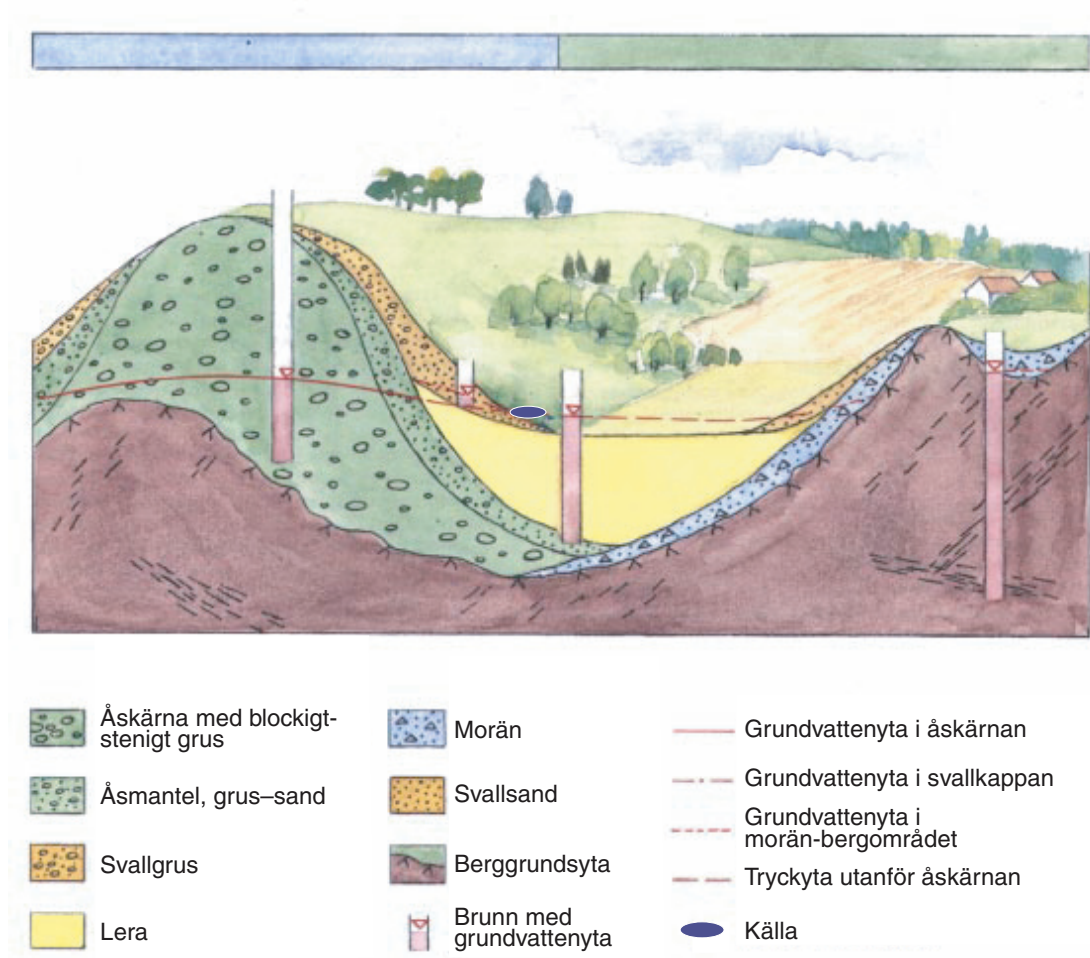


Fig. 4. Principbild på hur grundvattnet uppträder i och intill en grusås i områden med lera, under högsta kustlinjen. Illustration: Elisabet Carlson.

Hög markfuktighet råder under den kyliga delen av året, då avdunstningen är liten och växterna vilar. I samband med regn och snösmältning under denna period sker också den mesta grundvattenbildningen. Omvänt är markfuktigheten ofta låg på sommaren, och därför bildas det inget eller bara litet grundvatten, trots tämligen riklig nederbörd. Juli och augusti är vanligen de regnrrikaste månaderna på året. Grundvattennivåerna sjunker och ytavrinning i vattendragen av utläckande grundvatten minskar, men upphör vanligen inte helt.

Vattentillskotten består av regn och smältvatten. Underskottet i markfuktighet beror på avdunstning och växternas transpiration. Efter upptag av fuktighet i marken kvarstår den effektiva nederbörden, dvs. den som bidrar till grundvattenbildningen.

Tidsmässiga variationer i grundvattennivå

I figurerna nedan redovisas information från en av stationerna i SGUs grundvattennät (Nordberg & Persson 1974, station Hallsberg, 17:9) samt beräknad effektiv nederbörd (nederbörd minus avdunstning) enligt SMHI för området som motsvarar kartbladet 9F Finspång NV. Stationen är belägen på Vissbomon och visar nivåvariationer i åsens sand- och gruslager.

Figurerna 5 och 6 visar månadsmedelvärden för effektiv nederbörd för perioden 1961–1990 samt grundvattennivåns månadsvisa min-, medel- och maxvärden för perioden 1976–1997. Grundvattennivån är normalt lägst under augusti–september som ett resultat av den relativt låga grundvattenbildningen under sommaren. Stor effektiv nederbörd under mars–april återspeglas i årets högsta medelnivå under april–maj.

I figurerna 7 och 8 redovisas uppmätt grundvattennivå respektive grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet. Perioder med låga nivåer kan i figur 8 ses under mitten av 1970-talet, första halvan av 1990-talet och de sista fyra åren av den redovisade perioden.

Hur stora skillnaderna är mellan högsta och lägsta grundvattennivå under ett år beror, förutom på tillförda vattenmängder, på jordlagrens och berggrundens porositet och sprickvolym. I ett litet grundvattenmagasin i morän eller urberg kan variationerna vara stora och snabba, eftersom por- eller sprickvolymen är liten, 0,01–5 %. De flesta av de privata brunnarna i Sverige är nedförda i sådana magasin. Ett stort magasin, t.ex. en isälvsavlagring med sand och grus och därmed med stor porvolym, 5–25 %, reagerar långsamt och med små nivåförändringar, även om förhållandevis stora vattenvolymer tillförs eller avlägsnas.

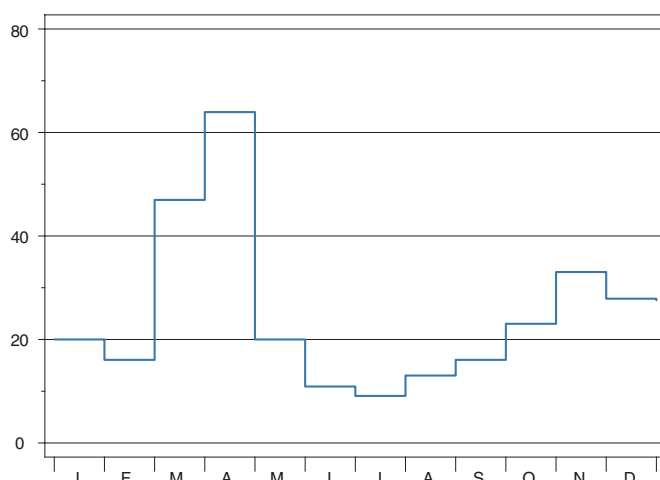


Fig. 5. Effektiv nederbörd (mm/mån.), 30-årsmedelvärde för perioden 1961–1990.

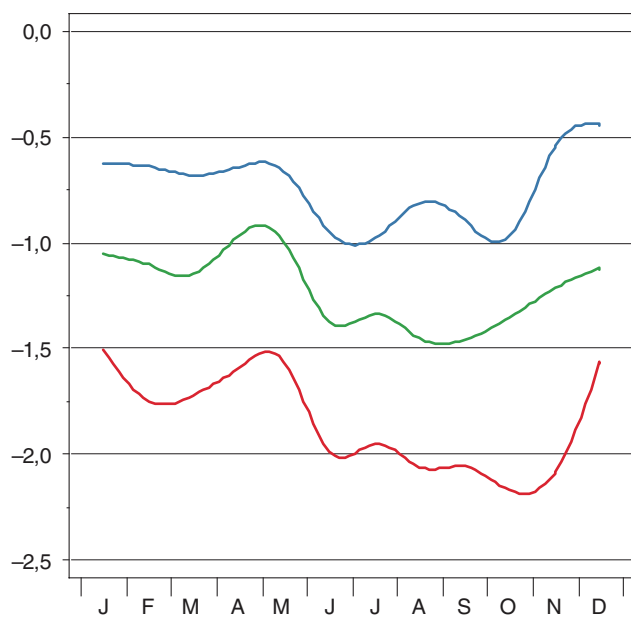


Fig. 6. Grundvattennivåns månadsmedelvärden, meter under markytan, för perioden 1970–2005. Blå linje – högsta nivå; grön linje – medelnivå; röd linje – lägsta nivå.

SGU, Grundvattennätet, station Hallsberg, 17:9
Grundvattennivåer, meter under markytan

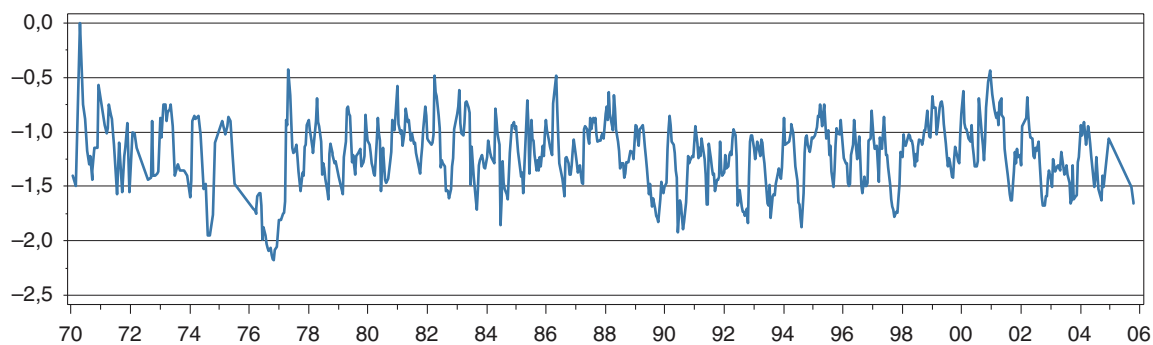


Fig. 7. Grundvattnets nivåvariation 1970–2005.

SGU, Grundvattennätet, station Hallsberg, 17:9
Grundvattennivåer, avvikelse från månadsmedelvärde, meter

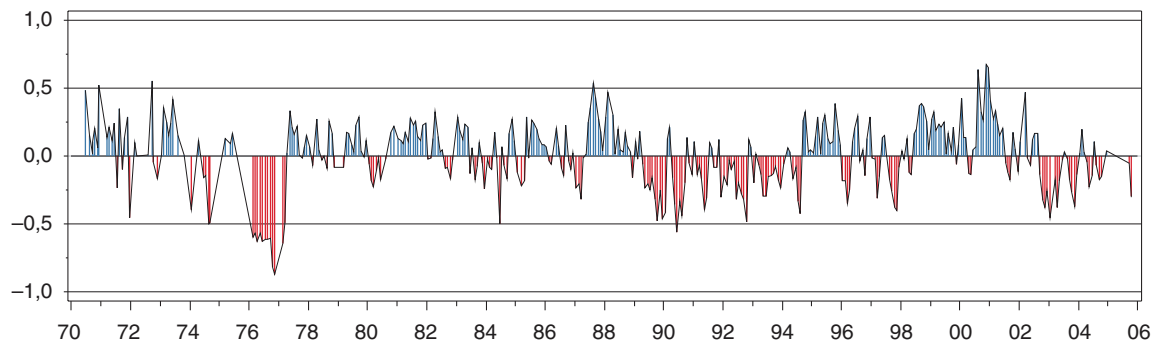
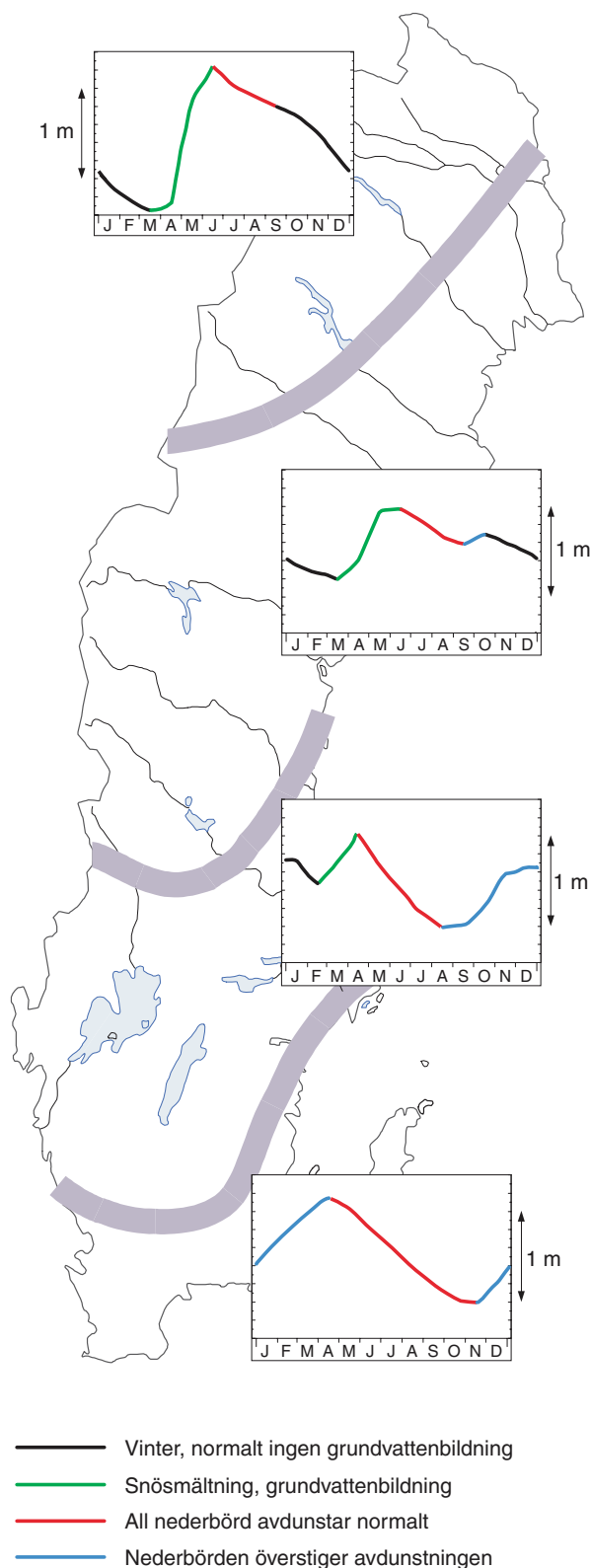


Fig. 8. Grundvattennivåernas avvikelser från månadsmedelvärde i meter, 1970–2005.

Årstidsvariationer

Grundvattenmagasin i t.ex. morän och urberg reagerar med liten tidsförskjutning på förändringar i vattentillskott. I sådana följer nybildningen av grundvatten mönster eller regimer som är olika i olika delar av Sverige. Det beror på skillnader i nederbörd och avdunstning. I stora akviferer, som t.ex. grusåsarna, är årstidsvariationerna utjämnade och något mönster syns vanligen inte.



Arjeplog

Den huvudsakliga grundvattenbildningen i norra Sveriges inland sker i samband med snösmältningen på sensvåren. Grundvattennivåerna stiger snabbt och når sitt maximum på försommaren. Sedan kommer vanligen inget tillskott till grundvattenmagasinet. En snabb övergång från sommar till vinter gör att nivåerna sjunker kontinuerligt, och de når sitt minimum strax före snösmältningen.

Sveg

I ett område som omfattar större delen av Norrlands kustland, södra Norrlands inland och fjälltrakter och norra Svealand sker nybildning av grundvatten förutom vid snösmältningen också under en kort period på hösten. Då är avdunstningen låg och nederbörden faller som regn på otjälad mark. Det gör att nivåkurvan får två maxima och två minima. De högsta grundvattennivåerna finns på våren och de lägsta under sensvintern.

Sigtuna

I södra Sveriges inland och upp mot Gävlebukten förekommer de lägsta grundvattennivåerna på sensommaren. Under hösten börjar nybildningen av grundvatten, och efter ett kort uppehåll med sjunkande nivåer när nederbörden mest faller som snö fortsätter stigningen vid snösmältningen. När den är avslutad står grundvattnet som högst.

Vellinge

I Svealands och Götalands kustområden och i det inre av sydligaste Sverige är snöperioden så kort, om den ens förekommer, att den inte nämnvärt påverkar grundvattenbildningen. Från en lägsta grundvattennivå tidigt på hösten sker därför en kontinuerlig stigning, och nivån är som högst på våren.

Fig. 9. Grundvattenregimer i Sverige.

Regimerna kan utläsas i kurvor över grundvattennivån i olika delar av landet. I figur 9 har fyra av SGUs mätstationer (Nordberg & Persson 1974) valts ut som exempel på de fyra huvudmönster som finns i Sverige. Höjdskalorna är ungefärliga och visar endast storleken på variationerna.

Dricksvatten

Det vatten som pumpas upp ur en vattentäkt kallas för råvatten. Dricksvatten är det vatten (yt- eller grundvatten) som efter eventuell beredning är avsett för dryck, matlagning eller beredning av livsmedel samt vatten som används vid livsmedelsproducerande företag. Grundvattnet i Sverige är på många håll så bra att det kan användas utan beredning.

Ett bra dricksvatten ska vara fritt från mikroorganismer, ha en temperatur på 12 grader eller lägre, vara klart och färglöst samt vara lukt- och smakfritt. Grundvattenkvalitetsproblem i Sverige beror ofta på låga pH-värden, hög hårdhet eller höga järn- och manganhalter, vilket kan medföra smakproblem, korrosion eller utfällningar på ledningar och installationer. Lågt pH kan även medföra ökade metallhalter i vattnet.

Livsmedelsverket är den myndighet som lämnar föreskrifter om dricksvatten. Den nu gällande föreskriften är SLVFS 2001:30 (2001). För att främja en enhetlig tillämpning av föreskrifterna i denna författning har Livsmedelsverket även tagit fram en vägledning som regelbundet förnyas. Föreskrifterna och vägledningen återfinns på Livsmedelsverkets webbplats. Föreskrifterna gäller hanteringen av och kvaliteten på dricksvatten, oavsett om denna ingår i yrkesmässig verksamhet eller inte. Livsmedelsverkets föreskrifter gäller dricksvatten från vattenverk som i genomsnitt tillhandahåller mer än 10 m³ dricksvatten per dygn eller försörjer fler än 50 personer, samt för vatten som tillhandahålls eller används som en del av en kommersiell eller offentlig verksamhet.

För vattenverk och enskilda brunnar som tillhandahåller mindre än 10 m³ dricksvatten per dygn eller försörjer färre än 50 personer har Socialstyrelsen tagit fram allmänna råd, SOSFS 2003:17 (2003). Den som har egen brunn har möjlighet att mot avgift få vattenkvaliteten undersökt. Hur ofta detta bör ske och vilka parametrar och riktvärden som gäller framgår i Socialstyrelsens allmänna råd som hittas på Socialstyrelsens webbplats.

I tabell 1 ingår några av de ämnen som brukar undersökas vid vattenanalys och de gräns- och riktvärden för dricksvatten som gäller enligt Livsmedelsverkets föreskrifter och Socialstyrelsens allmänna råd.

Inducerad infiltration

En brunn som anläggs i en sand- och grusavlagring, t.ex. en grusås intill en sjö (eller annat ytvatten), kan tillgodogöra sig ett ofta mycket betydande vattentillskott från sjön genom s.k. inducerad infiltration. Sådan uppstår om pumpningen i brunnen sänker av grundvattenytan intill sjön så att sjövattnet infiltrerar genom sjöbotten och in i åsen (om inte sjöbotten utgörs av tätande lera). Infiltrationen kan ske på större eller mindre avstånd från stranden och på flera olika ställen (fig. 10).

Vid passagen genom sand- och gruslagren kan sjövattnet renas och övergå till ett grundvatten med mycket god kvalitet från såväl kemisk som bakteriologisk och temperaturmässig synpunkt.

Sjövattnets temperatur kan variera mer än 20 grader under året, men när det har infiltrerat i grundvattenmagasinet blir temperaturvariationerna mycket små. Temperaturen på vattnet i brunnen håller sig kring 6–7 grader, om inte uttagsmängden är för stor i förhållande till avståndet till sjön så att temperaturen inte hinner stabiliseras.

Förutsättningar för inducerad infiltration föreligger vid flera av de åsavsnitt som behandlas i denna beskrivning t.ex.:

- Långsjön–Djupsjön och Åsajön–Estabosjön, möjligen även avsnittet vid sjön Multen, i Askerunds kommun.
- Lindesjön och Råsvalen i Lindesbergs kommun.
- Vissa av de ställen där de olika åsarna har kontakt med Hjälmaren.

Tabell 1. Gräns- och riktvärden för dricksvatten enligt Livsmedelsverket (2001) och Socialstyrelsen (2003). Listan omfattar ett antal ämnen som är vanligt förekommande vid analys av dricksvatten.

Parameter	Enhet	Livsmedelsverket (2001): Gränsvärde Tjänligt med anmärkning	Livsmedelsverket (2001): Gränsvärde Otjänligt	Socialstyrelsen (2003): Riktvärde Tjänligt med anmärkning	Socialstyrelsen (2003): Riktvärde Otjänligt
Aluminium	mg/l Al	0,100**		0,5	
Ammonium	mg/l NH ₄	0,50		0,5 (t) 1,5 (h, t)	
Arsenik	µg/l As		10		10 (h)
Bekämpningsmedel enskilda	µg/l		0,10		0,1
Bekämpningsmedel totalhalt	µg/l		0,50		0,50
Bly	µg/l Pb		10		10 (h)
Cyanid	µg/l CN		50		50 (h)
Fluorid	mg/l F		1,5	1,3 (h)	6,0 (h)
Färg	mg/l Pt	15/30*		30 (e)	
Järn	mg/l Fe	0,100/0,200*		0,50 (e, t)	
Kadmium	µg/l Cd		5,0	1,0 (h)	5,0 (h)
Kalcium	mg/l Ca	100		100 (t)	
Klorid	mg/l Cl	100		100 (t) 300 (e, t)	
Konduktivitet	mS/m	250		-	
Koppar	mg/l Cu	0,20	2,0	0,20 (e, t)	2,0 (h, e, t)
Krom	µg/l Cr		50		50 (h)
Kviksilver	µg/l Hg		1,0		1,0 (h)
Lukt		Svag	Tydlig eller mycket stark	Tydlig (e)	Tydlig (h) Mycket stark (e)
Magnesium	mg/l Mg	30		30 (e)	
Mangan	mg/l Mn	0,050**		0,30 (e, t)	
Natrium	mg/l Na	100		100 (t) 200 (e, t)	
Nickel	µg/l Ni		20		20 (h)
Nitrat	mg/l NO ₃	20	50	20 (t)	50 (h, t)
Nitrit	mg/l NO ₂	0,10**	0,50	0,1 (t)	0,5 (h)
Oxiderbarhet (permanganatindex)	mg/l O ₂	4,0			
pH (vätejonkoncentra- tionen)		<7,5 >9,0	10,5	<6,5	10,5 (h)
Polycykliska aroma- tiska kolväten (PAH)	µg/l		0,10		0,1 (h)
Smak		Svag	Tydlig eller mycket stark	Tydlig (e)	Tydlig (h) Mycket stark (e)
Sulfat	mg/l SO ₄	100		100 (t)	250 (h, e, t)
Turbiditet	FNU, NTU	0,5/1,5*		3	

Enligt Livsmedelsverket (2001): Gränsvärden gäller för prov från dricksvatten hos användaren och förpackat dricksvatten om inget annat anges. * = utgående dricksvatten resp. dricksvatten hos användaren och förpackat dricksvatten, ** = utgående dricksvatten. Enligt Socialstyrelsen (2003): (h) = hälsomässig grund för anmärkning, (e) = estetisk grund för anmärkning, (t) = teknisk grund för anmärkning.

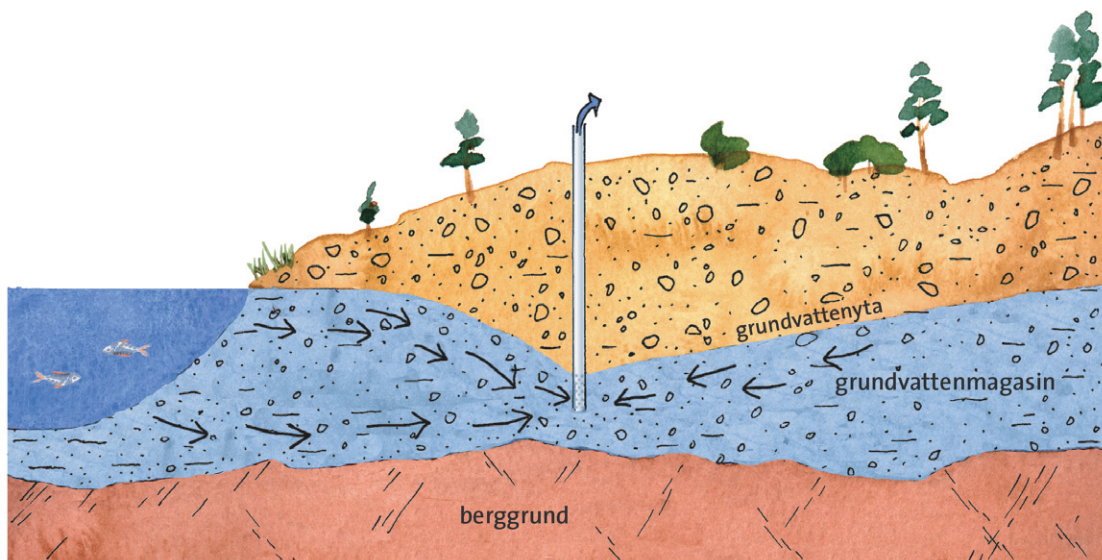


Fig. 10. Principbild på inducerad infiltration. Genom pumpning i brunnen sänks grundvattenytan under sjöns nivå. Därigenom kan sjövattnet infiltrera genom sjöbotten. Vid passagen genom sand- och gruslagren renas sjövattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Konstgjort grundvatten

Det är inte ovanligt att den naturliga nybildningen av grundvatten i ett område är mindre än den vattenmängd man vill ta ut för t.ex. kommunal vattenförsörjning. Under vissa förutsättningar kan det då vara möjligt att skapa konstgjord grundvattenbildning.

Vattentillgången i en sand- eller grusavlagring kan förstärkas genom konstgjord grundvattenbildning. Det tillgår vanligen så att man leder ytvatten till bassänger eller gropar i avlagringen, där det får infiltrera. Ibland byggs särskilda infiltrationsbrunnar.

På liknande sätt som vid inducerad infiltration renas sjövattnet vid passage genom sand- och gruslagren. Det vatten som erhålls i uttagsbrunnarna har övergått till ett vatten med grundvattenkaraktär, med hög och jämn kvalitet.

Vid planering för och användande av en grundvattentäkt med konstgjord grundvattenbildning i naturliga jordlager måste förhållandevis omfattande och detaljerade hydrogeologiska undersökningar genomföras. De hydrogeologiska förutsättningar som krävs kan kortfattat beskrivas enligt följande.

- Vid infiltrationsläget bör sand- och gruslagren ha en relativt homogen sammansättning och vara tillräckligt genomsläppliga för att tillåta en infiltration av mellan 2 och 5 m³ per kvadratmeter och dygn.
- Den omättade zonens mäktighet under naturliga förhållanden bör vara minst 3–5 meter.
- Grundvattenmagasinets mäktighet måste vara så stor vid läget för uttagsbrunnarna att tillräckliga avsänkingsmöjligheter föreligger med hänsyn till de önskade uttagsmängderna.
- God hydraulisk kommunikation måste föreligga mellan infiltrationsläget och uttagsbrunnarna.
- Strömningsriktningen från infiltrationsläget ska vara så entydig att huvuddelen av det infiltrerade vattnet kan utvinnas.
- För att säkerställa jämn och god grundvattenkvalitet måste grundvattnets uppehållstid i marken vara tillräckligt lång, minst 14 dygn, vilket medför att uttagsbrunnarna måste placeras på ett tillräckligt stort avstånd från infiltrationsläget, 200–300 m.
- En fördel är om grundvattenmagasinet har en så stor magasinande förmåga att uttag kan ske under längre tid – flera veckor – utan infiltration.

Naturligt grundvatten med ursprungligen höga halter av järn, mangan eller humus kan ofta förbättras genom att det luftas i vattenkaskaden i infiltrationsbassängen. En sådan anläggning kan se ut som figur 11 visar, med den skillnaden att råvattnet kommer från en grundvattenbrunn i stället för från en sjö.

Ett annat användningssätt för metoden är att återcirkulera kylvatten för luftkonditioneringsanläggningar. Infiltrationstekniken kan också användas när man vill upprätthålla grundvattentrycket i tätorter som är belägna på grundvattenförande avlagringar. Sjunker trycket genom dränering via kabelgravar, schakt för vatten- och avloppsledningar och tunnlar etc. kan sättningsskador uppstå på byggnader, gator och vägar.

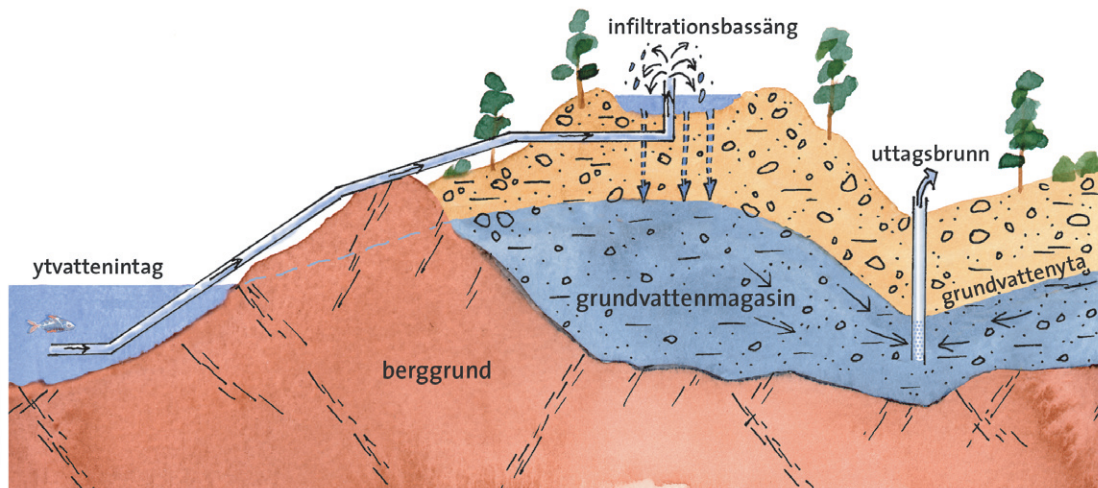
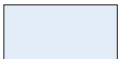


Fig. 11. Principbild på konstgjord grundvattenbildning. Sjövattnet leds till infiltrationsbassänger i en sand- och grusavlagring där den naturliga grundvattenbildningen inte är tillräcklig. Det är i första hand vid passagen genom den omättade zonen, som vattnet renas. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I JORDLAGREN

Sand och grus, huvudsakligen isälvsavlagringar

	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 25–125 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 5–25 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 1–5 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen <1 l/s
	Viktigt grundvattenbildningsområde för en större grundvattenförekomst

Sand- och gruslager under finkorniga sediment

	Sammanhängande tät jordlager, vattenförande friktionslager kan förekomma i eller under dessa sediment
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 25–125 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 5–25 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 1–5 l/s

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I BERGGRUNDEN

Urberg

	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 2000–6000 l/h
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 600–2000 l/h
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 0–600 l/h

ÖVRIGA BETECKNINGAR

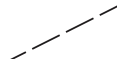
	Förkastning
	Spricka eller sprickzon
	Fast grundvattendelare
	Rörlig grundvattendelare
	Strandlinje där förutsättning för inducerad infiltration föreligger
	Strandlinje med risk för hög salthalt vid inducering
	Grundvattnets huvudrörelseriktning i jordlager
	Källa registrerad vid SGU
	Grundvattnets trycknivå, m ö.h.
	Seismikprofil
	Georadarprofil
	Sonderingsbörning
	Börning med kvarstående rör

Fig. 12. Teckenförklaring till beskrivningens kartutsnitt.

ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV GRUNDVATTENTILLGÅNGARNA

Grundvatten i jordlagren

I allmänhet förekommer de största grundvattentillgångarna i de stora isälvsavlagringarna, vilka utgörs av mer eller mindre väl sorterade sand- och gruslager. Inom kartområdet finns ett flertal isälvsavlagringar. Den mest betydelsefulla sträcker sig genom hela kartområdet från sjön Råsvälen i Lindesbergs kommun till Mariedamm i Askersunds kommun. Den har olika namn i olika avsnitt t.ex. Lindeåsen vid Lindesberg, Hallsberg-Kumlaåsen och vid Åsbro Vissbomon. Ett gemensamt namn för hela åsstråket, som kan följas från Djurkällaplatån vid Motala i söder till trakten av Grängesberg i norr är Karlslundsåsen, efter den stora gården belägen där Svartån korsar åsen strax väster om centrala Örebro.

De åsavsnitt och de grundvattenförekomster som ligger inom kartbladen 10F Örebro SV, SO, NV och NO har, som ovan nämnts, beskrivits detaljerat tidigare i SGU Ag 1, 2, 3 och 5 (Möller m.fl. 1971, 1974). Med undantag av grundvattenförekomsten vid Hammarby, mellan Kil och Mogetorp, berörs de därför endast i korthet i denna beskrivning.

Det avsnitt av Karlslundsåsen som ligger mellan Mosjö och Åsbro undersöktes närmare på 1960-talet och redovisades i en omfattande utredning (VBB & K-Konsult 1968).

De hydrogeologiska och geofysiska undersökningar som utförts inom ramen för SGUs förnyade grundvattenkartering var i första hand inriktade på de grundvattenförekomster som bedömts vara störst, som tidigare inte undersökts och som inte redan nu utnyttjas. Merparten av de geofysiska mätningarna och borrhningarna som gjordes 2003 och 2004 utfördes i åsavsnitten söder om Åsbro i Askersunds kommun. Beträffande grundvattennivåerna genomfördes emellertid en fullständig ommätning längs alla större åsar.

En grundvattentillgång kan, som tidigare antytts, utnyttjas på andra sätt än genom förbrukning och bortledning av vattnet. Större grundvattenförekomster i genomsläppliga sand- och gruslager kan t.ex. utnyttjas för kylning sommartid och uppvärmning vintertid. Detta åstadkoms då med en kombination av uttagsbrunnar och infiltrationsbrunnar, så att inget nettouttag av grundvatten sker, och därmed inte heller några stora grundvattensänkningar.

Lägen för de områden med grundvattenförekomster som beskrivs nedan framgår av figur 2. Figur 12 visar en teckenförklaring till kartutsnittet i denna beskrivning.

1. Nordligaste delen av Askersundsåsen

Grundvattenförhållandena är förhållandevis dåligt kända i den nordligaste delen av Askersundsåsen, bl.a. beroende på att det centrala åspartiets läge och den primära åsens utbredning har varit svåra att fastställa på grund av en mycket stark påverkan av svallning. Tillgängliga uppgifter från brunnborrningar anger emellertid ställvis stora jordmäktigheter, vid Garphyttan 30–40 m. Tyvärr framgår det inte om sand och grus ingår i dessa jordlager. Vid Lannafors däremot finns borrhuppgifter på drygt 20 m grus.

På grundvattenkartan har avlagringen getts en färg motsvarande en grundvattentillgång på mellan 5 och 25 l/s. Troligtvis ligger tillgången i undre delen av intervallet och uttagsmöjligheterna är sannolikt bäst i den södra delen av området, vid Lannafors.

Vid Lisselången, ca 10 km norr om Garphyttan och vid kommungränsen, förekommer en mindre isälvsavlagring. Den avvattnas genom ett källområde alldeles intill en mindre skogsbilväg. Det samlade flödet här var i september 2005 ca 2,5 l/s, vilket också torde vara ungefär vad denna avlagring kan ge.

2. Nordöstra grenen av Hardemoåsen

I nordöstra grenen av Hardemoåsen norr om E18 varierar sand- och grusmäktigheten mellan ca 5 och 15 m (Möller m.fl. 1971a, b). Totalt i detta avsnitt är grundvattentillgången av storleksordningen 10–15 l/s.

3. Hardemoåsen inom Kumla kommun

Iakttagelser av källflöden i juli 1969 (Möller m.fl. 1971a, b) visade på ett grundvattenutflöde från Hardemoåsen på ca 10 l/s. Detta är sannolikt också ungefär vad åsavsnittet kan ge. De synliga källflödena har visserligen nu nästan upphört, beroende på fördjupningar av diken och ökade grundvattenuttag, men grundvattentillgången torde vara densamma. Figur 13 och omslagsbilden visar den kulturhistoriskt mycket intressanta, men sedan flera decennier sinade S:t Olofs källa ett par hundra meter norr om Hardemo kyrka (Lindstén 1996).

4. Lindeåsen mellan Råsvalen och Yxe

Den direkta grundvattenbildningen på åsavsnittet av Lindeåsen norr om Lindesberg är endast några få liter per sekund. På grund av goda möjligheter till inducerad infiltration, främst från sjön Råsvalen och Lindesjön, bedöms emellertid grundvattentillgången vara av storleksordningen 25–125 l/s. Provpumpning har tidigare utförts med 110 l/s (VIAK 1985).

Grundvattenbildningen i åsavsnittet söder om Lindesberg genom direkt infiltration av nederbörden är av storleksordningen 15–25 l/s, men huvudsakligen genom inducering från Stora och Lilla Lindesjön är det möjligt att ta ut nästan 90 l/s för den kommunala vattenförsörjningen (Midvatten 2005). Lindemagasinet har undersökts vid denna kartering och beskrivs närmare på sid. 31.



Fig. 13. Den historiskt intressanta S:t Olofs källa, 300 m norr om Hardemo kyrka, är en stensatt, någon meter djup brunn. Beroende på i första hand dikningar har flera källflöden, som man tidigare kunde se i området, sinat, så också S:t Olofs källa. Grundvatten från åsen läcker nu ut direkt i den intilliggande Lannabäcken. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

5. Åsavsnittet från grundvattendelaren vid Yxe till grundvattendelaren vid Ringholmen

Åsavsnittet från grundvattendelaren vid Yxe till grundvattendelaren vid Ringholmen ligger lågt i terrängen, särskilt den norra delen. Magasinet står troligtvis också i hydraulisk kontakt med Järleån, varför det tillförts kapacitetsklassen 5–25 l/s, trots att det är förhållandevis litet. Åsavsnittet beskrivs närmare på sid. 35.

6. Åsavsnittet från grundvattendelaren vid Ringholmen till grundvattendelaren 3 km norr om Kil

Grundvattenbildningen genom infiltration av nederbörden direkt på åsen kan beräknas till endast några tiotal liter per sekund. Ett tillskott av grundvatten från berggrunden i väster kan påräknas men är svårt att kvantifiera. Borrningar och geofysiska mätningar har emellertid påvisat stora sand- och grusmaktigheter (40–50 m) med hög genomsläpplighet. Det finns därför anledning att antaga att det kan finnas ovanligt goda möjligheter till betydligt större grundvattenuttag, om grundvattenbildningen kan förstärkas med infiltration av tillfört ytvatten. Se avsnittet om konstgjord grundvattenbildning, sid. 18. En förhållandevis detaljerad undersökning i detta åsavsnitt genomfördes på uppdrag av vattenverket i Örebro. Huvuddragen av resultaten från undersökningarna av Hammarbymagasinet beskrivs nedan, sidan 38.

7. Kilsåsen från grundvattendelaren 3 km norr om Kil till grundvattendelaren 4 km söder om Kil

Kilsåsen sträcker sig från grundvattendelaren 3 km norr om Kil till grundvattendelaren 4 km söder om Kil. Det exakta läget för den södra grundvattendelaren är svårt att fastställa. Den är betingad av höga berglägen, dvs. bergytan når upp ovanför grundvattenytan, längs en sträcka av ca 2,5 km. Det mesta gruset är uttaget och den blottade berggrundsytan med bergtäkter är oregelbundet kuperad, varför det är svårt att avgöra exakt hur avrinningen sker från bergytan ner mot grundvattenmagasinen i åsen.

Uttaget vid den kommunala grundvattentäkten vid Kil är 0,2–0,3 l/s. Grundvattenbildningen i hela detta åsavsnitt kan bedömas vara av storleksordningen 10–12 l/s.

8. Egentliga Karlslundsåsen mellan grundvattendelaren 4 km söder om Kil och grundvattendelaren vid Adolfsberg

Grundvattenförhållandena i Karlslundsåsen mellan grundvattendelaren 4 km söder om Kil och grundvattendelaren vid Adolfsberg domineras helt av Örebro stads vattentäktсанläggningar. Dessa utgörs av ett flertal infiltrationsdammar och uttagsbrunnar. Det totala grundvattenuttaget är 450 l/s och den från Svartån infiltrerade vattenmängden är nästan exakt densamma, varför något större nettouttag av grundvatten inte sker. På allmänna hydrogeologiska grunder kan den naturliga grundvattenbildningen av infiltrerad nederbörd bedömas vara av storleksordningen 20–40 l/s i hela detta åsavsnitt.

9. Hallsberg-Kumlaåsen från grundvattendelaren vid Adolfsberg till grundvattendelaren vid Kumla

Åsavsnittet av Hallsberg-Kumlaåsen från grundvattendelaren vid Adolfsberg till grundvattendelaren vid Kumla är ett förhållandevis stort grundvattenmagasin. Här har funnits kommunala grund-

vattentäkter vid Mobacka, Mosjö och Kumla, men de är numera nedlagda. En större källa, Gällö brunn, är belägen drygt 2 km söder om den norra grundvattendelaren. Källans flöde har genom åren varierat något kring ca 10 l/s. En vattenanalys av källans vatten från oktober 2004 visade en kloridhalt på 74 mg/l, vilket är relativt högt, se tabell 2. Opåverkade grundvatten i dessa trakter har kloridhalter kring 10 mg/l. Orsaken till det höga kloridvärdet är sannolikt vägsalt från många och stora vägar som berör åsen. Grundvattentillgången i hela åsavsnittet kan nu beräknas till omkring 40–50 l/s, vilket också var vad som uppgavs i slutet av 1960-talet (Möller m.fl. 1971a, b).

10. Kumla-Hallsbergåsen från grundvattendelaren vid Kumla till grundvattendelaren vid Berga

Kumlas och Hallsbergs gemensamma grundvattentäkt utgörs av infiltrationsdammar och uttagsbrunnar vid Blacksta. Det infiltrerade vattnet kommer från sjön Tisaren, ca 12 km söderut. Åsavsnittet avgränsas av två grundvattendelare, vid Kumla i norr och vid Berga i söder. Båda dessa grundvattendelare är rörliga, dvs. de är inte betingade av höga berglägen eller andra hydrauliska hinder. Vattenuttaget är av storleksordningen 115 l/s, medan den naturliga grundvattentillgången är ca 20 l/s, varav ett visst tillskott från den under- och intilliggande sandstenen. Figur 14 visar en principbild av grundvattenflödena.

Vid SGUs kartläggning av grundvattnet 1969 var en kommunal vattentäkt i drift vid Kumlasjön, nära centrala Kumla. Det vattenuttaget skapade en grundvattendelare nära den nordligaste delen av staden, och en annan grundvattendelare nära den sydligaste delen. När nu detta vattenuttag har upphört är dessa grundvattendelare borta, och det som var en lågpunkt i grundvattensystemet, vattentäkten, har förbytts till en höjdpunkt, en grundvattendelare.

Tabell 2. Kemiska vattenanalyser från källor.

Järleborg	Gällö Brunn	Vissboda	Noren
COD-Mn (mg/l)	<1	COD-Mn (mg/l) 1,6	COD-Mn (mg/l) 2,9
pH	6,8	pH 7,1	pH 8
HCO ₃ (mg/l)	25	HCO ₃ (mg/l) 460	HCO ₃ (mg/l) 120
Ca (mg/l)	10	Ca (mg/l) 160	Ca (mg/l) 57
Mg (mg/l)	3	Mg (mg/l) 21	Mg (mg/l) 1,5
Na (mg/l)	5,5	Na (mg/l) 45	Na (mg/l) 6,1
K (mg/l)	<2	K (mg/l) 5	K (mg/l) <2
Fe (mg/l)	0,06	Fe (mg/l) <0,050	Fe (mg/l) <0,050
Mn (mg/l)	<0,020	Mn (mg/l) 0,050	Mn (mg/l) <0,020
Cu (mg/l)	<0,010	Cu (mg/l) <0,010	Cu (mg/l) <0,010
NH ₄ -N (mg/l)	0,020	NH ₄ -N (mg/l) <0,010	NH ₄ -N (mg/l) 0,030
NH ₄ (mg/l)	0,03	NH ₄ (mg/l) <0,020	NH ₄ (mg/l) 0,040
NO ₂ -N (mg/l)	<0,001	NO ₂ -N (mg/l) <0,001	NO ₂ -N (mg/l) <0,001
NO ₂ (mg/l)	<0,020	NO ₂ (mg/l) <0,020	NO ₂ (mg/l) <0,020
NO ₃ -N (mg/l)	0,2	NO ₃ -N (mg/l) 1	NO ₃ -N (mg/l) <0,100
NO ₃ (mg/l)	0,9	NO ₃ (mg/l) 4,400	NO ₃ (mg/l) <0,5
PO ₄ -P (mg/l)	<0,002	PO ₄ -P (mg/l) <0,002	PO ₄ -P (mg/l) <0,002
PO ₄ (mg/l)	<0,006	PO ₄ (mg/l) <0,006	PO ₄ (mg/l) <0,006
F (mg/l)	0,16	F (mg/l) 0,260	F (mg/l) <0,100
Cl (mg/l)	11	Cl (mg/l) 74	Cl (mg/l) 13
SO ₄ (mg/l)	4,1	SO ₄ (mg/l) 48	SO ₄ (mg/l) 16
Hårdhet (tyska grader)	2,1	Hårdhet (tyska grader) 27	Hårdhet (tyska grader) 8,3
Konduktivitet (mS/m)	10,2	Konduktivitet (mS/m) 97,6	Konduktivitet (mS/m) 29,1
			Konduktivitet (mS/m) 21,4

11. Hallsberg-Kumlaåsen från grundvattendelaren vid Berga till grundvattendelaren i nordligaste delen av Vissbomon

Reservvattentäkter i Hallsberg hålls kontinuerligt i gång genom pumpning av 44 l/s. Grundvattenbildningen av nederbörd direkt till åsen kan beräknas till storleksordningen 20 l/s. Ett tillskott av ytterligare minst 24 l/s till åsen har sannolikt sitt ursprung i höjdområdet i söder, via en stor förkastnings sprickzoner och från berggrunden i söder anslutande sprickor.

12. Vissbomon till grundvattendelaren vid Mörtsjön

I utredningen om grundvattentillgångarna i Kumla–Hallsbergregionen beräknades grundvattentillgångarna i detta åsavsnitt till 100 l/s (VBB & K-Konsult 1968). Det är ett värde på grundvattenbildningen, som kan bekräftas av den nu genomförda grundvattenkarteringen. Området har undersökts med geofysiska mätningar och borrhinar, särskilt avsnittet från Åsbro till Mörtsjön. Åsavsnittet beskrivs närmare på sidan 48 och framåt.

13. Åsavsnittet från grundvattendelaren vid Mörtsjön till Mariedamm

Åsavsnittet från grundvattendelaren vid Mörtsjön till Mariedamm har undersökts närmare. Grundvattenbildningen har beräknats till omkring 60 l/s. Härtill kan sannolikt påräknas ett inte obetydligt tillskott beroende på goda möjligheter till inducerad infiltration. Resultaten av undersökningarna beskrivs närmare nedan, sid. 61.

14. Örebroåsen från Ölmbrotorp till grundvattendelaren vid Adolfsberg

Längs Örebroåsen från Ölmbrotorp till grundvattendelaren vid Adolfsberg har det tidigare funnits flera kommunala grundvattentäkter: vid Frölunda, vid Kvinnersta, söder om Ölmbrotorp och strax norr om Gustavsviksbadet i Örebro, där 30 l/s har tagits ut. Som framgår av grundvattenkartan förekommer längs sträckan flera mindre grundvattenmagasin åtskiljda av grundvattendelare. Den totala grundvattentillgången i hela åsavsnittet är av storleksordningen 50 l/s.

15. Glanshammarsåsen från Tjugestasjon till Äsön

Grundvattentillgången i åsavsnittet från Tjugestasjon till grundvattendelaren vid Glanshammar torde vara högst 10 l/s. I den kommunala vattentäkten vid Glanshammar tas drygt 2 l/s ut. I avsnittet mellan Glanshammar och Äsön kan grundvattenbildningen beräknas vara av samma

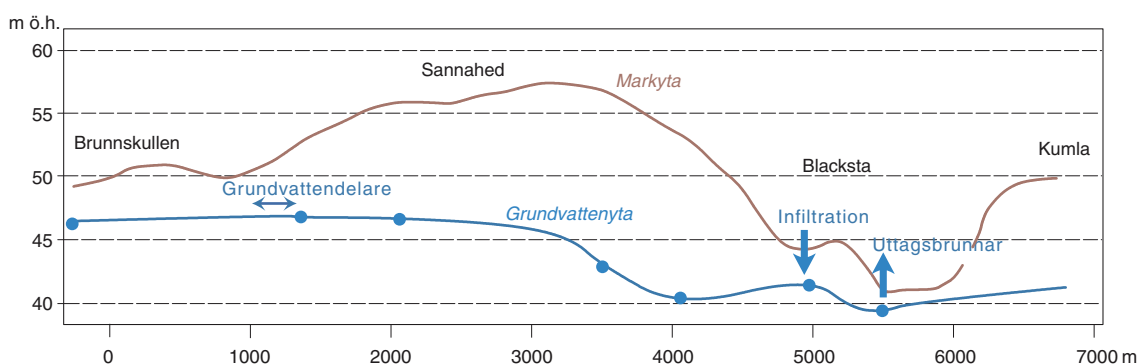


Fig. 14. Principbild av grundvattenströmningen i åsen vid Kumla–Hallsbergs vattentäkt. Vid Blacksta finns anläggningar för konstgjord grundvattenbildning (fig. 11). Där infiltreras vatten från Tisaren. Från uttagsbrunnarna tas ca 115 l/s varav ungefär 20 l/s beräknas vara naturligt bildat grundvatten. Blå punkter är uppmätta grundvattennivåer

storleksordning. Eventuellt finns förutsättningar för inducering av vatten från Hemfjärden och Mellanfjärden vid Äsön, vilket skulle kunna öka ett eventuellt grundvattenuttag där. Det omfattande uttaget av sand och grus har dock minskat möjligheterna att anlägga lämpliga brunnar.

16. Glanshammarsåsen från Södra Ässundet till Kvismare kanal

Grundvattenbildningen i Glanshammarsåsen i åsavsnittet från Södra Ässundet till Kvismare kanal kan beräknas vara omkring 15 l/s. De bästa uttagsmöjligheterna bedöms vara söder om grundvattendelaren vid Norrbyås.

17. Åsstråket från Rågsand till Sottern

Åsstråket från Rågsand till Sottern är en förhållandevis liten och grund åsbildning, som inte kan följas vare sig norrut eller söderut. Sådana åsstråk består vanligtvis av dåligt sorterat material, vilket innebär dåliga uttagsmöjligheter. Grundvattenbildningen i sig kan beräknas vara av storleksordningen 5 l/s, men så mycket går sannolikt inte att ta ut.

18. Valstaåsen mellan St. Mellösa och Sandvad

Den sammanlagda grundvattenbildningen i Valstaåsen mellan St. Mellösa och Sandvad kan beräknas vara av storleksordningen 5 l/s eller strax över. Utagsmöjligheterna bedöms vara något bättre norr om Kvismare kanal än söder därom.

19. Lännäsåsen från Göksholm till Skärsätter

I de nordligaste partierna av Lännäsåsens åsavsnitt mellan Göksholm och Skärsätter, norr om Egby, torde endast någon enstaka liter per sekund kunna utvinnas. Vid Jungfru Annas källa, norr om Segersjö herrgård, finns en kommunal grundvattentäkt, varifrån St. Mellösa, Odensbacken, Asker och Hampetorp får sitt vatten. Den naturliga grundvattentillgången på detta ställe har beräknats till 4 l/s, men med stöd av konstgjord grundvattenbildning (infiltration av Hjälmavatten) tar man ut ca 10 l/s. I åsavsnittet söder om Kvismare kanal kan grundvattenbildningen bedömas vara omkring 4 l/s.

20. Lännäsåsen mellan Östmossa och Kullasjön

Lännäsåsen är relativt tunn men utbredd mellan Östmossa och Kullasjön. Kilsmo har sin vattenförsörjning från en grundvattentäkt vid gården Sundsbro, där ca 5 l/s har beräknats kunna tas ut (VIK 1973). Åsavsnittet har undersökts, huvudsakligen med georadar, och beskrivs närmare på sid. 74.

21. Norrköpingsåsen på Vinön och närliggande öar

Norrköpingsåsen har sin sträckning mellan Vinön och närliggande öar. På själva Vinön kan grundvattenbildningen uppskattas till ca 3 l/s, med de bästa uttagsmöjligheterna på den södra delen av ön. Här kan möjligheterna till inducering vara goda, vilket de troligen är i ännu högre grad på öarna Grundholmen, Fåran och Rönnberget, men där kan många praktiska svårigheter med brunnsanläggningar föreligga.

Grundvatten i berggrunden

Berggrunden i kartområdet utgörs av såväl äldre urberg (1 880–1 870 miljoner år) som av yngre sedimentära bergarter (570–450 miljoner år). I vissa områden utgörs urberget av mestadels starkt omvandlade bergarter som ursprungligen varit sediment, såsom sand och lera, eller vulkaniska avlagringar såsom lava och aska. I andra områden utgörs urberget av mer eller mindre strukturförändrade graniter (granit och gnejsgranodiorit), som intruderat i ovannämnda bergarter. De vattenmängder man får vid brunnborrning i urbergets olika bergarter varierar mellan endast 600 och 800 l/tim, genomsnittligt sett (medianvärde). Däremot finns vissa områden i Lindesbergs, Örebro och Askersunds kommuner där brunnar borrar i urberg genomsnittligt ger så mycket som 2 000 l/tim på grund av gynnsammare sprickighet (Pousette m.fl. 1999).

De yngre sedimentära bergarterna ligger planparallellt lagrade på varandra, med en svag stupning, huvudsakligen mot söder. Figur 15 visar en profil genom berggrunden från norr till söder vid Kvarntorp. Figur 16 visar lagerserien i ett borrhål vid Yxhult. Det kan särskilt noteras att bottenbildningen, som ställvis är konglomeratisk (fig. 17), oftast är det mest vattengivande avsnittet, att lerstenen är mycket dåligt konsoliderad och kollapsar utan foderrör samt att alunskeffern vanligen ger dålig vattenkvalitet. Detta innebär att foderrör alltid bör drivas åtminstone ner i glaukonit-fosforitsandstenen vid brunnborrning. Medianvärdet på sandstensbrunnarnas kapacitet är 2 400 l/tim.

I sandstenen förekommer grundvattnet i såväl porer som i sprickor och särskilt rikligt i bottenbildningen. Därför behöver man inte ta någon större hänsyn till hur och var sprickor förekommer, när man borrar efter vatten i sandstensområden. Annorlunda är det i urbergsområden där grundvattnet bara förekommer i sprickor. Då de flesta brunnar borrar vertikalt är chanserna relativt sett små att man ska träffa vattenförande sprickor i områden med vertikalt eller brant stupande sprickplan. I områden med flackt stupande sprickor är chanserna naturligtvis betydligt större att få vatten. Möjligheterna är proportionella mot stupningsvinkeln. Störst möjlighet har man om man borrar med så rät vinkel som möjligt mot sprickplanen. Sådana borrhål som avsiktligt avviker från vertikalplanet brukar kallas gradade borrhål. Hur möjligheterna att få vatten ökar vid gradade borrhål åskådliggörs i figur 18.

I områden med små grundvattentillgångar, t.ex. där tillgängligt markområde inte inrymmer några egentliga sprickzoner – dvs. de flesta villa- och sommarstugetomter, och särskilt i områden där tidigare borrhål gett mycket lite vatten, kan det vara viktigt att överväga graderade borrhål. Av beteckningarna om rekommenderade borrhållsriktningar på grundvattenkartan framgår hur brunnar bör gradas i olika områden.

Vill man söka mer vatten genom borrhål i berg än vad genomsnittsvärdena anger – de gröna och ljusbruna bottenfärgerna på grundvattenkartan – är det i allmänhet nödvändigt att borra på en större, vattenförande sprickzon. De större sprickzonernas lägen framgår av kartan. Sprickzonernas mer exakta lägen i naturen bör då lokaliseras i förväg med särskilda geofysiska metoder.

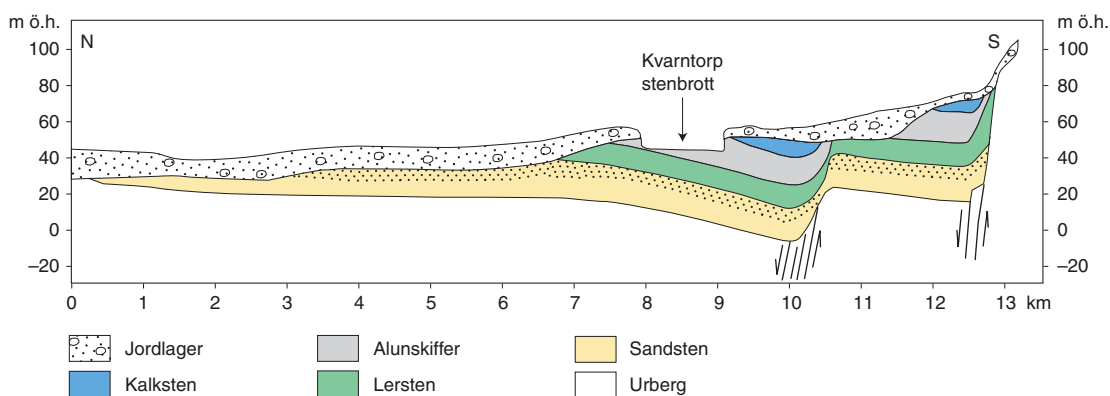


Fig. 15. Profil genom de sedimentära bergarterna vid Kvarntorp. Från Möller m.fl. 1976).

För närmare information om förhållandena i berggrunden hänvisas till berggrundskartorna SGU Af 101, 102, 103, 104, 126, 162 och 164 i skala 1:50 000.

Kartbilden över variationerna i möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden är framtagen med data ur SGUs Brunnsarkiv med hjälp av statistiska bearbetningar med s.k. variogramanalys och kriging. Dessa metoder beskrivs i avsnittet Metodbeskrivningar på sid. 87.

I Brunnsarkivet finns bl.a. uppgifter om jorddjup, vilka är till god vägledning i samband med borrning av energibrunnar för utvinning av bergvärme. Jordlagren är i relation till berggrunden närmast improduktiva från energisynpunkt. Borrning i jord är också betydligt dyrare per meter än borrning i berg, varför stora jorddjup kan få kraftigt negativ inverkan på lönsamheten på en sådan energianläggning.

Lagerföljden vid Yxhult

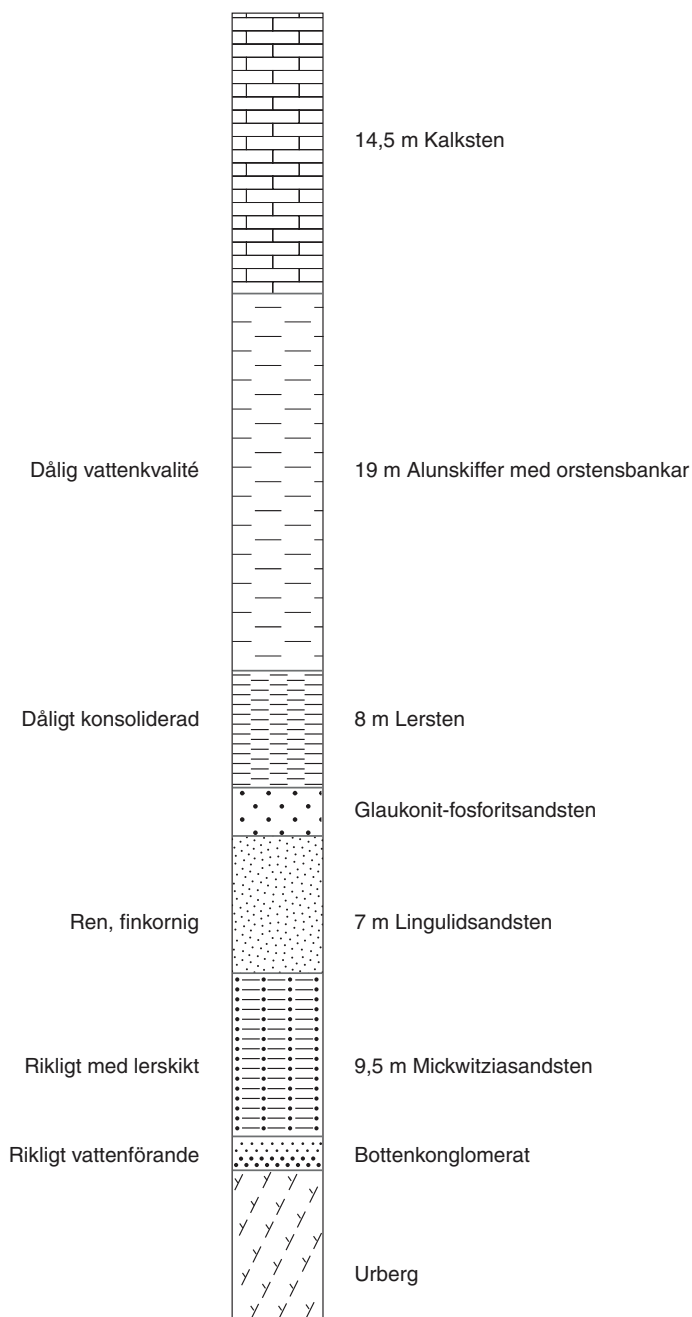


Fig. 16. Lagerföljden i de sedimentära bergarterna vid Yxhult, nära Kvarntorp. Efter Eklund (1961).

Förkastningar och större sprickzoner

Kartområdet berörs av flera stora förkastningar och sprickzoner varav de största är Kilsbergsförkastningen, som utgör Närkeslättnens västra gräns, och förkastningen som löper förbi Hallsberg och söder om Hjälmaren, som utgör Närkeslättnens södra gräns. Andra stora förkastningar är den som begränsar höjdområdet Käglan i norr och inte minst den öst–västliga förkastningen längs sjöarna Tisaren och Sotterns södra stränder. Förkastningarna med öst–västlig riktning är mycket långa och sträcker sig ända bort till Östersjön.

Dessa förkastningar och sprickzoner framgår mycket tydligt på höjdreliëfkartan över området (fig. 19). Denna karta har tagits fram med hjälp av Lantmäteriets höjddatabas, där höjduppgift finns för var femtionde meter på markytan.



Fig. 17. Det allra understa lagret i den sedimentära bergartsserien utgörs på många ställen av ett grovkornigt och vattengenomsläppligt konglomerat. De mörkbruna järn- och manganutfällningarna återspeglar de för grundvattenströmning öppna kanalerna. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

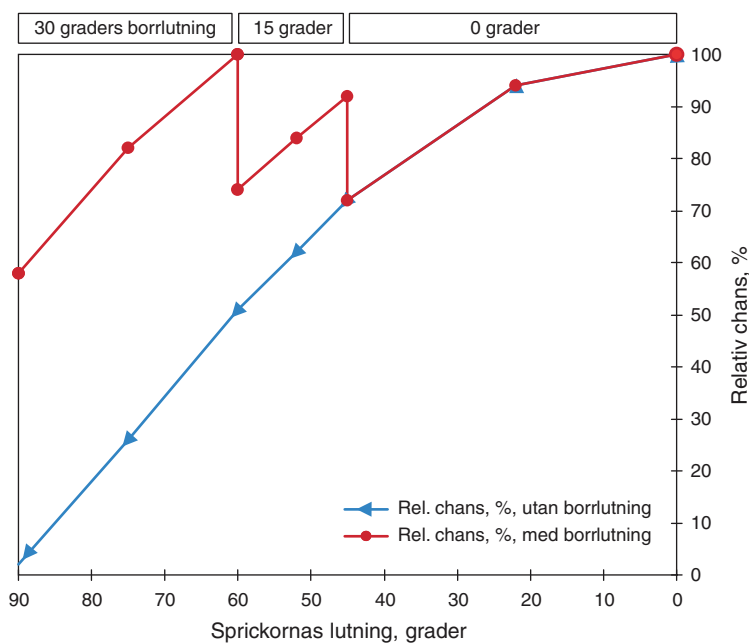


Fig. 18. Bilden visar hur den relativa chansen ökar om man vid brunnborrning i urberg tar hänsyn till vilken riktning sprickorna har (strykning och stupning) och därvid riktar borringen åt rätt håll. Diagrammet förutsätter att man alltid borrar till ett visst djup (m) och att sprickavståndet (m) inte överstiger detta.

Grundvattentillgången i förkastningarna och sprickzonerna är vanligen betydligt större än i omgivande berggrund. Under gynnsamma omständigheter kan vattenmängder kring 20 000–30 000 l/tim eller t.o.m. mer erhållas.

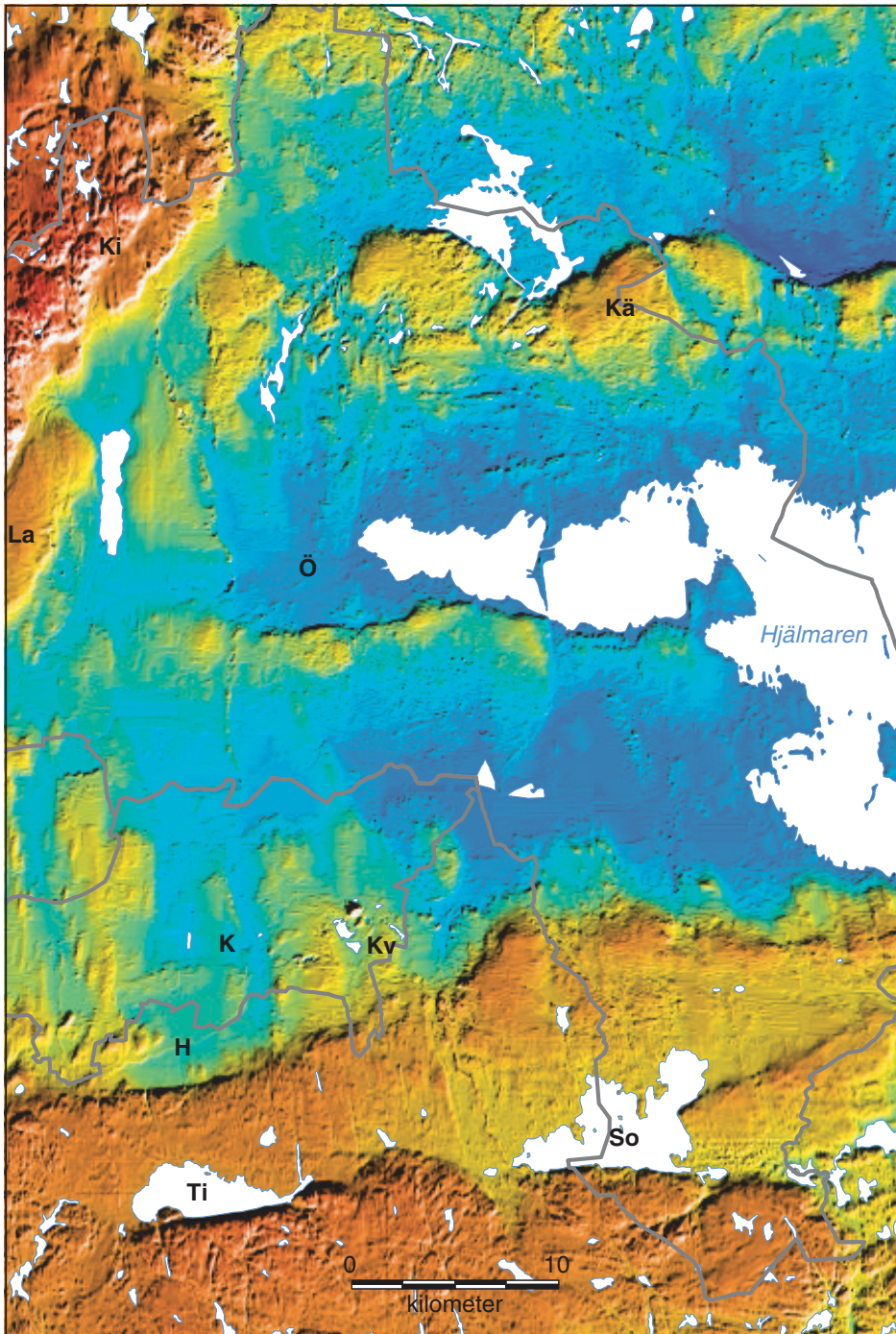


Fig. 19. Förkastningar och större sprickzoner framstår tydligt på höjdreliëfbilden. För att inte störa bilden markeras de inte här. De är markerade på huvudkartan. Vid Kilsbergen har de vertikala förkastningsrörelserna varit störst. De nästan öst–västliga förkastningarna, längs Tisarens och Sotterns stränder, söder om Hallsberg och Hjälmaren, söder om Örebro och norr om höjdområdet Käglan är mycket långa. De sträcker sig från kilsbergsförkastningen ut till Östersjön. Latorpsplatåns höjdområde med kvarvarande sandstenar, skifferar och kalksten framträder tydligt vid foten av Kilsbergen. Kvarntorpshögen med sin datorframkallade skugga kan ses en dryg halvmil öster om Kumla. Den nord–sydliga Karlslundsåsen kan skönjas väster om Örebro. Kommungränser i mörkgrå linjer. Ki = Kilsbergen, Kä = Käglan, La = Latorpsplatån, Ö = Örebro, K = Kumla, Kv = Kvarntorp, H = Hallsberg, Ti = Tisaren, So = Sottern. Höjdreliëfbild framställd efter Lantmäteriets höjddatabas.

GRUNDVATTENUNDERSÖKNINGAR I KARLSLUNDSÅSEN

Som ovan nämnts har flera grundvattenundersökningar utförts tidigare i Karlslundsåsen. Det gäller i första hand ett flertal detaljerade undersökningar i anslutning till Lindesbergs, Örebro, Kumlas och Hallsbergs vattentäktсанläggningar samt utredningen angående Kumla–Hallsbergregionens grundvattentillgångar, där särskilt Vissbomon undersöktes (VBB & K-konsult 1968). Till dessa kommer SGUs mer översiktliga grundvattenkartering för kartan över Örebro län, SGU Ah 20 i skala 1:250 000 och för kartorna 10F Örebro SV och NV, SGU Ag 1 och 3 i skala 1:50 000. Nedan beskrivs de avsnitt av Karlslundsåsen som nu har undersökts mer i detalj.

Avsnittet Råsvalen–Yxe, Lindemagasinet

I Lindeåsen, som åsavsnittet av Karlslundsåsen mellan Råsvalen och Yxe kallas, ligger Lindesbergs vattentäkt. Lindeåsen visas i figurerna 20a och 20b.

Delen från centrala Lindesberg till Rya har tidigare undersökts med anledning av den kommunala vattentäkten. Avsnittet från centrala Lindesberg till en plats ca 500 m sydost om borrhningen R0307 (fig. 20a) har undersökts vid förundersökningar inför en värmepumpsanläggning för utvinande av energin i isälvsavlagringens grundvatten. Undersökningarna har huvudsakligen bestått av borrhningar och provpumpningar.

Vid borrhningarna för energiprojektet påträffades mer än 60 m jorddjup, och drygt 30 m mäktiga sand- och gruslager. En provpumpning utfördes med 110 l/s. Den påvisade att inducerad infiltration från Lindesjön och Arbogaån uppstår vid stora grundvattenuttag (VIAK 1985).

Vid de nu genomförda undersökningarna utfördes borrhningen R0307, alltså ytterligare ca 500 m norr om de tidigare borrhningarna. Resultatet av borrhningen var som följer:

R 0307	
0–3 m	mellansand
3–13	grovsand
13–21	mellansand
21–23	sandigt grus
23–25,8	stenig, grusig sand (sonderat)
25,8–29,5	grovsand (sonderat)
29,5–33,4	stenig, grusig sand (sonderat)
33,4	stopp mot berg?

Den rördrivna delen av borrhningen visade hög vattengenomsläpplighet från 3 till 23 m.

Vid neddrivningarna av rör provtogs jordarter och grundvatten, vilket man som regel gör. En kemisk analys av grundvattnet i röret R0307 framgår av tabell 3.

Sannolikt kan inducerad infiltration uppstå till detta grundvattenmagasin, förutom där energiprojektet påvisat det, också i anslutning till åns förträngning intill R0307 och där Lindeåsen går ut i Råsvalen. På dessa ställen förekommer mycket grovt åsmaterial.

Vid borrhningarna vid Rya påträffades uppemot 35–40 m sand och grus. Vattenuttaget vid Rya är drygt 50 l/s, men provpumpning har genomförts med nästan 90 l/s. Därvid har konstaterats att ca 25 l/s kommer ifrån åsen i söder, ca 3 l/s från området i öster och 60 l/s från åsen i norr. Den stora vattenmängden ifrån norr beror på att inducerad infiltration av Lindesjöns vatten uppstår vid pumpning. Under ostörda förhållanden rinner åsens grundvatten söderifrån ut i Lindesjön (Midvatten 2005).

De undersökningar som nu utförts i åsavsnittet mellan Rya och Yxe utgjordes huvudsakligen av georadarmätningar (fig. 20b). I de nordliga profilerna kan grundvattenytan ses förhållandevis tydligt, vilket pekar på ett grovt och genomsläppligt material. Höjdbestämmningen är gjord med barometer, kontinuerligt och samtidigt med radarmätningarna. Noggrannheten är endast någon

Tabell 3. Kemiska vattenanalyser från borrhningar.

Yxe		Ånäs		Ånäs	
Rör 0306, 6–7 m		Rör 0307, 8–9 m		Rör 0307, 22–23 m	
COD-Mn (mg/l)	2,1	COD-Mn (mg/l)	–1,0	COD-Mn (mg/l)	1,0
pH	7,6	pH	7,5	pH	7,9
HCO ₃ (mg/l)	47,0	HCO ₃ (mg/l)	41,0	HCO ₃ (mg/l)	88,0
Ca (mg/l)	31,0	Ca (mg/l)	11,0	Ca (mg/l)	21,0
Mg (mg/l)	11,0	Mg (mg/l)	4,2	Mg (mg/l)	8,6
Na (mg/l)	24,0	Na (mg/l)	8,7	Na (mg/l)	11,0
K (mg/l)	3	K (mg/l)	–2	K (mg/l)	3
Fe (mg/l)	13,0	Fe (mg/l)	1,6	Fe (mg/l)	1,8
Mn (mg/l)	0,48	Mn (mg/l)	–0,02	Mn (mg/l)	0,25
Cu (mg/l)	0,03	Cu (mg/l)	–0,01	Cu (mg/l)	–0,01
NH ₄ -N (mg/l)	0,100	NH ₄ -N (mg/l)	–0,010	NH ₄ -N (mg/l)	0,020
NO ₂ -N (mg/l)	0,032	NO ₂ -N (mg/l)	0,002	NO ₂ -N (mg/l)	0,009
NO ₃ -N (mg/l)	0,20	NO ₃ -N (mg/l)	–0,10	NO ₃ -N (mg/l)	–0,10
PO ₄ -P (mg/l)	0,045	PO ₄ -P (mg/l)	0,002	PO ₄ -P (mg/l)	0,012
F (mg/l)	0,26	F (mg/l)	0,19	F (mg/l)	0,96
Cl (mg/l)	68,0	Cl (mg/l)	8,4	Cl (mg/l)	11,0
SO ₄ (mg/l)	7,3	SO ₄ (mg/l)	8,3	SO ₄ (mg/l)	7,5
Hårdhet (tyska grader)	6,8	Hårdhet (tyska grader)	2,5	Hårdhet (tyska grader)	4,9
Konduktivitet (mS/m)	30,80	Konduktivitet (mS/m)	11,70	Konduktivitet (mS/m)	19,20

Lerbäck		Långsjön		Kyrksjön, S	
Rör 04069, 16–17 m		Rör 04071, 16–17 m		Rör 04074, 12–13 m	
COD-Mn (mg/l)	4,4	COD-Mn (mg/l)	0,5	COD-Mn (mg/l)	11,5
pH	8,0	pH	8,1	pH	7,3
HCO ₃ (mg/l)	155,0	HCO ₃ (mg/l)	151,0	HCO ₃ (mg/l)	57,0
Ca (mg/l)	51,6	Ca (mg/l)	68,0	Ca (mg/l)	20,2
Mg (mg/l)	1,8	Mg (mg/l)	2,1	Mg (mg/l)	0,7
Na (mg/l)	6,1	Na (mg/l)	4,1	Na (mg/l)	4,3
K (mg/l)	1	K (mg/l)	1	K (mg/l)	1
Fe (mg/l)	3,2	Fe (mg/l)	0,1	Fe (mg/l)	5,5
Mn (mg/l)	0,39	Mn (mg/l)	0,26	Mn (mg/l)	0,19
NH ₄ (mg/l)	0,240	NH ₄ (mg/l)	0,150	NH ₄ (mg/l)	0,250
NO ₂ (mg/l)	0,013	NO ₂ (mg/l)	0,005	NO ₂ (mg/l)	0,005
NO ₃ (mg/l)	0,45	NO ₃ (mg/l)	0,05	NO ₃ (mg/l)	0,10
PO ₄ (mg/l)	0,29	PO ₄ (mg/l)	0,015	PO ₄ (mg/l)	0,13
F (mg/l)	0,10	F (mg/l)	0,20	F (mg/l)	0,10
Cl (mg/l)	8,0	Cl (mg/l)	9,0	Cl (mg/l)	3,5
SO ₄ (mg/l)	12,0	SO ₄ (mg/l)	8,0	SO ₄ (mg/l)	4,0
Hårdhet (tyska grader)	7,6	Hårdhet (tyska grader)	10	Hårdhet (tyska grader)	3
Konduktivitet (mS/m)	29,60	Konduktivitet (mS/m)	36,70	Konduktivitet (mS/m)	12,40

Kyrksjön, S		Kyrksjön, V		Noren	
Rör 04074, 28–29 m		Rör 04076, 18–19 m		Rör 04091, 8–9 m	
COD-Mn (mg/l)	14,1	COD-Mn (mg/l)	3,1	COD-Mn (mg/l)	1,5
pH	7,3	pH	8,0	pH	7,8
HCO ₃ (mg/l)	42,0	HCO ₃ (mg/l)	128,0	HCO ₃ (mg/l)	44,0
Ca (mg/l)	14,4	Ca (mg/l)	43,2	Ca (mg/l)	15,4
Mg (mg/l)	0,8	Mg (mg/l)	1,6	Mg (mg/l)	1,1
Na (mg/l)	4,0	Na (mg/l)	4,9	Na (mg/l)	4,2
K (mg/l)	1	K (mg/l)	1	K (mg/l)	1
Fe (mg/l)	4,7	Fe (mg/l)	0,3	Fe (mg/l)	
Mn (mg/l)	0,20	Mn (mg/l)	0,37	Mn (mg/l)	
NH ₄ (mg/l)	0,250	NH ₄ (mg/l)	0,270	NH ₄ (mg/l)	0,020
NO ₂ (mg/l)	0,012	NO ₂ (mg/l)	0,005	NO ₂ (mg/l)	0,005
NO ₃ (mg/l)	0,12	NO ₃ (mg/l)	0,13	NO ₃ (mg/l)	0,78
PO ₄ (mg/l)	0,13	PO ₄ (mg/l)	0,002	PO ₄ (mg/l)	0,3
F (mg/l)	0,10	F (mg/l)	0,10	F (mg/l)	0,20
Cl (mg/l)	3,5	Cl (mg/l)	11,0	Cl (mg/l)	3,5
SO ₄ (mg/l)	2,0	SO ₄ (mg/l)	5,0	SO ₄ (mg/l)	13,0
Hårdhet (tyska grader)	2	Hårdhet (tyska grader)	6,4	Hårdhet (tyska grader)	2,4
Konduktivitet (mS/m)	9,30	Konduktivitet (mS/m)	24,90	Konduktivitet (mS/m)	11,20

Kyrksjön, V		Noren	
Rör 04076, 10–11 m		Rör 04091, 8–9 m	
COD-Mn (mg/l)	5,8	COD-Mn (mg/l)	1,5
pH	8,1	pH	7,8
HCO ₃ (mg/l)	129,0	HCO ₃ (mg/l)	44,0
Ca (mg/l)	41,8	Ca (mg/l)	15,4
Mg (mg/l)	2,7	Mg (mg/l)	1,1
Na (mg/l)	4,6	Na (mg/l)	4,2
K (mg/l)	1	K (mg/l)	1
Fe (mg/l)	3,6	Fe (mg/l)	
Mn (mg/l)	0,50	Mn (mg/l)	
NH ₄ (mg/l)	0,250	NH ₄ (mg/l)	0,020
NO ₂ (mg/l)	0,005	NO ₂ (mg/l)	0,005
NO ₃ (mg/l)	0,19	NO ₃ (mg/l)	0,78
PO ₄ (mg/l)	0,002	PO ₄ (mg/l)	0,3
F (mg/l)	0,10	F (mg/l)	0,20
Cl (mg/l)	8,0	Cl (mg/l)	3,5
SO ₄ (mg/l)	3,0	SO ₄ (mg/l)	13,0
Hårdhet (tyska grader)	6,5	Hårdhet (tyska grader)	2,4
Konduktivitet (mS/m)	23,70	Konduktivitet (mS/m)	11,20

meter, och görs i första hand för att man ska få en någorlunda riktig relation mellan en (nästan) horisontell grundvattenyta, markytans morfologi och lagerstupningar.

Profil R337-03 (fig. 21) uppmättes i ett grustag. Grundvattenytan kan ses som en närmast horisontell linje strax under markytan. Man kan mycket svagt skymta strukturer ungefär 15 m under markytan, vilka skulle kunna vara indikationer på berggrundsytans läge.

I figur 22, profil R338-03, kan grundvattenytan följas nästan från början av profilen till drygt 100 m. Den ligger här på ett djup av 8–12 m. Längre går den inte att följa, vilket kan bero på att djupet blir för stort för georadarn.

Södra delen av profil R339-03 visas i figur 23. Denna profil uppmättes också i ett grustag och visar grundvattenytan någon meter under markytan. Strax under 50-metersnivån syns oregel-

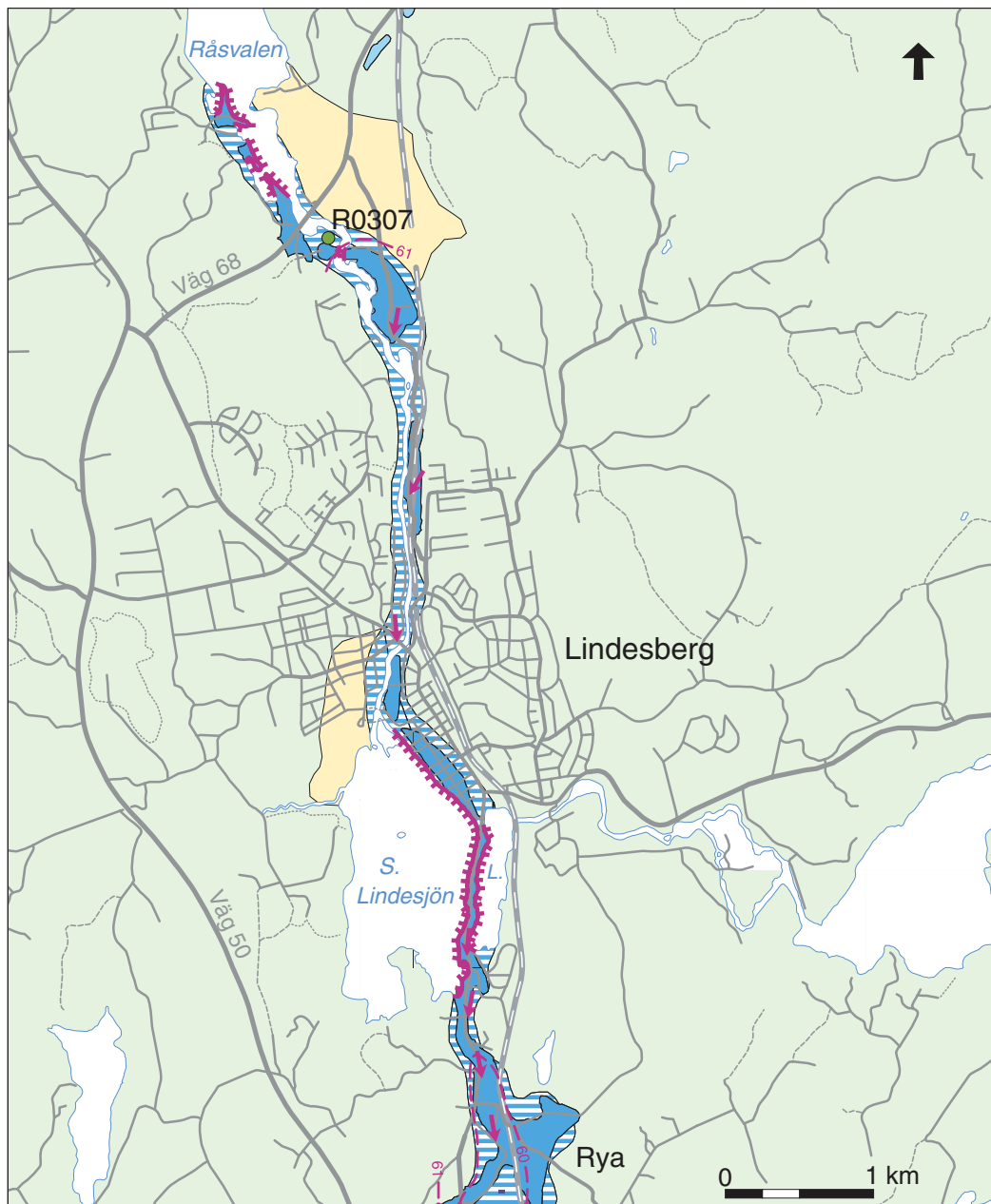


Fig. 20a. Norra delen av Lindemagasinet. Inducering av vatten från sjöar och vattendrag kan förekomma – och förekommer – på flera ställen.

bundna strukturer som höjer sig mot norr. Detta är sannolikt berggrundsytan, som i detta avsnitt får bedömas ligga på mellan 5 och drygt 10 m under markytan. De här antydda sand- och grusmäktigheterna är också vad tidigare borrhningar har visat.

I de sydliga profilerna är någon grundvattenyta svår att se. Georadarbilderna tyder också på många håll på ett mera finkornigt material. Från ungefär i höjd med avtagsvägen från väg 50 till Yxe bedöms berggrundsytan generellt ligga så högt att några större grundvattenmängder inte går att ta ut. Den markerade grundvattendelaren är fast och betingad av de höga berglägena.

Grundvattenmagasinet vid Lindesberg har på grundvattenkartan åsatts kapacitetsklassen 25–125 l/s. Med stöd av borrhningar, i första hand tidigare utförda, och georadarmätningarna tillsammans med nämnda propumpningar kan man sammanfattningsvis säga att grundvattenmagasinet vid Lindesberg i delen söder om Rya ligger mycket nära den nedre gränsen av klassen. Avsnittet från Rya till Råsvalen ligger nära den övre gränsen, kanske i klassen ovanför, mer än 125 l/s, särskilt om man fullt ut tar hänsyn till de goda förutsättningarna för inducerad grundvattenbildning.

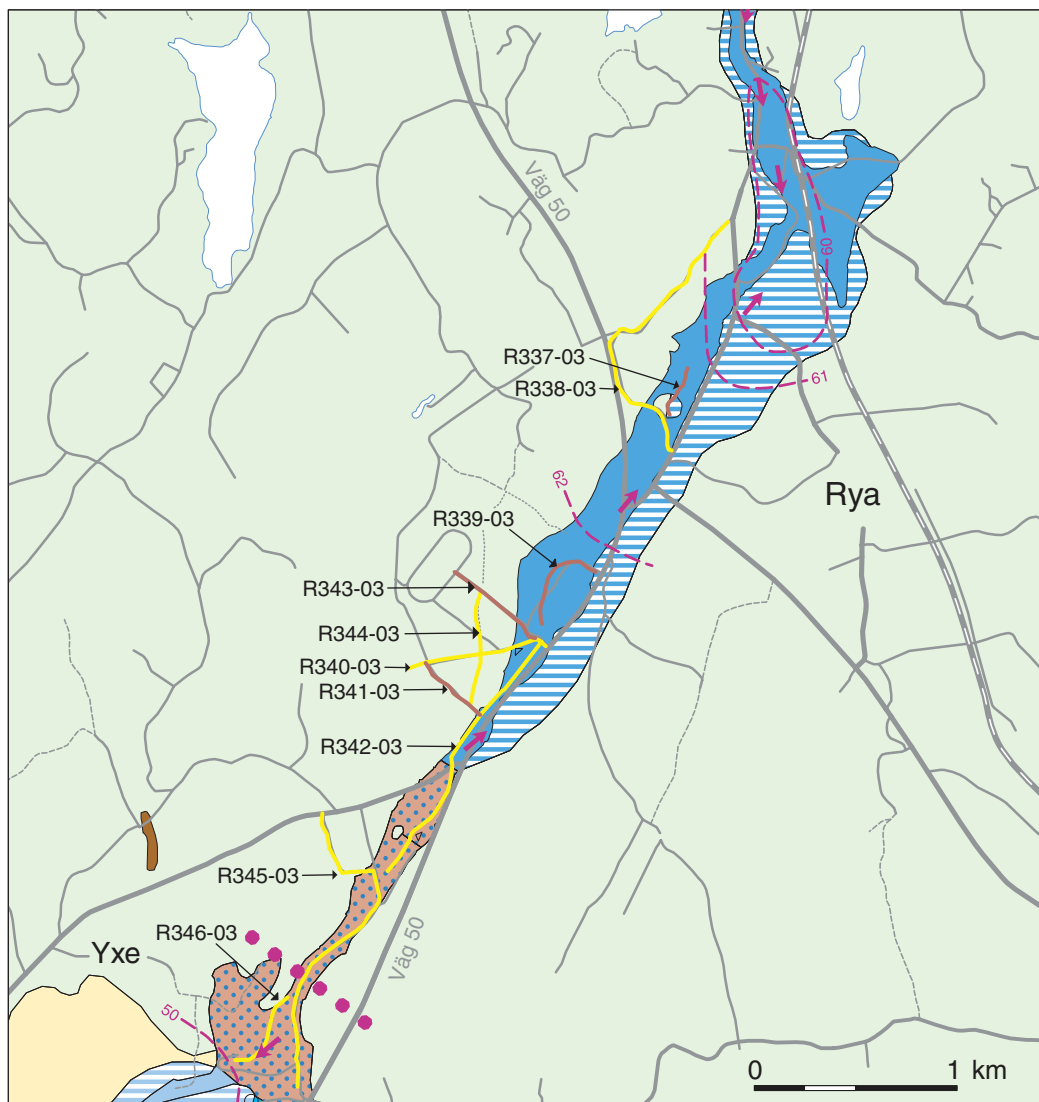


Fig. 20b. Södra delen av Lindemagasinet. Gula och bruna linjer – georadarmätningar. Profilnumren är markerade i början av profilerna. Grundvattendelaren vid Yxe beror på höga berglägen och är således fast.

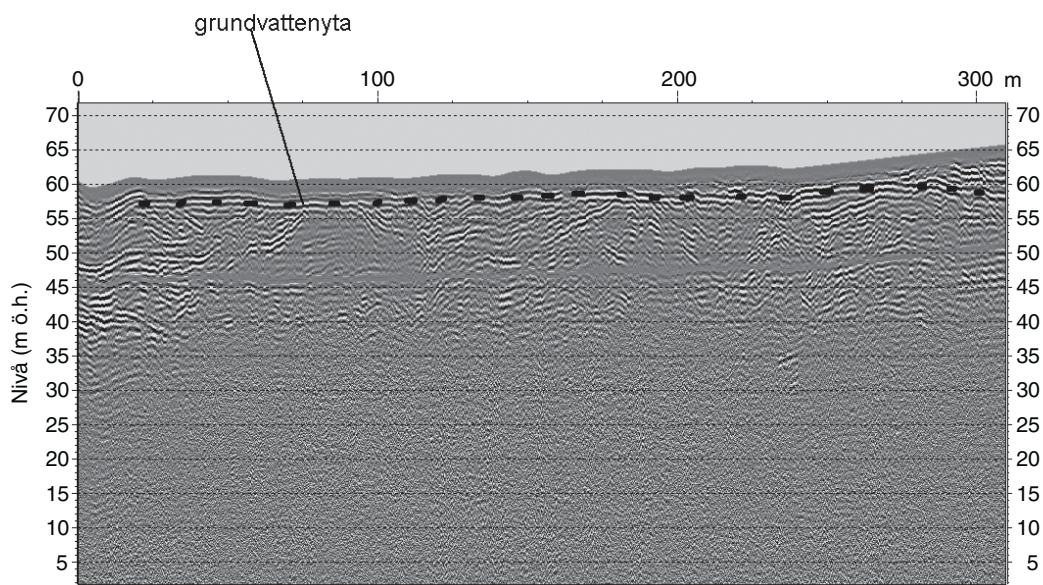


Fig. 21. Georadarprofil R 337-03. Reflexen av grundvattenytan kan ses alldeles under markytan. Höjdbestämningarna görs kontinuerligt, samtidigt med radarmätningarna. De görs med barometer och noggrannheten är någon meter. Berggrundsytan är svår att ursklja.

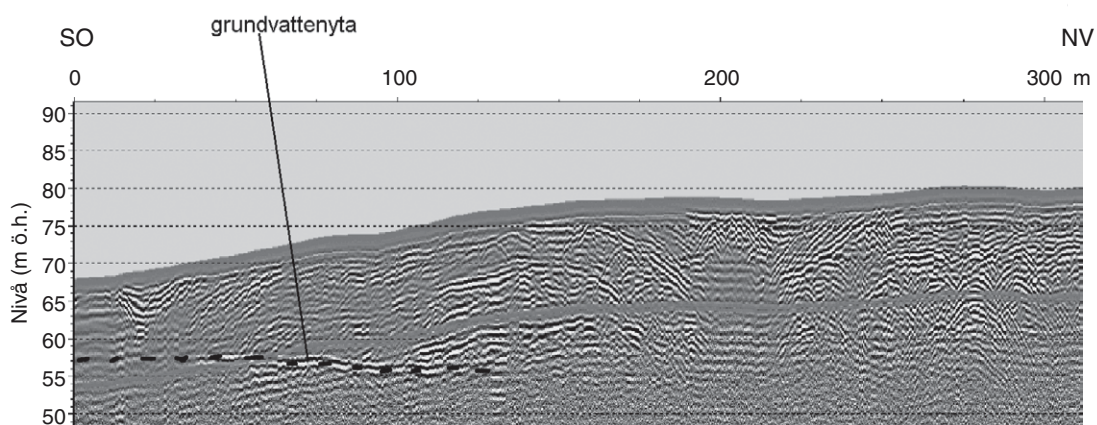


Fig. 22. Georadarprofil R 338-03. Grundvattenytan kan följas till drygt 100 m. Den i brunnar och observationsrör uppmätta grundvattennivån ligger några meter högre, än vad radarbilden anger.

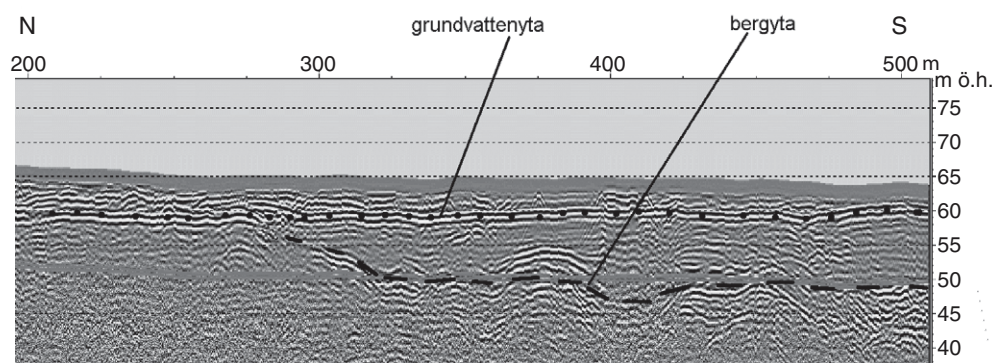


Fig. 23. Georadarprofil R 339-03. Grundvattenytan kan följas på nivån nära 60 m. Berggrundsytan kan ses höja sig från knappt 50 m i söder till 55 m vid 300 m i profilen.

Avsnittet Yxe–Ringholmen, Yxemagasinet

Grundvattenmagasinet i åvsnittet mellan Yxe och Ringholmen (fig. 24) avgränsas av den ovan beskrivna, fasta grundvattendelaren i norr. Grundvattendelaren i söder, vid gården Ringholmen, är sannolikt också bergbetingad och fast, men det är inte lika säkert belagt.

De georadarmätningar som gjordes i området gav tyvärr inte några resultat som går att utläsa någonting av. Orsaken kan vara att lerlager förekommer nära markytan. Den kan också vara att de grusvägar, längs vilka mätningarna företagits har varit saltade. Saltet gör att radarvågorna inte kan tränga ner mer än någon eller några få meter.

Tre seismiska profiler har uppmätts i området (fig. 24). Av dessa visar profilen S 10-03 (fig. 25) de största mäktigheterna på grundvattenmagasinet, mellan ca 15 till drygt 20 m. I S 11-03 (fig. 26) är grundvattenmagasinet något mindre mäktigt, och i dess sydöstra del är avlagringarna något finkornigare, vilket visas av att den seismiska hastigheten är lägre – 1 500 m/s mot i övrigt 1 700 m/s. I profil S 12-03 (fig. 27) tunnar de vattenförande lagren helt ut mot sydsydväst och saknas i drygt halva profilen. Vid borrhningarna (R – kvarstående rör, S – sondering) i detta område var lagerföljderna följande:

R 0306	
0–3 m	torv, gyttja
3–13	grovsand
13–15	grusig grovsand
15–17	fingrus
17–18	grusig, stenig sand (sonderat)
18–18,6	mycket grovt, trasberg? (sonderat)

S 0312	
0–1,0 m	stenig sand
1,0–4,5	sand
4,5–5,7	lera
5,7–6,5	sand
6,5–8,5	lera
8,5–10,8	grusig, stenig sand

S 0313	
0–1,5 m	grusig, stenig sand
1,5–2,8	lera
2,8–26	mellansand–grovsand
26–26,5	stenig sand
26,5–30,5	mellansand–grovsand
30,5–31	stenig sand
31–31,5	morän

Den största påträffade mäktigheten av grovt material vid borrhningarna i Yxemagasinet var 28 m. En kemisk analys av grundvattnet i röret R 0306 framgår av tabell 3, sid. 32.

Av de nu undersökta platserna får den vid profil S 10-03 anses ha de bästa uttagsmöjligheterna med avseende på vattenmängd, men den kemiska analysen av vattnet visar ett mycket högt värde på järn, 13 mg/l, och ett starkt förhöjt värde på klorid, 68 mg/l, vilket gör platsen mindre lämplig för dricksvattenuttag. Det höga kloridvärdet har förmodligen sitt ursprung i vägsalt.

Detta är ett förhållandevis litet grundvattenmagasin, som på grundvattenkartan tillförts klassen 5–25 l/s. Man får bedöma att det ligger nära den undre klassgränsen.

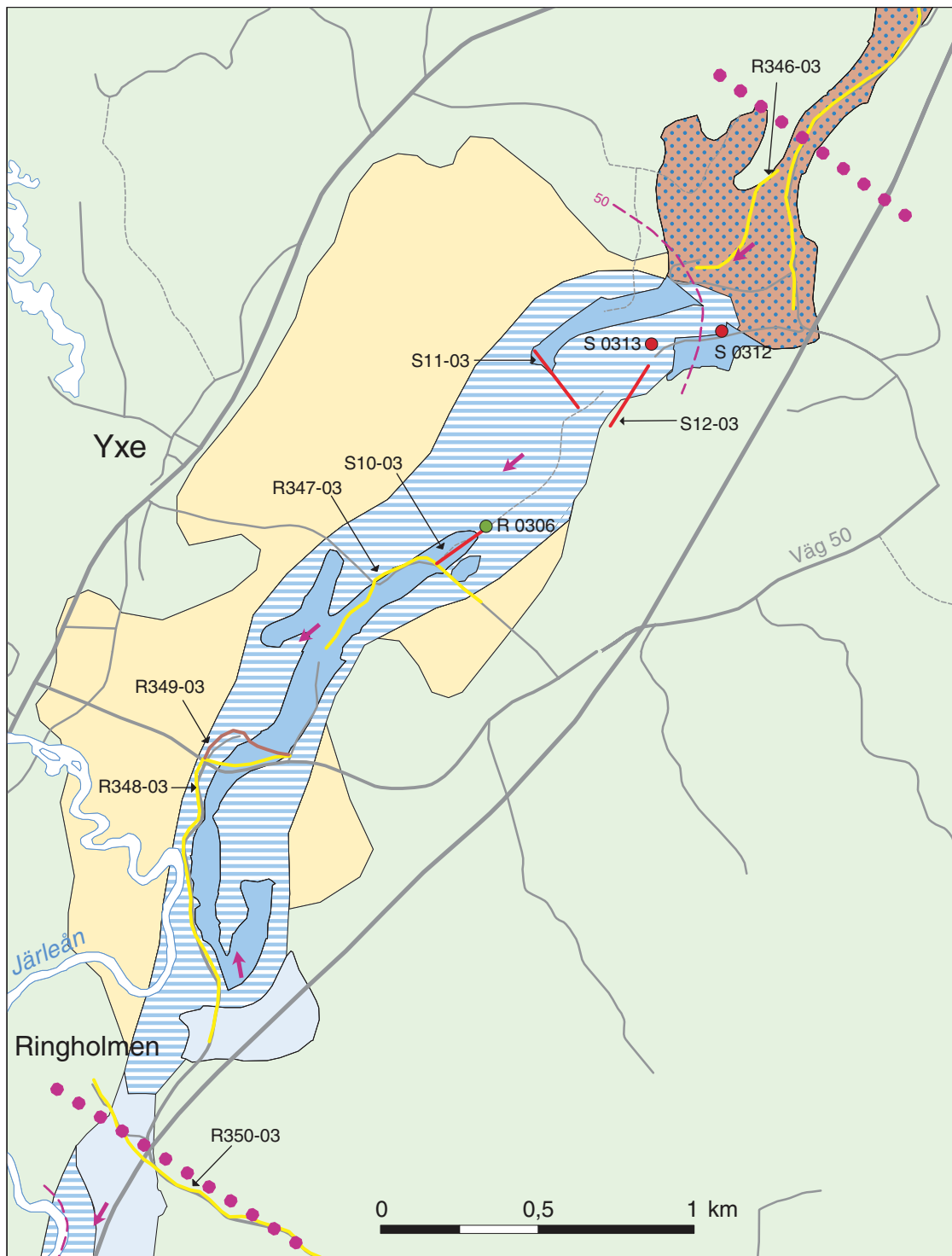


Fig. 24. Yxemagasinet begränsas både i norr och i söder av fasta grundvattendelare, men den i söder är något osäker. Gula och bruna linjer är georadarmätningar.

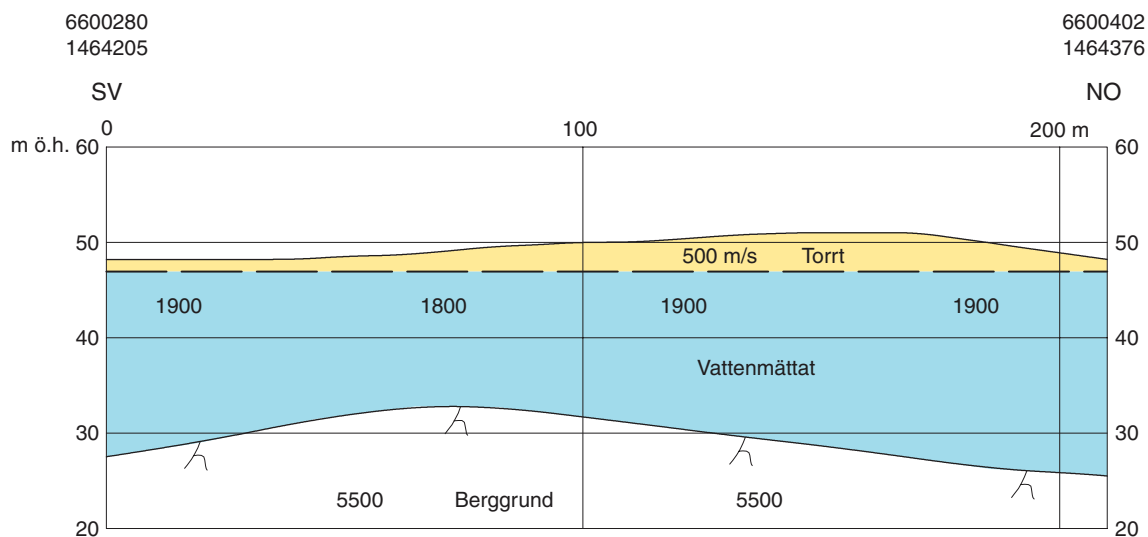


Fig. 25. Den seismiska profilen S10-03. Här är Yxemagasinet 15–20 m mäktigt. De seismiska hastigheterna 1800 och 1900 m/s tyder på mycket grovt material.

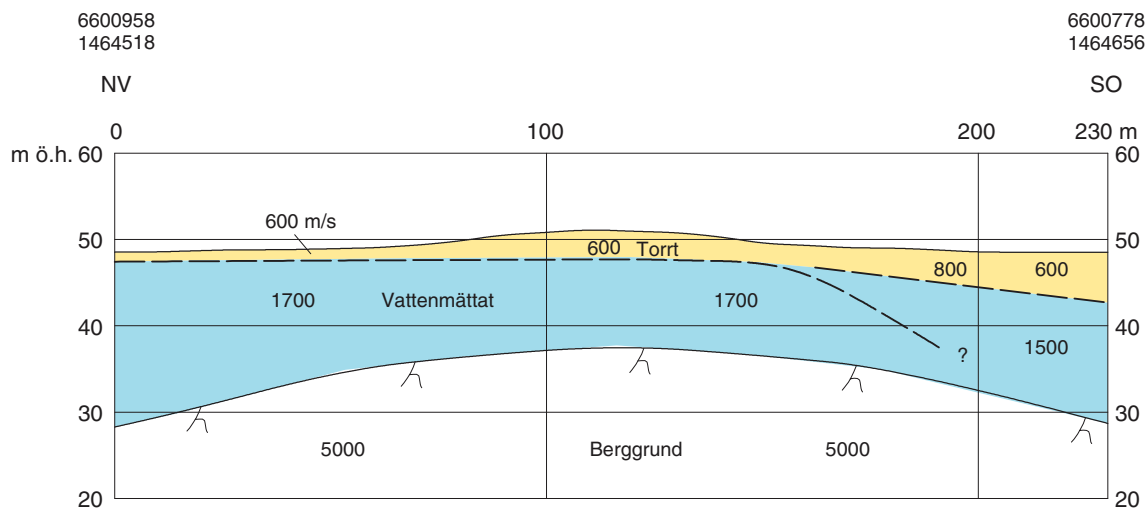


Fig. 26. Den seismiska profilen S11-03. Den seismiska hastigheten 1500 m/s tyder på förhållandevis finkornigt material i den sydöstra delen av profilen.

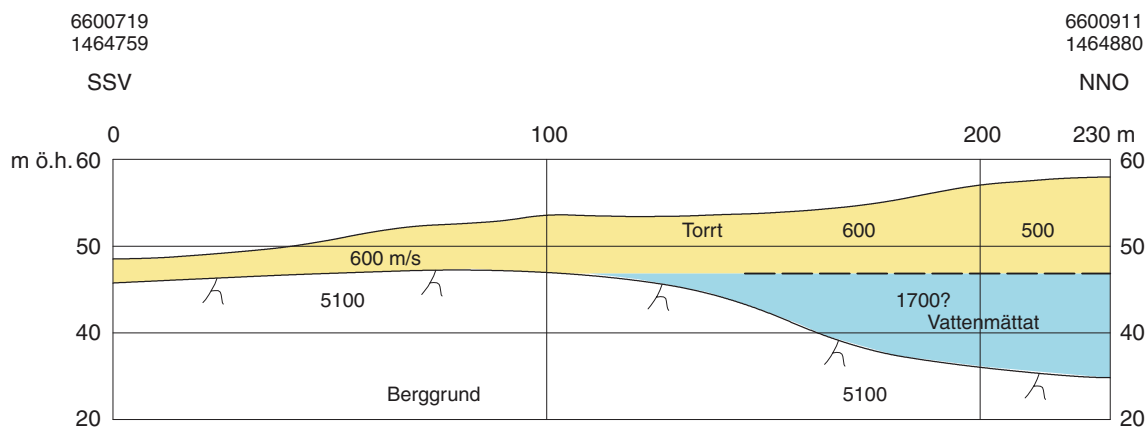


Fig. 27. Den seismiska profilen S12-03. Något grundvattenmagasin förekommer bara i den nordöstra delen av profilen, och sannolikt består det av relativt finkornigt material, jämför figur 26.

Avsnittet Ringholmen–Hammarby, Järlemagasinet

Järlemagasinet är ett förhållandevis stort grundvattenmagasin (fig. 28). Det innefattar i sin södra del Hammarbymagasinet, ett relativt välavgränsat delmagasin, som vattenverket i Örebro låtit undersöka mer detaljerat.

Åsen är starkt svallad, dvs. påverkad av havsvågor vid den tid då denna del av landet steg ur havet efter istiden. Vågorna har bl.a. brutit ner åschrönet och från Kilsbergskanten i väster spolat ner sand, grus och silt som avlagrats ovanpå. Under tiden har också lera avlagrats i olika omgångar. Detta har inneburit svårigheter att urskilja t.ex. vissa svallgrusavlagringar från åsens primära avlagringar. Det har även inneburit att grundvattenkartan visar stora områden med grundvatten i sand och grus under lera, även där markytan består av sand och grus. Det beror således på att det under sådana ytliga sand- och grusavlagringar förekommer lerlager, som i sin tur ligger ovanpå de primära isälvsavlagringarna.

Georadarmätningar som utfördes i norra delen av Järlemagasinet gav på samma sätt som vid Yxemagasinet inte några användbara resultat.

I den norra halvan av Järlemagasinet föreligger hydraulisk kontakt mellan Järleån och grundvattenmagasinet. Det ger sig till känna på flera ställen genom mer eller mindre tydliga utflöden av grundvatten i strandkanten (Möller m.fl. 1971c, d). Vid Karlsdammskällan, källan söder om Järleborgskällan, kan man se detta särskilt väl. Det innebär att grundvattenflödet inte är riktat så mycket längs magasinet utan i princip är riktat mot ån, och att flödesvägarna är korta. Vid större grundvattenuttag i denna del av Järlemagasinet finns därför sannolikt förutsättningar för inducerad infiltration av Järleåns vatten till grundvattenmagasinet.

Vid Flåten finns en kommunal grundvattentäkt. Uttaget är endast drygt 0,1 l/s och är sannolikt för litet för att skapa inducering från Järleån. I södra delen av Järlemagasinet är grundvattenströmmen däremot riktad längs magasinet mot norr från den rörliga grundvattendelaren i söder (fig. 28).

Det finns anledning att dela upp Järlemagasinet söder om Järleborgskällan i två större delmagasin med grovt material och goda möjligheter till större grundvattenuttag, Hammarbymagasinet och Mogetorpmagasinet. De skiljs åt av en ca 2 km lång åssträcka mellan grundvattenytans femtio- och sextiometersnivå (fig. 29). Detta avsnitt har högre gradient i grundvattenytans lutning, vilket tyder på lägre vattengenomsläpplighet, beroende på finkornigare material i avsnittet, vilket åskådliggörs i figur 30.

Ett urval av de geofysiska mätningar och borrhningar som utfördes i samband med undersökningen av Hammarbymagasinet redovisas här. Profil S1-04 (fig. 31) uppmättes söder om det norra grustaget tvärs över magasinet. Den visar att grundvattenmagasinet är så pass mäktigt som ca 30 m i västnordväst och därför sannolikt når ytterligare en bit mot västnordväst. Från 200 m börjar magasinet tunna ut för att vid ca 340 m upphöra eller bli för tunt för att detekteras av de seismiska mätningarna. De torra sandlagren innehåller mer eller mindre tunna silt- och lerlager.

Profil S3-04 (fig. 32) visar att grundvattenmagasinet som mest är ca 35 m mäktigt. Profilen är mätt ända fram till Kilsbergsförkastningen. Mellan 0 och 175 m förekommer en omfattande sprickzon, som möjligen kan vara det ställe där Kilsbergsförkastningen och Kägelförkastningen möts. Sprickzonen bildar en utpräglad svacka i urbergsytan, därför att det trasiga berget är mer lättroderat. Från ca 300 m tunnar grundvattenmagasinet snabbt ut mot sydost.

Den torra sanden och silten (ovanför grundvattenytan) har i denna profil lägre hastighet än motsvarande avsnitt i övriga profiler. De lägre hastigheterna kan tolkas som att inslaget av lera och silt är mindre i profil S3-04 än i de andra profilerna.

Profil S4-04 (fig. 33) visar i den södra delen ett ca 45 m mäktigt grundvattenmagasin. Berggrundsytan höjer sig ca 15 m mot nordost och grundvattenmagasinets mäktighet avtar i motsvarande grad.

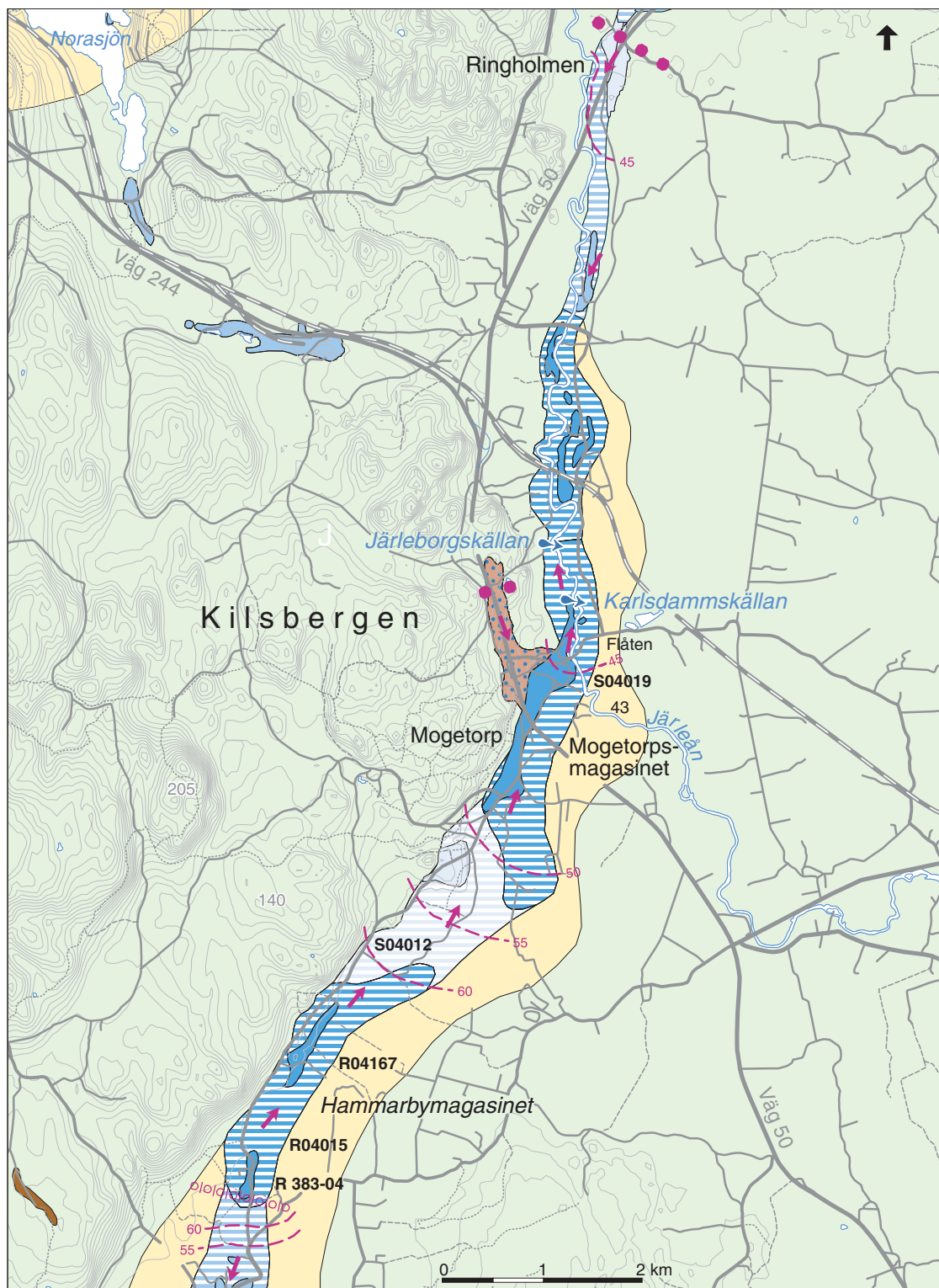


Fig. 28. Järlemagasinet begränsas i norr av en grundvattendelare som troligen är fast. I söder utgörs gränsen av en rörlig grundvattendelare. Den södra delen av detta grundvattenmagasin kan delas upp i två delmagasin – Hammarbymagasinet och Mogetorpsmagasinet. De åtskiljs av ett någon kilometer långt åsavsnitt med lägre hydraulisk konduktivitet och förhållandevis hög grundvattengradient.

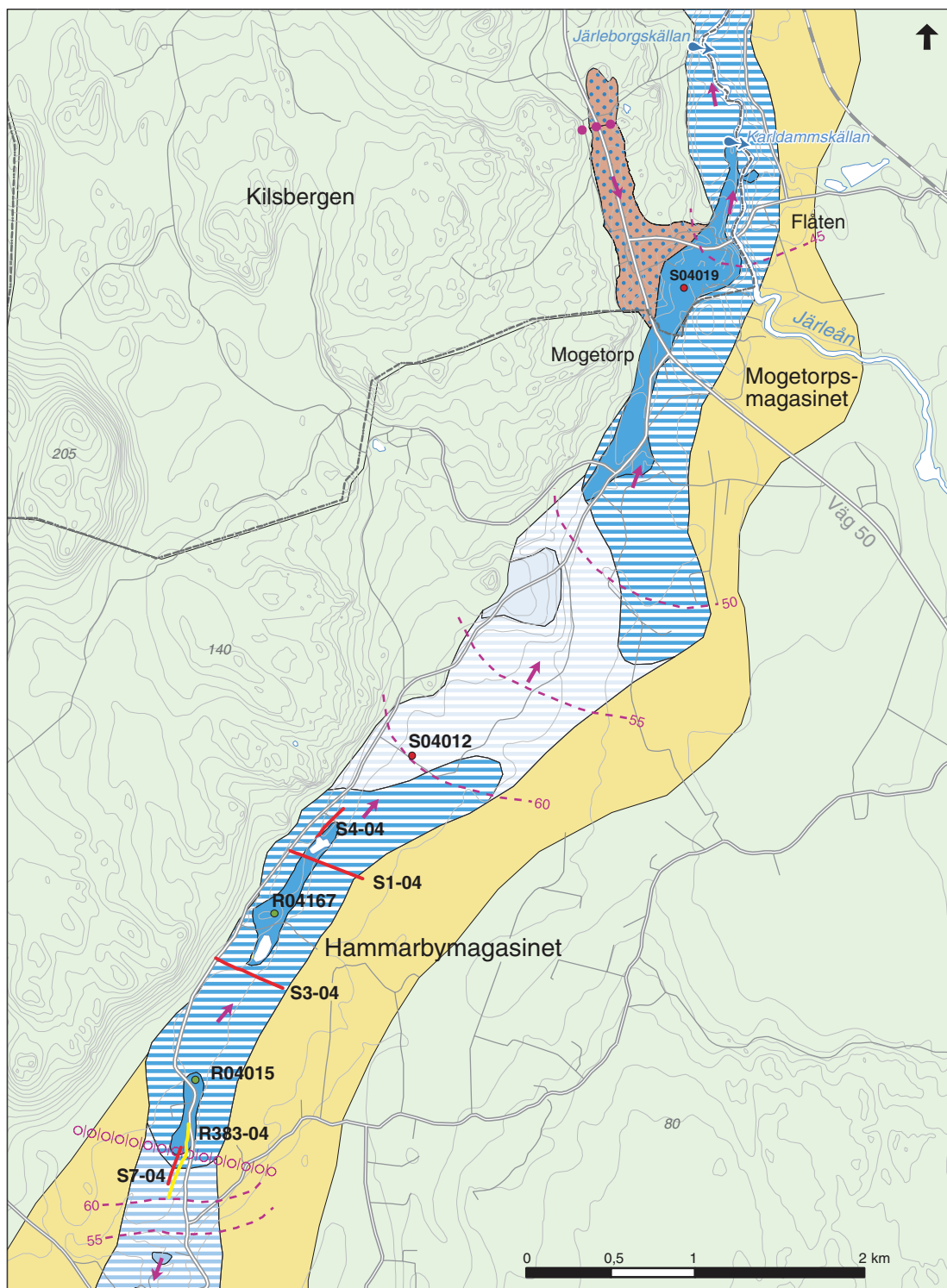


Fig. 29. Södra delen av Järleåmagasinet med Hammarbymagasinet längst i söder. I kartutsnittet visas några av de utförda geofysiska mätningarna och borrhningarna.

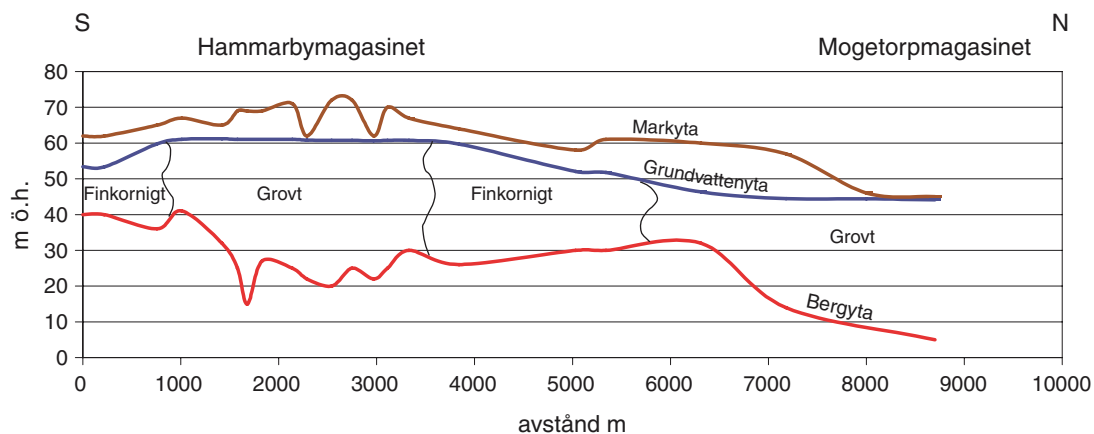


Fig. 30. Profilen sträcker sig längs hela åsavsnittet som visas i figur 29 och består av såväl grovkorniga som förhållandevis finkorniga partier. Grundvattendelaren är belägen vid ca 1 000 m. I de grovkorniga avsnitten är grundvattenytans gradient mycket liten, 0,2–0,6 promille. I det relativt finkorniga partiet däremellan är den omkring 6 promille.

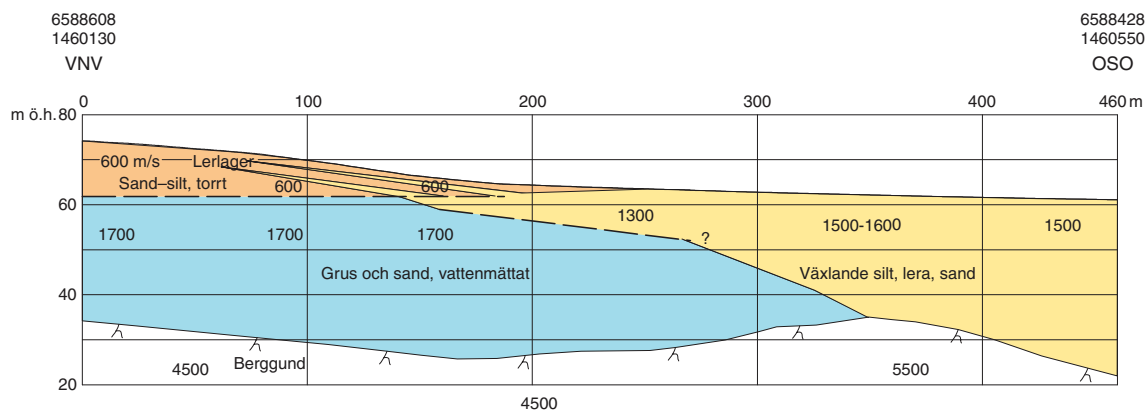


Fig. 31. Den seismiska profilen S1-04. Sanden och silten utgörs huvudsakligen av material som under istidens slutfas av havsvågorna svallats ner från Kilsbergen.

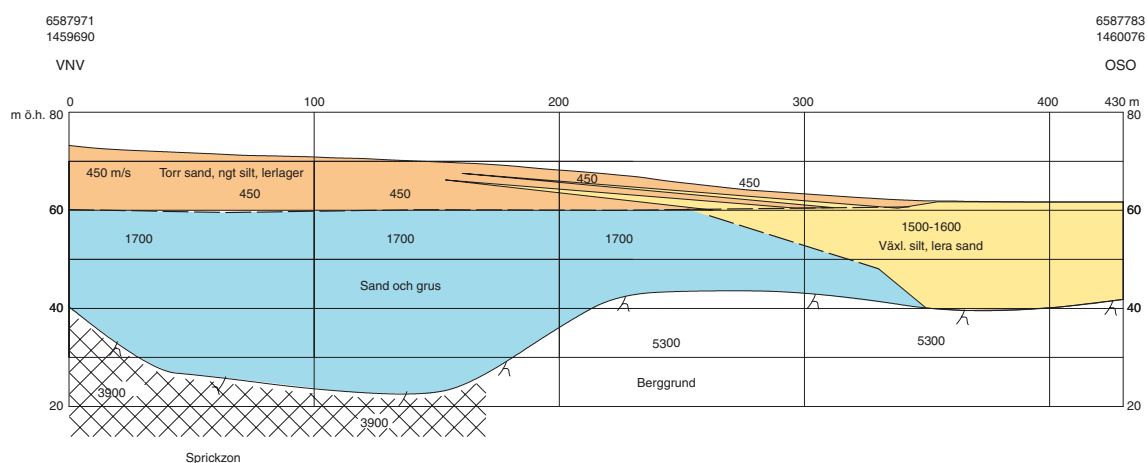


Fig. 32. Den seismiska profilen S3-04. Flera lerskikt, tjockare och tunnare, skilda av olika omgångar med svallmaterial täcker det mesta av det ursprungliga åschrönet. Lerskikten förhindrar konstgjord grundvattenbildning. Sprickzonen i berggrunden är sannolikt förknippad med Kilsbergförkastningen.

Profil S7-04 (fig. 34) uppmättes tvärs över grundvattendelaren i söder. Vid ca 175 m i profilen börjar grundvattenmagasinet tunna ut mot söder och täckas av mäktiga silt–lerlager. Detta stryper grundvattenflödet mot söder och är orsaken till att grundvattendelaren finns här.

Resultaten av några av sonderingsborrningarna, vars lägen framgår av kartutsnittet i figur 29, var följande:

S 04012	
0–1 m	torv
1–2	sand, sorterat, löst
2–11	lera, mycket löst
11–15,7	lera med sandlager, löst till mycket löst
15,7–20	silt, finsand mycket löst, sorterat
20–36,5	fin- till mellansand, sorterat, löst
36,5–36,9	morän?
S 04015	
0–8,4 m	sand
8,4–26,7	grus, löst
26,7–28,2	mellansand
28,2–30,1	morän?
30,1	stopp i trasberg?
S 04019	
0–5 m	sand
5–32	grus och sand, grovt
32	morän
S 04167	
0–20 m	grusig, mycket stenig sand
20–25	grusig, stenig sand
25–31	grusig, mycket stenig sand
31–35	grusig, stenig sand
35–47,6	mellansand–grovsand
47,6–56,0	grusig, mycket stenig sand
56,0	stopp mot berg eller block

Den största påträffade mäktigheten av grovt material i Hammarbymagasinet är 56 m.

Huvudsyftet med de georadarmätningar som utfördes var att hitta lerbria partier, sådana där infiltration av tillfört ytvatten skulle kunna vara möjlig för att förstärka tillgången på vatten i grundvattenmagasinet.

Förekomst av lerlager hindrar georadarn att se sådant som förekommer under leran. Det är emellertid möjligt att georadarn kan se igenom mycket tunna lerlager, vilka dock effektivt stoppar infiltration av vatten. Ställen där georadarn ser mot djupet, i första hand grundvattenytan och ibland strukturer under denna, är därför endast indikationer på att det kan vara helt lerfritt. Figur 35 visar utsnitt ur ett radargram där sådana indikationer på lerbria fönster ner till grundvattenytan kan ses.

För att kontrollera georadarindikationerna utfördes schaktgropar på vissa ställen. Groparna var 1–2,5 m djupa. Fotografiet i figur 36 visar ett lerlager i en grop med mycket grovt material såväl över som under leran. Under sådana förhållanden är det vanligt med ett förhållandevis litet grundvattenmagasin över leran och isälvavlagringens stora magasin under leran. Så är fallet även här. Figur 37 visar en källa, där grundvattnet från det övre magasinet rinner ut över lerkanten för att en bit längre ner infiltrera i det nedre magasinet.

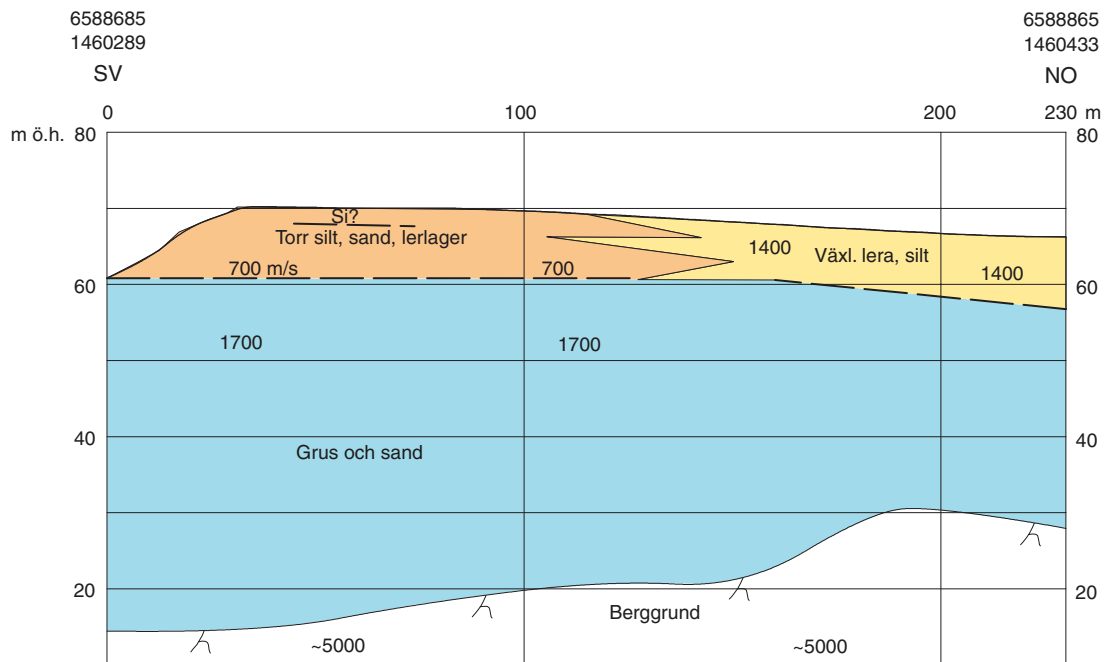


Fig. 33. Den seismiska profilen S4-04. Grundvattenmagasinet är här 45 m mäktigt. Sluttningen i sydväst utgör slänten av ett nedlagt grustag där sand och grus tagits under grundvattenytan.

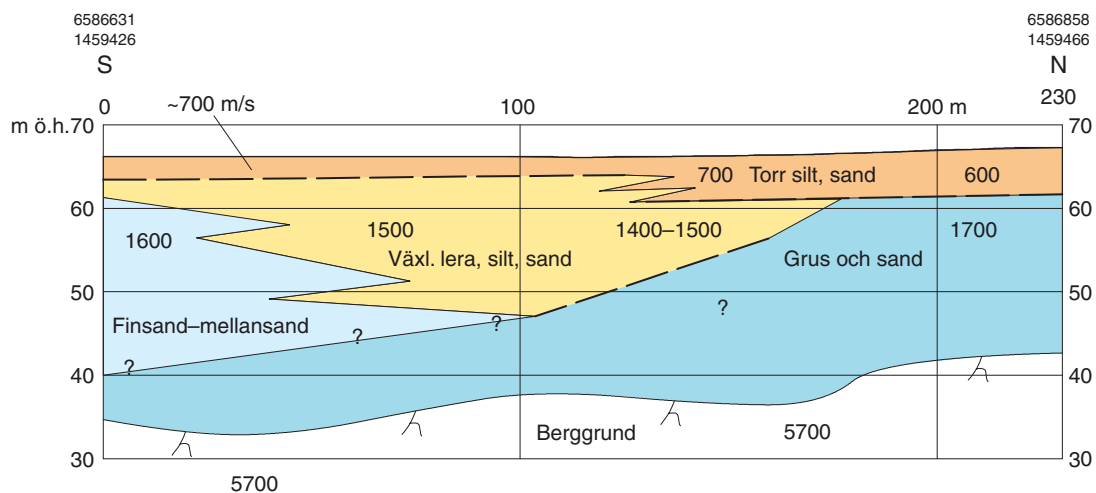


Fig. 34. Den seismiska profilen S7-04. Denna seismiska profil är uppmätt över grundvattendelaren. Det är på samma sätt här, som i norra änden av Hammarbymagasinet, att det är övergången från grövre till finkornigare material med sämre vattengenomsläpplighet, som är orsaken till att Hammarbymagasinet vatten hålls uppe i en högbassäng. Jämför figur 30.

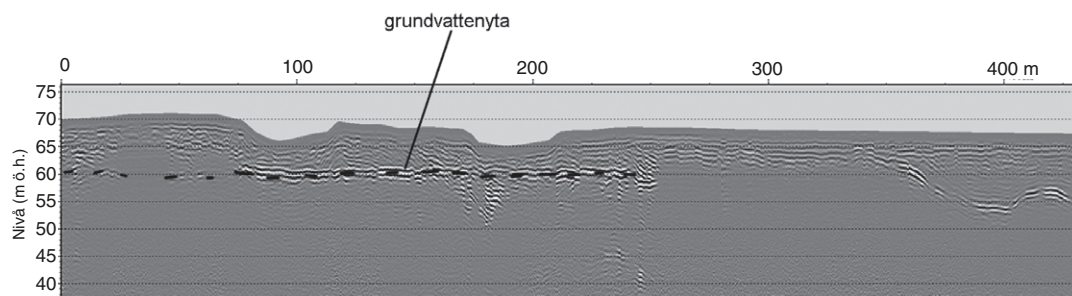


Fig. 35. Utsnitt av radarprofil R 383-04. I början syns grundvattenytan svagt, kanske beroende på förekomsten av något tunt, dämpande silt- eller lerskikt i de översta lagren. Mellan 75 och 250 m syns grundvattenytan tydligt. Därefter kommer lera in som skärmar av radarsikten nedåt. Man kan se ett lerskikt, som ligger allt djupare mot höger i bild (mot söder), men ingenting syns under leran. På sådana ställen där grundvattenytan syns tydligt, är det sannolikt lerfritt, och därmed kanske möjligt att anordna konstgjord grundvattenbildning.



Fig. 36. Schaktgrop i norra delen av Hammarbymagasinet. Ett ca 2 dm mäktigt lager av gråblå, mörk lera stupar 30–40 grader mot nordväst (in mot Kilsbergen). Mycket grovt material finns både över och under leran. Det övre är svallmaterial, det undre primärt åsmaterial. Ett övre grundvattenmagasin, som hålls uppe av leran, tappades på vatten, när lerskiktet grävdes av. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 37. Slänt i gammalt grustag i södra delen av Hammarbymagasinet. En källa från ett övre grundvattenmagasin, ovanför leran. Efter några tiotal meter har allt vatten infiltrerat ner till isälvsavlagringens undre, primära grundvattenmagasin. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

Leran, som till stora delar täcker Hammarbymagasinet, kan försvåra konstgjord grundvattenbildning. Förekomsten av lera hindrar även den naturliga grundvattenbildningen, som är mycket svår att uppskatta. Den är sannolikt förhållandevis liten, något eller några tiotal liter per sekund.

Från den rörliga grundvattendelaren i söder strömmar grundvatten dels norrut till Järleborgskällan, med ett flöde som under åren uppskattats till mellan 10 och 30 l/s (fig. 38) och dels söderut till mindre källor samt vattentäkter vid Kil. Vattenströmmen mot norr är betydligt mer omfattande än den mot söder. Läget av en rörlig grundvattendelare påverkas av t.ex. pumpning och av infiltration av vatten. Den vattenyta man kan se i ett par grustag är Hammarbymagasinet grundvattenyta. Ett exempel ges i figur 39.

Sammanfattningsvis kan sägas att de seismiska mätningarna och borrhningarna visade att den grovkorniga, starkt vattenförande delen av Hammarbymagasinet är omkring 30 m mäktig, 300 m bred och 2 500 m lång. Mellan borrhningen R 04015 och profilen S 3-04 har den grovkorniga delen, åskärnan, en ca 300 m lång, uppskattningsvis 150 m bred och 10 m mäktig förträngning. Figur 40 visar en bild från borrhningarna där mycket grova och starkt vattenförande lager påträffats.

Hammarbymagasinet sand- och gruslager är så pass mäktiga och vattengenomsläppliga att betydligt större vattenmängder än vad den naturliga grundvattenbildningen medger skulle kunna tas ut, om man kan skapa konstgjord grundvattenbildning t.ex. som figur 11 visar. Mogetorpmagasinet kan bedömas ha liknande dimensioner.

Hammarbymagasinet är relativt ostört av miljöpåverkande faktorer, förutom den mindre vägen mellan Kil och Mogetorp, medan Mogetorpsmagasinet är mera utsatt genom att det korsas av den hårt trafikerade riksväg 50.



Fig. 38. Järleborgskällans flöde varierar en del med tiden. Här bedöms det vara omkring 20 l/s. En vattenanalys härifrån ingår i tabell 2. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 39. I två grustag har sand och grus tagits under grundvattenytan. Vattenytan man ser i dessa är således Hammarby-magasinet grundvattenyta. Grustaget ligger strax söder om borrhningen R 04167, figur 28. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 40. Från borrhningen av R 0415. Sandiga—grusiga, starkt vattenförande lager med mäktigheter på 20–30 m påträffades i flera borrhningar. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

Avsnittet Tripphultssjön–Mörtsjön, Åsbromagasinet

Åsbromagasinet omfattar åsavsnittet mellan grundvattendelaren vid Tripphultssjön i norr och grundvattendelaren vid Mörtsjön i söder (fig. 41). Från grundvattendelarna strömmar grundvattnet mot Åsasjön och Estabosjön, för att sedan gå ut i Tisaren. På vägen sker dock ett flertal utläckage av grundvatten, särskilt vid Vissboda källa.

Åsbromagasinet kan delas upp i två delmagasin, ett nordligt mellan Tripphultssjön och Åsasjön, och ett sydligt mellan Mörtsjön och Åsasjön. Det nordliga delmagasinet kallas här Vissbodemagasinet (fig. 42) och det sydliga delmagasinet kallas Lerbäcksmagasinet. Vissbodemagasinet undersöktes förhållandevis noggrant på 1960-talet (VBB & K-konsult 1968).

Grundvattendelaren i norr, vid Tripphultssjön, är fast och betingad av höga berglägen. På det hela taget är isälvsavlagringarna här tunna med ett flertal uppstickande berghällar. Se också jordartskartan SGU Ae 92 (Björnbom 1989a). De georadarmätningar som utfördes i området antyder också förhållandevis finkorniga och tunna jordlager. Grundvattendelaren är relativt komplex och fördelar en grundvattenström söderut mot Vissbomon, en norrut mot Hardemoåsen, en mot nordost mot Hallsberg–Kumlaåsen och en med mycket liten omfattning mot väster till Tripphultssjön.

Som framgår av figur 42 är de bästa uttagsmöjligheterna koncentrerade till ett kärnstråk, som löper längs den centrala delen av Vissbomon. Det konstaterades vid undersökningarna på 1960-talet. Här visas några exempel på resultaten från de borrhningar som då utfördes:

R 6701	
0–22,8 m	silt (mo)
22,8–24,8	sandigt grus
24,8–25,9	stenigt, sandigt grus
25,9	stopp mot berg
R 6705	
0–0,8 m	mellansandig silt
0,8–6,8	sandigt grus
R 6802	
0–0,9 m	siltig mellansand med stenar
0,9–3,5	mellansand
3,5–6,7	sand
6,7–12,5	mellansandig silt
12,5–16,2	silt
16,2–17,0	siltig, grusig mellansand
17,0–19,95	sandigt grus
19,95	stopp mot berg
R 6803	
0–14,8 m	silt (mo)
14,8–20,9	siltigt, sandigt grus
20,9–25,5	siltig mellansand
25,5–30,4	grusig, mellansandig silt
30,4–32,0	stenig, siltig sand
32,0	stopp mot berg

Den största mäktigheten av grovt material (grövre än mellansand) var 16 m.

Utöver de på kartan (fig. 42) markerade rörborrhningar utfördes ett flertal sonderingsborrhningar.

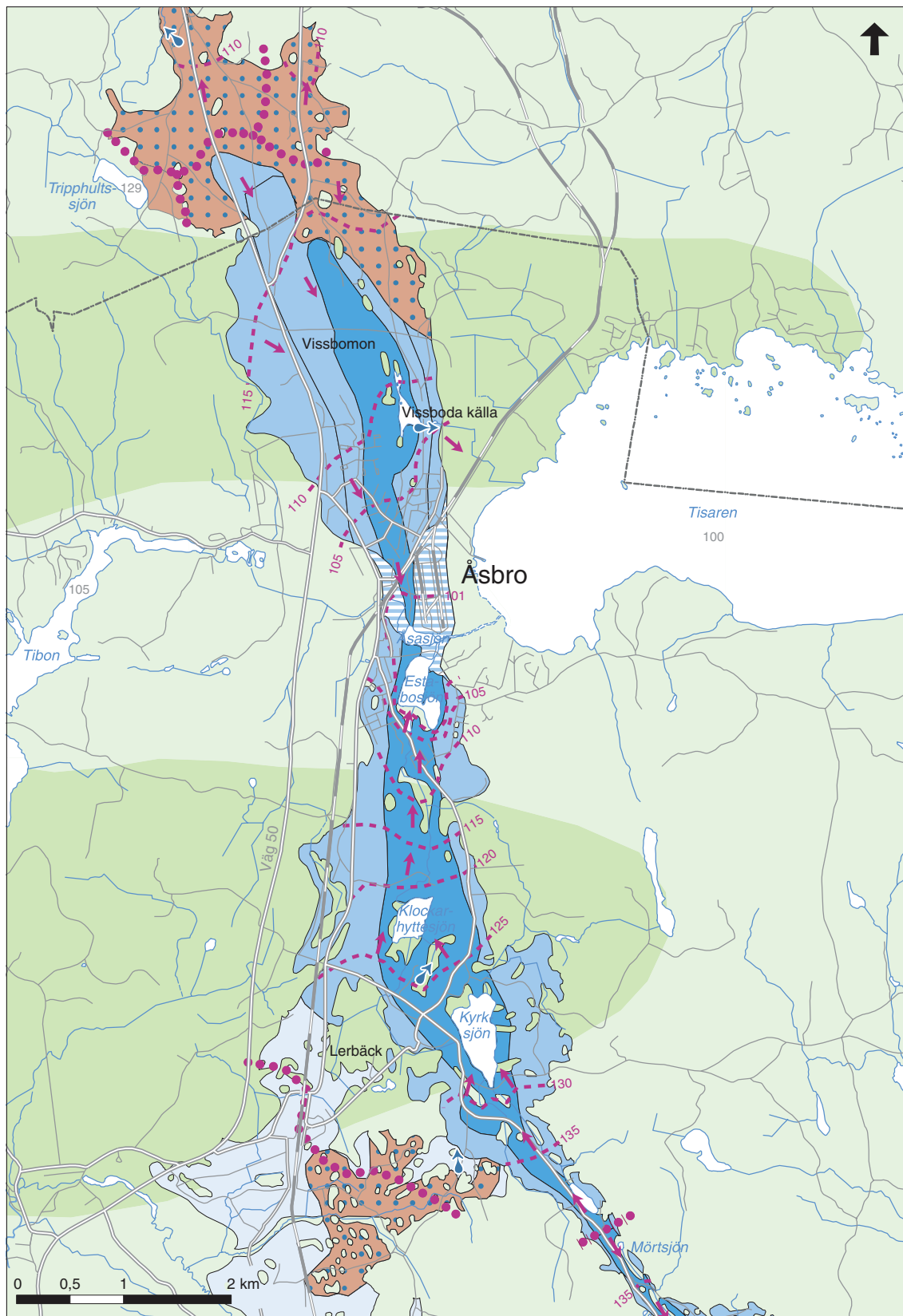


Fig. 41. Åsbromagasinet är grundvattenförekomsten mellan en bergbetingad, fast grundvattendelare vid Tripphultssjön i norr och en rörlig grundvattendelare vid Mörtsjön i söder. Det röda tecknet strax söder om Vissboda källa är Åsbro kommunala grundvattentäkt.

Vid SGUs undersökningar 2003–2004 utfördes i detta område endast de georadarmätningar, som framgår av figur 42. Figur 43 visar ett utsnitt av georadarprofil R 362-03. Grundvattenytan kan ses från ca 900 m till profilens slut, något som pekar på grova och vattengenomsläppliga jord-

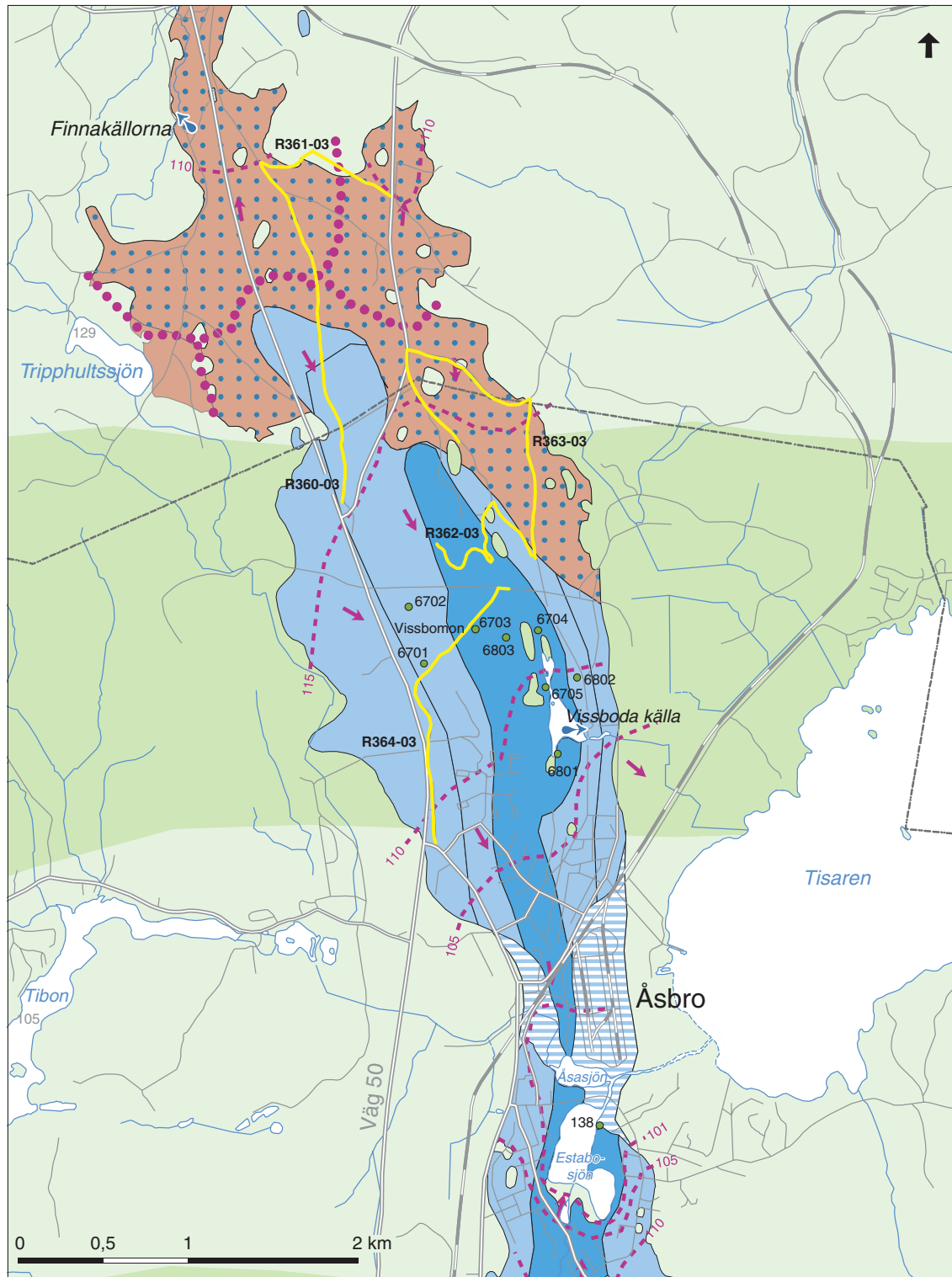


Fig. 42. Vissbodamagasinet avser grundvattenförekomsten mellan den fasta grundvattendelaren vid Tripphultssjön och Åsasjön. Flödet vid Vissboda källa är 10–15 l/s. I Åsasjön (på botten) läcker sannolikt en större del av Vissbodamagasinet grundvatten ut, men något konkret källflöde har inte påvisats. Gula linjer är georadarmätningar.

lager i denna del av profilen. Grundvattenytan ligger mellan nivåerna 110 och 115 m ö.h. Mellan 0 och 900 m är mätningarna mycket störda, kanske av dammbindande salt eller av finkorniga, ytliga jordlager, vilket kan ses till vänster i denna figur. Figur 44 visar de sista drygt 300 meterna av georadarprofilen R 363-03. Grundvattenytan kan där ses vid ungefär 110-metersnivån. Dessa georadmätningar har således åtminstone delvis kunnat bekräfta de tidigare undersökningarna.

Vissboda källa rinner med ett flödet av ca 10 l/s, och i området mellan denna källa och Tisaren förekommer några mindre källflöden. Där vattendraget från Vissboda källa korsas av vägen och järnvägen uppskattades flödet i oktober 2004 till drygt 15 l/s.

Den kommunala grundvattentäkten ligger i norra delen av Åsbro samhälle. Uttaget är här drygt 4 l/s.

Den totala grundvattentillgången i Vissbodamagasinet uppskattades vid undersökningarna på 1960-talet till 40 l/s (VBB & K-konsult 1968), vilket även nu får bedömas vara en rimlig storlek på grundvattentillgången. Möjligheterna att ta ut så mycket utan konstgjord grundvattenbildning kan dock vara begränsade. Det beror på att inte hela området som berörs av Vissbodamagasinet är tillgängligt för grundvattenuttag p.g.a. föroreningsrisken från bl.a. samhället, riksväg 50, järnväg, större grustäcker och impregneringsverk (beläget nära Å i Åsbro i fig. 42). Med konstgjord grundvattenbildning kan sannolikt betydligt mer grundvatten tas ut.

Det finns flera skillnader mellan de två delmagasinen av Åsbromagasinet. Medan Vissbodamagasinet är berört av ovan nämnda riskobjekt är Lerbäcksmagasinet i princip i hela sin utsträckning berört av en väg – den från Estabo förbi Mörtsjön till Mariedamm – samt av mindre grustäcker. Till skillnad mot Vissbodamagasinet står Lerbäcksmagasinet i kontakt med ytvatten längs större delen av sträckan från Mörtsjön i söder till Åsasjön i norr (fig. 45).

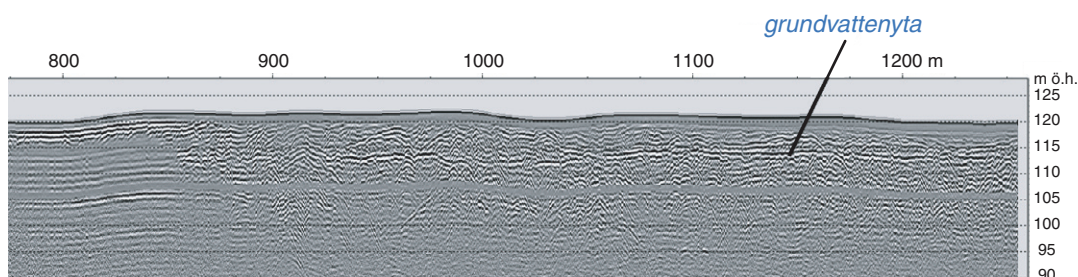


Fig. 43. Georadarprofil R 362-03. Grundvattenytan kan ses längs en sträcka av närmare 400 m på nivån ca 115 m ö.h. Detta pekar mot att området är fritt från leror och att konstgjord grundvattenbildning kan vara möjlig.

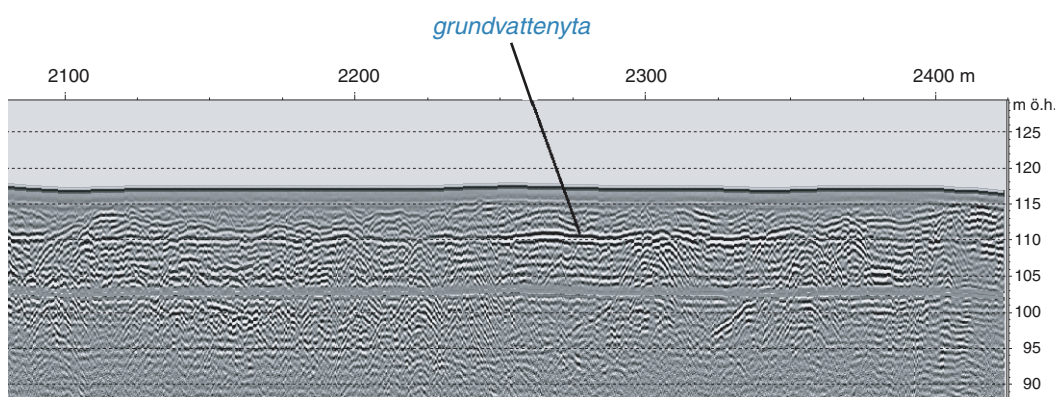


Fig. 44. Georadarprofil R 363-03. Grundvattenytan ses här vid 110 m ö.h. Även här tycks konstgjord grundvattenbildning vara möjlig. Tillsammans med vad figur 43 visar, skulle detta kunna vara möjligt på en sträcka av minst 700 m.

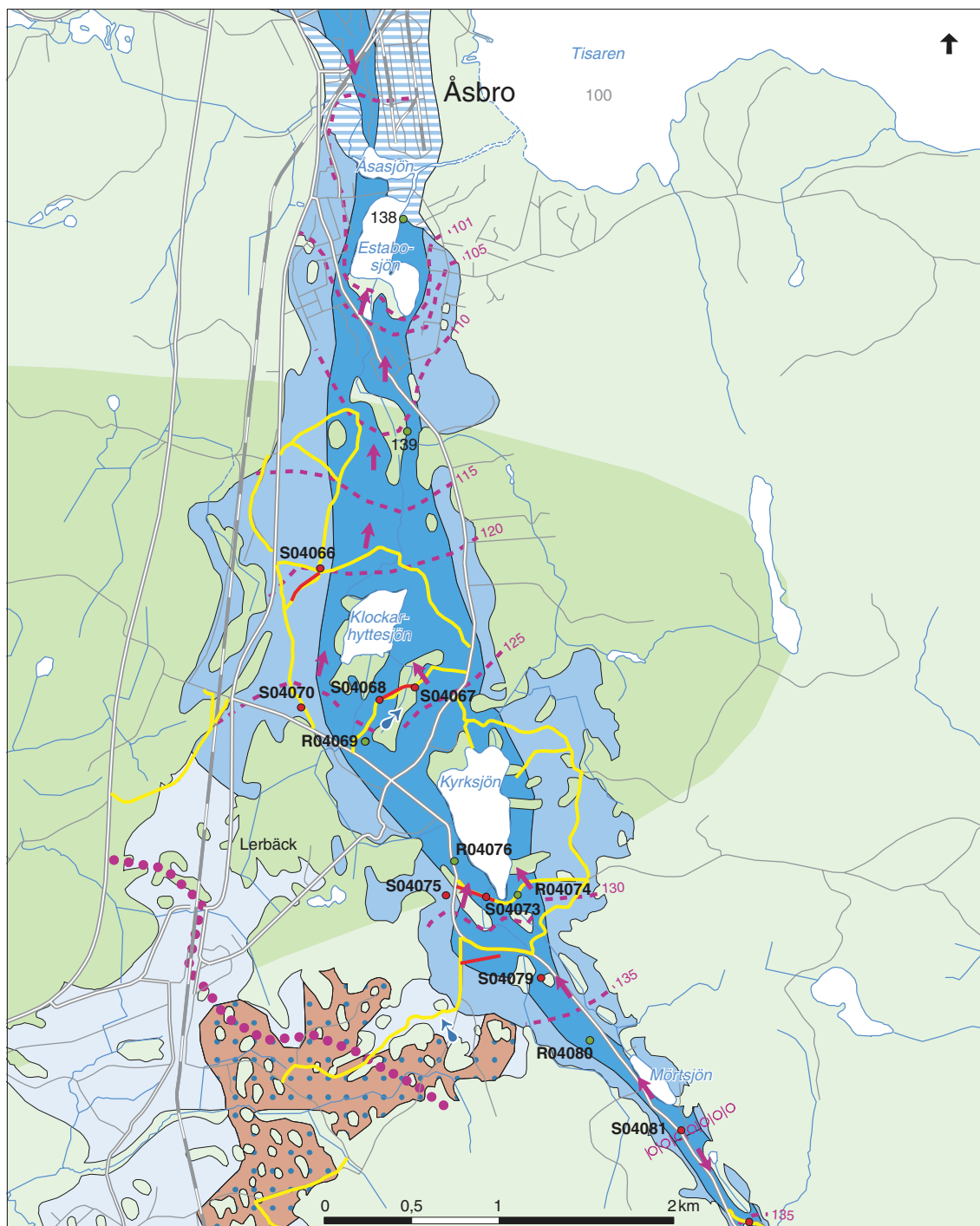


Fig. 45. Lerbäcksmagasinet avser grundvattenförekomsten från den rörliga grundvattendelaren vid Mörtsjön till Estabosjön-Åsasjön. I Estabosjön (på botten) läcker sannolikt en stor del av Lerbäcksmagasinet grundvatten ut. Mätningar av ytvattenflödet till och från denna sjö tyder på ett grundvattentillskott av storleksordningen 25 l/s. Gula linjer – georadar-mätningar; röda linjer – seismiska mätningar. För numrering av geofysiska profiler och borrhinar se figurerna 46 och 51.

Lerbäcksmagasinet är ungefär lika långt som Vissbodamagasinet, ca 5 km, men skillnaden i grundvattennivå från sydlig respektive nordlig grundvattendelare till den gemensamma lågpunkten söder om Åsbro är stor. I Vissbodamagasinet är nivåskillnaden ca 16 m men i Lerbäcksmagasinet är den ca 36 m, dvs. drygt dubbelt så stor. Det ger i Vissbodamagasinet en genomsnittlig gradient på 3 promille och Lerbäcksmagasinet 6 promille. Den högre gradienten i Lerbäcksmagasinet beror sannolikt på att berggrunden under magasinet sänker sig trappstegsformat från Mörtsjön till Åsasjön. Vid varje trappstegskant förekommer troligen något liknande ett grundvattenfall, där grundvattnet spiller över tröskelkanten, och där gradienten är betydligt högre än vad den genomsnittligen är. En sådan situation betyder att större grundvattenuttag måste lokaliseras med hänsyn till dessa trappsteg. Ser man på hur tätt nivåkurvorna ligger får man förmoda att sådana trappsteg kan ligga strax söder om Estabosjön och någonstans vid nivåkurva 115.

Grundvattendelaren i söder, vid Mörtsjön, är rörlig. I området där den sydvästra grundvattendelaren ligger är jordlagren tunna med många uppstickande berghällar. Den grundvattendelaren är fast. Dessa grundvattendelare beskrivs närmare nedan.

De undersökningar som utfördes kring Klockarhyttesjön framgår av figur 46. I flera avsnitt av georadarprofilerna framträdde grundvattenytan tydligt, vilket pekar på ett grovt och genomsläppligt material i isälvsavlagringen (fig. 47 och 48). I vissa fall har också den underliggande berggrunden kunnat ses. I figur 48, profil R 368-03, kan man se hur den mäktiga delen av grundvattenmagasinet avslutas mot berget i öster, där grundvattenytans indikation bryts.

De seismiska profilerna S 8-04 och S 9-04 (fig. 49 respektive fig. 50) visar ett 15–20 m mäktigt grundvattenmagasin, med de grövre och sannolikt mer vattengenomsläppliga avlagringarna där profil S 9-04 anger den seismiska hastigheten 1 800 m/s.

Resultaten av undersökningsborrningarna i området från Estabosjön till Kyrksjön framgår nedan.

Borrplats 138, hejarsondering från undersökningarna på 1960-talet, ca 17 m grovt material (fig. 45, 46)

Borrplats 139, hejarsondering från undersökningarna på 1960-talet, ca 15 m grovt material (fig. 45, 46)

S 04066	
0–4,5 m	finsand–mellansand
4,5–25,8	mellansand
25,8–26,5	morän
26,5	stopp mot berg?
S 04067	
0–1 m	yllning
1–3	sand
3–20,3	stenig, grusig sand
20,3	stopp mot (block) el. berg
S 04068	
0–1 m	yllning
1–17,0	stenig, grusig sand
17,0	stopp mot (block) el. berg
R 04069	
0–13 m	grusig sand
13–21	sandigt grus
21–23	grusig, stenig sand (sonderat)
23–23,3	morän (sonderat)

S 04070	
0–4,7 m	finsand
4,7–5,	stenig, grusig sand
5,1	stopp mot block el. berg

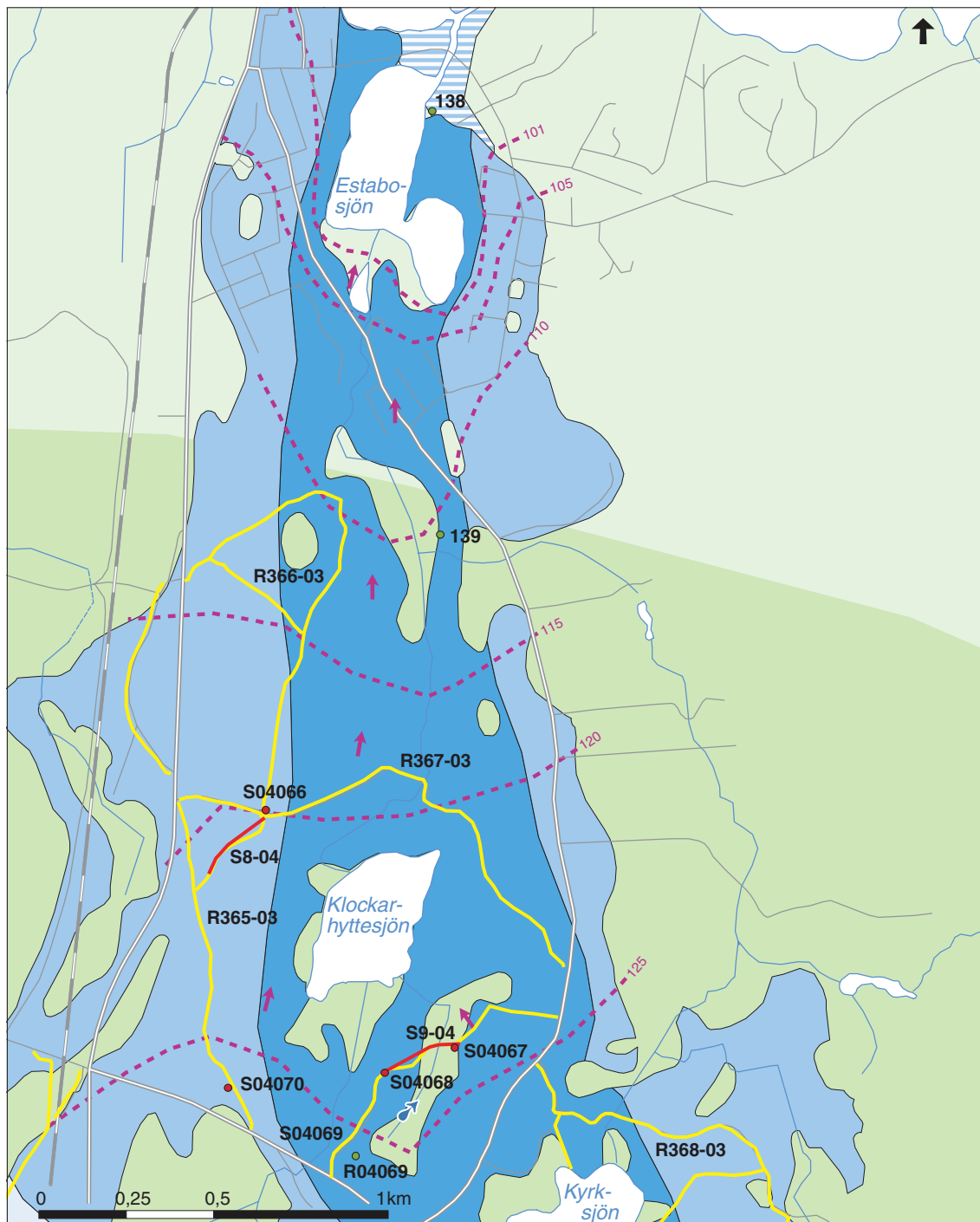


Fig. 46. Norra delen av Lerbäcksmagasinet. Till sjöar och vattendrag sker en kontinuerlig avvattning av detta grundvattenmagasin. Källan vid R04069 rinner med ca 5 l/s.

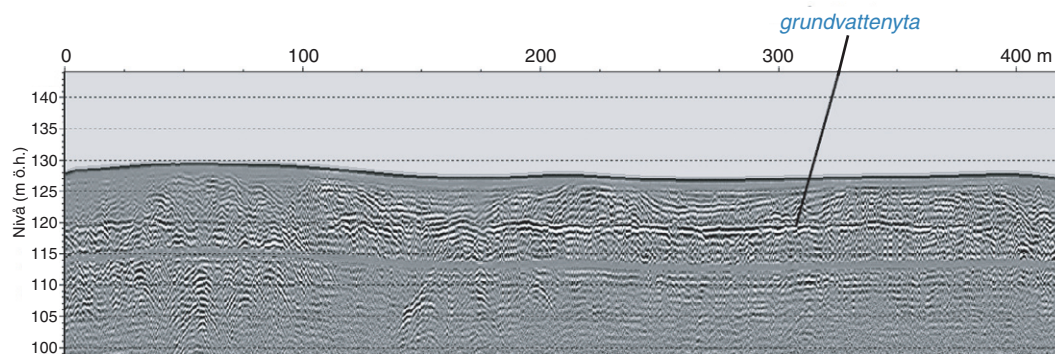


Fig. 47. Georadarprofil R 367-03. I flera georadarprofiler i Lerbäcksmagasinet framträder grundvattenytan tydligt – här vid 120 m ö.h. Konstgjord grundvattenbildning är sannolikt möjlig på flera ställen i detta grundvattenmagasin.

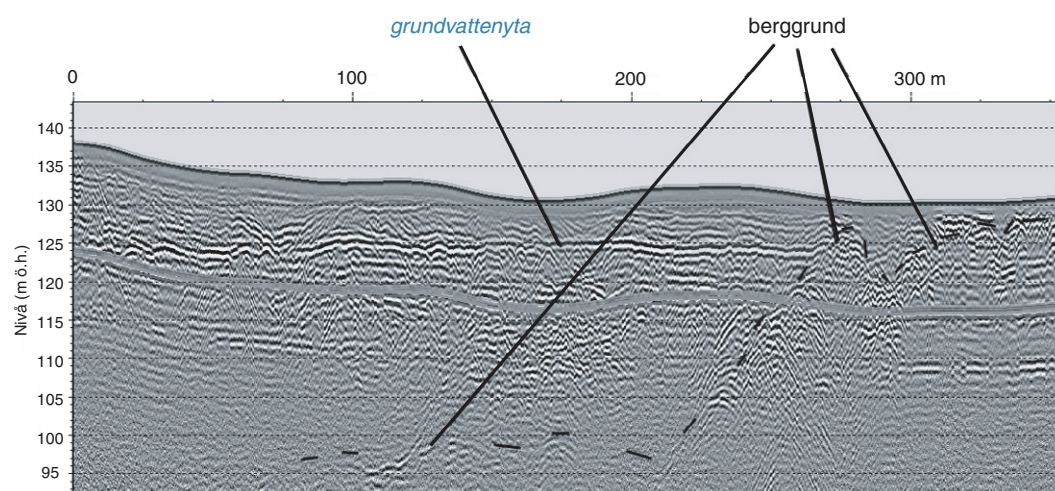


Fig. 48. Georadarprofil R 368-03. Vid 75 m börjar berggrundsytan synas på ca 30 m under markytan. Vid 210 m stiger den brant och vid 260 m klipper den grundvattenytan på ca 125 m ö.h.

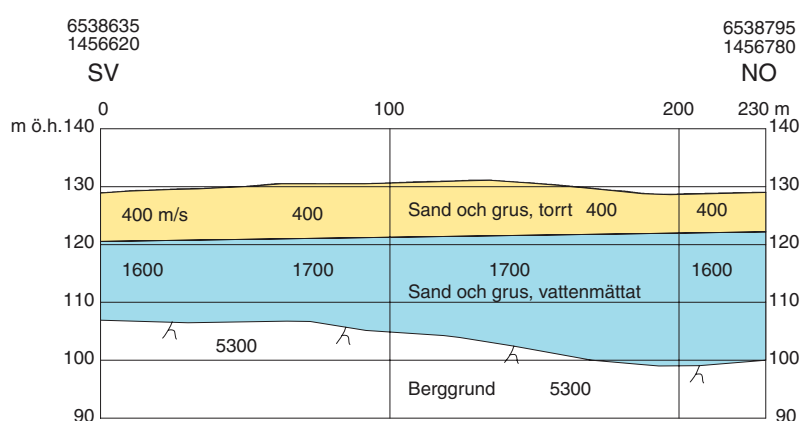


Fig. 49. Den seismiska profilen S8-04. Den seismiska hastigheten 1600 m/s tyder på ett något finkornigare material i profilens ändar. Grundvattenytan ligger kring 120 m ö.h.

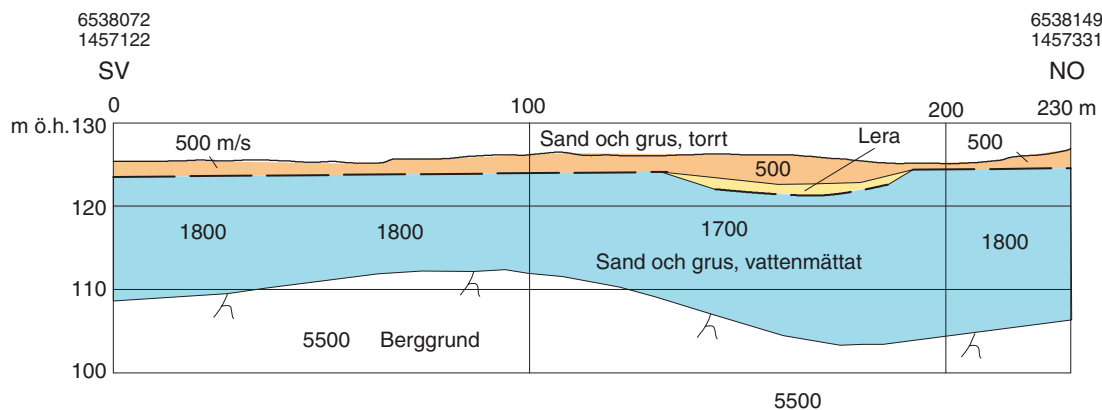


Fig. 50. Den seismiska profilen S9-04. De seismiska hastigheterna är högre i denna, centralare del av isälvsavlagringen. Hastigheten 1700–1800 m tyder på ett sandigt-grusigt material.

Borrningarna i de mer centrala delarna av isälvsavlagringen visade således även de ett ca 15–20 m mäktigt grundvattenmagasin i detta område. Vid drivningen av observationsröret R 04069 visade sig vattengenomsläppligheten vara hög eller mycket hög i stort sett från grundvattenytan och ca 20 m ner.

De undersökningar som utförts kring östra och södra delarna av Kyrksjön och till grundvattendelarna i sydväst och i sydost framgår av kartutsnittet i figur 51. Vid georadarmätningarna längs profilen R 368-03 upphörde indikationen på grundvattenytan efter drygt 250 m. Den profilen visar fortsättningsvis en tydlig bergindikation och ett tunt jordtäckte (fig. 52). I profil R 369-03 återkommer indikationen på grundvattenytan igen vid ca 500 m (fig. 53).

Georadarmätningarna längs profilen R 370-03 visade ett mestadels tunt jordtäckte också på den västra sidan av isälvsavlagringen, och en ställvis tydlig grundvattenyta. Figur 54 visar ett utsnitt ur denna georadarprofil, där det klart framgår hur den uppskjutande berggrunden, vid ungefär 930 m, bildar en grundvattendelare. Grundvattenytans höjdläge skiljer sig ett par meter på ömse sidor om denna under markytan dolda bergknalle. Detta är alltså en fast grundvattendelare.

De seismiska profilerna S 12-04 och S 15-04 (fig. 55 respektive fig. 56) visar ungefär samma mäktighet på isälvsavlagringen, 20–25 m. I S 15-04 består dock avlagringen av omkring en tredjedel omättad zon. I S 12-04, å andra sidan, syns uttagsmöjligheterna vara bättre (högre seismiska hastigheter). Detta skulle kunna vara ett bra läge för konstgjord grundvattenbildning, med infiltration vid profil 15 och uttag vid profil 12.

Resultaten från borrningarna i området söder om Kyrksjön framgår nedan:

S 04073	
0–3 m	lera, gyttja
3–23	stenig, grusig sand
23–24	morän
R 04074	
0–9 m	finsand
9–11	finsand–mellansand
11–13	mellansand
13–15	mellansand–grovsand
15–17	mellansand
17–23	mellansand–grovsand
23–27	mellansand
27–29	mellansand–grovsand
29–31,8	sand, sonderat
31,8–34,5	morän (?), sonderat

S 04075	
0–7 m	finsand
7–9	mellansand
9–11	stenig, grusig sand
11–11,3	morän
R 04076	
0–5 m	grusig sand
5–9	mellansand–grovsand
9–13	grusig sand
13–15	mellansand–grovsand
15–17	grovsand
17–21	sandigt grus
21–36,8	stenig, grusig sand, sonderat
36,8	stopp mot berg?
R(S) 04079	
0–11 m	mellansand
11–11,5	stenlager
11,5–21	mellansand–grovsand
21–22,2	morän?
22,2	stopp mot berg? (1-tumsrör)
R 04080	
0–8 m	grusig sand
8–9	grus
9–11	grovsand
11–17	grusig, stenig sand , sonderat
17	stopp mot block el. berg
S 04081	
0–23 m	stenig, grusig sand
23	stopp mot block el. berg
S 04082	
0–5,5 m	stenig, grusig sand
5,5–17,8	småstenig, grusig sand
17,8–18,1	morän, trasberg?

Vid drivning av observationsrör R 04074 visade sig genomsläppligheten vara hög eller mycket hög från 11 till 29 m, och i R 04076 mellan 5 och 21 m. Den största påträffade mäktigheten av grovt material i Lerbäcksmagasinet är 36 m.

Vid den södra grundvattendelaren har höga berglägen inte påträffats. Den bedöms därför vara rörlig. En profil från Kyrksjön över Mörtsjön till sjön Noren visar grundvattenytans och berggrundsyntans höjdlägen över denna grundvattendelare (fig. 57).

Kemiska analyser av grundvattnet från rören i Lerbäcksmagasinet framgår av tabell 3, sid. 32.

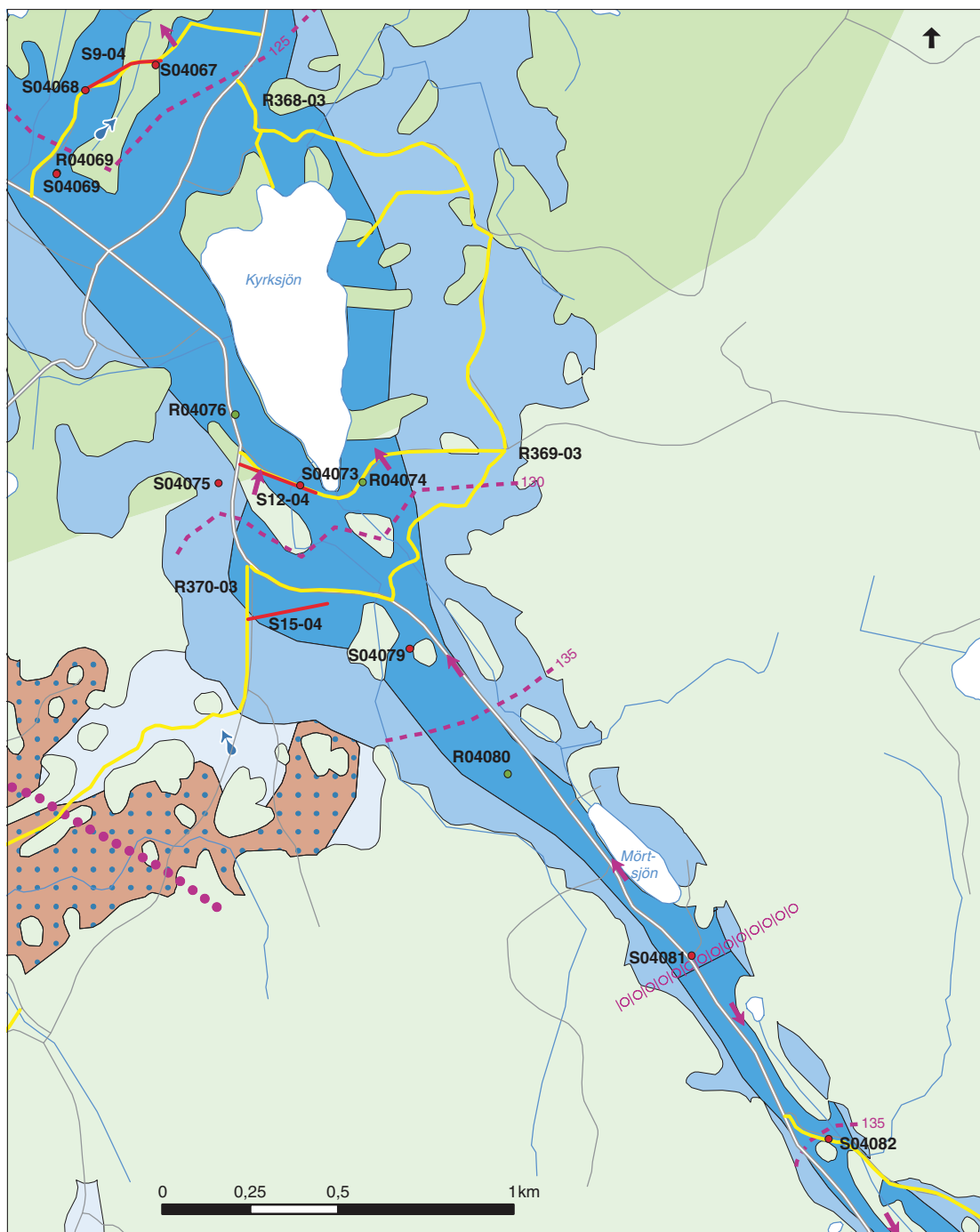


Fig. 51. Södra delen av Lerbäcksmagasinet. Grundvattendelaren i sydväst är fast. Möjligen kan den vara rörlig i förlängningen mot nordväst, se figur 54. Grundvattendelaren vid Mörtsjön är rörlig, se figur 57.

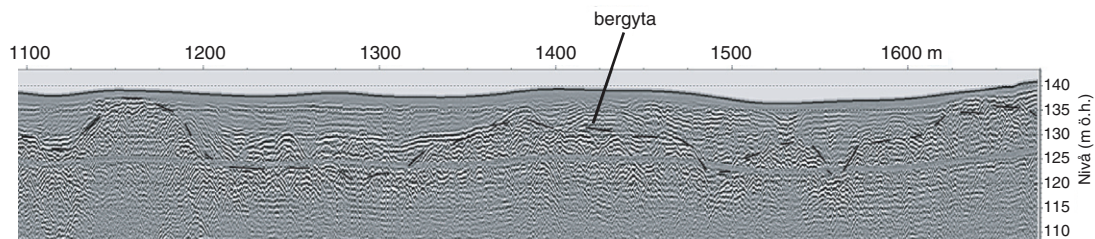


Fig. 52. I detta utsnitt av georadarprofil R 368-03 ligger bergytan högt. Grundvattnet förekommer huvudsakligen i vissa svackor och kan här vara svårt att utvinna.

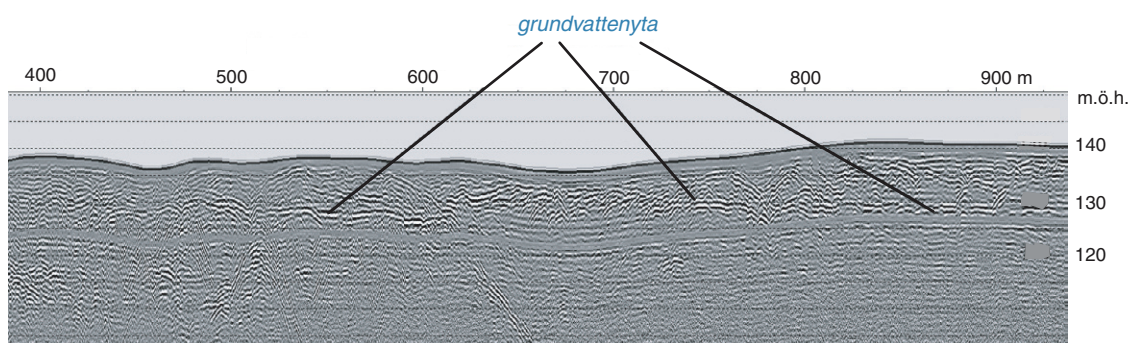


Fig. 53. Georadarprofil R 369-03. Från mitten av profilen kan grundvattenytan urskiljas ganska väl. Borrningarna i närheten visar på ett 20–30 m mäktigt grundvattenmagasin.

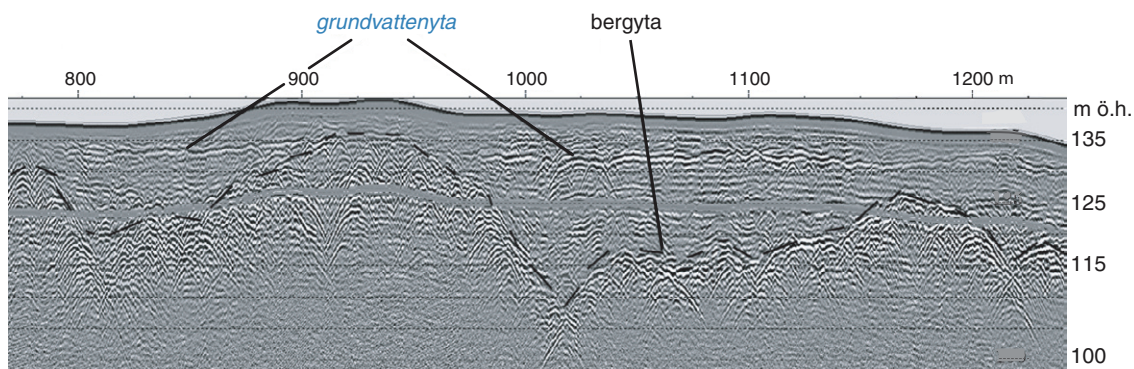


Fig. 54. Georadarprofil R 370-03. Profilen är mätt över grundvattendelaren i sydvästra delen av kartutsnittet i figurerna 45 och 51. Vid 925 m i profilen ligger en under markytan dold berggrundskulle, som når högre än grundvattnet. Grundvattenytan till höger (sydväst) om kullen ligger några meter lägre än grundvattenytan till vänster. Detta visar en fast grundvattendelare mellan två skilda grundvattenmagasin.

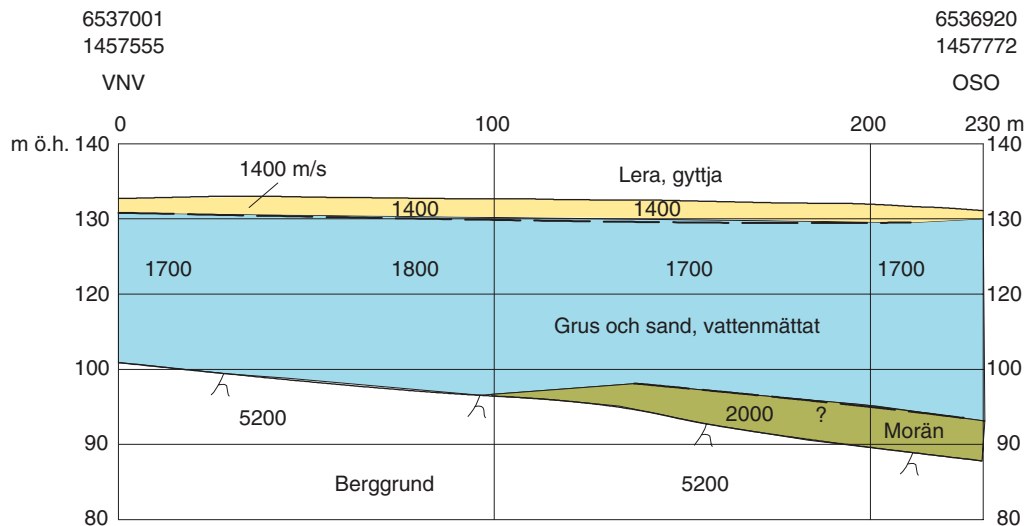


Fig. 55. Den seismiska profilen S12-04. Grundvattenmagasinet är 20–30 m mäktigt med seismiska hastigheter som tyder på ett sandigt–grusigt material, något som borrhningarna har bekräftat.

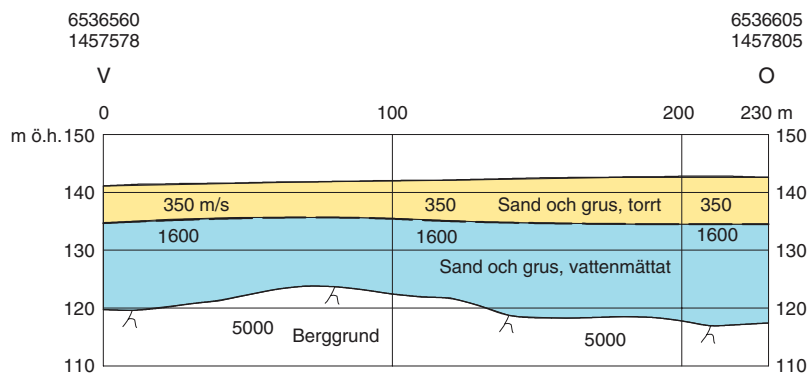


Fig. 56. Den seismiska profilen S15-04. Grundvattenmagasinet är här överlagrat av en 5–10 m omättad zon och radarmätningarna tyder på att området är lerfritt, varför detta möjligen skulle kunna vara ett läge för konstgjord grundvattenbildning.

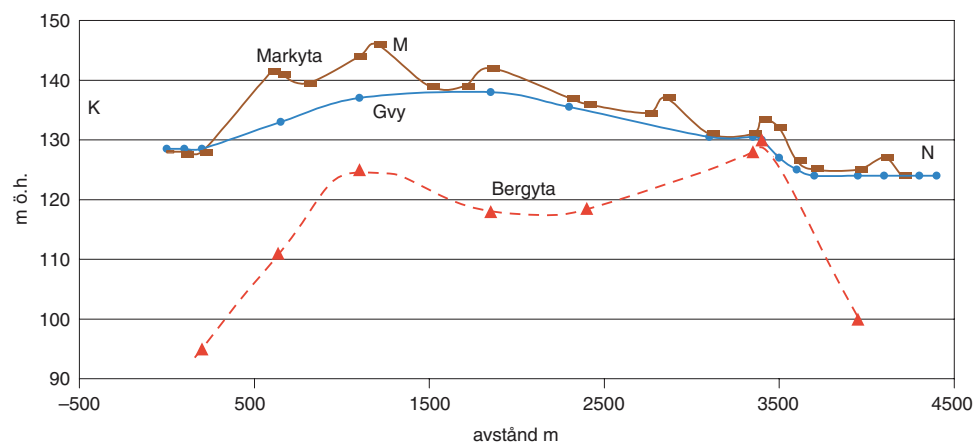


Fig. 57. Profil från Kyrksjön (K) via Mörtsjön (M) till sjön Noren (N). Materialet mellan markytan och bergytan utgörs huvudsakligen av sand och grus. Grundvattendelaren vid Mörtsjön är rörlig, dvs. den skulle flytta sig vid ett större grundvattenuttag. Om detta gjordes vid Kyrksjön skulle grundvattendelaren flyttas bortåt, mot Noren.

Avsnittet Mörtsjön–Mariedamm, Långsjömagasinet

Långsjömagasinet begränsas både i norr och i söder av rörliga grundvattendelare. Det består av ett nordligt och ett sydligt delmagasin, Norenmagasinet respektive Solbergamagasinet (fig. 58).

Norenmagasinet avser grundvattenförekomsten från grundvattendelaren vid Mörtsjön till Långsjön. De undersökningar, som utfördes i Norenmagasinet framgår av figur 59. Georadarprofilen R 151-04 (fig. 60) visar hur grundvattnet är uppdämt på en nivå något över 130 m ö.h. av en bergklack. Det är den bergklack, som syns vid ungefär 3 400 m i figur 57.

Den något osäkra radarindikationen på en grundvattenyta mellan 525 och 550 m i radarprofilen ligger på en nivå mellan 120 och 125 m ö.h. (fig. 60). Här finns således ett grundvattenfall, och en del av grundvattenflödet rinner sedan ut i källan vid den lilla sjön Noren, ca 400 m bort, på nivån strax över 120 m ö.h. (fig. 61).

Flödet från Noren, som således i princip är en källa, är något under 10 l/s. Till Djupsjön sker också ett utflöde av grundvatten, vilket emellertid är mer diffust. Med hänsyn till den teoretiska grundvattenbildningens storlek i detta parti kan det kanske röra sig om några tiotal liter per sekund. Figur 62 visar flödet från dammen vid Sandbacken, i höjd med sonderingsborrningen S 04086 (fig. 59). Detta flöde kan uppskattas till ca 10 l/s. Samtidigt passerar en okänd grundvattenmängd genom sand- och gruslagren under och bredvid fördämningen. Flödet innehåller även en komponent av ytvatten från Hissjön, vilket komplicerar bedömningen ytterligare.

Vattennivåerna i detta område är lite speciella. Grundvattenytans samt Djupsjöns, Norens (Sundsjöns) och Långsjöns, och t.o.m. även sjön Örgavelns, nivåer är faktiskt mycket lika varandra, kring 120,3 m ö.h. Sannolikt föreligger god hydraulisk kommunikation mellan sjöarna via isälvsavlagringen. Detta betyder i sin tur att förutsättningarna för inducerad infiltration får bedömas som mycket goda i detta område.

Resultat från borrningar i Norenmagasinet visas nedan.

R 04071	
0–9 m	grusig sand
9–13	sandigt grus
13–18	grus
18–19	finsand
19–20,7	stopp mot block el. berg
S 04082	
0–5,5 m	stenig, grusig sand
5,5–17,8	småstenig, grusig sand
17,8–18,1	morän
18,1	kan fortsätta
S 04086	
0–30,8 m	stenig, grusig sand
30,8	stopp mot berg?
S 04087	
0–3 m	finsand–mellansand
3–28	stenig, grusig sand
28–28,7	morän
28,7	stopp mot berg?

S 04088	
0–7,5 m	stenig, grusig sand
7,5–10	stenig morän?
10	stopp mot block el. berg
S 04089	
0–3,5 m	sand
3,5–5	stenig, grusig sand
5	stopp mot berg?
S 04090	
0–7,5 m	mellansand–grovsand
7,5–15	mellansand
15–27,7	mellansand–grovsand
27,7–30,3	stenig, grusig sand
30,3	stopp mot berg?
R 04091	
0–3 m	mellansand
3–6	finsand–mellansand
6–12	mellansand
12–13	finsand–mellansand
13–15	finsand
15–22,5	mellansand–finsand, sonderat
22,5–24	grovsand, sonderat
24–25	stenig, grusig sand, sonderat
25	stopp mot berg?

Rör R 04071 hade god vattengenomsläpplighet mellan 7 och 18 m. Vid drivningen av rör R 04091 visade sig avsnittet mellan 3 och 11 m ha hög genomsläpplighet trots inslaget av finsand. Röret drevs av tekniska skäl bara till 15 m. Den största påträffade mäktigheten av grovt material i Norenmagasinet är 30 m.

Kemiska analyser av grundvattnet från Norenmagasinet framgår av tabell 2 och 3, sid. 24 och 32.

Figur 63 visar Solbergamagasinet, som avser grundvattenförekomsten från den öst- västliga grundvattendelaren vid Solbergamon till Långsjön. Även här får förutsättningar för inducerad infiltration anses föreligga vid Långsjöns strand.

De seismiska profilerna S 13-04 och S 14-04 framgår av figur 64 resp. figur 65. Profil 13 visar ett ca 10 m mäktigt grundvattenmagasin med relativt hög seismisk hastighet, vilket tyder på ett grusigare material särskilt i profilens östra del, där hastigheten är 1 900 m/s.

Profil S 14-04 visar att berggrundsytan i princip ligger högre än grundvattenytan på detta ställe. Här finns alltså ett torrt parti av åsen.

Georadarprofilen R 167-04 visas i figur 66. Den är mätt över Solbergamon vid Skirens norra ände. Såväl grundvattenytan som berggrundsytan framgår relativt tydligt, vilket ofta är fallet när jordlagren domineras av mellansand–finsand.

Nedan framgår resultaten av sonderingsborrningarna på Solbergamon:

S 04083	
0–2,8 m	mellansand
2,8–13,6	småstenig, grusig sand
13,6	stopp mot block el. berg
S 04084	
0–11,8 m	mellansand
11,8–12,4	stenig morän
12,4	stopp mot block el. berg
S 04085	
0–13,4 m	finsand–mellansand
13,4–15,7	stenig, grusig sand
15,7–16,7	morän
16,7	stopp mot berg?

Den största påträffade mäktigheten av grovt material vid borrningarna i Solbergamagasinet är 11 m.

Det område, som bedöms ha bäst möjligheter till större grundvattenuttag vid Solbergamon är området kring borrningen S 04083, men en nedlagd avfallsdeponi är tyvärr belägen endast ca 500 m norr därom. Solbergamagasinet bästa uttagsmöjligheter bedöms emellertid föreligga i avsnittet närmare Långsjön, vilket den seismiska profilen S 13-04 visat och som framgår av kartbilden i figur 63.

Några tydliga källor har inte påträffats i området. Vattenföringen i bäcken som syns från strax norr om profil S 14-04 (fig. 63) och via några småsjöar går till Långsjön, ökade emellertid från 2 l/s till drygt 10 l/s vid utloppet i Långsjön. Detta uppmättes i september 2005 när vattenföringen i övriga bäckar i området var nära noll. Utläckningen av grundvatten från åsen är således ca 10 l/s plus ett flöde från åsmaterialet direkt ut i Långsjön, vilket kan bedömas vara av ungefär samma storleksordning.

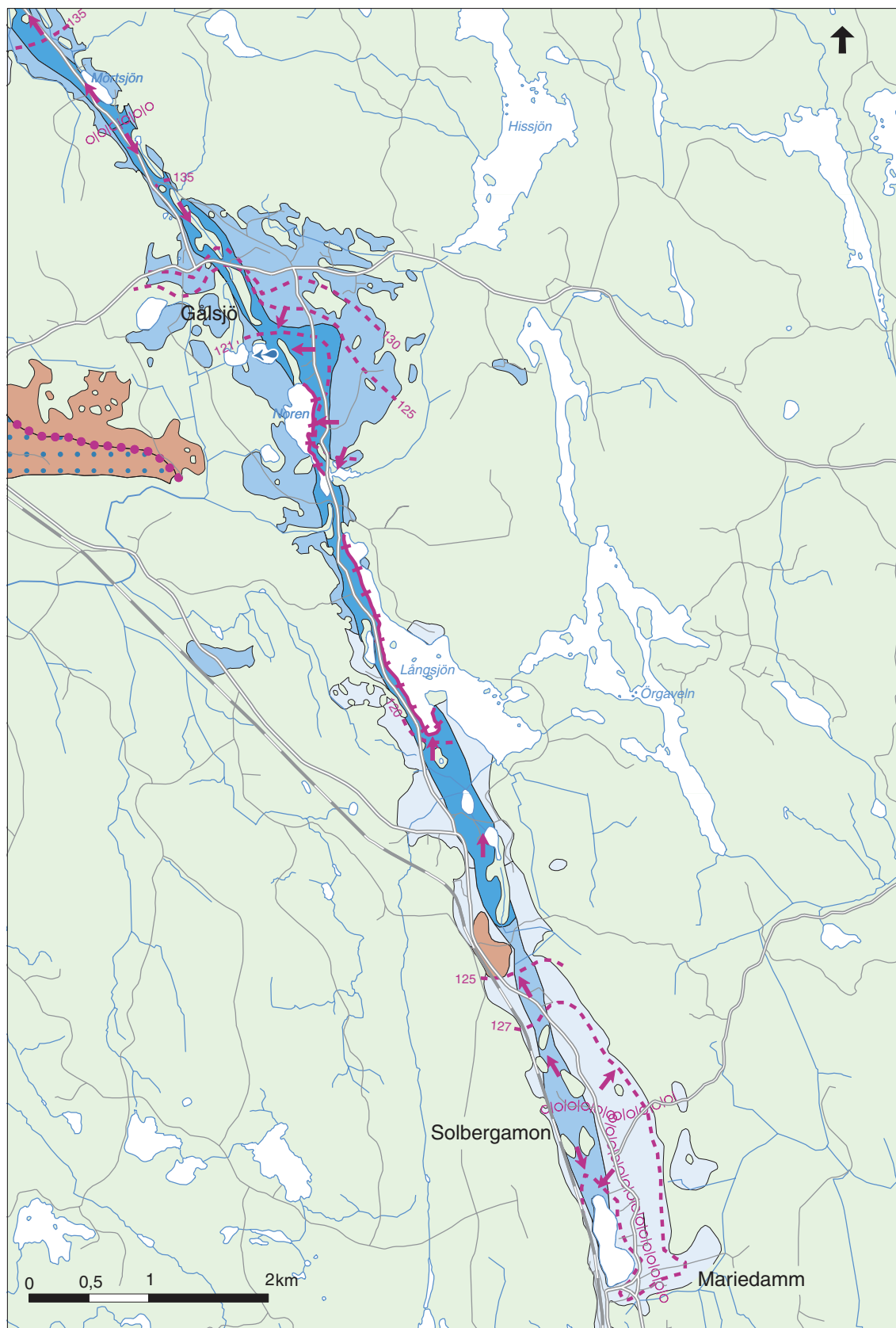


Fig. 58. Långsjömagasinet avser grundvattenförekomsten från den rörliga grundvattendelaren vid Mörtsjön till den likaledes rörliga, öst–västliga grundvattendelaren vid Solbergamon.

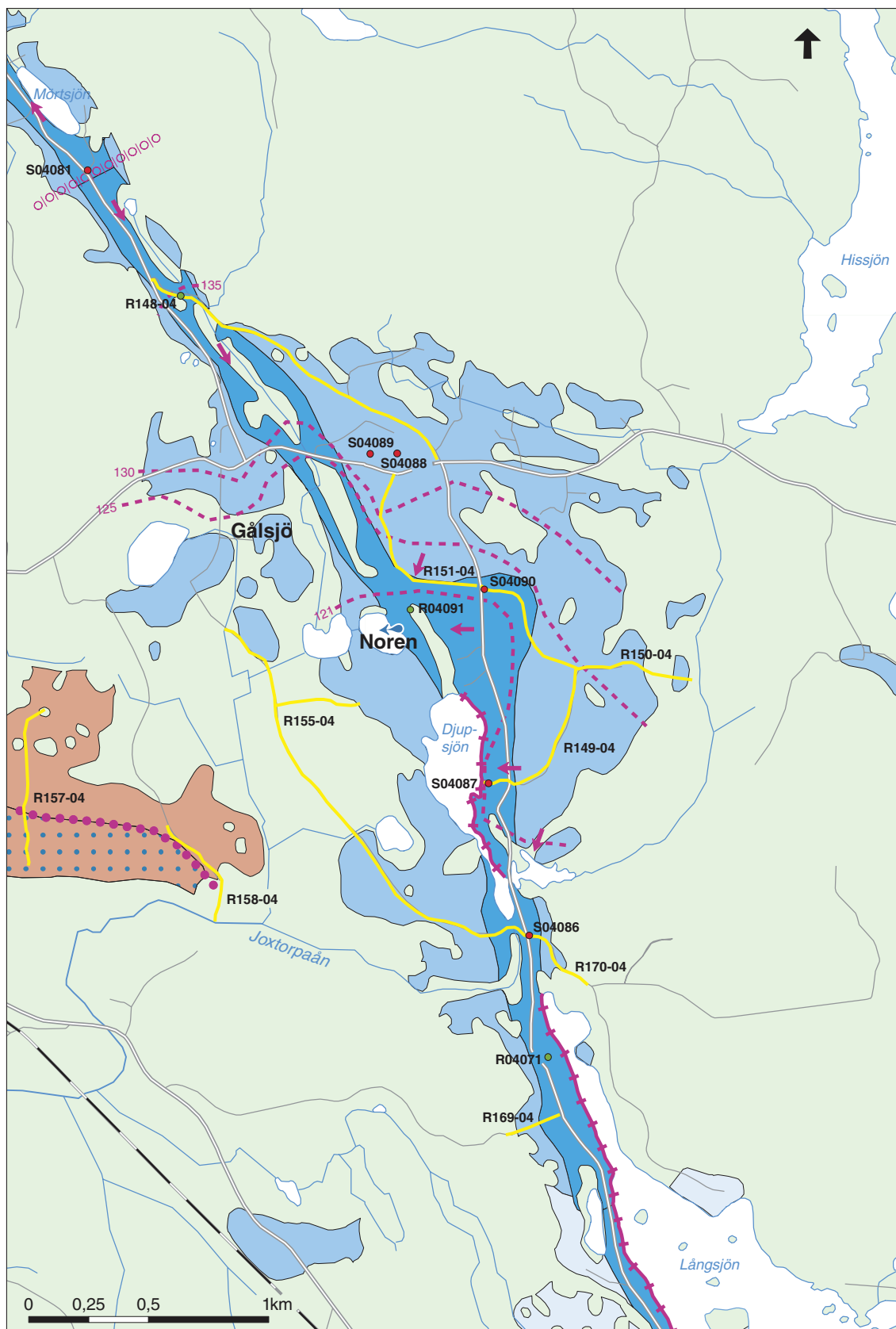


Fig. 59. Norenmagasinet avser grundvattenförekomsten från den rörliga grundvattendelaren vid Mörtsjön till Långsjön. Då åsavsnittet vid Långsjön är förhållandevis långt, och den hydrauliska kontakten mellan grundvattnet och sjövattnet sannolikt är mycket god, kan man inte sätta någon exakt gräns mot Solbergamagasinet.

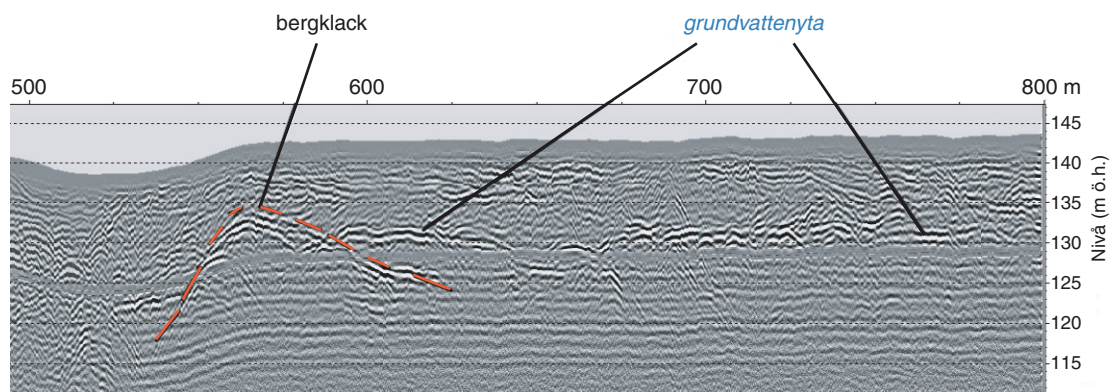


Fig. 60. Georadarprofil R 151-04. En bergklack med nordvästlig till sydöstlig riktning dämmer upp grundvattnet på nivån omkring 130 m ö.h. Jämför med grundvattennivåkurvorna i figur 59.



Fig. 61. Noren är en källsjö med klart och fint vatten. Källflödet var knappt 10 l/s i oktober 2004. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 62. Vattenflödet vid dammen vid Sandbacken, intill S04086, kan bedömas vara omkring 10 l/s och härrör dels från utläckande grundvatten till Djupsjön och dels ytvatten från Hissjön. Samtidigt går sannolikt en viss mängd vatten i sand och gruslagren under dammen som grundvatten. Flödet från Djupsjön, som sannolikt också är en källsjö, är därför svårt att bestämma. En ytterligare komplikation är att vatten möjligen kan inducera från Långsjön och gå ut i Joxtorpaån.
Foto: Carl-Fredrik Müllern.

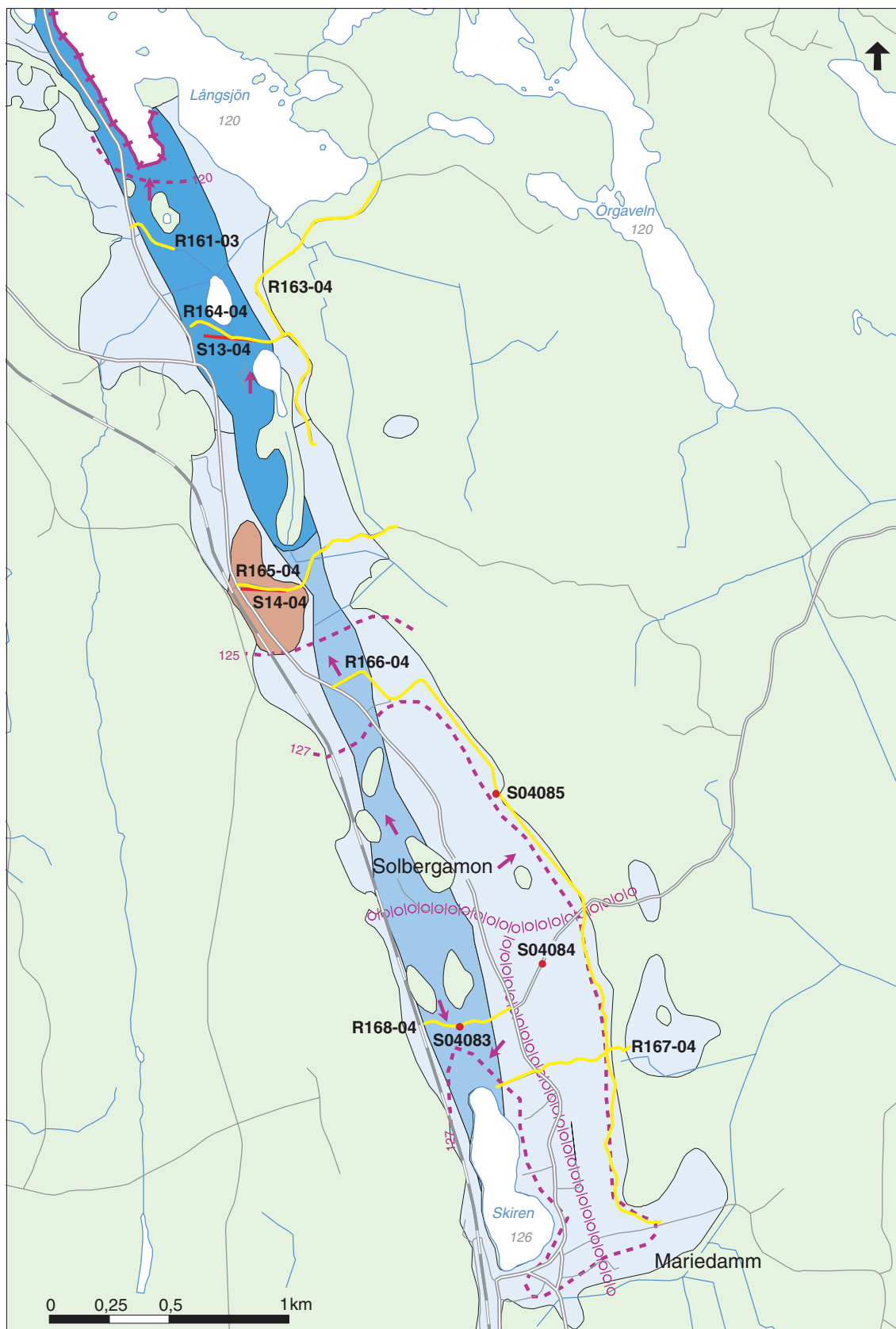


Fig. 63. Solbergamagasinet är grundvattenförekomsten från den öst-västra grundvattendelaren vid Solbergamon till Långsjön. Möjligheterna till större grundvattenuttag bedöms bäst närmast Långsjön. Röda punkter är utförda borrhinar.

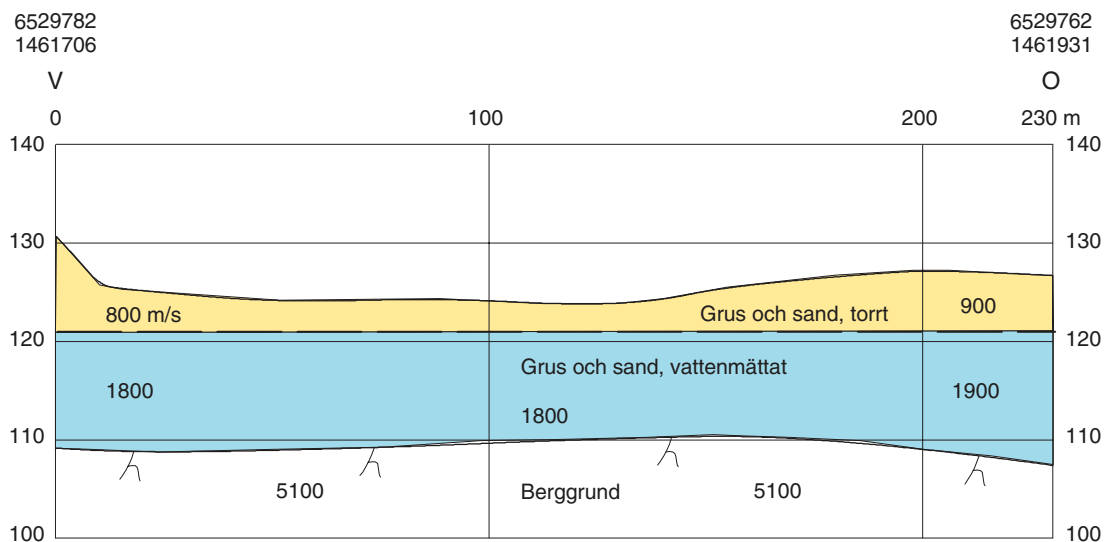


Fig. 64. Den seismiska profilen S13-04. Grundvattenmagasinet är här ca 10 m mäktigt och utgörs, enligt de seismiska hastigheterna 1800 och 1900 m/s, av ett mycket grovt sandigt-grusigt material.

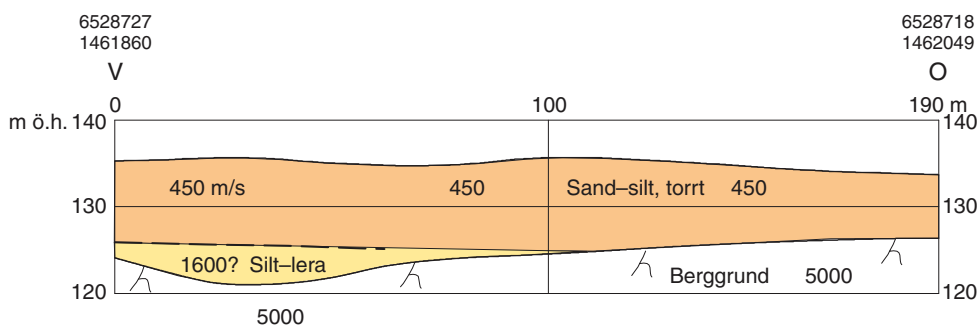


Fig. 65. Den seismiska profilen S14-04 visar ett sandigt-siltigt material, eventuellt med lera, direkt på berget utan något grundvattenmagasin – därav kartbildens bruna färg i området.

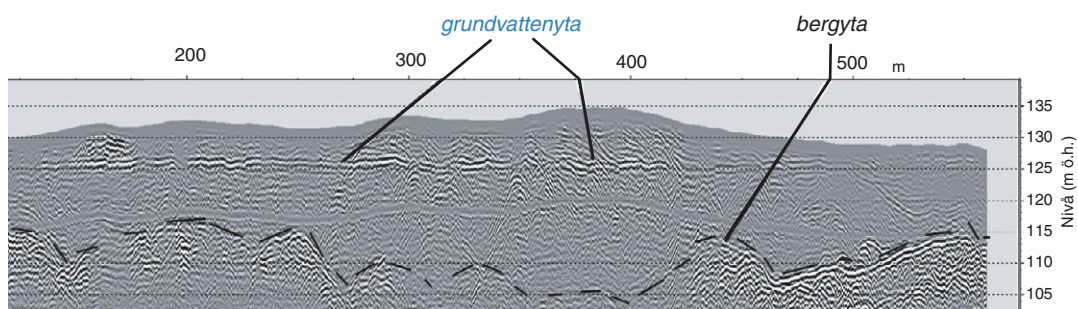


Fig. 66. Georadarprofil R167-04. Grundvattenytan syns bra och berggrundsytan syns också mycket bra, även på större djup. Detta tyder på ett material huvudsakligen bestående av mellansand-finsand.

Isälvsavlagringarna vid Rönneshytta, Rönneshyttamagasinet

Löcknamon, öster om Rönneshytta, är ett flackt höjdområde. Den motsvarar i stort sett området med bruna nyanser i figur 67. Den seismiska profilen S 10-04 är uppmätt i den centrala delen av Löcknamon (fig. 68). Berggrundsytan ligger högt i detta område och jordlagren är relativt tunna och finkorniga. Här finns inget grundvattenmagasin. Grundvattendelaren är bergbetingad och fast.

Det grundvatten som bildas av infiltrerad nederbörd norr om grundvattendelaren rinner givetvis först mot norr men böjer snabbt av mot öster och rinner som ytvatten och grundvatten runt isälvsavlagringarna till sjön Multen. Det har på vägen förenat sig med vattnet från Norenkällan.

Söder om grundvattendelaren rinner grundvattnet mot Multen. Det blå området i figur 67 mellan Löcknamons höjdområde och Multen är format som en relativt jämn terrass i naturen.

Mätningarna med seismik och georadar påvisade här ett grundvattenmagasin. Georadarprofilen R 160-04 (fig. 69) visar ett högt bergläge mellan 700 och 950 m, där grundvattenmagasinet är mycket tunt. Grundvattenytan ligger strax över 115 m, mycket nära Multens nivå. Georadarprofilen R 159-04 (fig. 70) visar mot slutet en berggrundsytan, som stiger från ett förhållandevis stort djup. Grundvattenytan är belägen strax under 120 m ö.h. Inom detta flacka terrassområde varierar berggrundsytans nivå förhållandevis mycket, vilket medför att grundvattenmagasinets mäktighet varierar i motsvarande grad.

Den seismiska profilen S 11-04 (fig. 71) visar en drygt 20 m mäktig sandavlagring, varav ungefär hälften är vattenmättat.

Resultatet av sonderingsborrningen S 04072 var följande:

S 04072	
0–8 m	finsand–mellansand
8–21,4	mellansand
21,4–23,2	stenig, grusig sand
23,2	stopp mot berg?

Den största påträffade mäktigheten av material grövre än mellansand är således endast knappt 2 m.

Sammanfattningsvis utgörs det mesta av isälvs materialet i Rönneshyttamagasinet av sand och finsand. Det grövre material som kan påträffas ligger sannolikt endast i de djupaste partierna närmast berget och är förhållandevis tunt. Grundvattenbildningen i området kan uppskattas till något tiotal liter per sekund, men kan vara svår att tillgodogöra sig p.g.a. det begränsade inslaget av grovt material.

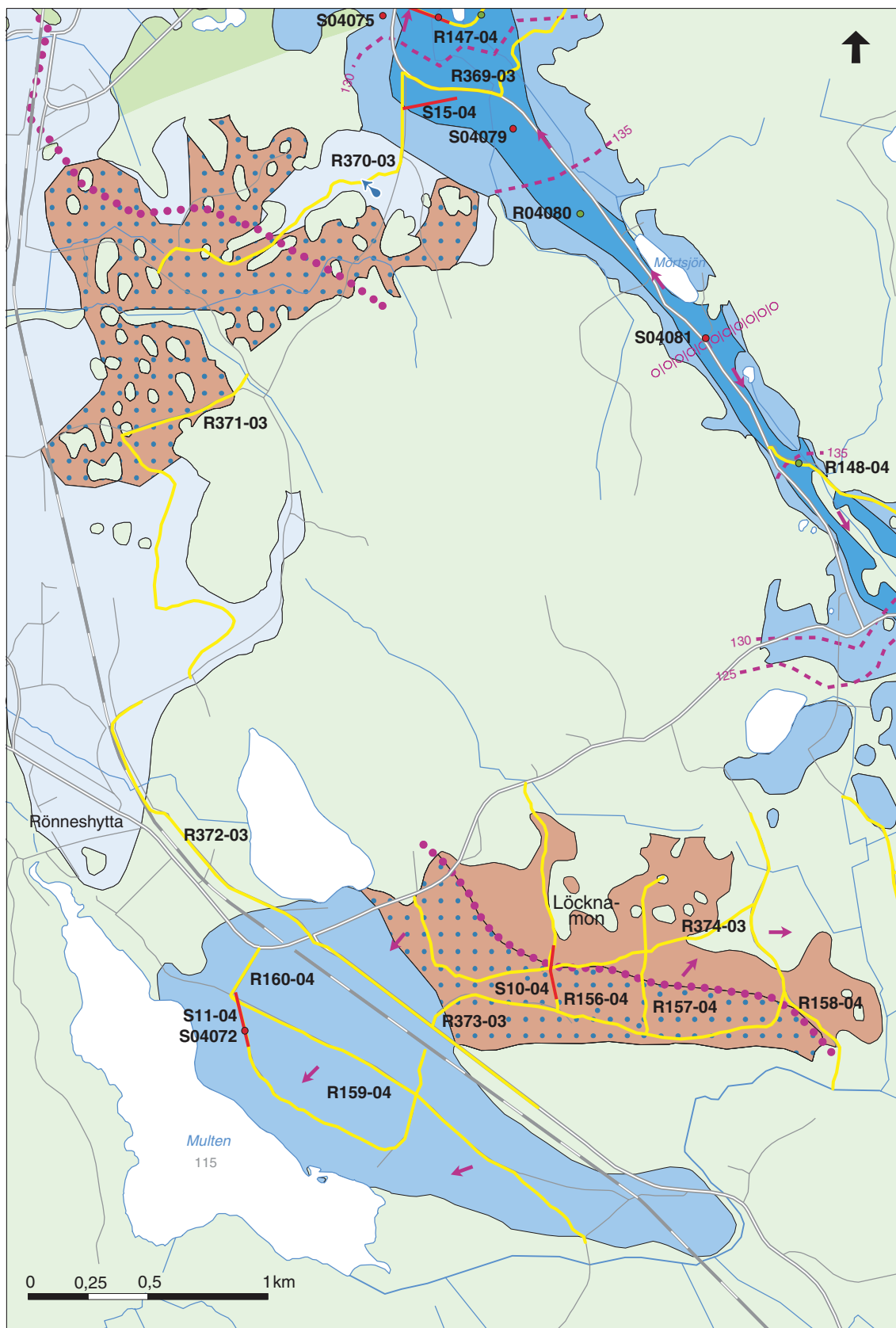


Fig. 67. Rönneshyttamagasinet är skilt från Karlslundsåsens huvudstråk. Den nordliga grundvattendelaren kan i sin norra del, mellan R370-03 och R371-03, vara delvis rörlig. Stora delar av isälvsavlagringarna är tunna och saknar grundvattenmagasin (bruna områden på kartan).

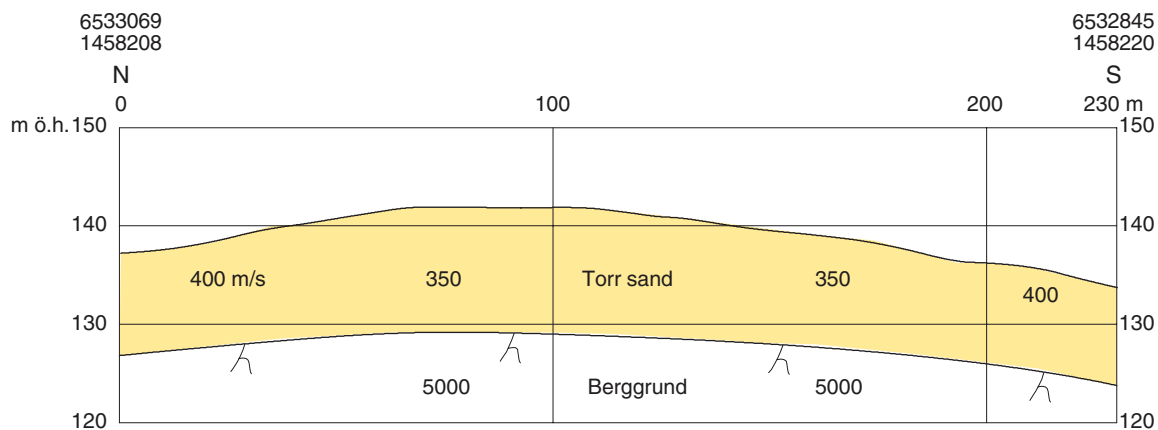


Fig. 68. Den seismiska profilen S10-04 är uppmätt nästan mitt på Löcknamon – ett område som ungefär motsvarar det bruna området öster om Rönneshytta i kartbilden i figur 67. Den visar torr sand direkt på berget, helt utan något grundvattemagasin.

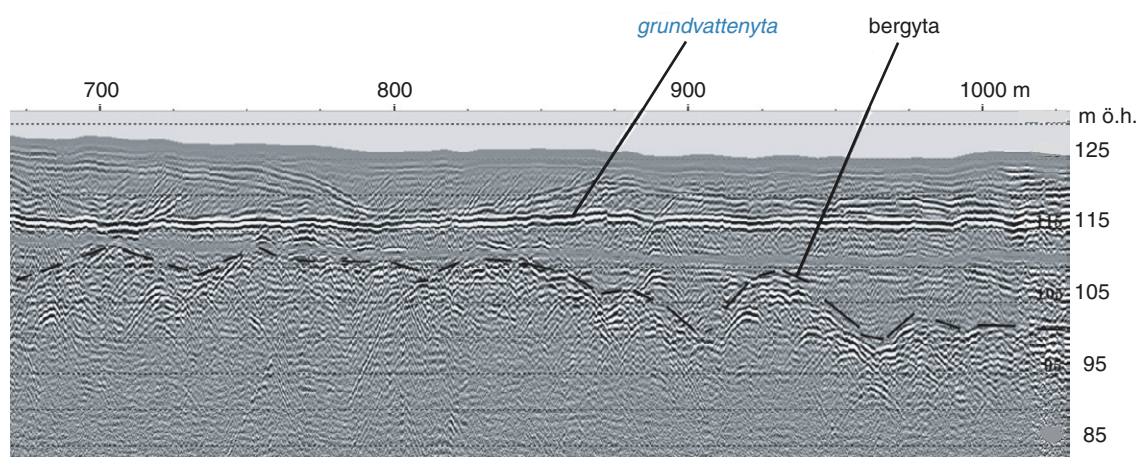


Fig. 69. Georadarprofil R160-04. Grundvattenyta och bergyta syns här mycket tydligt, varför man kan anta att grundvattemagasinet mestadels är uppbyggt av finsand–mellansand.

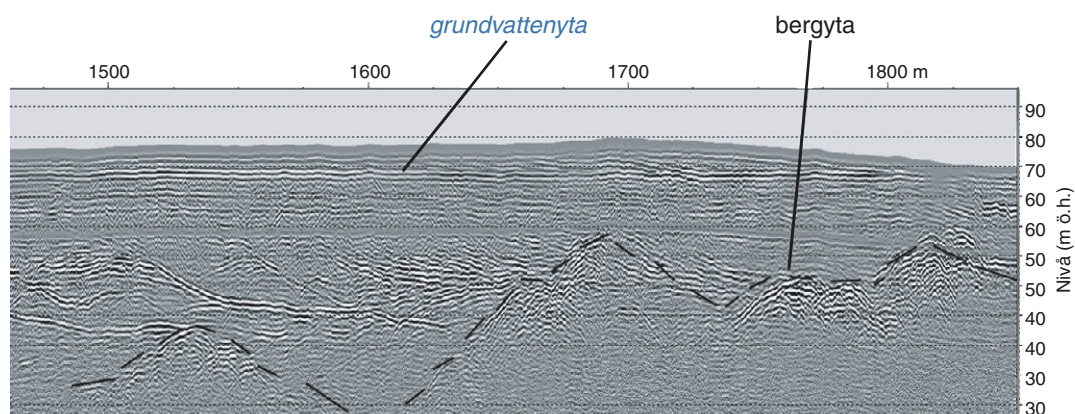


Fig. 70. Georadarprofil R159-04. Grundvattenytan och berggrundsytan syns tydligt även där det är djupt. Materialet består därför troligtvis mestadels av mellansand–finsand.

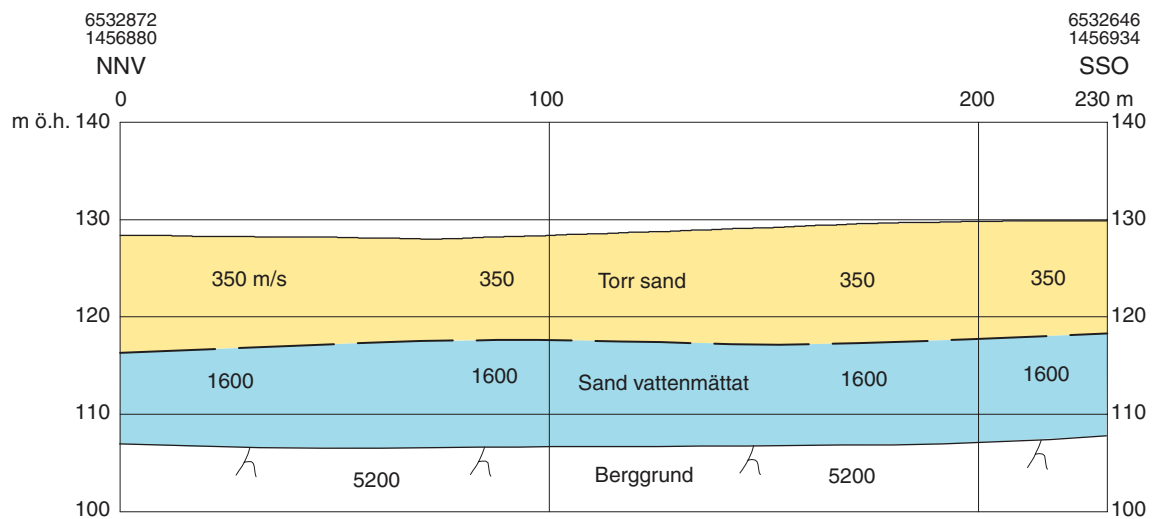


Fig. 71. Profilen S11-04 är uppmätt ett par hundra meter från stranden av Multen. Borrningen S04072, som gjordes vid 170 m i profilen, visade 21 m mellansand och finsand, därunder 2 m grus och sand ovanpå berg. Det är tveksamt om man kan påräkna någon effektiv inducering från sjön.

GRUNDVATTENUNDERSÖKNINGAR I LÄNNÄSÅSEN

Avsnittet Östmossa–Kullasjön, Korsmo- och Kullasjömagasinen

Isälvsavlagringen vid Kilsmo är en del av Lännäsåsen. Det avsnitt som har studerats framgår av kartutsnittet i figur 72. Området berörs av två större förkastningar, vika tillhör det system av förkastningar som också dominerar bl.a. Närkeslätten och Kilsbergen. Här, liksom på många andra ställen, utgör de förutsättningen för grundvattenförekomsternas uppdelning i olika magasin, åtskilda av fasta grundvattendelare.

Det nordliga magasinet, Korsmomagasinet, utnyttjas för vattenförsörjning till Kilsmo och Brevens bruk. Det har provpumpats och beräknats kunna ge knappt 5 l/s vid kontinuerligt uttag (VIAK 1973). Uttaget är nu i genomsnitt 1,5 l/s. Korsmomagasinet ligger således vid den undre gränsen av den uttagsklass som det bedömts tillhöra.

Den naturliga dräneringen av detta grundvattenmagasin sker till Sundsbrograven och vidare till Sottern. Det kan också påpekas att isälvsavlagringen inte är kontinuerlig mellan förkastningen och grundvattendelaren i söder.

Tidigare borrhningar har påvisat som mest 10,5 m sand och grus i området kring den kommunala vattentäkten (VIAK 1973).

Figur 73 visar ett utsnitt från georadarmätningen R 171-04. Den visar en grundvattennivå på ca 74 m ö.h. och ett grundvattenmagasin med en mäktighet av 5 till 10 meter.

Det sydliga grundvattenmagasinet, Kullasjömagasinet, bedöms i huvudsak vara mycket grunt från grundvattendelaren i norr till i höjd med vägen mellan Brevens bruk och Vingåker. Georadarmätningarna har i detta område inte kunnat påvisa något säkert grundvattenmagasin. De visar höga berglägen i flera avsnitt, i andra är mätningarna störda, troligen av vägsalt. Det är därför troligt att hela sträckan från grundvattendelaren till nämnda väg, med avseende på uttagsmöjligheter, ligger nära den lägsta klassens grundvattentillgång – mindre än 1 l/s.

Inte heller i den sydligaste delen av detta grundvattenmagasin har georadarmätningarna gett något påtagligt resultat. Magasinets egenskaper är därför egentligen okända. Avsnittet från vägen till förkastningen vid Kullasjön har bedömts tillhöra en högre kapacitetsklass främst på grund av det relativa djupläget i terrängen, intill förkastningen, och sannolikt hydraulisk kontakt med sjön. Den högre kapacitetsklassen förutsätter således att det uppstår inducering av vatten från sjön vid större grundvattenuttag ur sand- och grusavlagringarna.

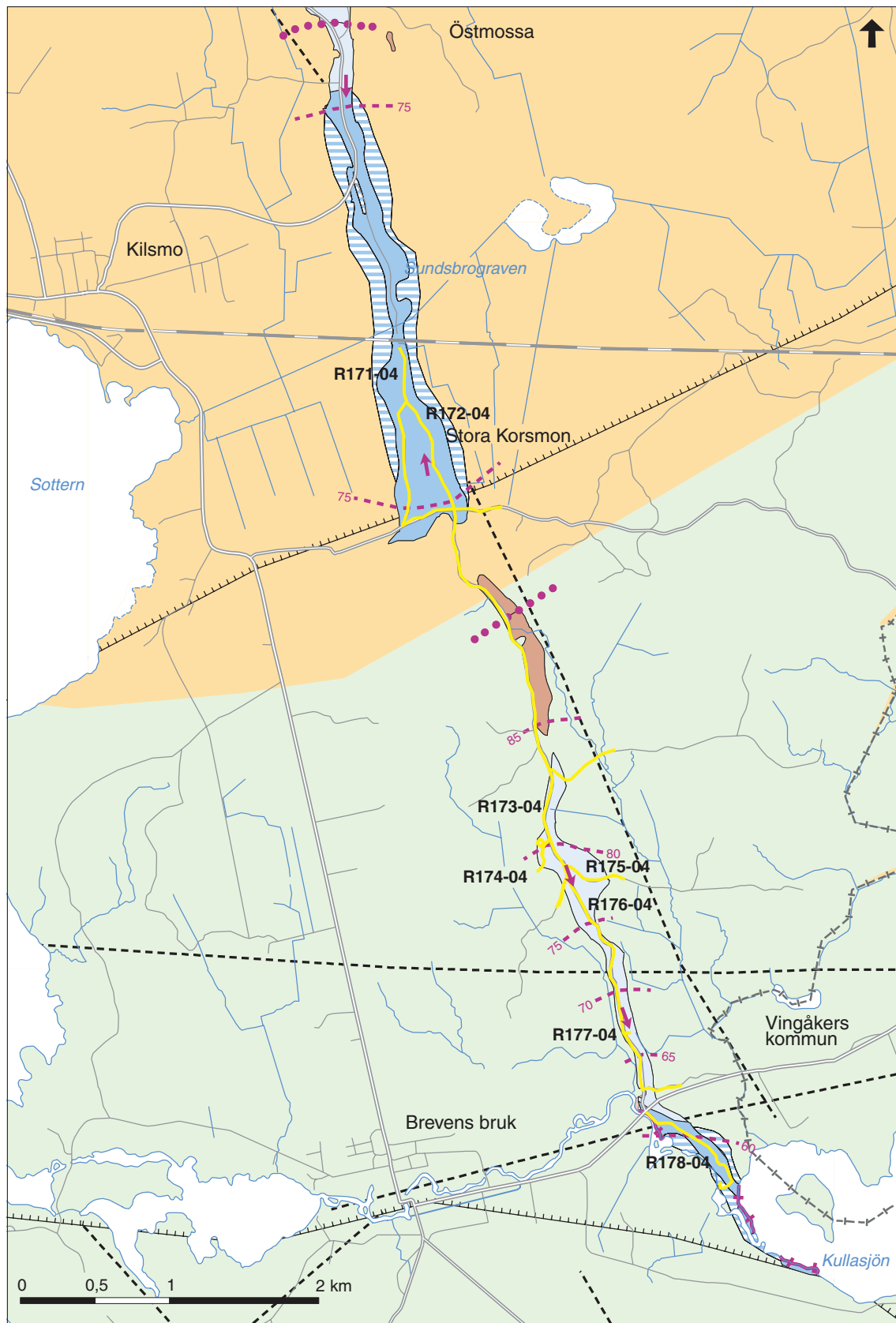


Fig. 72. Korsmo- och Kullasjömagasinet skiljs åt av en bergbetingad, fast grundvattendelare en knapp kilometer söder om Stora Korsmon. Båda magasinerna avslutas i söder av förkastningar. Om Kullasjömagasinet har någon större grundvattentillgång, är det i så fall vid sjön och under förutsättning att inducering är möjlig.

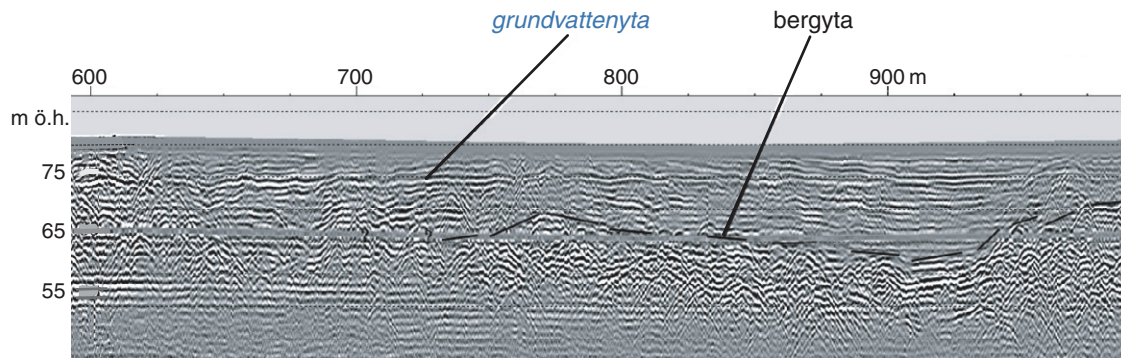


Fig. 73. Georadarprofil R171-04. Georadmätningarna i detta område har inte gett mycket information, huvudsakligen beroende på att längs så gott som hela åssträckan går en väg som saltats, sannolikt för dammbindning. Sådant salt hindrar radarvågorna att tränga ner i marken. Här ses dock att grundvattenmagasinet är 5–10 m mäktigt. De parallella strukturerna tyder på ett relativt finkornigt material.

SALT GRUNDVATTEN OCH MOTÅTGÄRDER

Förekomsten av salt grundvatten

Risken att få salt grundvatten på grund av direkt inträngning av havsvatten vid anläggande av bergborrade brunnar är av naturliga skäl större ju närmare en havsstrand man borrar. Redan på ett avstånd av en halv till en kilometer från stranden torde dock den risken vara mycket liten. Det salta grundvatten som påträffas i brunnar på större avstånd från havet härrör från mer eller mindre stora djup under brunnsområdet. I vissa fall kan det emellertid röra sig om mänsklig påverkan – vägsalt, soptippar m.m. – vid markytan.

Beträffande möjligheterna att bedöma risken för salt grundvatten i områden långt från havet pekar nuvarande kunskaper på att salt grundvatten förekommer överallt, inte bara nära kusten och inte heller endast i områden som efter den senaste istiden varit täckta av salta hav. Risken för salt grundvatten har visat sig vara särskilt stor i de låglänta områdena kring de stora sjöarna Väner, Mälaren och Hjälmaren.

I samband med djupborrningen vid Gravberg i Siljansområdet påträffades salt grundvatten på ca 4 000 m djup och på ca 6 000 m djup påträffades saltlake med en salthalt på ca 100 000 mg/l (Vattenfall 1991). Motsvarande saltlake har påträffats även i Oskarshamnsområdet och på ”endast” ca 1 000 m djup (Laaksoharju m.fl. 1995). Denna typ av mycket salt grundvatten har närmast regelmässigt påträffats vid borrhningar till djup av några tusen meter även i andra delar av världen, inte minst i Finland (Nurmi m.fl. 1998). Sannolikt har denna saltlake inget direkt med förntida havsvatten att göra. Den har antagligen sitt ursprung i kemiskt utbyte mellan heta, mineraliserade vattenlösningar och berggrunden på mycket stora djup nere i jordskorpan.

Det salta grundvattnet förekommer således på mycket olika djup, och mätningar med geoelektrisk sondering tyder nu på att man kan kvantifiera risken för salt grundvatten genom att mäta hur långt ner det är till gränsen mellan sött och salt grundvatten. Se vidare metodbeskrivningarna på sidan 86.

Som exempel på djup till salt grundvatten som beräknats med geoelektriska sonderingar kan följande anges.

Harstena	50 m
Smådalarö i Stockholms skärgård	150 m
Utö i Stockholms skärgård	200 m
Östra delen av Aspö i Mälaren	250 m
Skogshöjdområdet söder om Mariefred	1 500 m

Dessa värden får inte ses som största tillåtna borrhdjup utan som relativa mått på risken att erhålla ett salt grundvatten. Detta beror på att en brunn inte måste nå ända ner till saltvattengränsen för att den ska kunna bli påverkad av det salta grundvattnet. Orsaken är att även om gränsen mellan sött och salt grundvatten ligger djupt ner, så har det salta vattnet en trycknivå som ligger avsevärt mycket högre. Detta förhållande illustreras i figurerna 74 och 75.

Om gränsen till det salta grundvattnet ligger 300 m under grundvattennivån (den söta) och salthalten motsvarar havens salthalt, så innebär de hydrauliska tryckförhållandena att det salta vattnets trycknivå inte ligger på 300 m djup utan endast ca 7 m lägre än grundvattennivån. Detta medför att salt grundvatten i många fall kan trycka upp i en brunn som endast via sprickor når ner till saltvattengränsen, om man genom pumpning dränerar ut sötvattnet i sprickorna, se figur 76. I de flesta fall får man emellertid inte ett ”rent” saltvatten utan tillförsel av ytterligare vatten från en mycket oregelbunden sprickighet som kan ge vilka blandningsförhållanden som helst. Det är ju inte heller så att det salta grundvatten man får upp vid pumpning i brunnar alltid har en viss bestämd salthalt. Det föreligger ett klart samband mellan låg marknivå och hög saltvattenrisk.

När landytorna var täckta av havsvatten var allt grundvatten salt. När sedan landet höjt sig ur havet har det salta grundvattnet successivt tvättats ut av infiltrerande regnvatten. Denna process har pågått dels under längre tid, dels med större och därmed effektivare hydraulisk gradient i höjdområden än i lågområden.

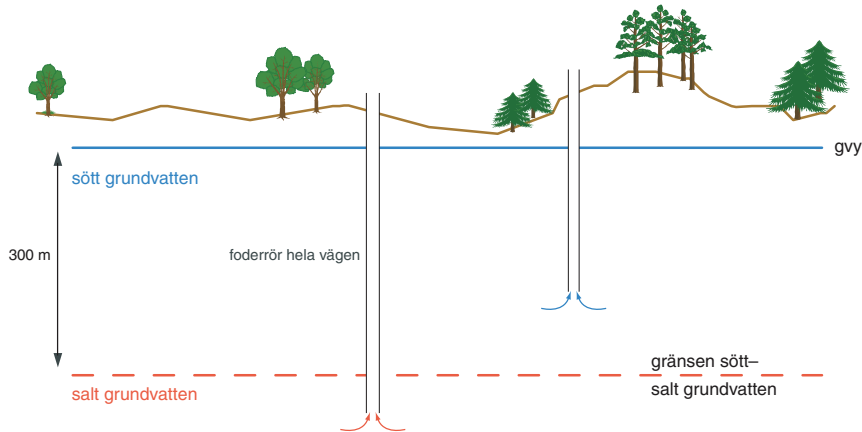


Fig. 74. Båda brunnarna utgörs av stålrör, där vattnet kommer in endast underifrån. Den högra brunnen får in sött vatten – vattennivån i brunnen blir densamma som omgivande grundvattennivå. In i den vänstra brunnen kommer bara salt grundvatten från drygt 300 m djup.

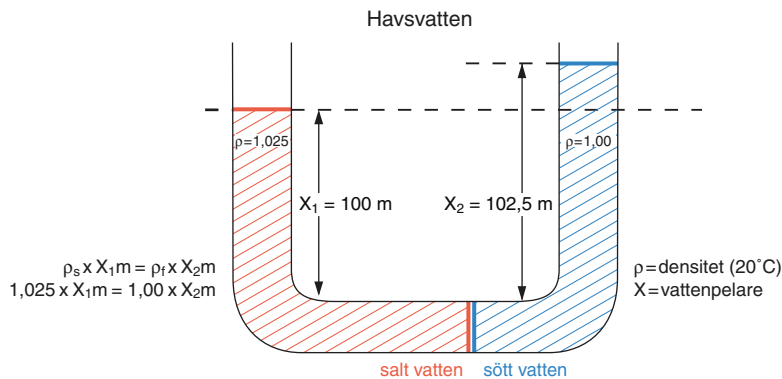


Fig. 75. Enligt principen om kommunicerande kärl balanseras en 102,5 m pelare med sött vatten av en 100 m pelare med salt vatten (3,5 %).

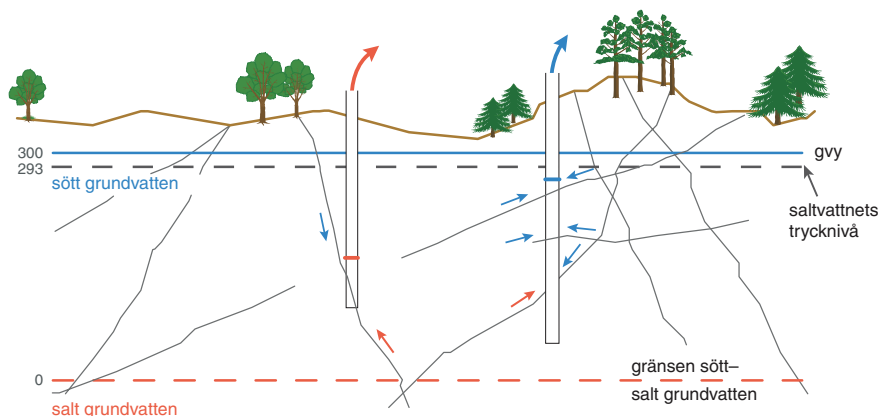


Fig. 76. Brunnen till vänster får vatten från i huvudsak en, dåligt vattenförande, spricka. Den övre delen av sprickan töms efter en tid på sitt söta vatten. Via den undre delen av sprickan trycks det salta vattnet upp utan att sina. Brunnen ger vatten med hög salthalt. Brunnen till höger får vatten från flera rikligt givande sprickor med sött vatten, och det förhållandevis lilla bidraget av salt vatten från djupet medför att brunnen ger vatten med låg salthalt.

Åtgärder mot salt grundvatten

För att minska risken för salt grundvatten vid brunnsborrning bör man borra så grunt som möjligt. I riskområden kan man försöka öka möjligheterna att påträffa vattenförande sprickor på litet djup. Detta kan man göra genom att ta hänsyn till sprickornas lutning i förhållande till borrhålets lutning. Man bör borra med så rät vinkel som möjligt mot sprickorna i berggrunden. Om man inte direkt kan avgöra hur sprickorna är orienterade bör man borra på motsvarande sätt i förhållande till förskiffringsplanen, se avsnittet ”Grundvatten i berggrunden”, sid. 27.

Det är ofta bättre att borra ”gradade” borrhål, dvs. med en avvikelse av 15–30 grader från vertikalplanet, och att inte borra djupare än högst 40–50 m än att borra vertikala och djupa brunnar. Har man inte fått tillräckligt med vatten på detta djup är det i allmänhet bättre att avbryta borrningen och genomföra en hydraulisk tryckbehandling av borrhålet än att borra djupare. Tryckbehandlingen innebär att vatten pressas ner i borrhålet med så högt tryck att befintliga, små sprickor kan vidgas och spolats rena och t.o.m. att nya sprickor kan bildas.

Vid all borrning i områden med risk för salt grundvatten bör salthalten i vattnet kontinuerligt övervakas under pågående borrning allt eftersom borrhålet fördjupas. Detta dels för att undvika onödiga borrkostnader, dels för att undvika att hydraulisk förbindelse uppstår mellan salt vatten på djupet och andra närliggande brunnar – egna nya brunnsborrningsförsök och grannars befintliga brunnar.

Har mycket salt grundvatten påträffats och risken kan bedömas vara stor att närliggande brunnar skadas, kan det bli nödvändigt att med cement gjuta igen borrhålet. Detta kan ske t.ex. genom att borrhålet med hjälp av bl.a. en tillräckligt lång slang gjuts igen från botten och uppåt, så att det blir helt tätt. Eventuellt kan man först försöka att gjuta igen de undre delarna av brunnen och tryckbehandla de övre, i hopp om att få kontakt med närliggande sprickor med sött grundvatten.

Förutom att stor försiktighet måste iaktas vid borrning av en brunn i ett område med risk för salt grundvatten måste man vara mycket försiktig även när man pumpar vatten ur brunnen. Ju mer man pumpar desto större blir risken för att man får in salt grundvatten i brunnen. Risken hänger i första hand ihop med hur mycket grundvattennivån sänks i brunnen. Detta kan man mäta med ett s.k. kabelljuslod, vilket fungerar så att en lampa tänds när lodet kommer i kontakt med grundvattenytan nere i brunnen. Från pumpstart kan man följa hur mycket vattnet sjunker allt eftersom pumpningen fortgår.

Vid pumpning av en bergborrad brunn får en långvarig avsänkning av vattennivån i brunnen med ca 10 m eller mer anses vara en indikation på att brunnen ansträngs för mycket och att risken för att vattnet ska bli salt är stor.

Vid nyborrning av en brunn bör man inte anstränga brunnen genom en alltför stor och långvarig avsänkning av grundvattennivån bara för att få reda på hur mycket den under lång tid maximalt kan ge. Det är bättre att pumpa med den vattenmängd som man absolut behöver. Är behovet stort och provpumpningen ska vara långvarig, måste salthalten i vattnet övervakas mer eller mindre kontinuerligt. Stiger salthalten upp mot angivna gränsvärden (>100 mg/l Cl innebär korrosionsrisk och >300 mg/l ger saltsmak) måste pumpningen radikalt minskas eller helt avbrytas.

Brunnar som fått in salt grundvatten förblir oftast salta, men det finns flera exempel på att vattnet i en sådan brunn åter kan bli sött, om man minskar vattenuttaget tillräckligt mycket. Brunnen bör då stå orörd en längre tid (kanske ett par månader), så att den ursprungliga skiktningen av sött och salt grundvatten kan återställas, innan den börjar pumpas igen men då med ett betydligt mindre vattenuttag.

Risken ökar, som ovan framgick, med ökande brunnsdjup. Detta innebär bl.a. att risken för salt grundvatten är mycket liten i grävda brunnar. Har man råkat ut för salt vatten vid brunnsborrning, trots att åtgärderna ovan vidtagits, bör man undersöka möjligheterna att anlägga en brunn i jordlagren.

Numerera finns även avsaltningssanläggningar lämpliga för enskilda hushåll. Mängden vatten som dessa producerar är emellertid relativt begränsad.

GRUNDVATTNETS SÅRBARHET

Grundvattenpåverkan

Påverkan på grundvattnet kan vara av kvantitativ art, t.ex. i form av dränering och bortledning av vatten vilket medför en avsänkning av områdets grundvattennivåer, eller av kvalitativ art, dvs. i form av infiltration av föroreningar och spridning av dessa med grundvattnet. Följande huvudtyper av föroreningskällor kan sägas utgöra en risk för påverkan på grundvattnet:

- Diffusa läckage av t.ex. dagvatten från vägar och samhällen, infiltrationsanläggningar, avfallsdeponier och via luftdeposition.
- Tillfälliga utsläpp vid en olyckshändelse där förorenande ämnen kan spridas med och kontaminera yt- och grundvattnet.
- Byggnations- och grundläggningsarbeten medför ofta en ökad risk för föroreningsspridning till grundvattnet.

Vid utsläpp av miljöfarliga ämnen är risken för allvarliga skador på grundvattnet störst i områden med genomsläppliga jordarter och med stora grundvattentillgångar. Här kan det vara nödvändigt att agera mycket snabbt för att förhindra omfattande och kostsamma skador.

Konsekvens- och riskanalys

Konsekvensen för grundvattnet vid ett föroreningsutsläpp till marklagren kan beskrivas som en sammanvägning av grundvattnets värde och sårbarhet. Värdet beror bl.a. på grundvattenmagasinet storlek och hydrauliska egenskaper, grundvattnets kvalitet samt betydelsen för naturmiljö och vattenförsörjning. Sårbarheten beror i huvudsak på jordlagrens genomsläpplighet, förekomsten av skyddande skikt, avståndet till grundvattenytan, grundvattnets strömningsriktning och strömningshastighet samt närheten till privata och kommunala vattentäkter.

På samma sätt kan risken för att grundvattnet förorenas beskrivas som en sammanvägning av sannolikheten att en olyckshändelse verkligen inträffar och den konsekvens händelsen får (fig. 77).

Med utgångspunkt från grundvattenkartan och dess databaser kan en särskild underlagskarta för grundvattenskydd (sårbarhetskarta) tas fram. Dessa kartor (och databaser) kan sedan användas som underlag för risk- och konsekvensanalyser vid t.ex. förebyggande planering i händelse av olyckor, lokalisering av miljöfarliga verksamheter eller framtagandet av miljökonsekvensbeskrivningar (MKB).

Skydd av grundvattnet

För att säkra grundvattnets kvalitet bör grundvatten som nyttjas eller kan komma att nyttjas för vattenförsörjning skyddas. Syftet med ett vattenskyddsområde är att förhindra att föroreningar når grund- eller ytvatten genom att begränsa verksamheter och markanvändning inom vattentäktens tillrinningsområde. Skulle en skada inträffa inom vattentäktens tillrinningsområde måste tiden för föroreningstransporten i mark och vatten vara så lång att markens naturliga reningsmekanismer hinner verka eller att åtgärder hinner vidtas innan föroreningen når uttagspunkten.

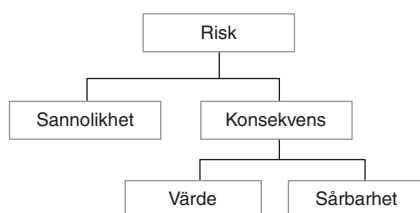


Fig. 77. Risk- och konsekvensanalys.

Ett vattenskyddsområde kan fastställas av kommun eller länsstyrelse. Utgångspunkten för den geografiska avgränsningen av ett vattenskyddsområde för en grundvattentäkt är att hela grundvattentäktens tillrinningsområde bör omfattas av vattenskyddsområdet. Eftersom omsättningen i ett grundvattenmagasin är långsam och det medför mycket stora svårigheter att rena ett förorenat grundvatten krävs en strategi med ett starkt förebyggande skydd. Det innebär att i första hand bör inte potentiellt förorenande verksamheter tillåtas inom vattenskyddsområdet; i andra hand ska en förorening hinna upptäckas i tid och marken saneras innan föroreningen når grundvattnet; i tredje hand ska föroreningen brytas ned, fastläggas eller spädas ut till acceptabla nivåer, eller kunna tas om hand innan den hinner transporteras med grundvattnet till uttagspunkterna av grundvatten.

Ett vattenskyddsområde kan delas in i zoner med bestämmelser som är anpassade efter skyddsbehovet i respektive zon. Vattenskyddsområdet kan delas in i vattentäktsson, primär skyddsson, sekundär skyddsson samt tertiär skyddsson. Syftet med vattentäktssonen är att säkra ett effektivt närskydd för uttagspunkterna. Området bör vara otillgängligt för andra än verksamhetsutövaren. Vattentäktssonen avgränsas som ett område kring uttagspunkten. Den primära skyddssonen ska avgränsas på sådant sätt att riskerna för akut förorening genom olyckshändelser minimeras. Särskilt känsliga inströmningsområden ska också beaktas vid avgränsningen av denna skyddsson. Vidare ska bestämmelserna göra att den primära skyddssonen skyddas mot sådan markanvändning och verksamheter som kan medföra risk för förorening av grundvattnet. Gränsen mellan primär och sekundär skyddsson sätts så att uppehållstiden i den primära skyddssonen till vattentäktssonens gräns beräknas vara minst 100 dygn. Den sekundära skyddssonen bör omfatta de delar av tillrinningsområdet där vattnet har en beräknad uppehållstid på väg mot uttagsbrunnarna från skyddsområdets yttre gräns till vattentäktssonen på minst ett år. Den tertiära skyddssonen kan omfatta de delar av tillrinningsområdet som inte omfattas av övriga zoner.

Hur stort område som behöver avgränsas som vattenskyddsområde för brunnar i jord beror huvudsakligen på grundvattenmagasinens och jordlagrens sammansättning och utbredning samt avståndet till grundvattendelare. För bergborrade brunnar måste hänsyn tas till t.ex. berggrundens spricksystem och täckande jordlager när skyddsområdesgränserna bestäms.

METODBESKRIVNINGAR

Georadar

Georadar arbetar med elektromagnetiska vågor med frekvenser mellan 25 MHz och ca 2 GHz. Utbredningshastigheten för sådana vågor i marken är omkring 1/3 av ljusets hastighet eller ca 10 cm/ns (nanosekund). Beroende på arbetssätt kan man tala om två typer av instrument, där energi sänds ut antingen i form av pulser med ett brett frekvensspektrum, eller som vågtåg där frekvensen varierar på ett kontrollerat sätt under sändningstiden. Det instrument som använts är av den första typen dvs. puls-eko.

Georadarmätningarna utförs med bilburen utrustning och kan därför göras betydligt fortare än t.ex. seismiska mätningar. De görs med en hastighet av ca 10 km/tim, se figur 78.

Från elektriska reflektorer, dvs. föremål eller strukturer där de elektriska egenskaperna förändras på ett markant sätt, kan en del av den utsända energin återsändas till markytan. Sändare och mottagare arbetar synkront så att man efter varje utsänd puls under en viss tid (någon miljonedels sekund) registrerar reflexerna från marken. Registreringarna, som kan vara i analog eller digital form, kallas radargram. Presentation av georadardata sker i form av profiler med stackade signaler där reflexer från föremål, skiktgränser eller andra strukturer kan komma fram.

Geologiska förutsättningar

Georadar fungerar bäst på torr mark med grovkorniga, väl sorterade jordarter. Från områden med isälvssediment finns mätningar där bergytan indikerats på närmare 50 m djup. I finkorniga jordarter är radarns räckvidd starkt begränsad. På en ren lerjord eller lerig morän kan man möjligen få reflexer från 3–4 m djup. Den dåliga penetrationen i täta jordarter beror bl.a. på deras fukthållande egenskaper. Närvaron av vatten höjer den elektriska ledningsförmågan och dielektricitetsstalet, vilket medför ökad dämpning av signalen. Högfrekventa signaler dämpas dessutom snabbare än lågfrekventa.



Fig. 78. Georadarmätningar görs mestadels på skogsbilvägar och större stigar. Större vägar är vanligen saltade mot halka och damning. Där blir tillräckligt mycket salt kvar i vägbanan för att störa mätningarna. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

Detaljupplösningen i en radarmätning beror på arbetsfrekvensen och kan i dagligt tal sägas vara en halv våglängd. Vid frekvensen 50 MHz, som är vanlig vid jorddjupsmätning, betyder detta att man kan indikera föremål som har en reflekterande yta med omkring 1/2 m sida. Den höga upplösningen är kanske radarns främsta egenskap.

Tillämpningsområden

Georadar används bl.a. för att:

- bestämma jorddjup,
- få fram vilka strukturer som finns i jord och berg,
- lokalisera grundvattenytor i grövre sediment,
- påvisa föremål i jordtäcknet (block, rör, håligheter etc.)
- lokalisera spridning av föroreningar från vägar, deponier m.m.

Seismik

Grundläggande principer

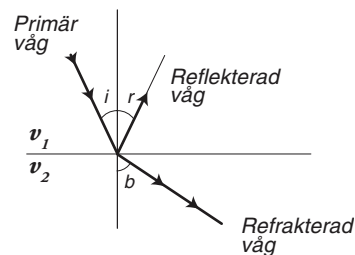
Den metod som används vid grundvattenundersökningar kallas refraktionsseismik. Det är en geofysisk mätmetod som baseras på elastiska vågors utbredning i marken. Vågornas utbredningshastighet skiljer sig mellan olika jord- och bergarter, vilket gör det möjligt att beräkna lagermäktigheter och bedöma vissa materialegenskaper. Vid en stöt eller detonation i marken alstras vågrörelser av flera typer (tryck-, skjuv- och ytvågor). Av dessa har tryckvågen eller P-vågen den högsta utbredningshastigheten och kan härigenom registreras och analyseras med relativt enkel apparatur. Tryckvågor i marken utbreder sig genom longitudinella partikelrörelser på samma sätt som ljudvågor i luften. Efter en explosion vid markytan vandrar vågfronten klotformigt i det översta lagret. När den träffar ett djupare liggande lager där vågen får en annan hastighet reflekteras en del av vågenergin medan återstoden vandrar vidare i det nya lagret. Vid passage av skiktgränsen sker en brytning av vågens utbredningsriktning. Tänker man sig utbredningsriktningen som en stråle i ett vertikalt snitt, kan refraktionen beskrivas med Snells lag som säger att

$$\sin(i) / \sin(b) = v_1 / v_2$$

$i = r$ infallsvinkel resp. reflektionsvinkel

b brytningsvinkel

v_1, v_2 vågens utbredningshastighet i skikt 1 resp. 2

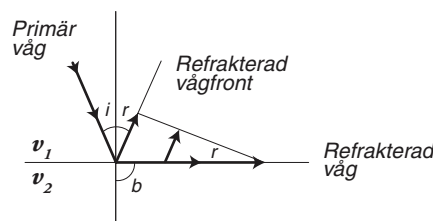


Om hastigheten ökar mot djupet, inträffar vid en viss infallsvinkel kritisk refraktion, vilket innebär att vågstrålen efter passage av skiktgränsen går parallellt med denna. Infallsvinkeln respektive brytningsvinkeln vid kritisk refraktion är

$$i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

och

$$b = 90^\circ$$



När den kritiskt refrakterade vågen breder ut sig längs skiktgränsen, alstras i överliggande lager nya vågor som vandrar tillbaka mot markytan. Denna sekundära vågfront blir plan och lämnar skiktgränsen med en vinkel r som är lika stor som infallsvinkeln i för vågen.

Genom denna mekanism bryts vågor tillbaka mot markytan där tiden för deras ankomst kan registreras. Ankomsttider för refrakterade vågor står i bestämd relation till skiktmäktigheter och hastigheter i lagerföljden. Förloppet registreras med givare i marken anslutna till en seismograf. Registreringarna, som kallas seismogram, innehåller data som beskriver markens rörelse under en viss tid efter skottögonblicket.

Mätförfarande

Mätningen utförs i praktiken längs en linje där man på jämna avstånd placerar givare, s.k. geofoner, som reagerar för vibrationer i marken. Genom att spränga på lämpliga platser i profilen genereras mätdata i den omfattning som behövs, se figur 80. Vid tolkningen av mätningen bestäms för varje skott tider för P-vågfrontens passage av de olika geofonerna. Tiderna plottas mot geofonernas lägen i form av väg-tiddiagram. Ur dessa s.k. gångtidsskurvor kan skiktens mäktigheter och hastigheter för den aktuella lagerföljden beräknas. Bergets läge kan beräknas i såväl skottpunkter som geofonpunkter, vilket ger en relativt detaljerad kontinuerlig bild av bergytan. Hastigheten i berget ger viss information om bergets kvalitet jämte läget av mer markerade svaghetszoner. Mätresultaten redovisas i profilform där lagerföljden anges som skikt med olika hastigheter.

Geologiska förutsättningar

Sverige har genom landisens verkningar ett jordtäckte bestående av morän och sorterade sediment. Sammansättningen är oftast enkel med god korrelation mellan hastighet och jordart. Hastigheten för P-vågor i våra jordarter varierar mellan ca 300 m/s i torr sand och ungefär 2 800 m/s i vattenmät-



Fig. 80. Vid seismiska mätningar detoneras en mindre dynamitladdning och ljudvågorna som fortplantar sig i marken registreras av geofoner vid A, B och C. D är en seismograf som ritar upp och lagrar kurvor för ljudvågornas utbredning. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

tad, hårt packad morän. I de sedimentära bergarterna förekommer hastigheter från ca 3 000 m/s och upp emot 6 000 m/s. I urberget är hastigheten vanligen 5 000–6 000 m/s, men kan i basiska bergarter nå 7 000 m/s (fig. 81). Dessa förhållandevis enkla fysikaliska förhållanden medför att refraktionsseismiken oftast ger goda undersökningsresultat.

Tillämpningsområden

Refraktionsseismik används bl.a. för att:

- bestämma jordarter,
- bestämma jorddjup
- bedöma grundvattenmagasins mäktighet och volym,
- lokalisera sprickzoner i berg (sprickakviferer),
- bedöma bergkvalitet i samband med anläggningsarbeten.

Elektriska motståndsmätningar

Resistiviteten hos vanliga jord- och bergarter beror huvudsakligen på deras innehåll av elektrolyt, dvs. mängden porvätska (porositeten anges i procent), och på elektrolytens salthalt. Som framgår av figur 82 bestäms elektrolytens resistivitet av salthalt och temperatur och kan som jämförelse för havsvattnet i Östersjön (0,5–1 % salthalt och 10 °C) uppskattas till mellan 1 och 2 ohmm.

Resistiviteten för jord och berg kan beräknas relativt väl med hjälp av Archies lag, om porositeten och elektrolytens resistivitet är kända.

Om elektrolyten utgörs av sött grundvatten så blir resistiviteten betydligt högre än om den består av salt grundvatten. Porositeten kan variera från några hundradels procent i kristallint berg utan sprickor till flera tiotal procent i sand och grus (och t.o.m. i leror, som kan ha stort vatteninnehåll!) samt i vissa sedimentära bergarter.

Regnvatten, dvs. i princip destillerat vatten, tillförs hela tiden från ovan, och eftersom det är lättare (densiteten är lägre), kommer det söta vattnet att flyta ovanpå eventuellt salt grundvatten på djupet. Det uppstår en mer eller mindre horisontell skiktning av sött och salt grundvatten.

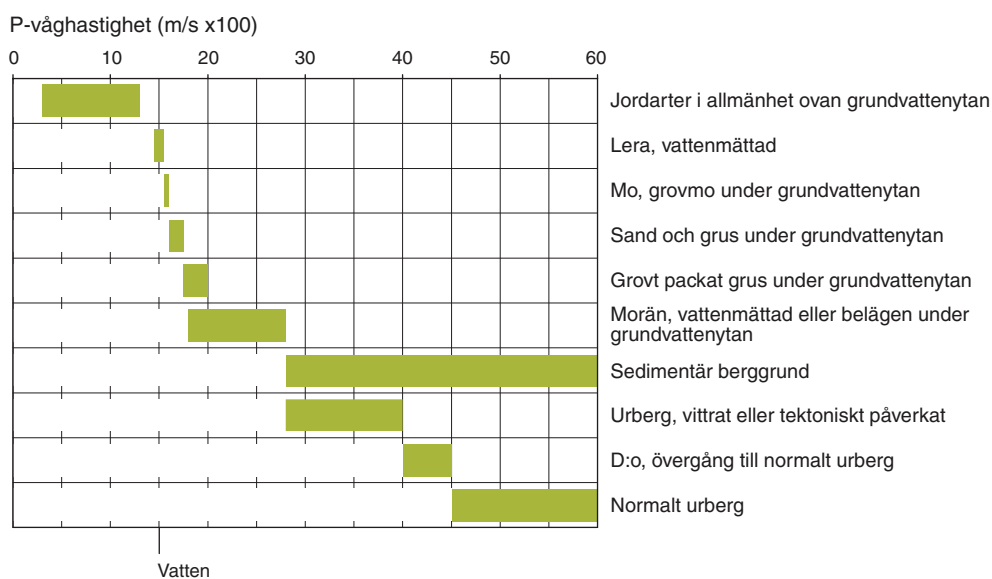


Fig. 81. Seismiska hastigheter i olika jord- och bergarter. Begreppet tektoniskt påverkat urberg avser i första hand sprickzoner, vilka vanligen är mer vattenförande än omgivande berggrund.

Resistivitmätningar eller motståndsmätningar kan således användas för att skilja mellan olika berg- och jordarter på grundval av deras resistivitetsegenskaper (fig. 83). Vanligtvis tänker man sig att även jordtäcket och berggrunden är horisontellt skiktade, med minskande porositet mot djupet.

Mätningarna utförs så att man sänder en kontrollerad ström med strömstyrkan I mellan två strömelektroder (M och N) samtidigt som potentialen (spänningen) V mellan två mätelektroder (A och B) registreras (fig. 84 a, b). Elektroderna består av rostfri ståltråd som körs ner i jordtäcket.

När ström och spänning är kända, kan den genomsnittliga eller skenbara resistiviteten beräknas för volymen i närheten av mätuppställningen. Det går att visa att 50 % av den totala strömmen aldrig når djupare än till halva avståndet mellan strömelektroderna vid homogena elektriska förhållanden. Som en tumregel brukar man ange att inträngningsdjupet eller undersökningsdjupet är av storleksordningen $1/3$ till $1/4$ av avståndet mellan strömelektroderna, beroende på den elektriska kontrasten mellan de skikt som man vill detektera.

Om avståndet mellan strömelektroderna successivt ökas kommer den beräknade skenbara resistiviteten att gälla en allt större volym. Eftersom centrum för mätuppställningen inte flyttas innebär detta att mätningen gradvis når allt större djup, figurerna 84 a och b. Ska jordtäcket undersökas i kontrast mot berggrunden så måste mätning ske ut till ett avstånd av minst 40 meter mellan strömelektroderna om jordtäcket är 10 m tjockt. Om gränsen mellan sött och salt grundvatten på 1 000 m djup ska upptäckas måste mätning göras till avståndet 4 000 m mellan strömelektroderna.

Med moderna datorprogram kan man konstruera en rimlig, horisontellt skiktad modell av flera lager med lämpliga, tänkbara resistiviteter som stämmer med uppmätta värden. Man måste dock komma ihåg att det kan finnas många olika modeller som kan fungera lika bra, och vidare att naturen i verkligheten kan vara betydligt mer komplicerad. Den kanske i själva verket inte alls är horisontellt skiktad i den mätpunkt som används. Dessutom kan en ojämn fördelning av elektriskt ledande mineral förekomma i berggrunden.

Kriging och variogramanalys

Kriging är en interpolationsmetod för att förutsäga rumsliga värden. Metoden är namngiven efter Kriege, en sydafrikansk gruvingenjör som på femtitalet utvecklade empiriska metoder för att bestämma malmklassfördelningar.

Kriging bygger på att viktning sker av data från omgivande punkter. Storleken på vikterna beror på hur variogrammet (semivariogrammet) ser ut. Vikterna standardiseras så att summorna av

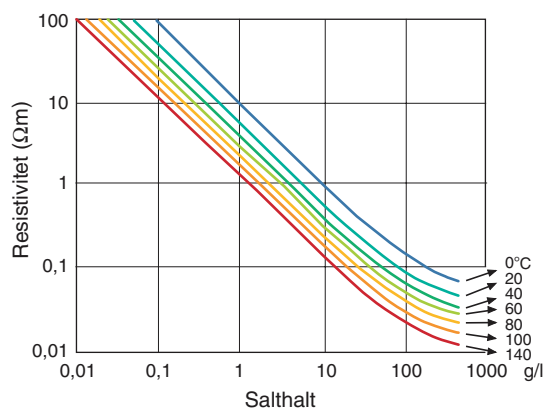


Fig. 82. Förhållandet mellan salthalt och resistivitet i vatten.

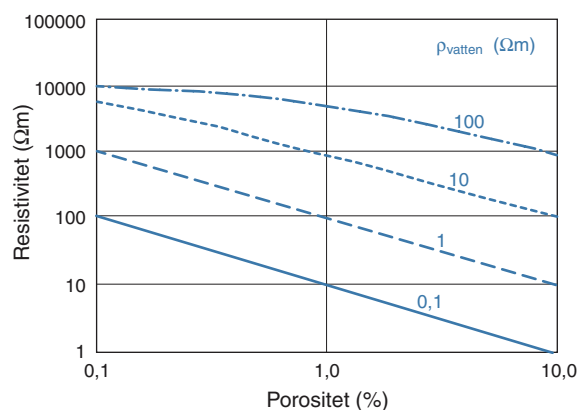


Fig. 83. Förhållandet mellan resistivitet och porositet i jord och berg.

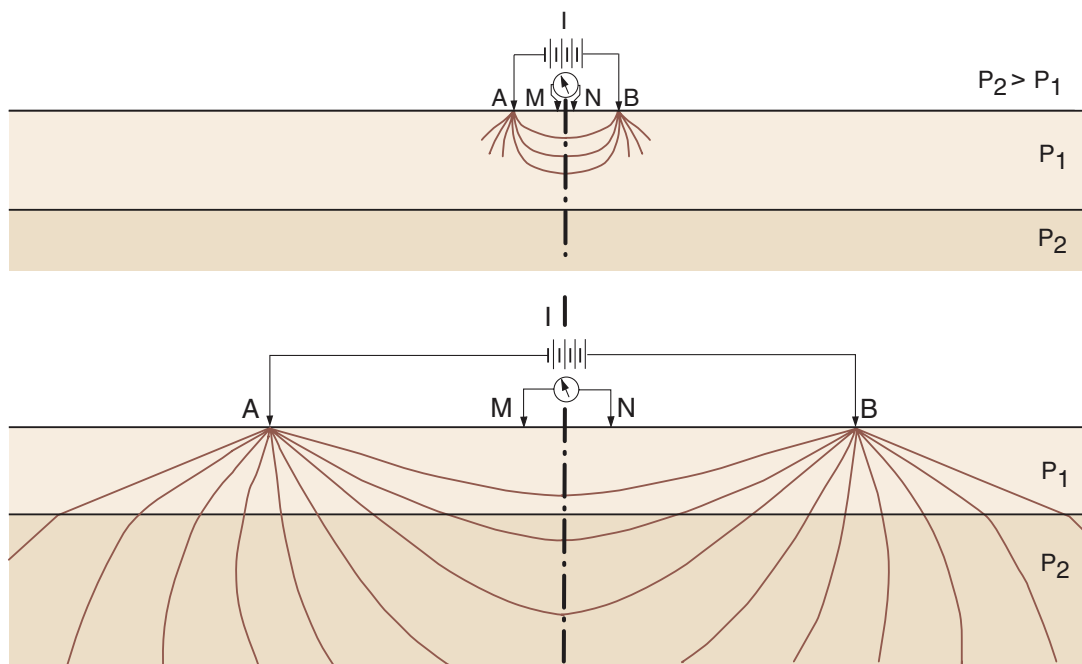


Fig. 84 a och b. Vertikala elektriska sonderingar, VES, genomförs med successivt större avstånd mellan elektroderna, varvid allt djupare liggande skikt undersöks.

dem blir 1 (unbiased estimation). Den interpolerade noden får då värdet från omgivande punkter multiplicerad med respektive beräknad standardvikt:

$$Y_o = \sum w_i Y_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

Y_o är det beräknade värdet
 w_i är de beräknade standardvikterna
 Y_i är värdena för omgivande punkter

Vid interpolering med kriging används inte punkter utanför det område man definierar (räckvidden). För att bestämma vilka punkter och på vilket sätt de påverkar en punkt (x_i, y_i) ansätter man ett variogram. Ett variogram är helt enkelt en funktion som beskriver variationerna. Man antar att skillnaden i värde mellan två punkter beror på avståndet mellan dem och deras relativa orientering. Vid variogramanalys plottar man variansen mellan mätpar mot avståndet mellan mätparen.

Figur 85 visar ett exempel på ett variogram där man ser att variansen ökar med avståndet. Därefter anpassar man en analytisk variogramfunktion som används för att beräkna krigingvikterna. Efter att ha kommit fram till ett variogram som passar med sina data kan man beräkna krigingvikterna.

En stor fördel med kriging är att man kan ge konfidensintervall för de uppskattade värdena. Förutsättningen för att man ska kunna göra det är att följande antaganden gäller:

1. Att de uppskattade felen följer en normalfördelning. Detta stämmer oftast när man ser på stora områden. För mindre områden, speciellt de extrema, är detta antagande inte korrekt.
2. Att krigingvariansen från den geostatistiska modellen är en korrekt uppskattning av variansen av de faktiska felen.

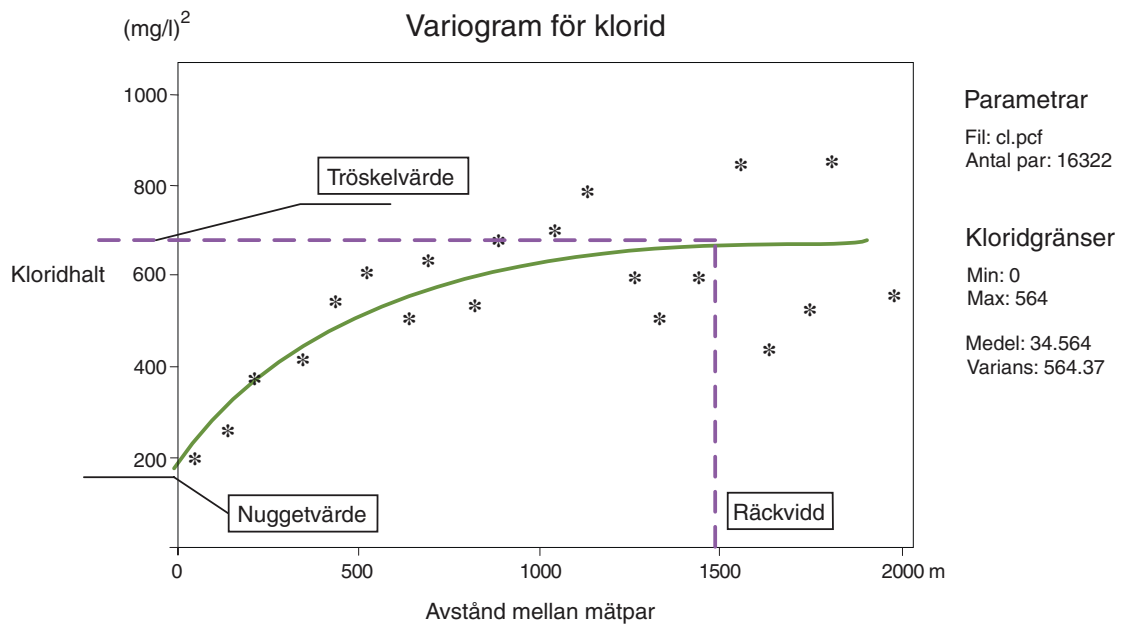


Fig. 85. Exempel på variogramanalys. Här är variansen på kloridhalten plottad mot avståndet. Nuggetvärde – lägsta varians.

Särskilt viktigt är att tröskelvärdet blir en bra uppskattning för variansen hos alla data. En mycket ojämn rumslig fördelning leder ofta till att man underskattar variansen.

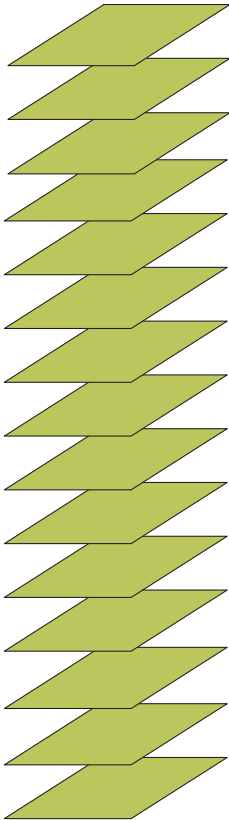
Finessen med kriging ligger bl.a. i att man får information om den rumsliga fördelningen på mätdata. Möjlig synergieffekt mellan mätdata beror på avståndet mellan dem och på den rumsliga kontinuiteten. En mätning av grundvattenytan från två brunnar med 10 meters avstånd skiljer sig mindre än t.ex. sulfatkoncentrationen i samma brunnar. Det faktum att grundvattenytan har en högre rumslig kontinuitet kommer att påverka utseendet på variogrammet. Kriging tar därför hänsyn till två viktiga aspekter när man interpolerar, nämligen avstånd och den rumsliga fördelningen.

DATABASSTRUKTUR

Den digitala informationen över grundvattentillgångarna finns tillgänglig i SGUs databaser och presenteras översiktligt nedan. Informationen är framtagen i formaten MapInfo och ArcInfo, men kan erhållas även i andra format. Data är lagrade i RT90 2,5 gon V.

Övriga data med anknytning till grundvattenkartan som finns tillgängliga på SGU är bl.a.

- tolkade bilder på seismiska profiler och georadargram,
- anpassade symbolfiler i formatet MapInfo samt
- postscriptfiler för utplottning av data.



GEOF	Geofysiska profiler (linjer)
LAGF	Lagerföljdsuppgifter (punkter)
VTAK	Vattentäktsdata (punkter)
SKYD	Skyddsområden (polygoner)
OBSK	Observationsdata, källor (punkter)
OBSN	Observationsdata, nivåer (punkter)
OBSD	Övriga observationsdata (punkter)
VDEL	Vattendelare och andra hydrauliska gränser (linjer)
NIVL	Nivålinjer (linjer)
GSTR	Grundvattnets strömningsriktning (punkter)
TEKT	Tektonik; sprickzoner, förkastningar etc. (linjer + punkter)
KVAL	Salt-, fluorid- eller radonrisk (polygoner)
VMAR	Våtmarker (polygoner)
JKAP	Kapacitet i jordlagren (polygoner)
BKAP	Kapacitet i berggrunden (polygoner)

Fig. 86. Översiktlig databasstruktur.

REFERENSER, LITTERATUR OCH GRUNDVATTENKARTOR

Referenser

- Björnbom, S., 1989a: Jordartskartan Finspång NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 92*.
- Björnbom, S., 1989b: Beskrivning till jordartskartan Finspång NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 92*.
- Eklund, J., 1961 : Berggrunden. Kumlas urtid och framtid. I Kumlabygden Bd 1. *Kumla*.
- Laaksoharju, M., Smellie, J., Nilsson, A.-C. & Skärman, C., 1995: Groundwater sampling and chemical characterisation of the Laxemar deep borehole KLX02. *SKB Tec. Rep. 95-05*.
- Lindstén, C.A., 1996: Märkliga källor, stenar och träd i Örebro län. *Örebro Stadsarkiv*.
- Midvatten, 2005: Bergslagens kommunalteknik. Rya grundvattentäkt. Förslag till skyddsplan. *Konsultrapport*.
- Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Bengtsson, P., 1971a: Hydrogeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 1*.
- Möller, Å., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Bengtsson, P., 1971b: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 1*.
- Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1971c: Hydrogeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 3*.
- Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1971d: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 3*.
- Möller, Å., Järnefors, B., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1974a: Hydrogeologiska kartbladet Örebro NO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 2*.
- Möller, Å., Järnefors, B., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1974b: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro NO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 2*.
- Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1974c: Hydrogeologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 5*.
- Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1974d: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Örebro SO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 5*.
- Möller, Å., Engqvist, P. & Müllern, C.-F., 1976: Hydrogeologiska förhållanden inom Närkeslättns sedimentära berggrund. *Sveriges geologiska undersökning C 721*.
- Nurmi, P.A., Kukkonen, I.T. & Lahermo, P.W., 1998: Geochemistry and origin of saline groundwaters in the Fennoscandian Shield. *Journal of Applied Geochemistry vol. 3*.
- Pousette, J., Müllern, C.-F., Rurling, S. & Thunholm, B., 1999: Kartan över grundvattnet i Örebro län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 20*.
- Pousette, J., Müllern, C.-F., Rurling, S. & Thunholm, B., 2000: Beskrivning till kartan över grundvattnet i Örebro län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 20*.
- Statens livsmedelsverk, 2001: Statens livsmedelsverks föreskrifter om dricksvatten. *Statens livsmedelsverks författningssamling, SLVFS 2001:30*.
- SWECO, 1998: Örebro kommun. Alternativa grundvattentillgångar. *Konsultrapport*.
- Vattenfall, 1991: Scientific Summary Report of the Deep Gas Drilling Project in the Siljan Ring Impact Structure. *Swedish State Power Board, U(G) 1991/14*.
- VBB & K-konsult, 1968: Utredning angående grundvattentillgången inom Kumla-Hallsbergregionen, etapp 2b och c. *Konsultrapport*.
- VIAK AB, 1973: Örebro kommun. Redogörelse för geohydrologiska undersökningar vid Kilsmo och Brevens bruk. *Konsultrapport*.
- VIAK AB, 1985: Lindesbergs kommun. Grundvattenvärme, hydrogeologiska undersökningar. *Konsultrapport*.

Allmän litteratur

- Aastrup, M., 1985: Grundvattenövervakning inom PMK. Rapport från verksamheten 1985. *Statens naturvårdsverk. Rapport 3236*.
- Agerstrand, T., 1973: Praktisk geohydrologi. I P. Brink, T. Cewé, E. Olerud, C. Ramel, H. Sjörs & M. Falkenmark (red.): *Vattenmiljön. Praktisk miljökunskap*. Natur och Kultur, Stockholm, 53–80.
- Ahlbom, K., De Geer, J., Gustafsson, G., Hård, S., Karlqvist, L., Norling, E., Persson, G. & Thoregren, U., 1980: Energigeologisk kartering. Metodstudie. *Byggforskningsrådet R134: 1980*.
- Andersson, A.C., Andersson, O. & Gustafson, G., 1984: Brunnar: undersökning – dimensionering – borrning – drift. *Byggforskningsrådet R42: 1984*.
- Andersson, S., Eriksson, A. & Åbyhammar, T.; 1980: Utvinning av värme ur bergborrade brunnar. Förstudie. *Byggforskningsrådet R142: 1980*.
- Annadotter, H., 1993: Algtoxiner i dricksvatten: en undersökning vid två svenska vattenverk samt en litteraturstudie. *VAV. VA-Forsks rapportserie 1993:03*.
- Bengtsson, P., 1971: Kvarntorpsområdets hydrogeologi, en översikt. *Sveriges geologiska undersökning C 667*.
- Bengtsson, M-L., 1996: Hydrogeologisk sårbarhetsklassificering som verktyg i kommunal planering. Med exempel från Lerums kommun. *Chalmers tekniska högskola, Geologiska institutionen Publ. A81*.
- Bergman, G., 1972: Bestämning av infiltrationskoefficienter för bergytor och perkolationsbanor i jordlager. *Stockholms universitet. Kvartergeologiska institutionen. Även STU 69-519/U386*.
- Bergström, S., 1993: *Sveriges hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI, Norrköping.
- Bertills, U., von Brömssen, U. & Sarr, M., 1989: Försurningsläget i enskilda vattentäkter i Sverige. *Statens naturvårdsverk. Rapport 3567*.
- Brink, R. & Tullberg, H., 1982: Att utvinna och lagra värme i mark och vatten. Juridiska aspekter. *Byggforskningsrådet T 44: 1982*.
- von Brömssen, U., 1968: Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt: försök till bestämning av infiltrationskoefficienter. *Teknik Metod Analys*. Stockholm.
- Byggforskningsrådet, 1982: Bergvärme, grundvattenvärme och geotermi. BFR-seminarium maj 1982. *Rapport R130:1982*.
- Bäckström, O., 1981: *Försurning*. Uppsala universitet. Kvartergeologiska avdelningen.
- Carlsson, A. & Olsson, T., 1977: Hydraulic properties of Swedish crystalline rocks. *The Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N.S., vol. 7*.
- Carlsson, L., 1970: Metoder för praktisk bestämning av grundvattnets strömningshastighet. *Chalmers tekniska högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Serie B 70:1*. Göteborg.
- Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977: Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrocks. *Nordic Hydrology* 8, 103–116.
- Carlsson, L. & Gustafsson, G., 1984: Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. *Byggforskningsrådet R41: 1984*.
- Coordinating committee for hydrology in Nordic Countries (COHYNO), 1984: *Nordic Glossary of Hydrology*. Iréne Johansson (red.). Almqvist & Wiksell International, Stockholm.
- De Geer, J., 1970: Några hydrogeologiska synpunkter på jordtäckets akviferer främst åsarnas. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm.
- Dressie, Z., 1987: Recharge and soil water studies using different models and methods. *Uppsala universitet. Naturgeografiska institutionen. Avdelningen för Hydrologi. Report Series A, Nos 2 and 39*.
- Engqvist, P., Olsson, T. & Svensson, T., 1978: Pumping and recovery tests in wells sunk in till. *Nordic Hydrological Conference and Second Nordic IHP meeting, Hanasaari, 1978, Papers of workshops*. Helsinki.
- Eriksson, A., 1981: Energibrunnar. *Sveriges geologiska undersökning. Information från brunnsarkivet 1/81*.

- Flentzberg, A., 1909: Offerkällor och trefaldighetskällor. *Fataburen*, 65–84, 141–149.
- Fredén, C. (temaredaktör), 1994: *Berg och jord*. Sveriges Nationalatlas. Andra uppl.
- Frycklund, C., Jacks, G., Johansson, P.-O. & Lekander, K., 1994: Konstgjord grundvattenbildning – Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. *VAV. VA-forsks rapportserie 1994-08*.
- Granberg, G., 1934: Den kalendärt fixerade källdrickningen. *Folkminnen och folktankar* 21, 20–34, 56–75.
- Grip, H. & Rodhe, A., 1988: *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren & Fallgren Studieförlag AB. Uppsala.
- Gustafsson, G., 1974: A method of calculating the hydraulic properties of esker aquifers. *Nordic Hydrologic Conference*, Aalborg 1974, 525–543. København.
- Gustafsson, G., 1976: A method of calculating the hydraulic properties of leaky esker–aquifer systems. *Nordic Hydrologic Conference*, Reykjavik 1976, IV 47–64. Även i: *Nordic Hydrology* 8, 1977, 65–82. Reykjavik.
- Gustafsson, Y., 1970: Topografins inverkan på grundvattenbildningen. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm.
- Hedström, R., 1996: Olycksfrekvenser vid transport av farligt gods – risker för recipienter och vattentäkter. *VAV. M95*.
- Hult, A., 1991: *Källan till vattnet*. Anders Hult & Gidlunds Bokförlag, Värnamo.
- Hydén, H., 1983: Energiutvinning ur kommunala grundvattentäkter. *Bygghälsningsrådet R:47*.
- Johansson, P.-O., 1987: Methods for estimation of direct natural groundwater recharge in humid climates – with examples from sandy till aquifers in southern Sweden. *Kungl. Tekniska högskolan. Institutionen för kulturteknik. Meddelande TRITA-KUT 1045*.
- Johansson, P.-O., 1987: Spring discharge and aquifer characteristics in a sandy till area in southeastern Sweden. *Nordic Hydrology* 18, 203–220.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1993: *Grundvatten, teori och tillämpning*. AB Svensk Byggtjänst, Solna.
- Knutz, Å., Svensson, T., Lindmark, P., Rosén, B., Eriksson, A. & Landin, O., 1995: Yt- och grundvat-
tenskydd. *Vägverket Publikation. 1995:1*.
- Källakademien, 2006: *Källor i Sverige*. AB Svensk Byggtjänst.
- Larsson, I., 1972: Groundwater in granite rocks and tectonic models. *Nordic Hydrology* 3, 111–129. Stockholm.
- Larsson, I., 1977: Torra och vattenrika bergartstyper i svenskt urberg. *Vatten* 33.2, 96–101. Stockholm.
- Lerner, D.N., Issar, A.S. & Simmers, I., 1990: Groundwater recharge. *A guide to understanding and estimating natural recharge*. Internat. Assoc. of Hydrogeologists. Hannover, Heise. (International contributions to hydrogeology. Vol. 8).
- Lindén, A., Melin, O. & Mellander, H., 1983: *Områden med anomal radioaktiv värmeproduktion i södra och mellersta Sverige. Energiforskningsnämnden. Långsiktig energitillförselsforskning*.
- Lindgren, J., 1997: Radon i vatten – ännu inga gränsvärden. *Sveriges geologiska undersökning. Grundvatten* 2/96–1/97.
- Lindman, E.-K. & Mattson, E., 1982: *Försurningens inverkan på korrosionen i vattenledningar av koppar*. Korrosionsinstitutet. Stockholm.
- Müllern, C.-F., 1980: Airborne geophysical measurements used for hydrogeological mapping. 6:e *Nordiska Hydrologiska Konferensen. Uppsala Universitet, Naturgeografiska Institutionen. Rapport Nr 53*. Uppsala.
- Naturvårdsverket, 1991: Grundvattentäkter: skyddsområden – skyddsföreskrifter. *Allmänna råd* 90:15.
- Nordberg, L., & Persson, G., 1974: The national groundwater network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 48*.
- Nordberg, L., & Persson, G., 1979: *Vårt vatten – tillgång, utnyttjande*. LTs förlag, Stockholm.

- Nordic Hydrological Programme, 1994: Salt groundwater in the Nordic countries. *NHP rapport 35*.
- Nordqvist, R., 1982: *Försurning*. Uppsala Universitet. Kvartärgeologiska avdelningen.
- Olofsson, B. & Ericsson, L.O., 1985: Miljöförändringar vid värmeutvinning ur berg och grundvatten. *Bygghälsningsrådet R 149: 1985*.
- Persson, G., 1992: Groundwater protection and vulnerability maps in Sweden. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia Vol. XLII*.
- Pousette, J., 1994: Shallow groundwater in Sweden – a vulnerable resource. *Water Down Under '94, Preprints of Papers, Volume 2 – Part B*, 723–726. IEAust, Barton, Australia.
- Programmet för övervakning av miljö kvalitet (PMK), 1986: Sura och försurade vatten. *Monitor, Statens naturvårdsverk*, Solna.
- Rodhe, A., 1987: The origin of streamwater traced by oxygen-18. *Report Series A, No 41, Division of Hydrology, Uppsala Univ.*, 260 s.
- Samuelsson, M., 1983: Ytligt grundvatten – kemi och omsättning. En studie av källor i skogsmark. *Kungliga tekniska högskolan. Institutionen för kulturteknik. Meddelande TRITA-KUT 3023*.
- Sandberg, B., 1982: *Korrosion på markförlagda konstruktioner – påverkan av markförsurning*. Korrosionsinstitutet, Stockholm.
- Saxena, R. & Dressie, Z., 1983: Estimation of groundwater recharge and moisture movement in sandy formations by tracing natural O-18 and injected tritium profiles in the unsaturated zone. *I: Isotope hydrology (Proceedings of Symposium in Vienna, 1983), IAEA, Vienna*, 139–150.
- Statens offentliga utredningar, 1994: Reglering av vattenuttag ur enskilda brunnar. Delbetänkande av Grundvattenutredningen. *SOU 1994:97*.
- Sundlöf, B. & Kronqvist, L., 1992: Konstgjord grundvattenbildning. *Va-forsks rapportserie 1992-13*.
- Svenska vatten- och avloppsföreningen, 1995: VA-verk 1994. Statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk. VAV S94.
- Svenska vatten- och avloppsföreningen, 1997: Skydd av vattentäkter. *Meddelanden, VAV M98*.
- Svensson, C., 1996: Litteraturlista för grundvatten i urban miljö på Internet. *Va-forsks rapportserie 1996-12*.
- Tekniska nomenklaturcentralen, 1970: Vattenordlista 2. *TNC 45*. Uppsala.
- Tekniska nomenklaturcentralen, 1984: Geologisk ordlista. *TNC 77*. Uppsala.
- UNESCO, 1983: *International legend for hydrogeological maps*. UNESCO, Paris.
- Winqvist, G., 1953: Groundwater in Swedish Eskers. *Kungliga tekniska högskolans handlingar nr 61*.

SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel

Nr

17. Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand–bentonitskikt. 1980.
21. Groundwater-level fluctuations as a measure of the effective porosity and groundwater recharge. 1980.
27. Intruded and relict groundwater of marine origin. SWIM -81. 1981.
30. Radon – geological aspects of an environmental problem. 1982.
37. Geokemisk kartering. 1984.
39. Salt grundvatten i Sverige. 1985.
42. Geokemisk kartering. Bäcktorv. 1985.
43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
57. Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
75. Biogeokemiska kartan 8–10, G–J och 11–12, H–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1993.
81. Markgeokemiska kartan 7–9, D–H. (Kartor med beskrivning över ett tjugotal huvudelement och spårämnen.) 1995.
86. Miljögeologi. Kartor för samhällsplanerare och miljövårdare. Exempel från Mittnordenområdet. 1996.
87. 14th Salt Water Intrusion Meeting, Malmö, SWIM -96. 1996.
99. Grundvattnets tillstånd i Sverige. Årsskrift från miljöövervakningen 1999.
118. Grundvattentillgångar i Nybroåsen. 2004.

Grundvattenkartor

SGU serie Ag

Grundvattenkartor i skala 1:50 000

Nr

1. Örebro SV
2. Örebro NO
3. Örebro NV
4. Trelleborg NV/Malmö SV
5. Örebro SO
6. Trelleborg NO/Malmö SO
7. Norrköping NV
8. Eskilstuna NO
9. Linköping NO
10. Östergötlands sedimentära berggrund (skala 1:100 000)
11. Eskilstuna NV
12. Norrköping NO
13. Malmö NV
14. Helsingborg SV
15. Höganäs NO/Helsingborg NV

SGU serie Ah

Grundvattenkartor, län, i skala 1:250 000

Nr

1. Kalmar län
2. Västmanlands län
3. Gotlands län
4. Blekinge län
5. Uppsala län
6. Stockholms län
7. Södermanlands län
8. Hallands län
9. Skaraborgs län
10. Kronobergs län
11. Jönköpings län
12. Västra Götalands län, f.d. Göteborgs och Bohus län
13. Älvsborgs län (karta), Västra Götalands län, f.d. Älvsborgs län (beskrivning)
14. Östergötlands län
15. Skåne län
16. Gävleborgs län
17. Grundvattnet i Sverige (skala 1:1 miljon)
18. Dalarnas län
19. Värmlands län
20. Örebro län
21. Jämtlands län
22. Västerbottens län
23. Västernorrlands län
24. Norrbottens län

SGU serie An

Digitala grundvattenkartor med beskrivning, kommuner, i skala 1:50 000.

Nr. 2	Hässleholm
Nr. 3	Strängnäs
Nr. 4	Upplands-Bro
Nr. 6	Söderhamn
Nr. 7	Katrineholm
Nr. 8	Karlstad
Nr. 9	Laxå
Nr. 10	Norrköping
Nr. 11	Linköping (karta)
Nr. 12	Nynäshamn
Nr. 13	Bollnäs
Nr. 14	Höganäs

SGU serie K

Digitala grundvattenkartor med beskrivning, kommuner, i skala 1:50 000.

K44	Umeå
K49	Västerås-Hallstahammar
K50	Kristinehamn
K62	Örkellunga
K63	Mölndal
K69	Sigtuna (karta)
K 78	Ekerö
K82	Halmstad (karta)
K83	Köping
K88	Eskilstuna–Kungsör (karta)
K89	Helsingborg (karta)
K90	Båstad (karta)
K91	Heby (karta)
K92	Botkyrka
K93	Salem
K102	Kävlinge (karta)
K103	Staffanstorps-Lomma-Burlöv
K104	Landskrona (karta)
K108	Uddevalla
K109	Göteborg (karta)
K110	Enköping (karta)
K116	Lund (karta)
K117	Malmö (karta)
K130	Vårgårda (karta)
K131	Härryda (karta)
K132	Partille (karta)
K134	Lerum (karta)
K135	Alingsås (karta)
K139	Västra Skogen

Dessutom finns följande kartdatabaser tillgängliga:

Alingsås
Boden
Bollebygd
Borås
Eslöv
Flen
Gävle
Håbo
Höör
Jönköping
Klippan
Laholm
Luleå
Norrtälje
Norsjö
Nyköping
Perstorp
Piteå
Skellefteå
Stockholm
Sundsvall
Svalöv
Tidaholm
Uppsala
V Småland
Ydre
Åstorp
Älvsbyn
Ängelholm
Ö Småland

