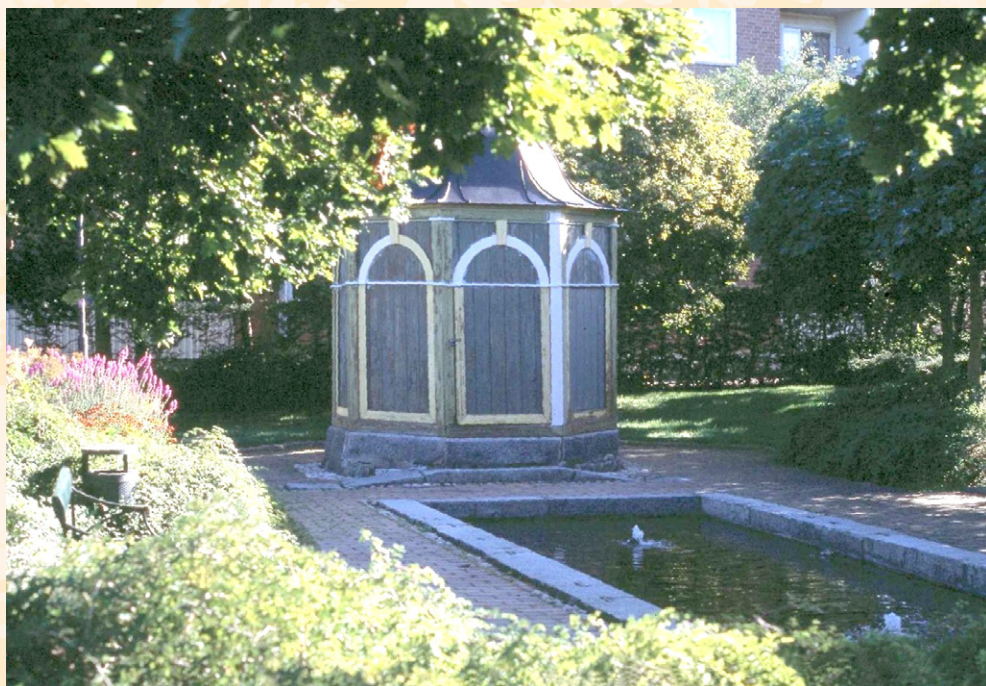


Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Enköpings kommun

Hans Söderholm



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-827-2

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: Munksundskällan belägen i anslutning till huvudvattentäkten
vid Munksundet i Enköping. Foto: Hans Söderholm.

© Sveriges geologiska undersökning, 2010
Layout: Jeanette Bergman Weihed, SGU

FÖRORD

Kartan över grundvattenförekomster i Enköpings kommun ingår i en serie kommuninriktade grundvattenkartor som framställs av Sveriges geologiska undersökning, SGU. Kartan är framtagen i nära samarbete med kommunens VA-avdelning, Teknikförvaltning samt Miljö & Stadsbyggnad, och är avsedd att i första hand komma till användning i den kommunala verksamheten. Den kan givetvis vara användbar även i andra, grundvattenrelaterade sammanhang.

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

Den föreliggande kartan över grundvattenförekomster i Enköpings kommun är digitalt framställd. Informationen är inlagrad i 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 kommunen från kartdatabasen kan göras i såväl större som mindre skala, vilket emellertid kräver insikt i att noggrannheten inte alltid överensstämmer med den förändrade kartskalen.

Bedömningarna av grundvattentillgångar i de kvartära avlagringarna, i första hand grusåsarna, grundas på sammanställning av befintliga uppgifter i utredningar m.m. och hydrogeologiska fältarbeten. Dessa har i första hand bestått av geofysiska mätningar med georadar och seismik samt sonderingsborrningar med drivning av observationsrör.

De undersökningar som utförts har lett till nya insikter om grundvattenförhållandena. Det gäller t.ex. lägen för grundvattendelare, torra åsavsnitt, källor m.m. Arbetena har lett till en säkrare avgränsning av grundvattenmagasinen och grundvattentillgångarna.

Textbidrag har lämnats av Bo Thunholm (grundvattennivåer och grundvattnets kemi i allmänhet), Bo Wållberg (metodbeskrivningar – georadar och seismik), Leif Eriksson (metodbeskrivning – elektriska motståndsmätningar) och Magnus Åsman (metodbeskrivningar – kriging och variogramanalys). Akvarellerna har utförts av Elisabet Carlsson och Anna Jonson, ArtAnna, seismogram och radargram av Bo Wållberg.

Kartläggningen genomfördes 2001–2002. De geofysiska arbetena har letts av Bo Wållberg, borrhningarna av Roger Smedberg samt avvägningsarbetena av Kjell Andersson och Johan Berglind. I fältarbetena medverkade Anders Lundström, Eva Elsmark, Sven-Erik Gradstock, Sune Rurling och Torbjörn Fagerlind.

INNEHÅLL

Förord	3
Sammanfattning	6
Foton	8
Grundvattentillgångar	13
Naturresursen grundvatten	13
Vattnets kretslopp	14
Grundvattnet i och intill en grusås	15
Grundvattenbildning	15
Grundvattennivåer	16
Årstidsvariationer	17
Dricksvatten	17
Inducerad infiltration	20
Konstgjort grundvatten	20
Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångar i Enköpings kommun	21
Grundvatten i jordlagren	21
Enköpingsåsen	22
Svinnegarnsviken	22
Bredsand–Kyrkåsen	22
Kyrkåsen–Femstugan	22
Femstugan–Äspuss	23
Äsåsen–Sävasta	23
Sävasta–Heby	23
Övriga avlagringar	24
Skyddsområden	24
Grundvatten i berggrunden	24
Redovisning av vissa områden	27
Munksundet–Kyrkåsen–Galgvreten–Akademiåsen–Femstugan	27
Kyrkåsen–E18	27
E18–Femstugan	31
Kyrkudden–Äspuss	35
Vånsjöbro	38
Grundvattnets kemi	41
Analys	41
Salt grundvatten och motåtgärder	42
Åtgärder mot salt grundvatten	44

Grundvattnets sårbarhet	45
Grundvattenpåverkan	45
Konsekvens- och riskanalys	45
Skydd av grundvattnet	45
Metodbeskrivningar	46
Georadar	46
Geologiska förutsättningar	47
Tillämpningsområden	47
Seismik	47
Mätförfarande	48
Geologiska förutsättningar	48
Tillämpningsområden	48
Elektriska motståndsmätningar	49
Kriging och variogramanalys	51
Dokumentation av geofysiska mätningar, brunnar och kemisk analys	52
Geofysiska mätningar	52
Brunnar, borrhinar och vattenytor	53
Utredningar	56
Litteratur	59
SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel	62

SAMMANFATTNING

Arbetet har genomförts i samarbete med kommunens Teknikförvaltning och Miljö & Stadsbyggnad. En viss del av arbetet har också utförts av kommunen. Detta gäller bl.a. avvägning av brunnar, observationsrör och grundvattenytor längs åsarna.

Figur 1 visar en principbild av hur en grusås kan vara uppbyggd. Arbetena har huvudsakligen syftat till att klarlägga frågor om grundvattenmagasinens storlek, grundvattnets strömningsriktningar och grundvattendelare. För att utreda sådana frågor är det av största vikt att ta reda på hur berggrundsytan ser ut under sand- och grusmaterialet i åsarna. Höga berglägen innebär små eller inga grundvattenmagasin. Höga berglägen kan också innebära grundvattendelare. Låga berglägen medger stora grundvattenmagasin osv.

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 är rimliga gradienter för grundvattenytor i sand- och gruslager.

Arbetena har haft sin utgångspunkt i SGUs jordarts- och berggrundskartor samt vidare bestått av följande moment:

- Genomgång av utredningar och arkivmaterial.
- Inventering av 100 schakt- och rörbrunnar samt observationsrör längs åsarna.
- Inventering av kända källor samt uppletande av ytterligare källor.
- Avvägning av brunnarna och observationsrören samt ett antal vattenytor i och längs åsarna.
- Georadarmätningar i 28 profiler med en sammanlagd längd av 7 330 m.
- Seismiska mätningar i 16 profiler med en sammanlagd längd av 5 030 m.
- Avvägning av georadar- och seismiska profiler.
- Sonderingsborrningar på 13 platser med en sammanlagd rörlängd av 311 m.
- Rördrivning på 7 platser med en sammanlagd längd av 118 m. Jordprovtagning på en plats.
- Provtagning och kemisk analys av grundvattnet i ett observationsrör.
- Inlagring i databaser av:
 - brunnsdata,
 - georadar- och seismiska mätningar,
 - borrhingsdata med lagerföljder,
 - grundvattennivådata och
 - vattenanalyser.
- Upprättande av kartdatabaser över:
 - uttagsmöjligheter i berggrunden,
 - grundvattentillgångar i jordlagren,
 - större sprickzoner i berggrunden,
 - strykings- och stupningsvärden på berggrundsstrukturer,
 - grundvattennivåer,
 - grundvattnets strömningsriktningar,
 - grundvattendelare och
 - källor.
- Sammanställning av dessa databaser med Lantmäteriets digitala topografiska underlag (T5) till en karta över Grundvattenförekomster i Enköpings kommun.
- Sammanställning av föreliggande beskrivning.

Brunns- och källinventeringar har utförts längs alla åssträckningar. De geofysiska mätningarna, sonderingsborrningarna och rördrivningarna har i regel genomförts på ställen som bedömts vara intressanta för utvinning av större grundvattenmängder. Dessa mer omfattande arbeten har även genomförts i

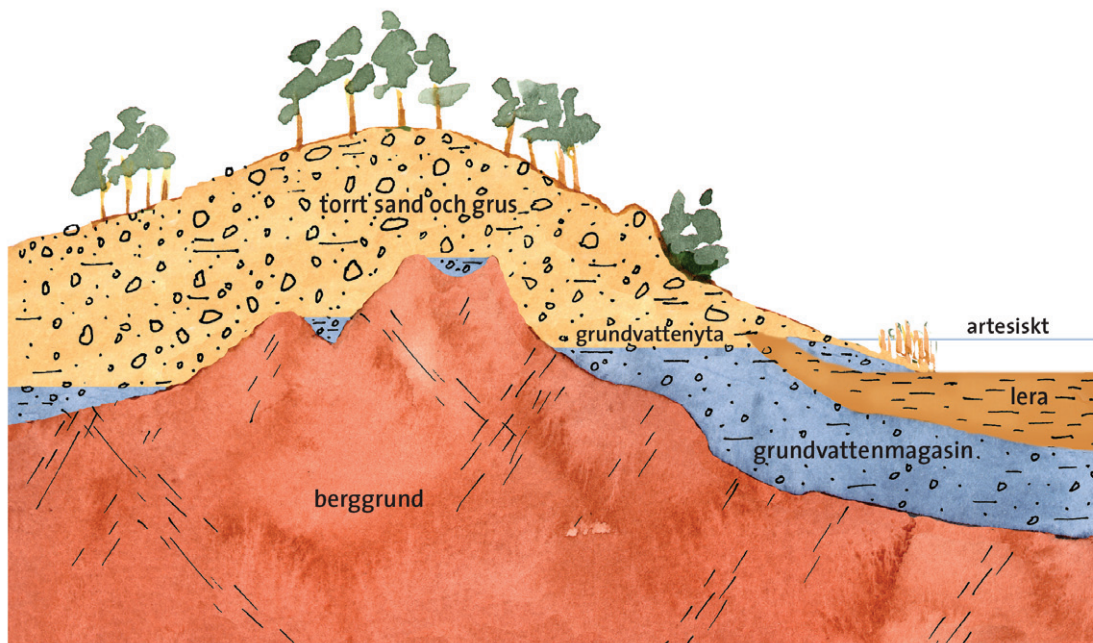


Fig. 1. Principbild av höga och låga berglägen – stora och små grundvattenmagasin i en grusavlagring. Lägg märke till hållkaren, de små grundvattensamlingarna, där bergläget är som högst. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

nyckelområden för bestämning av lägen för grundvattendelare samt utbredning och mäktighet (berglägesbestämningar) av viktiga grundvattenmagasin.

Grundvattenprover togs och kemiska analyser utfördes från sådana grundvattenmagasin som i dag inte utnyttjas, men som med avseende på deras potential skulle kunna utnyttjas i framtiden eller där det varit av särskilt intresse att få vetskap om vattenkvaliteten. Vattenprovtagning i observationsrör, som har en diameter på två tum (50 mm), skedde urvalsmässigt i samband med rördrivningen.

En bedömning av uttagsmöjligheterna i berggrunden har gjorts baserad på berggrundens uppbyggnad och skiffrighet samt förekomsten av potentiellt vattenförande sprickzoner. Kapacitetsdata från bergborrade brunnar i SGUs brunnarsarkiv har använts för att påvisa områden i kommunen med olika möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden.

Vid kartläggningen av grundvattenförhållandena i Enköpings kommun har grundvattentillgångar av både kommunal och lokal betydelse påvisats – kanske också regional. Det är därför av stor vikt att framtida nyttjande och skydd av grundvattentillgångarna beaktas i kommunens översiktsplanering.

Resultaten av kartläggningen redovisas i avsnitten Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångar i Enköpings kommun samt Redovisning av vissa områden.



Fig. 2. Georadarmätningar ger information om lagerstrukturer och grundvattenytor. A och B är antenner för sändning och mottagning, C är styrenhet för datainsamling och D är dator med bildskärm. Foto: C.-F. Müllern.

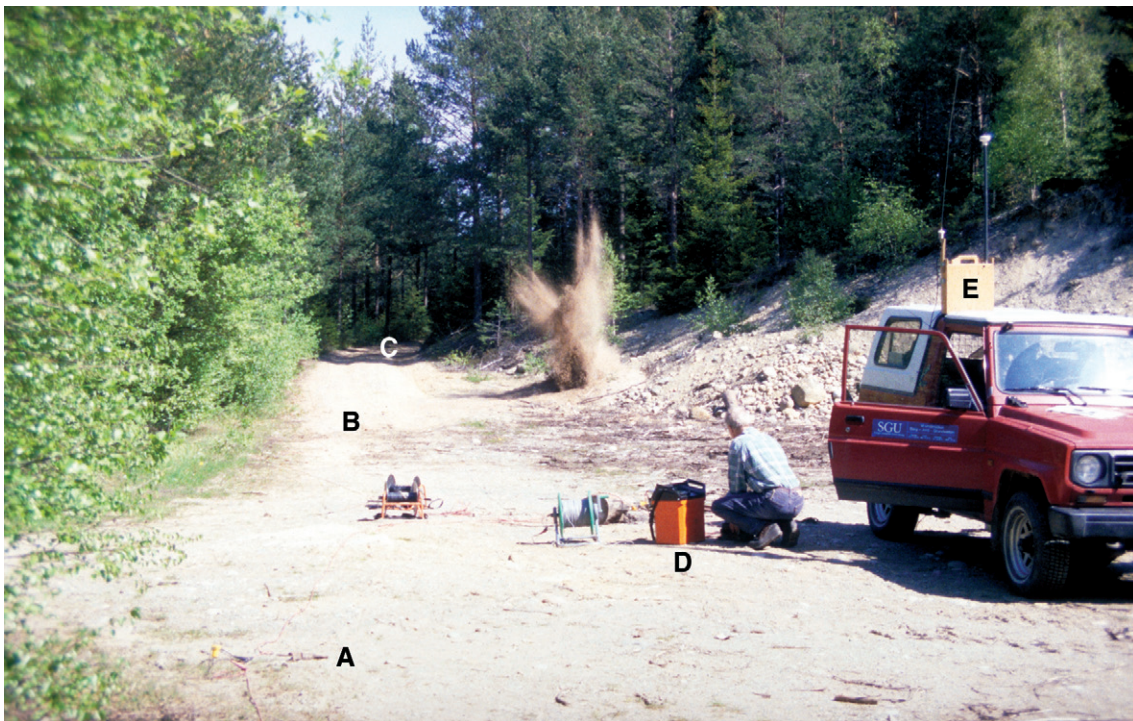


Fig. 3. Vid seismiska mätningar detoneras en mindre dynamitladdning och ljudvågorna som fortplantar sig i marken registreras av geofoner vid A, B och C. D är en seismograf som ritar upp och lagrar kurvor för ljudvågornas utbredning. E är en GPS-mottagare för positionering. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 4. Geofysiska profiler avvägs för att exakta mått på marktytor, jordartsgränser, grundvattenytor och bergtytor ska erhållas. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 5. När de geofysiska mätningarna avvägts och utvärderats genomförs borrhningar på de optimala platserna. Därvid undersöks och provtas sammansättningen av såväl jordlagren som grundvattnet allteftersom borrhningen drivs djupare. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 6. Preliminära, kemiska analyser på salthalt och järnhalt och mätning av elektrisk ledningsförmåga görs i fält redan under pågående borrhning. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 7. Rensning är en viktig del i samband med etablering av observationsrör och rörbrunnar. Härvid spolas det finkorniga jordmaterialet upp till ytan och ett filter byggs upp omkring rörspetsen eller brunnens filterdel. Efter rörrensningen företas i förekommande fall provpumpning i röret eller brunnen. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 8. Efter omsättning av drygt 1 000 liter vatten tas ett prov från observationsröret för fullständig kemisk analys . Foto: C.-F. Müllern.

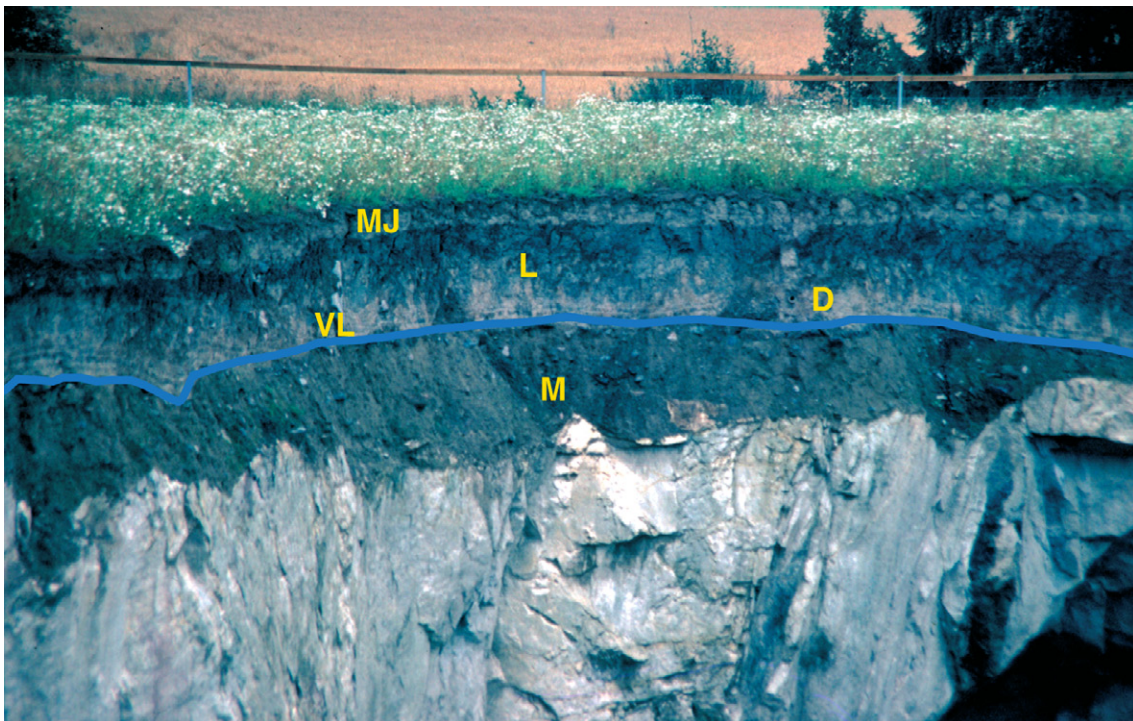


Fig. 9. Bilden visar den vanligaste lagerföljden i ett lerområde. Ovanpå berggrunden med sin oregelbundna sprickighet ligger: M – morän med varierande mäktighet, VL – varvig lera (glacial), L – lera (postglacial), MJ – matjord ner till plogdjup. D är öppningen på ett dräneringsrör. Övergångszonen mellan varvig lera och morän är vanligen den bäst vattenförande delen av lagerföljden. Glanshammar. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 10. Några av de största källorna vid Flosta är vanligtvis uppdämda till en större damm. Vintern 2000/2001 brast fördämningen, vattnet tömdes ut och källflödena blottades. På fotot ses hur vatten från ett flertal ställen där grundvattnet rinner upp samlas till en bäck på botten av den tömda dammen. Det sammanlagda flödet från källorna vid Flosta uppmättes vid denna tid till ca 60 l/s. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 11. Enköpings kommuns huvudvattentäkt är belägen i Munksundet i anslutning till staden. På bilden syns några av brunnarna och luftningsrören. I övre högra hörnet intill korset skymtar resterna av en klosterruin. Foto: H. Söderholm.

GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

Naturresursen grundvatten

Av allt vatten på jorden är bara några få procent sötvatten. Resten finns i haven. Större delen av sötvatten 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 magasinerna 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 alltifrån mindre än en timme till flera år. I sand och grus och stora sprickor 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 magasinerna. Från vattendelarna strömmar grundvattnet åt motsatta håll. Akviferer och magasin kan också finnas ovanpå varandra, skilda åt av täta eller svärgenomträngliga 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.

Vanligen har grundvattnet 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 borrar eller grävda brunnar kan vattnet vanligen 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.

En grundvattentillgång kan ökas på konstgjord väg genom att man infiltrerar ytvatten i sand- och grusavlagringar.

Grundvattnet har över lag god beskaffenhet. 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.

Den största grundvattenmängden kan utvinnas från de stora sand- och grusavlagringar som bildades under avsmältningen av den senaste inlandsisen.

Enskilda hushåll, som använder vatten från egna grävda eller borrar brunnar för sin vattenförsörjning, omfattar omkring 1,2 miljoner människor i vårt land. Många utnyttjar grundvatten för 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 samt recipient,
- i jordbruket för djurhållning och konstbevattning,
- som processvatten i vissa industrier,
- för trädgårdsbevattning,
- som energikälla genom värmeutvinning och
- 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, se figur 12.

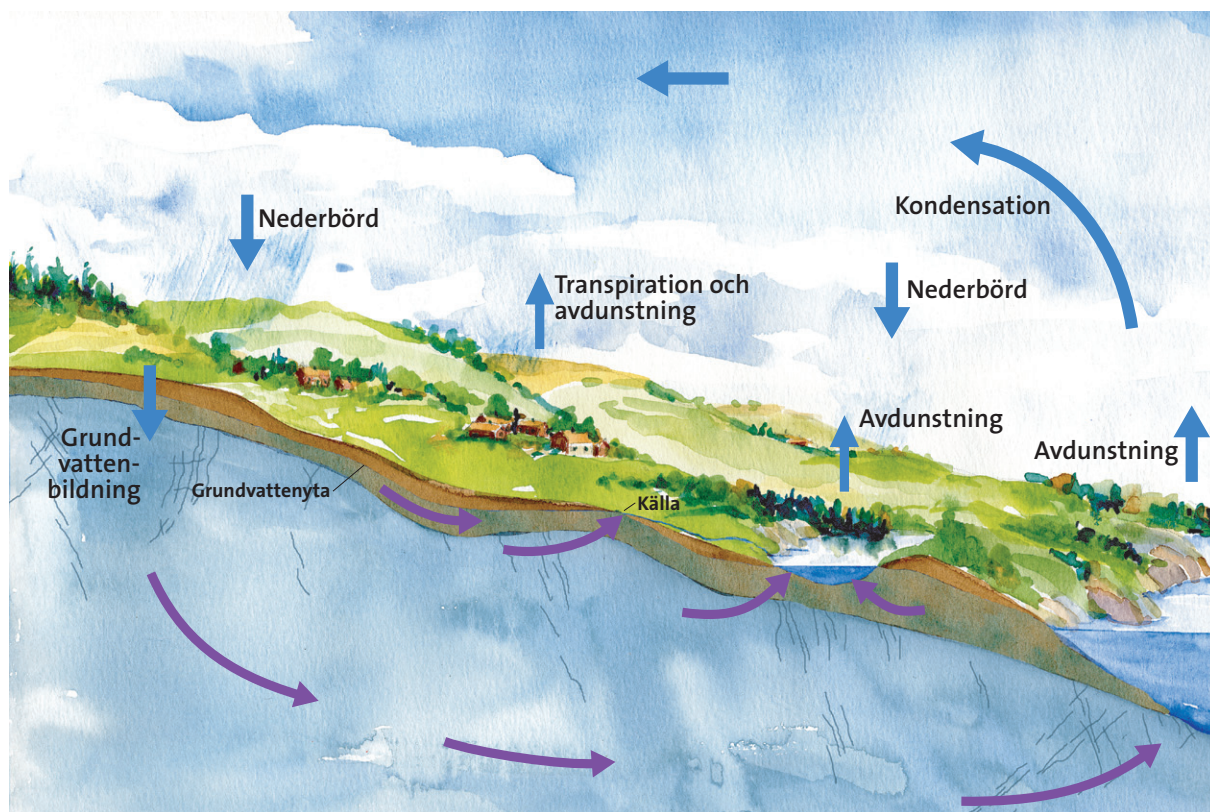


Fig. 12. Vattnets kretslopp. Grundvattnet rinner ut huvudsakligen i botten på bäckar, åar och sjöar samt i källor.
Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Grundvattnet i och intill en grusås

Figur 13 visar en dalgång med en isälvsavlagring (rullstensås) med sand, grus och block. Terrängen ligger under högsta kustlinjen, dvs. landet har någon gång efter den senaste nedisningen varit täckt av hav, så situationen är i största delen av Enköpings kommun. 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 själv rinnande, 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. 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.

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.

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.

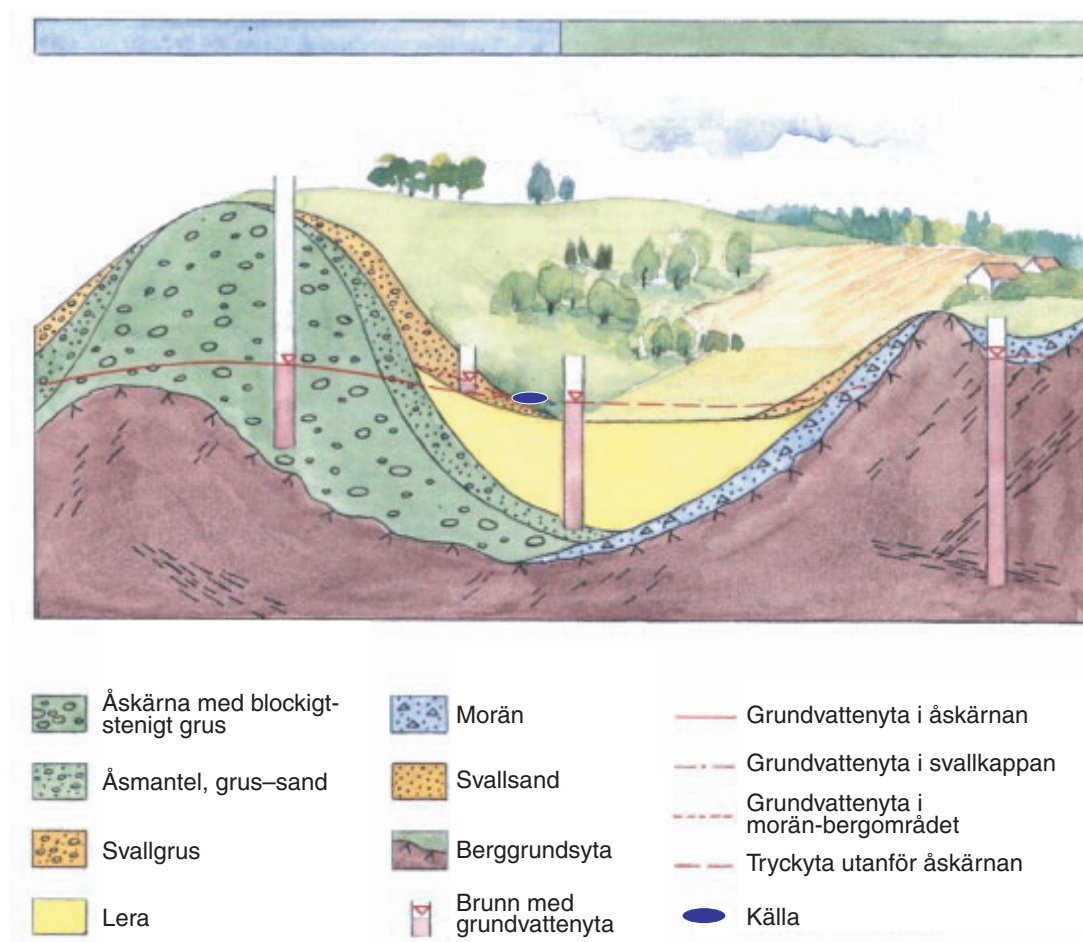


Fig. 13. Principbild över hur grundvattnet uppträder i och intill en grusås. Färgmarkeringen överst i bild visar hur detta redovisas på kartan över grundvattenförekomster i Enköpings kommun. Illustration: Elisabeth Carlson.

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 regnräkaste månaderna på året. Grundvattennivåerna sjunker och ytavrinning i vattendragen av utläckande grundvatten minskar.

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

Grundvattennivåer

Grundvattenytans nivå förändras under året beroende på hur och när nybildningen av grundvatten sker. Variationsmönstret är olika för skilda områden i landet, och det är heller inte riktigt likadant från år till år.

Variationsmönstret i Enköpingstrakten framgår av figurerna 14–17, som visar förhållandena i en närbelägen mätstation i SGUs grundvattennät (Sala 20:1). Denna station ligger knappt 15 km söder om Sala och 40 km nordväst om Enköping.

Figur 14 visar månadsmedelvärden för effektiv nederbörd (nederbörd minus avdunstning) enligt SMHI för området som motsvarar det topografiska kartbladet 11G Västerås NO för perioden 1961–1990. Figur 15 visar grundvattennivåns månadsvisa min-, medel- och maxvärden för perioden 1966–2001. Nivåvariationerna är typiska för ett långsamt reagerande magasin i sand och grus. Grundvattennivån är normalt lägst under september–november som ett resultat av den relativt låga grundvattenbildningen under sommaren. Stor effektiv nederbörd mellan mars och april ger den största höjningen av grundvattennivån under april–maj. Figurerna 16–17 redovisar uppmätt grundvattennivå respektive grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet. Mycket låga nivåer uppmättes under 1976 och 1996.

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. De flesta av de privata brunnarna i Sverige är nedförda i sådana magasin. Ett stort magasin i t.ex. en isälvsavlagring med sand och grus och med stor porvolym reagerar långsamt och med små nivåförändringar, även om förhållandevis stora vattenvolymer tillförs eller avlägsnas.

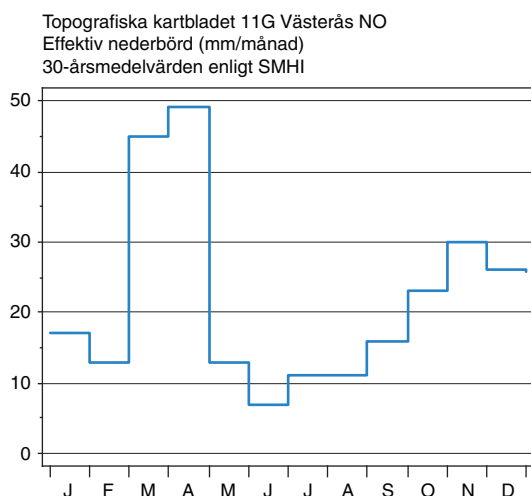


Fig. 14. Effektiv nederbörd (mm/månad). 30-årsmedelvärden enligt SMHI.

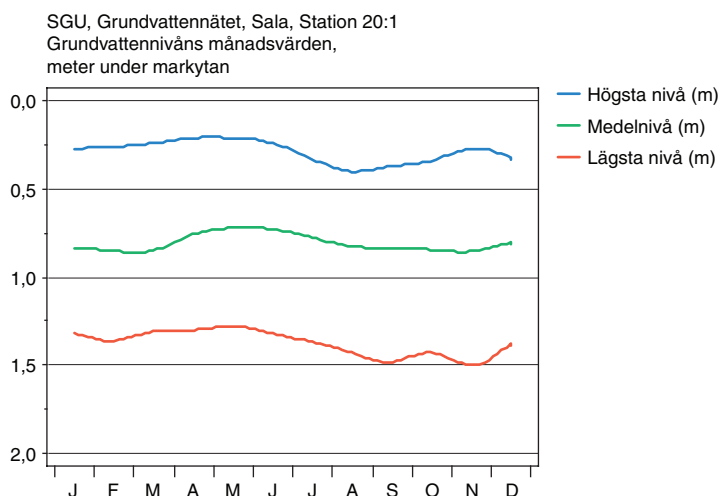


Fig. 15. Grundvattennivåns månadsvärden, meter under markytan.

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.

Regimerna kan utläsas i kurvor över grundvattennivån i olika landsändar. I figur 18 har fyra av SGUs mätstationer valts ut som exempel på de fyra huvudmönster som finns i Sverige.

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

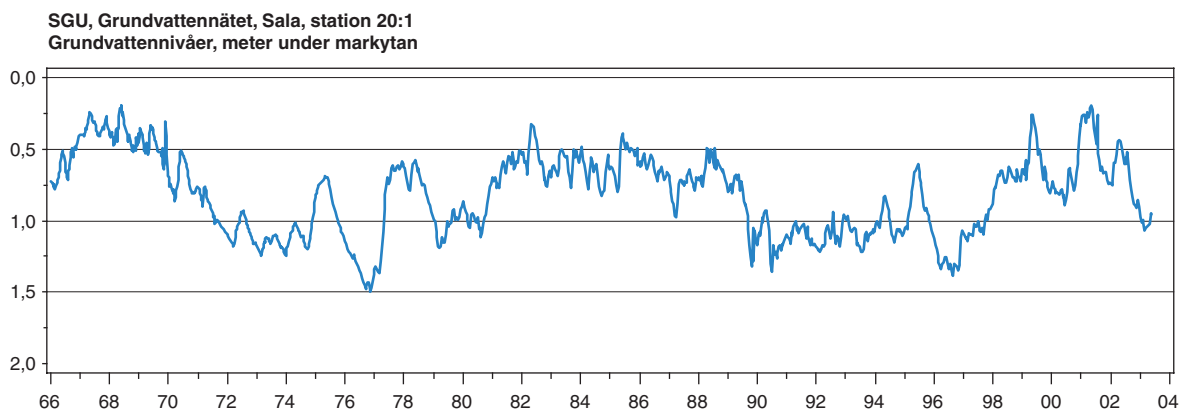


Fig. 16. Grundvattennivåer, meter under markytan.

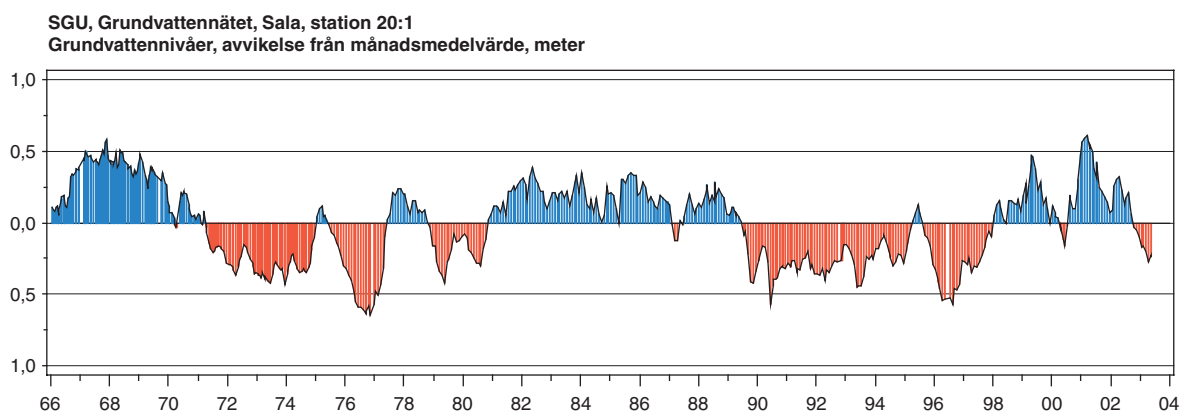
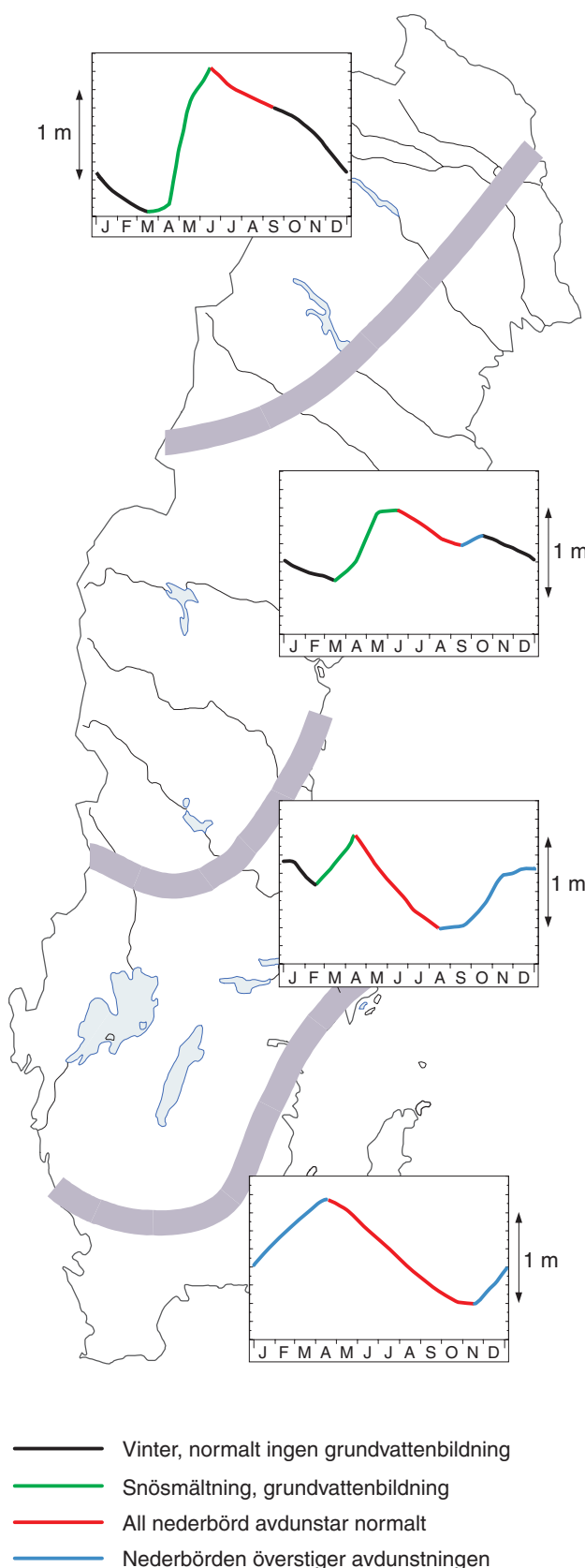


Fig. 17. Grundvattennivåer, avvikelse från månadsmedelvärde, meter.



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. 18. Grundvattenregimer i Sverige.

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.

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 (vätejonkoncentrationen)		<7,5 >9,0	10,5	<6,5	10,5 (h)
Polycykliska aromatiska 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.

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 inducerad infiltration. Den uppstår genom att 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. 19).

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 framför allt i södra delen av Enköpings kommun. Förutsättningarna kan dock vara mycket varierande genom att sand- och gruslagren till stora delar överlagras av lera och att leran kan motverka en effektiv inducering.

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. Vattentillgången i en sand- eller grusavlagring kan då, under vissa förutsättningar, förstärkas genom konstgjord grundvattenbildning. Den 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:

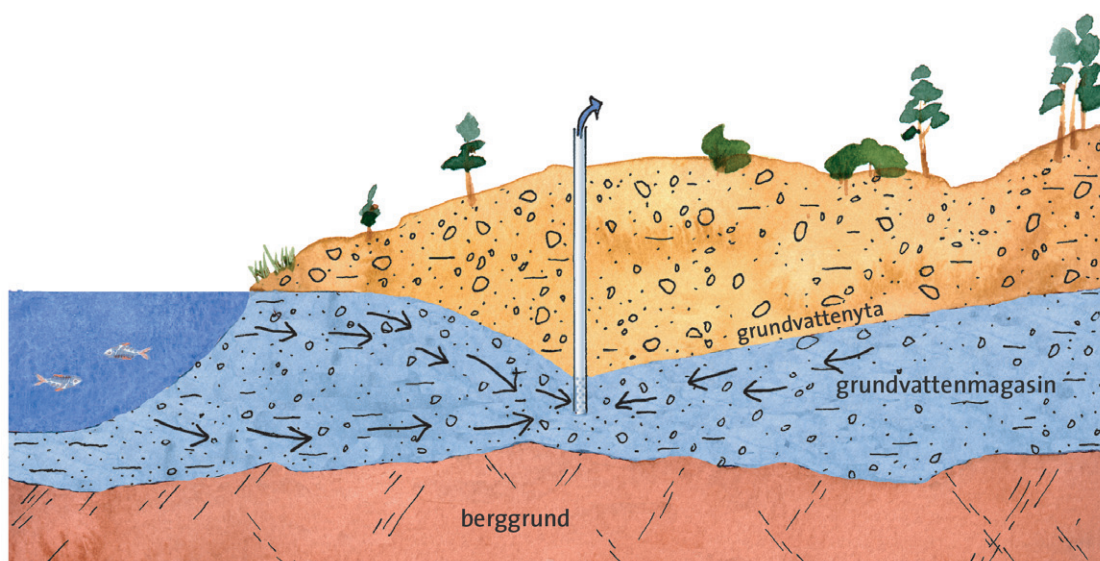


Fig. 19. Principbild över inducerad infiltration. Genom pumpning i brunnen sänks grundvattenytan under sjöns nivå. Därigenom kan sjövattnet infiltrera genom sjöbotten. Vid passagen genom sand- och gruslagren renas sjövattnet.

- 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 m mäktig.
- 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 entydigt 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 magasinering 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 en vattenkaskad. En sådan anläggning kan se ut som figur 20 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.

ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV GRUNDVATTENTILLGÅNGAR I ENKÖPINGS KOMMUN

Grundvatten i jordlagren

Inom Enköpings kommun finns de största grundvattentillgångarna i den stora isälvsavlagringen benämnd Enköpingsåsen på vilken centralorten Enköping är belägen. Väster om Enköpingsåsen finns inga andra åsar inom kommunen. I den nordöstra delen av kommunen finns, med avbrott, två mindre åsstråk. Det ena har sin sträckning från Tibble i Gällbäckens dalgång och finns förmodligen under Skattmansöans dalgång varifrån det fortsätter vidare, med avbrott, till kommungränsen öster om Mörtsjön. Det andra

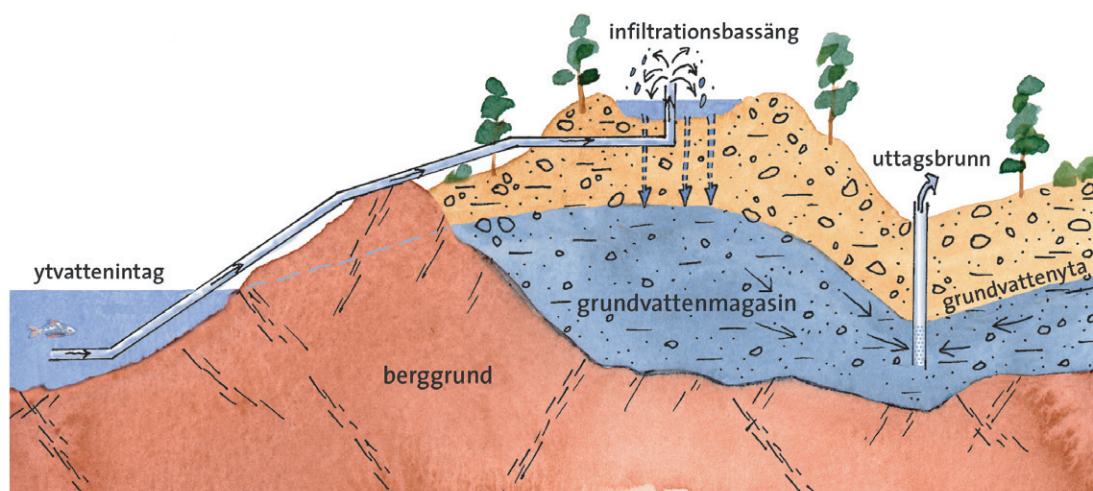


Fig. 20. Principbild över konstgjord grundvattenbildning. Sjövattnet leds till infiltrationsbassänger i en sand- och grusavlagring där den naturliga grundvattenbildningen inte är tillräcklig. Vid passage genom den omättade zonen renas vattnet.

uppträder väster om Nysätra och löper med avbrott till söder om Ryssjön. I övrigt finns endast spridda rester av isälvsmaterial, bl.a. mellan Torstuna och Österunda, väster om Alsta sjö, norr om Härkeberga, mellan Litslena och Ekolsund samt i en triangel mellan Hacksta, Veckholm och Torsviviken.

Enköpingsåsen

Enköpingsåsen, som är en av de stora mellansvenska isälvsavlagringarna, sträcker sig från söder om Södertälje i Södermanland till söder om Bollnäs i Hälsingland. Åsen har ställvis lokala namn. Inom kommunen är dessa från söder till norr: Gröngarnsåsen, Kyrkåsen, Akademiåsen, Åsåsen, Vånsjöåsen, Stenstaåsen och Flostaåsen. Nedan ges en sammanfattande beskrivning av grundvattenmagasinen i Enköpingsåsen. Klassificeringen av magasinerna redovisas i kartan över grundvattenförekomster i Enköpings kommun. Redovisningen i kartan av nivålinjer och strömningsriktningar för grundvattnet grundas främst på mätningar i och avvägningar av brunnar och observationsrör. Avsaknad av sådana i strategiska lägen har gjort att sättning av nya observationsrör varit nödvändig i kartläggningen. För att bl.a. fastställa grundvattendelare och grundvattendelarzoner har mätningarna kompletterats med geofysiska undersökningar och borrhningar.

Svinnegarnsviken

I Svinnegarnsviken i södra delen av Enköpings kommun uppträder Enköpingsåsen som öarna Tjockskär, Gröneborg, Långgrund, Mellholmen och Tallholmen samt, i kontakt med viken, isälvsavlagringarna Kolarudd, Fagerudd och Bredsand. Grundvattenundersökningar här av AIB under 1970-talet visar att vattnet är sött till omkring 10 m djup för att på Kolarudd visa en salthalt av 4 100 mg/l klorid 30 meter under havsytan samt på Tallholmen 4 300 mg/l klorid 27,5 meter under havsytan.

I kartläggningen har klassificeringen av grundvattentillgången på öarna och på Kolarudd och Fagerudd grundats på den naturliga grundvattenbildningen samt med hänsyn till en viss grad av inducering från Svinnegarnsviken. Vid för kraftig inducering från viken riskeras en försämring av vattenkvaliteten, främst genom ökning av kloridhalten. Från Kolarudd–Fagerudd strömmar grundvattnet sannolikt solfjäderformat ut mot Svinnegarnsviken. Till grund för bedömningarna ligger vidare SGUs undersökningar med georadar samt sonderingsborrningar och rödrivningar.

Bredsand–Kyrkåsen

Sträckan från Bredsand till Kyrkåsen bedöms som ett sammanhängande grundvattenmagasin genom att bl.a. höga berglägen i Kyrkåsen sannolikt ger upphov till en grundvattendelarzon där. Den beräknade grundvattenbildningen mellan Bredsand och Kyrkåsen uppgår till ett tiotal liter per sekund (l/s). Undersökningar för kommunens grundvattentäkt i Munksundet samt erfarenheterna från driften av denna pekar dock på möjliga uttag av 75 l/s innan tekniska problem uppstår. Vattendomen medger hela 139 l/s. Under de senaste åren har uttagen varit 45–50 l/s och tidigare 50–55 l/s. Orsaken till att så stora vattenmängder kan tas ut i grundvattenmagasinet är sannolikt att inducering uppstår från Svinnegarnsviken och från delar av Enköpingsån i samband med uttagen. Således har sträckan Bredsand–Kyrkåsen i kartläggningen klassats som en grundvattentillgång av storleksordningen 25–125 l/s. Som framgår av grundvattenkartan är större delen av Kyrkåsen torr på grund av höga berglägen, dock bildas där grundvatten till anslutande magasin. Sett ur sårbarhetssynpunkt är således även områden som saknar grundvattenmagasin men där grundvatten bildas viktiga att skydda från föroreningar.

Direkt söder om Enköping kallas åsen Gröngarnsåsen och i dess södra del läcker grundvatten ut på bred front i vattendragen. I grundvattenkartan markeras detta med en källa som ger 3 till 10 l/s.

Kyrkåsen–Femstugan

Vid Femstugan, omkring fyra kilometer norr om Kyrkåsen, uppvisar åsen en extra stor bredd. Anledningen till detta är höga berglägen som ger upphov till en grundvattendelarzon liknande den i Kyrkåsen,

vilket gör att åspartiet också vid Femstugan saknar grundvattenmagasin. Partiet bidrar dock till grundvattenbildningen i anslutande magasin. Undersökningarna och de komplicerade grundvattenförhållanden som för övrigt råder mellan Kyrkåsen och Femstugan beskrivs i avsnittet Redovisning av vissa områden (Munksundet–Kyrkåsen–Galgvreten–Akademiåsen–Femstugan).

Femstugan–Äspuss

Ytterligare en grundvattendelarzon med ett stort torrt parti förekommer i Äsåsen (lokalt namn på Enköpingsåsen vid Äspuss). Mellan Femstugan och Äspuss har vid kartläggningen utförts såväl seismiska mätningar som georadarmätningar och borrhningar. Grundvattentillgången mellan Femstugan och Äsåsen är 5–25 l/s. Även undersökningarna mellan Kyrkkullen och Äsåsen beskrivs i avsnittet Redovisning av vissa områden (Kyrkkullen–Äspuss).

Äsåsen–Sävasta

Utifrån de grundvattennivåer som uppmätts och de geofysiska undersökningar (georadarmätningar och seismiska mätningar) som utförts i och i anslutning till Enköpingsåsen framkommer en rörlig grundvattendelare vid Sävesta, 13 kilometer nordväst om Äsåsen. Detta stora grundvattenmagasin (Äsåsen–Sävesta) inrymmer de kommunala grundvattentäkterna Vånsjöbro, som är kommunens näst största vattentäkt efter Munksundet, samt Nygård, vilken försörjer tätorterna Fjärdhundra och Torstuna. I Vånsjöbro, som utgör lågpunkten i grundvattenmagasinet, har under de senaste åren uttagits 35 l/s och vattendomen tillåter 50 l/s. Vid Nygård är uttaget några liter per sekund. Vattentäkten i Nygård är belägen ca 1,5 km söder om grundvattendelaren i Sävesta. Grundvattentillgången mellan Äsåsen och Sävesta bedöms vara av storleksordningen 25–125 l/s.

Grundvattenförhållandena i utströmningsområdet i anslutning till Gällbäcken och Örsundaån vid Vånsjöbro har också undersökts vid kartläggningen med hjälp av geofysiska mätningar och borrhningar främst i avsikt att lokalisera åsens utbredning och mäktigheter under lerområdet (dalgången). Undersökningarna och resultaten redovisas i avsnittet Redovisning av vissa områden (Vånsjöbro).

För att undersöka om de höga berglägena i och i anslutning till åsen mellan Sävesta och vattentäkten vid Nygård ger upphov till en grundvattendelare utfördes tre georadarmätningar. Mätningarna indikerade dock ingen grundvattendelare. Utifrån uppmätta grundvattennivåer samt med ledning av dräneringsförhållandena bedöms att hydraulisk förbindelse existerar mellan Sävesta och Nygård.

I avsikt att kartlägga Enköpingsåsens utbredning under leran vidare utfördes seismiska mätningar väster om Stenstaåsen (lokalt namn på Enköpingsåsen), vid Valsbrunna samt mellan Vånsjöbro och L. Härnevi. Mätningarna medförde att åsens grundvattenmagasin under leran kunde bestämmas både till utbredning och mäktighet på platserna.

Sävesta–Heby

Det till utbredningen största grundvattenmagasinet (närmare 20 km) förekommer mellan Sävesta och 2,5 kilometer norr om Heby i Heby kommun. I kartan över grundvattenförekomster i Heby kommun (Müllern 2008) har förekomsten undersökts mellan Flosta källa och grundvattendelaren norr om Heby. Lågpunkten som utgör det centrala utströmningsområdet är beläget i Revelstasjön som dräneras söderut av Örsundaån. Till Revelstasjön strömmar grundvattnet dels från Sävesta, dels från Heby.

Flödet i Flosta källa har i samband med kartläggningarna bedömts till ca 60 l/s. I källor mellan Flosta och Vilstena, där Enköpingsåsen lokalt benämns Flostaåsen, uppträder något tiotal meter nedströms dammluckan vid Vilstena, på en ö i Örsundaån, en källa som uppskattningsvis ger några liter per sekund. Längre nedströms dammluckan har ett par större källor påträffats i kartläggningarna där det rinner ut 3–5 l/s i vardera.

Utöver dessa mer koncentrerade källflöden sipprar det ut grundvatten på bred front på många ställen längs ån ner till Flosta. Det samlade flödet av allt detta är svårt att bestämma, men kan bedömas röra sig om 20 l/s, högst 30 l/s. I grundvattenmagasinet söder om Flosta finns ytterligare två kända källor, dels en

vid Altuna (utbyggd med brunn), dels en vid Eneby. Var och en av källorna ger enligt SGUs inventering 0,5–3 l/s.

Det totala källflödet från norr om Heby till Sävasta kan visserligen antas variera ganska mycket med tiden men ett genomsnittligt flöde kan bedömas vara 85–95 l/s. Den totala grundvattentillgången, inklusive det som tas ut i de kommunala vattentäkterna i Heby (ca 20 l/s), är av storleksordningen 105–115 l/s.

Övriga avlagringar

Övriga åspartier och svallavlagringarna har inga eller mycket små grundvattenmagasin, dvs. avlagringarna är helt torra eller grundvattentillgången är mindre än en liter per sekund. Undantag utgör tillgången i kontakt med Örsundaåns dalgång omkring två kilometer väster om Nysätra, där grundvattentillgången bedöms vara 1–5 l/s. En grävd, cirka fyra meter djup brunn i avlagringens södra del ger enligt SGUs brunnssarkiv ca 4 000 liter per timme.

Skyddsområden

Kommunen har ett sammanhängande skyddsområde i Enköpingsåsen mellan Gröngarnsåsen och Sävasta för de tre kommunala grundvattentäkterna Munksundet, Vånsjöbro och Nygård. Utifrån den nu genomförda kartläggningen av grundvattnet synes, med reservation för att kompletterande undersökningar mellan Kyrkåsen och Akademiåsen kan behöva göras, att skyddsområdet mellan Femstugan och Åsåsen, alternativt mellan Kyrkåsen och Åsåsen skulle kunna slopas. Vidare borde den yttre skyddszonen ses över beträffande Kolarudd för vattentakten vid Fagerudd samt eventuellt också skyddszonen över Gröngarnsåsen. Övriga kommunala grundvattentäkter inom kommunen saknar skyddsområden.

Grundvatten i berggrunden

Berggrunden inom Enköpings kommun utgörs av kristallint urberg. Bergarterna är gnejser av varierande slag. Gnejsomvandlade graniter, s.k. urgraniter, dominerar. Dessa förekommer i nästan alla delar av kommunen.

Ådergnejsomvandlade bergarter av sedimentärt ursprung, sedimentgnejser, har också stor utbredning främst i kommunens östra och mellersta delar. Bland annat förekommer bergarterna i ett brett band norr om Enköping till Hjälstaviken samt från Ekolsundsviken över Grillby till sydväst om Enköping.

Yngre granit har sin största utbredning i kommunens sydostliga del. Mindre och spridda förekomster finns också i den sydvästliga delen samt nordost om Enköping. Grönsten såsom gabbro och metabasit förekommer spritt, bl.a. väster, nordost och sydost om Enköping, sydost om Örsundsbro samt i nordligaste delen av kommunen på gränsen mot Uppsala kommun. Omvandlade vulkaniska bergarter förekommer bl.a. i ett stråk sydost om Örsundsbro.

För närmare information om berggrunden hänvisas till berggrundskartorna SGU Af 110, Af 118, K 84 samt K 85 i skala 1:50 000.

Strykningsriktningen av förskiffringsplan och bergartsgränser i berggrunden har starkt varierande riktningar, framför allt i sedimentgnejserna men även i gnejsgraniterna. Däremot är en nordvästlig till sydöstlig riktning dominerande i de omvandlade vulkaniska bergarterna. I grönstenarna i kommunen varierar strykningsriktningarna mellan främst ost–västliga och nordväst–sydöstliga.

Förskiffringsplanens stupningsvinkel har ganska stor betydelse för uttagsmöjligheterna vid brunnborrning i berg. Detta beror på att det i berggrunden uppstår avlossningar – sprickbildning som ofta är vattenförande – längs många förskiffringsplan därför att bergets hållfasthet är sämre i dessa. Bergarten är lätt klyvbar längs förskiffringsplan, men inte lika lätt i andra riktningar.

Då de flesta brunnar borras vertikalt är chanserna små att man ska träffa vattenförande avlossnings-sprickor i områden med vertikalt eller brant stupande förskiffringsplan. I områden med flackt stupande

förskiffring 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 förskiffringsplanen. Detta kan vara viktigt att ta hänsyn till i områden med små grundvattentillgångar, t.ex. där tillgängligt markområde inte inrymmer några egentliga sprickzoner – dvs. de flesta villa- och sommarstugetomter.

Förskiffringsplanens stupningsvinkel, lutningen från horisontalplanet, varierar från område till område. Inom Enköpings kommun är stupningen ställvis mycket brant, på vissa håll omkring 90 grader. I andra områden är stupningen emellertid flackare – 50 grader eller mindre. Detta innebär att brunnborrning inom Enköpings kommun i regel bör utföras utan lutning till 30 graders lutning från vertikalplanet (fig. 21). Utöver den sparsamma information som finns i kartan och databaserna över grundvattentillgångarna i detta sammanhang, kan mer information inhämtas från de nämnda berggrundskartorna.

Huvudkartans bild över variationerna i möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden är framtagen med data för de brunnar som fanns i SGUs brunnarsarkiv (fig. 22) och med hjälp av statistiska bearbetningar med variogramanalys och Kriging. Dessa metoder beskrivs i avsnittet Metodbeskrivningar.

Vad beträffar möjligheterna att få vatten vid brunnborrning i berg kan man rent allmänt säga att bergarterna i kommunen generellt ger vattenmängder som är vanliga i svenskt urberg. Den genomsnittliga kapaciteten (mediankapaciteten) för bergborrade brunnar i kommunen är 700 l/tim och genomsnittsbrunnen är 75 m djup med jorddjupet 4,5 meter.

Vill man söka mer vatten genom borrning i berg än dessa genomsnittsvärden är det i allmänhet nödvändigt att borra på en större, vattenförande sprickzon. De större sprickzonernas lägen framgår av kartan över grundvattenförekomsterna och visas översiktligt i figur 23. Sprickzonernas mer exakta lägen i naturen bör innan borrning lokaliseras med särskilda geofysiska metoder. För att lokalisera sprickzoner i berggrunden användes SGUs flyggeofysiska data tillsammans med Lantmäteriets höjddata. Vattenfyllda sprickzoner har betydligt bättre elektrisk ledningsförmåga än sprickfattigt berg varför sprickzoner lätt kan identifieras på den flygelektromagnetiska VLF-kartan. Data insamlas på ca 60 meters flyghöjd, med ett linjeavstånd på 200 meter och med ett punktavstånd på ca 17 meter. VLF-data täcker hela Enköpings kommun. Detaljerade geofysiska markmätningar, som VLF eller refraktionsseismik, bör utföras för att få ytterligare information om sprickzonernas exakta lägen innan en eventuell borrning.

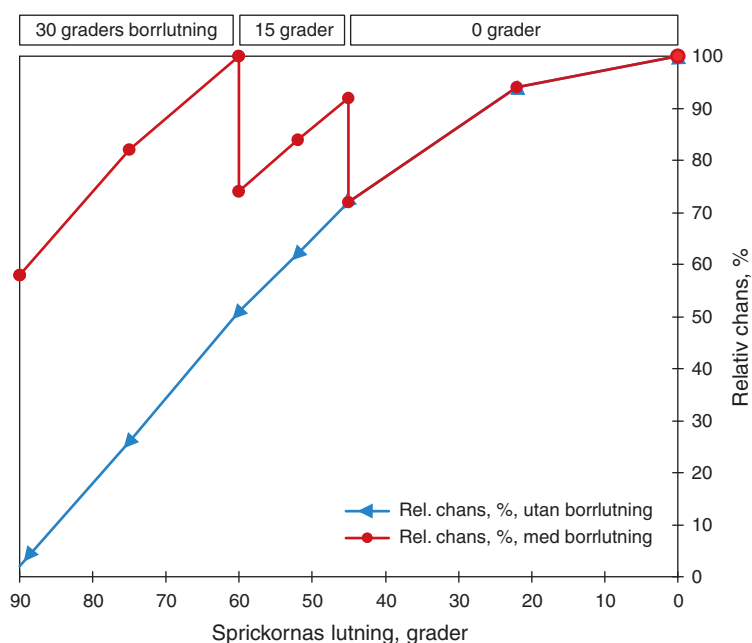


Fig. 21. Diagrammet visar sannolikheten att påträffa eventuella vattenförande sprickor vid brunnborrning i berg. Lutningen på sprickorna redovisas från 0 grader (horisontella sprickor) till 90 grader (vertikala sprickor). Borråslutningen redovisas vid 0, 15 respektive 30 graders lutning från vertikalplanet på en bestämd borråslängd. Även om det är teoretiskt möjligt att öka borråslutningen innebär det praktiska svårigheter för brunnborraren vilket kan fördyra borrningen avsevärt. Bilden visar tydligt att i områden med 40–50 graders lutning eller mer på sprickorna ökar sannolikheten betydligt om borrålet gradas (lutas) vilket kan vara av stor betydelse t.ex. i saltvattenriskområden där ökat borrhål innebär större risk att påträffa saltvattenförande sprickor.

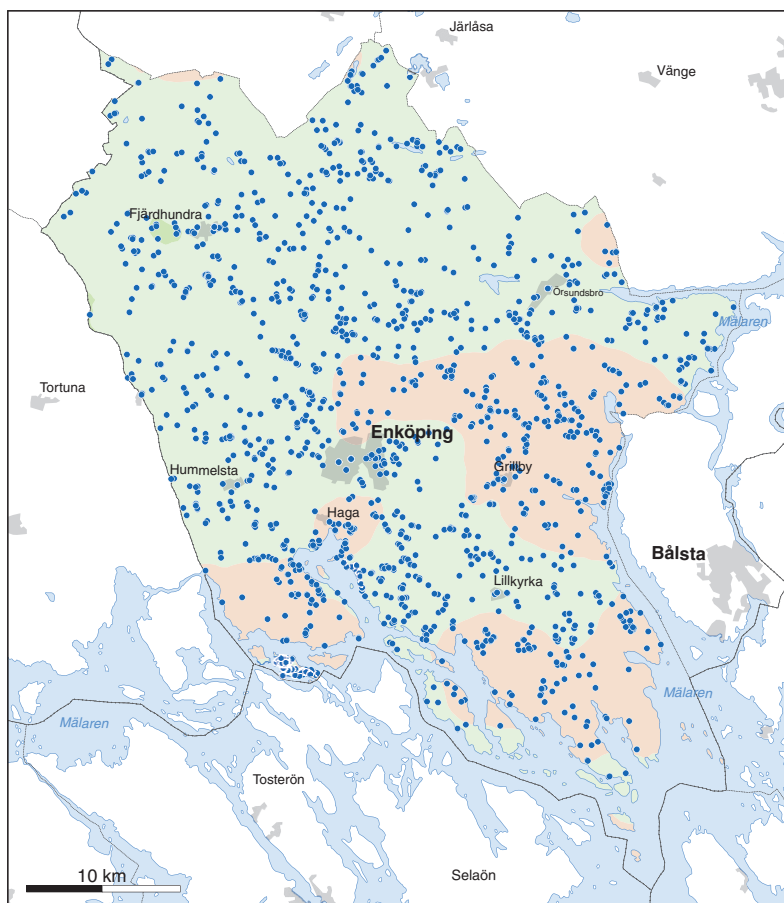


Fig. 22. Sammanlagt är 1630 brunnar i Enköpings kommun registrerade i SGUs brunnarsarkiv. Kapaciteten i de bergborrade brunnarna har utgjort underlag för kartbilden över uttagsmöjligheterna i berggrunden.

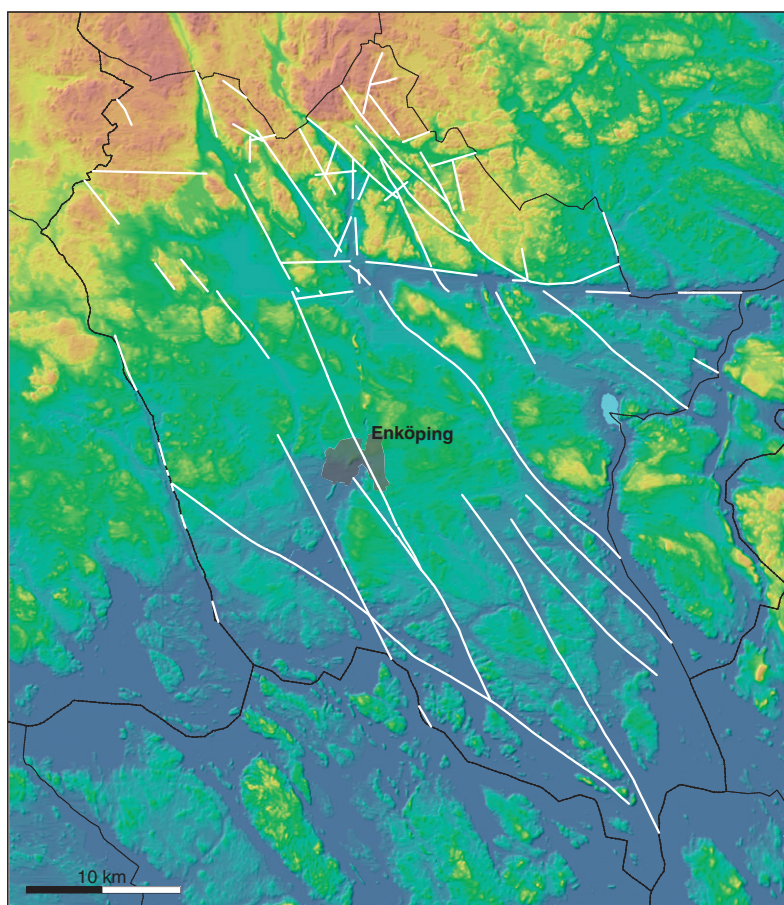


Fig 23. Bilden återger de sprickzoner som redovisas i kartan över grundvattenförekomster i Enköpings kommun. Sprickzonerna, markerade i vitt och kraftigt överdrivna, är framtagna med Lantmäteriets höjddata samt SGUs VLF-data som underlag. Heltäckande mörkblå färg är ytvatten och anslutande lågterräng. Gradvis högre terräng visas i skala grön-gul-brun-röd färgton.

REDOVISNING AV VISSA OMRÅDEN

Munksundet–Kyrkåsen–Galgvreten–Akademiåsen–Femstugan

Området Munksundet–Kyrkåsen–Galgvreten–Akademiåsen–Femstugan utgör ur hydrogeologisk synpunkt en av de mest svårtolkade delarna av Enköpingsåsen. Stora delar av Enköpingsåsen är i detta avsnitt torra på grund av höga berglägen, men isolerade grundvattenmagasin förekommer. Det stora grundvattenmagasinet (25–125 l/s) har sin sträckning söder och öster om Kyrkåsen och här ingår den kommunala vattentäkten vid Munksundet. Figur 24 visar vattentäkten med delar av inre och yttre skyddszon. Med stöd av kartläggningen finns anledning att se över skyddsområdesgränserna, vilket bör medföra vissa ytterligare undersökningar mellan Kyrkåsen och E18. Figur 25 visar teckenförklaringen till samtliga kartutsnitt i beskrivningen.

Kyrkåsen–E18

Såväl georadarundersökningar som seismiska undersökningar och borrhningar visar att Kyrkåsen till största delen är torr, dvs. åspartiet saknar grundvattenmagasin, liksom åsdelen på vilken Enköpings gar-

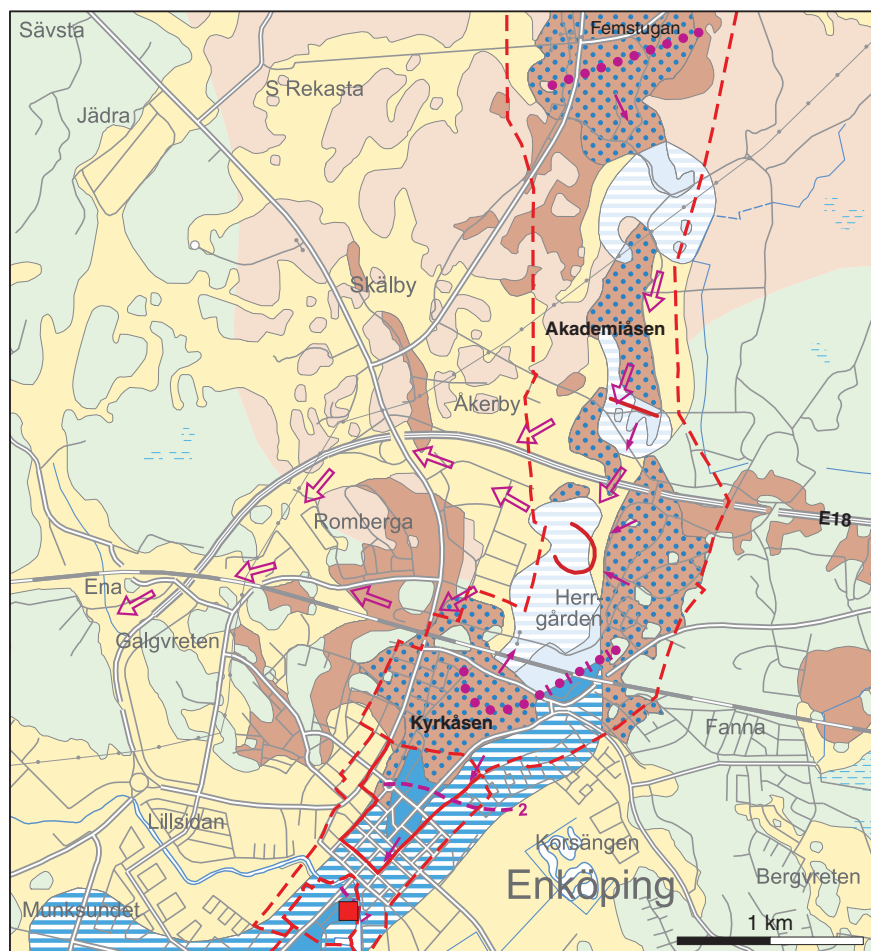


Fig. 24. Översikt som visar de hydrogeologiska förhållandena i Enköpingsåsen mellan kommunens vattentäkt i Munksundet och Femstugan i norr. Den inre skyddszonen för vattentäkterna har sin gräns i norr till södra halvan av Kyrkåsen, varifrån den yttre skyddszonen råder vidare norrut omfattande även vattentäkterna Vånsjöbro och Nygård (utanför bilden). De lila pilarna anger grundvattnets huvudströmning och de ofyllda pilarna visar de möjliga strömningarna av grundvattnet från lågpunkten (utströmningsområdet) mellan Kyrkåsen och Akademiåsen.

nison är belägen. I Kyrkåsens sydligaste del sjunker bergläget, och härifrån och söderut samt i anslutning till åsens östra del är grundvattenmagasinet dolt under lera (mörkblå randning). Grundvattentillgången här klassas till 25–125 l/s och bedöms ha sin norra begränsning vid järnvägen mellan centralorten och Garnisonen. En grundvattendelare bedöms föreligga här (fig. 24 och 26). Denna är dock svårbedömd och osäker. Grundvattenmagasinets södra begränsning finns vid Bredsand i anslutning till Svinnegarnsviken (utanför bild).

Den naturliga grundvattenbildningen i åspartiet mellan Svinnegarnsviken och Kyrkåsen, en sträcka på sex kilometer, bedöms vara drygt 10 l/s. Uttagen i kommunens vattentäkt vid Munksundet under de senaste åren har varit mellan 45 och 50 l/s. Tidigare uttogs 50–55 l/s och kommunens vattendom tillåter 139 l/s. Uttagen är möjliga genom att inducerad infiltration sannolikt uppkommer från Enköpingsån och Svinnegarnsviken vid avsänkning av grundvattenytan i vattentäkten vid Munksundet.

För att klarlägga förhållandena i Kyrkåsen utfördes fyra georadarmätningar och en seismisk mätning. Vidare etablerades två observationsrör, R 0102 och R 0103, samt utfördes en sonderingsborrning, S 0102 (fig. 26). Inte i någon av georadarmätningarna kunde bergyta eller grundvattenyta registreras. Sannolikt saknas grundvatten i jordlagren här p.g.a. höga berglägen. Att bergytan inte heller kan urskiljas i mätningarna beror sannolikt på jordlagrens sammansättning eller markförhållandena i övrigt. Vad gäller observationsrör R 0103, har detta stoppat i torra jordlager mot block eller berg på ca 8 m ö.h. Den 31,5 m djupa sonderingen S 0102 avslutades på 1,9 m ö.h. och det var möjligt att borra vidare. Bedömningen är att borrningen borde ha nått grundvattennivån. Eftersom inget rör etablerades i punkten har ingen grundvattennivå kunnat noteras. Sonderingen kan ha utförts i en lokal och till ytan begränsad djupficka som saknar vatten.

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

	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 25–125 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 5–25 l/s
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 1–5 l/s

ORGANISKA JORDARTER

	Mosse, kärr, gytta, utgör ofta utströmningsområde för grundvatten
---	---

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I BERGGRUNDEN

	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 2 000–6 000 l/h
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen 600–2000 l/h
	Uttagsmöjligheter i storleksordningen <600 l/h

ÖVRIGA BETECKNINGAR

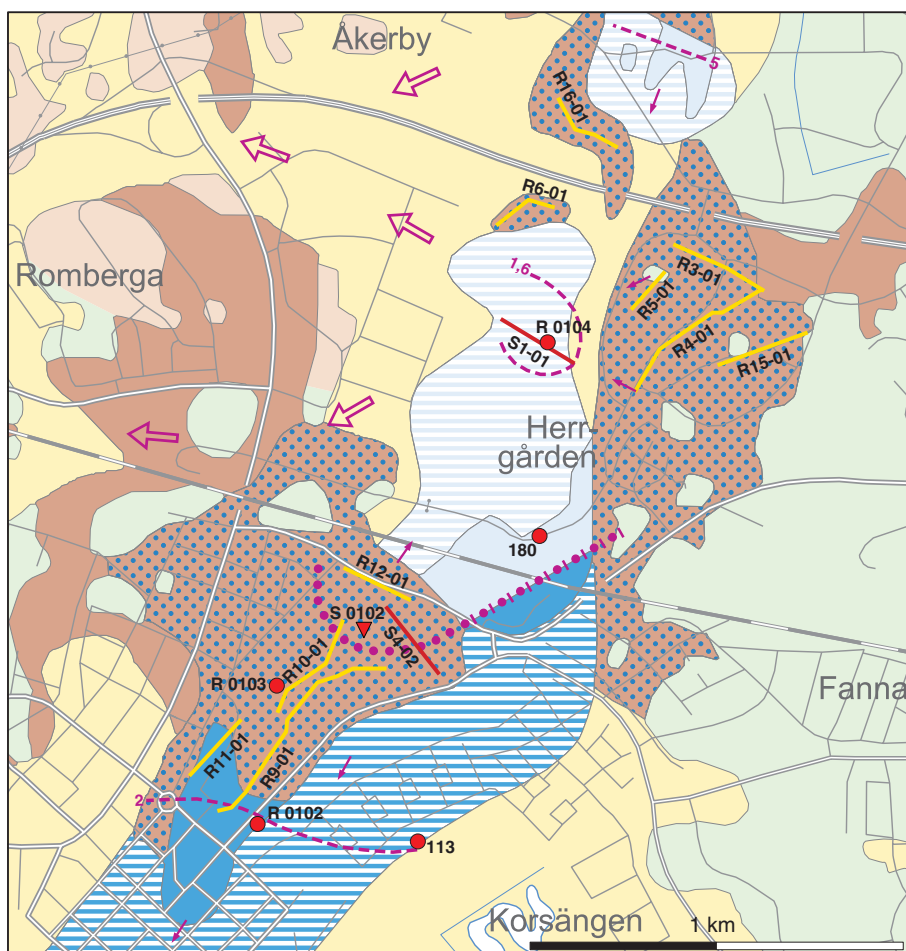
	Fast grundvattendelare i jordlager
	Rörlig grundvattendelare i jordlager
	Grundvattnets huvudrörelseriktning i jordlager
	Tolkad rörelseriktning för grundvattnet
	Grundvattnets trycknivå i jordlagren, m ö.h., sommaren 2002
	Seismisk profil
	Georadarprofil
	Sonderingsborrning
	Brunn eller observationsrör med uppmätt grundvattennivå, avvägd
	Kommunal vattentäkt
	Gräns för inre zon
	Gräns för yttre zon

Fig. 25. Teckenförklaring till samtliga kartutsnitt i beskrivningen.

Sonderingen ställd mot den seismiska mätningen, S4-02, visar att bergytan är lägst i sydost och ligger där på ca 5 m ö.h. Ytan stiger och undulerar något åt nordväst och når i profilen som högst ca 13 m ö.h. Den seismiska hastigheten i jordlagren är genomgående 400 m/s, vilket betyder att dessa är torra, dvs. det finns inget grundvattenmagasin i denna del i åsen (fig. 27).

Fyra georadarmätningar i avlagringen där Garnisonen är belägen har, tillsammans med förekomsten av berghällar samt E18s skärning med åsen, visat att även detta parti av Enköpingsåsen, liksom Kyrkåsen, är torrt (fig. 24 och 26). Georadarprofilerna R4-01 och R15-01 har inte kunnat tolkas. Det kan till exempel bero på jordlagrens sammansättning. Däremot framgår i tvärprofilen R3-01 en svag lutning av bergytan från öster (ca 33 m ö.h.) och mot väster (ca 26 m ö.h.). Den endast 150 m långa profilen R5-01 längst i väster uppvisar likt föregående profil en undulerande bergyta med svag tendens till lutning från söder mot norr. I figurerna 28 och 29 visas profilerna R3-01 respektive R5-01.

Beträffande grundvattennivåerna i slutmätningen (maj 2002) noterades i observationsrör R 0102 nivå 1,9 m ö.h. I röret betecknat 113 (EEK0381113 i databasen), beläget ca 400 m öster om R 0102, är nivån 2,1 m ö.h. I ett tredje observationsrör, R 0104, i utströmningsområdet (dalgången) är nivån 1,6 m ö.h. (fig. 26).



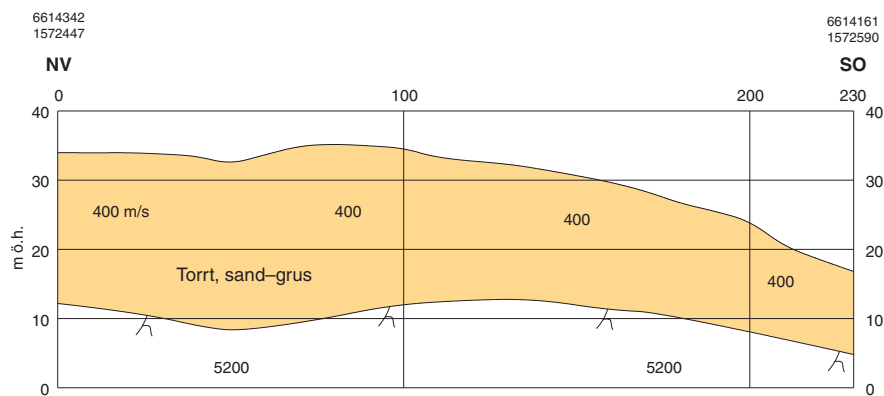


Fig. 27. Den seismiska profilen S4-02, tvärs över Kyrkåsens norra del, visar på höga berglägen (5–13 m ö.h.) som gör att åspartiet saknar grundvatten. Grundvattenytan öster om åsen är belägen på ca 2 m ö.h.

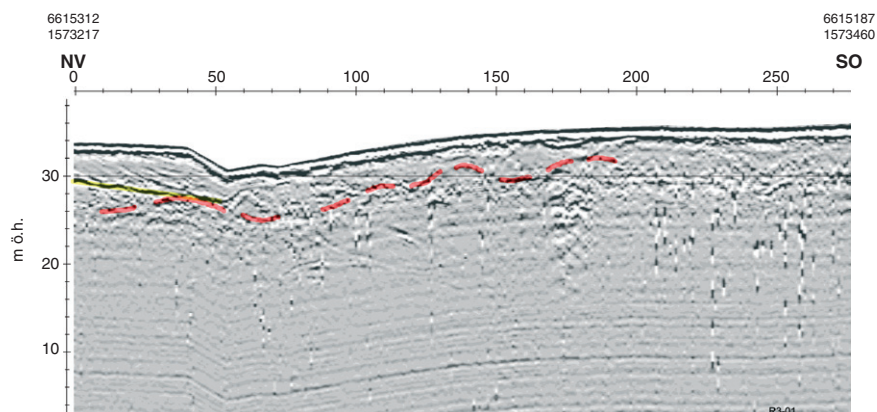


Fig. 28. I georadarprofil R3-01 som är 270 m lång har ett sluttande lerlager registrerats i nordväst. Mätningen visar att bergytan ligger högt, som högst på ca 33 m ö.h. och som lägst vid ca 24 m ö.h. På grund av det höga bergläget är jordlagren torra.

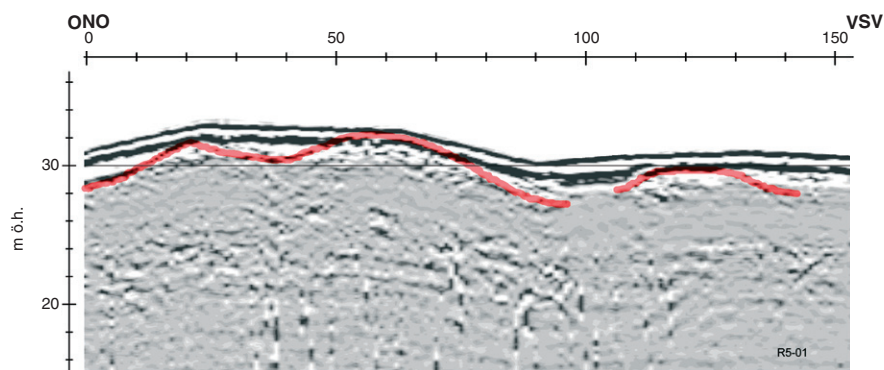


Fig. 29. Georadarprofilen R5-01 visar på ungefär lika höga berglägen som i profil R3-01. Från profilen kan urskiljas att berget går i dagen på sträckan 50–70 m.

Observationsröret 180 (SEK0381180 i databasen) är beläget i en övre grundvattennivå, dvs. inte i det egentliga grundvattenmagasinet. Nivån vid nämnda tidpunkt i rör 180 är hela 20,73 m ö.h.

Utifrån dessa grundvattennivåer, med hänsyn taget till att nivån i rör 180 inte är representativ, tillsammans med de geofysiska mätningarna och de geologiska förhållandena som underlag, har en grundvattendelare ansetts föreligga i Kyrkåsen och vidare i avlagringen mot Stenvreten.

Grundvatten som bildas mellan den nyssnämnda grundvattendelaren och den vid Femstugan (fig. 24 samt avsnittet E18–Femstugan) måste ha ett avlopp (dränering) från utströmningsområdet (lerområdet) väster om Garnisonen. För att närmare undersöka detta har därför en seismisk profil, S1-01, utförts (fig. 30).

Eftersom de mest troliga dräneringsvägarna är västerut från utströmningsområdet har följande två vägar setts som de mest sannolika: 1. En i söder strax norr om järnvägen och mellan denna och Romberga till ån i väster. 2. En västerut och norr om Romberga samt vidare mot sydväst till ån i väster, se ofyllda pilar i figurerna 24 och 26.

Kartläggningen kan inte göra anspråk på att ha klarlagt grundvattensituationen mellan Kyrkåsen och E18. För detta skulle ytterligare undersökningar behövas, bl.a. för att tydligare belägga grundvattendelaren mellan Kyrkåsen och Stenvreten samt undersökningar för att belägga dräneringsvägarna från utströmningsområdet väster om Garnisonen.

E18–Femstugan

På sträckan E18–Femstugan uppträder Enköpingsåsen med avbrott och som spridda avlagringar (fig. 31). Två av dessa är Kalkberget och Akademiåsen förutom den norr därom i vilken Femstugan är belägen. Söder om Kalkberget och E18 finns ytterligare ett litet parti av åsen i lerområdet västnordväst om Garnisonen. Avlagringarna bedöms till största delen vara torra p.g.a. höga berglägen och det har varit svårt att få en säker uppfattning om i vilken grad de olika partierna kommunicerar med varandra under lerområdena. Att döma av de geofysiska mätningar (georadar och seismik) samt borrhningar och registreringar av grundvattennivåer som genomförts är tolkningen att berg- eller moränytan, alternativt båda i kombi-

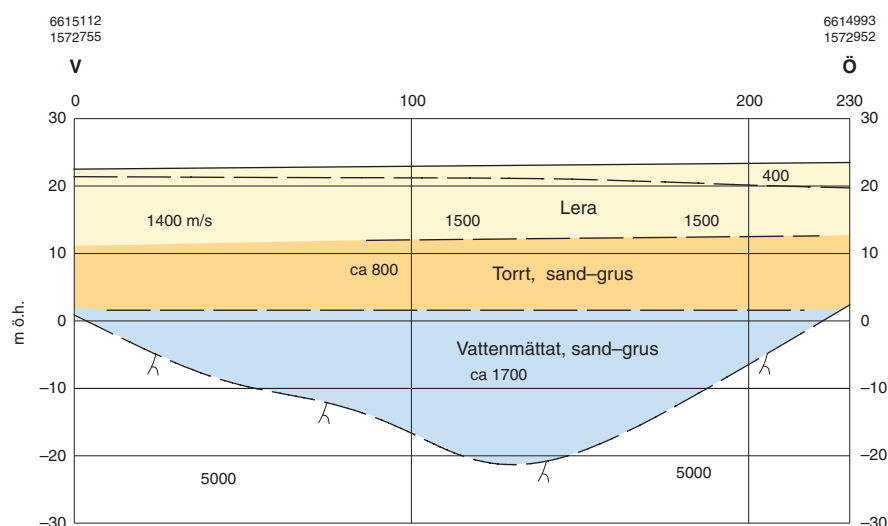


Fig. 30. Den seismiska profilen S1-01 visar att bergytan i dalgången är utformad som ett tråg med en nord-sydlig utsträckning. De djupaste delarna ligger ca 20 m under havets nivå och i profilens ändpunkter är bergnivån något över havsnivå. Grundvattenytan är belägen ca 1,5 m ö.h. och ca 20 m under markytan. Som svårförklarlig framstår den vattenmättade leran (seismisk hastighet 1400–1500 m/s) på torr sand och grus (seismisk hastighet 800 m/s).

nation, genom trösklar ger upphov till isolerade grundvattenmagasin mellan E18 och Femstugan. Även mellan magasinerna bedöms berglägena så höga att åspartierna där till största delen är torra. Dock utgör dessa viktiga ytor ur grundvattenbildnings- och sårbarhetssynpunkt (fig. 31). Vidare kan mindre, isolerade grundvattenmagasin förekomma även i de i övrigt torra åspartierna. Dessa har på grund av storleken dock inte varit möjliga att redovisa i kartan men kommenteras nedan i anslutning till undersökningarna.

Från E18 till norr om Femstugan har sju georadarmätningar samt tre seismiska mätningar utförts. Georadarmätningarna betecknas R16-01 osv. och de seismiska mätningarna S3-01 osv. (fig. 31). Inte i någon av georadarmätningarna kan grundvattenytan urskiljas. Detta har här främst tolkats som att större grundvattenmagasin saknas i avlagringen p.g.a. höga berglägen. Beträffande bergytan har en sådan kunnat tolkas i profil R8-01 (fig. 32). Orsaken till att detta inte varit möjligt i övriga georadarprofiler kan vara jordlagrens uppbyggnad eller markförhållandena.

Beträffande de tre seismiska mätningarna S2-01, S3-01 och S4-01 kan i S2-01 och S3-01 mindre, isolerade grundvattenmagasin beläggna på nivåerna ca 15 m ö.h. och 10 m ö.h. urskiljas (fig. 33–35).

Förutom de geofysiska mätningarna har mätning av grundvattennivåer gjorts i åtta brunnar, inklusive observationsrören R0105 och R0201. Dessutom har sex sonderingsborrningar, S0103, S0104, S0106,

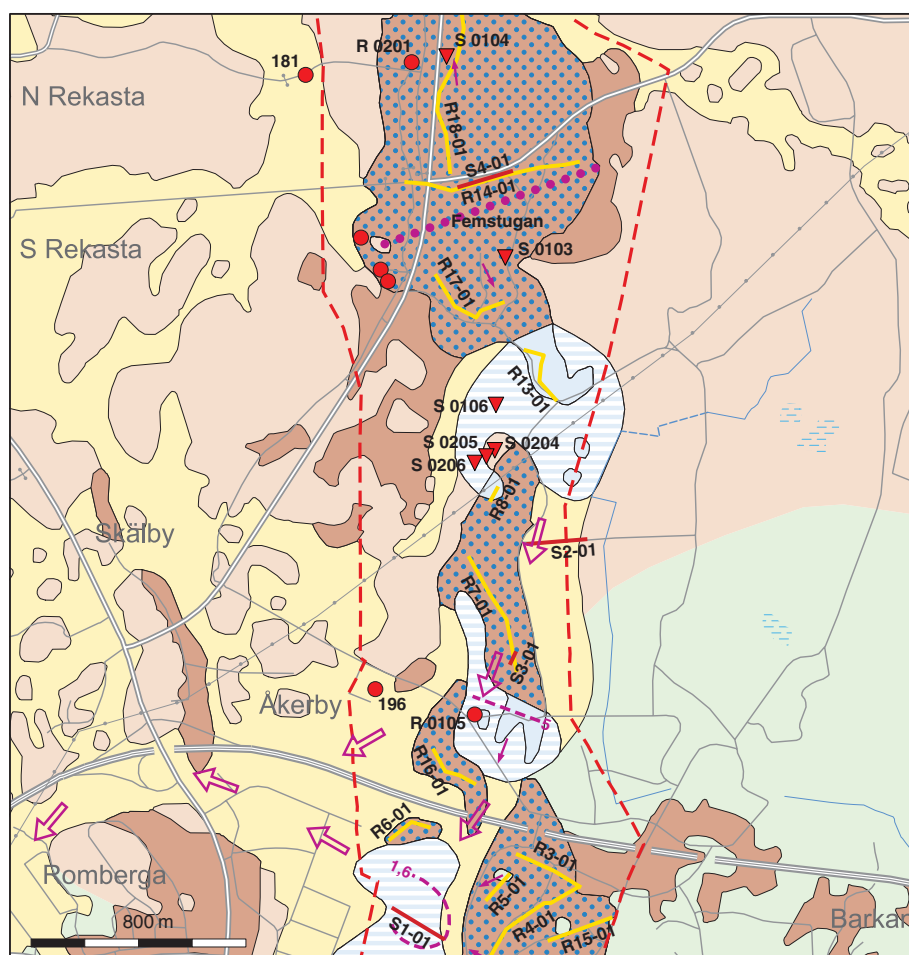


Fig. 31. Kartutsnittet visar att stora delar av avlagringarna i Enköpingsåsen mellan E18 och Femstugan saknar grundvatten men ändå är betydelsefulla ur grundvattenbildnings- och sårbarhetssynpunkt. Som isolerade grundvattenmagasin bedöms tillgångarna på vardera 1-5 l/s norr och söder om Akademiåsen samt tillgången väster om Garnisonen. I utsnittet framgår vidare grundvattendelaren (grundvattendelarzon) vid Femstugan (violetta punkter på linje) samt strömningsbilden (violetta pilar). Röda dubbelpilar anger den antagna strömningen. Georadar- och seismiska profiler visas som gula respektive röda linjer. Skyddsområde för de kommunala vattentäkterna visas med streckad röd linje.

S0204, S0205 och S0206 utförts. De senare har genomförts i avsikt att fastställa bergyta och eventuellt ge indikation på grundvattenyta samt för att bestämma jordlagren och dessas mäktigheter.

Brunnarna 181, 196 och de tre brunnarna belägna ca 400 m sydväst om Femstugan ligger utanför åsen. Uppmätta grundvattennivåer mellan ca 23 m ö.h. och 28 m ö.h. styrker detta. Däremot har

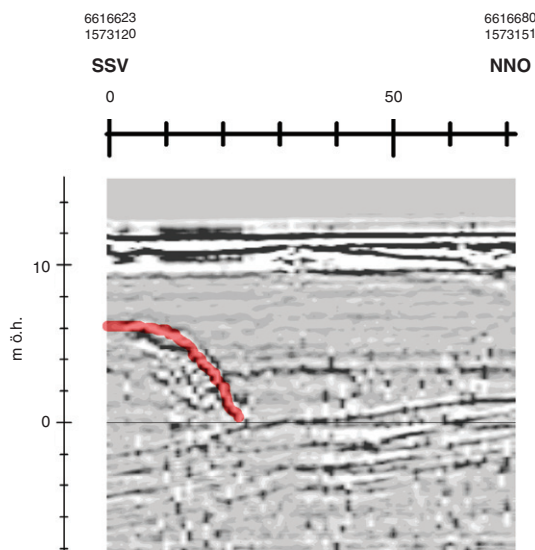


Fig. 32. I den endast 70 m långa georadarprofilen R8-01 har bergytan varit möjlig att bestämma längst i sydsydväst. Här är denna belägen sex meter under markytan men uppvisar en kraftig stupning mot nordnordost. Nivåangivelserna är inte exakta eftersom avvägning av profilen inte utförts.

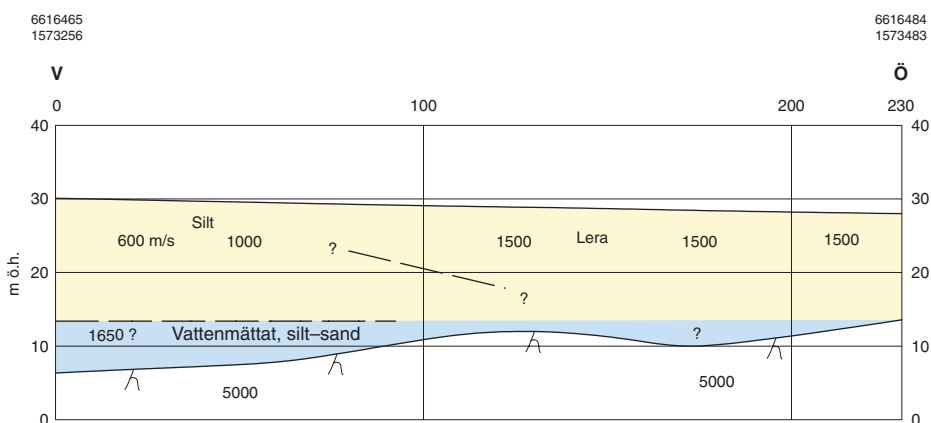


Fig. 33. S2-01, som är en seismisk mätning öster om Akademiåsen, återger en relativt flack bergyta och grundvattennivå på ca 14 m ö.h. i silt till sand (seismisk hastighet 1650 m/s). Ovanför denna återfinns ca 15 m torr silt i väster och en övergång till vattenmättad lera i öster (seismiska hastigheter 600 respektive 1500 m/s).

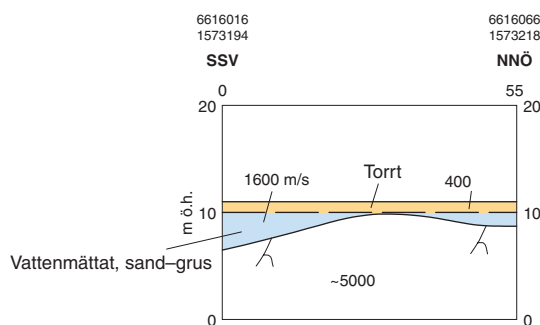


Fig. 34. Den seismiska profilen S3-01 är utförd i botten på en avslutad grustäkt i södra delen av Akademiåsen och visar på grundvattenytan på omkring 10 m ö.h. Profilen visar också att det höga bergläget i dess centrala del åtskiljer grundvattenytorna och eventuella grundvattenmagasin.

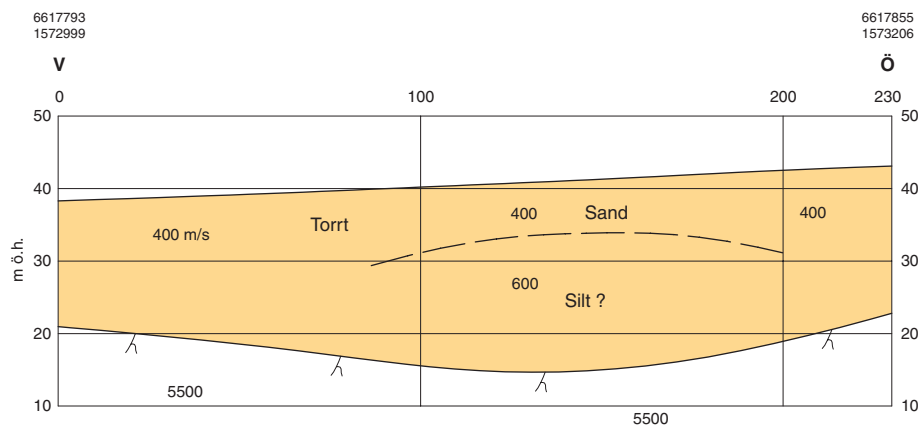


Fig. 35. Vid Femstugan i den centrala delen av sand- och grusavlagringen visar den seismiska profilen S4-01 att bildningen saknar grundvattenmagasin. Torra sand- och siltlager med 20–25 m mäktighet och seismiska hastigheter på 400–600 m/s förekommer. Bergytan är skålförmad och belägen mellan 5 m ö.h. och drygt 20 m ö.h. Förvånande är att ingen grundvattenyta förekommer i avlagringen ens omkring fem meter över havsnivån.

bedömningen gjorts, utifrån undersökningarna, att det finns isolerade grundvattenmagasin norr om Akademiåsen samt mellan denna och Kalkberget. Borrningarna mellan Femstugan och Akademiåsen samt de hydrauliska gradienterna mellan S2-01 och S3-01 på 8 promille samt gradienter på 17 promille mellan S3-01 och observationsrör R0105 styrker detta. I en sand- och grusavlagring är gradienterna vanligtvis en till fem promille.

Den hydrauliska gradienten mellan observationsrör R0105 (grundvattenyta 4,9 m ö.h.) och R0104 (grundvattenyta +1,6 m ö.h.) är däremot fyra promille, vilket ger belägg för att hydraulisk förbindelse kan förekomma mellan dessa, se även avsnittet Kyrkåsen–E18. Det som dock talar emot detta är de skärningar i berg som åstadkommit i samband med byggandet av E18 genom åsen. Vid undersökningsborrningarna har stopp mot berg noterats på ca 5–8 m ö.h. öster om skärningen mellan E18 och Kalkberget. I fyra sonderingsborrningar från nämnda skärning och 600 m västerut har sonden stoppat på mellan 8 m ö.h. och ca 15 m ö.h. I några av dessa fall har sonden stoppat i grovmo och sand och i ytterligare några har sonderingen avbrutits men kan drivas vidare, bl.a. efter passage av morän. Sonderingarna med stopp i grovmo och sand och där sonden kan drivas vidare stöder däremot, tillsammans med den hydrauliska gradienten på fyra promille mellan observationsrör R0105 och R0104, tolkningen att hydraulisk förbindelse åtminstone i vissa delar föreligger mellan Akademiåsen, Kalkberget och utströmningsområdet väster om Garnisonen.

Den motsägelsefulla situationen på sträckan har resulterat i att tre grundvattenmagasin av vardera storleksordningen 1–5 l/s bedöms föreligga mellan Femstugan och Garnisonen (fig. 31). Grundvattenmagasinen dräneras sannolikt på sådant sätt att vattnet rinner från det i norr till det i söder belägna magasinet via mindre, isolerade magasin som visas i profilerna R8-01, S2-01 och S3-01 (fig. 33 och 34). Troligen dräneras magasinen vidare västerut i de stråk som angetts i beskrivningen över området Munksundet–Kyrkåsen–Galgvreten–Akademiåsen–Femstugan, se även figur 31.

Förutom vad som konstaterats i det föregående har en grundvattenyta noterats på 19,2 m ö.h. i observationsrör R0201 ca 500 m norr om Femstugan, vilket också tolkas som att det finns ett på berget isolerat mindre grundvattenmagasin. Sonderingsborrningen drygt 100 m öster om observationsröret anger berg på 20,6 m ö.h. och borrningen S0103 ca 800 m sydsydost därom visar på berg på 32,0 m ö.h. Borrningarna och de geofysiska mätningarna visar att avlagringen här, liksom Akademiåsen och Kalkberget, till största delarna är torr och att en grundvattendelarzon bedöms föreligga ungefär vid Femstugan. Från zonen sker en strömning dels norrut, dels söderut av den nederbörd som faller. I figur 31

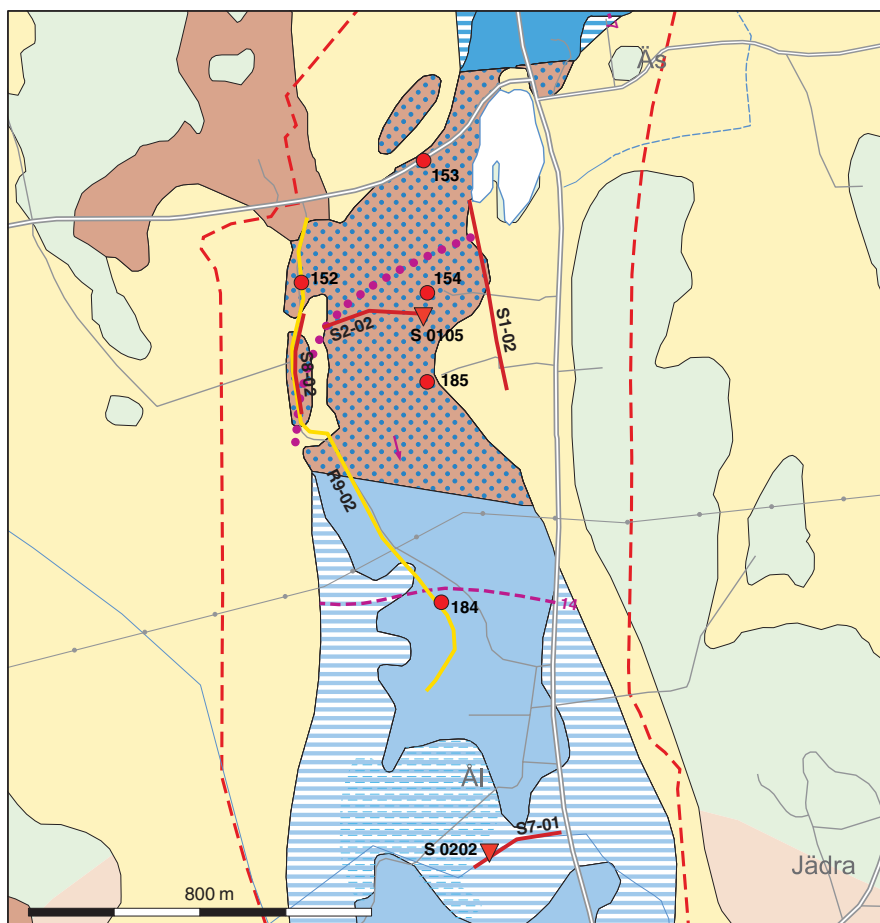


Fig. 36. Kartbilden visar Äsåsen mellan Äspuss och Kyrkudden. S 0105 och S 0202 är sonderingsborrningar. Resultaten av kartläggningen i form av bl.a. fastställd grundvattendelarzon och strömbild i Äsåsen samt nivålinje (14 m ö.h.) för grundvattnet mellan Äsåsen och Ål anges. Röd streckad linje är den yttre skyddszonens utbredning över åsen.

redovisas en del av skyddsområdet (yttre skyddszon) för de kommunala vattentäkterna i åsen. Med hänsyn till resultaten av kartläggningen bör skyddsområdet på bl.a. sträckan Kyrkåsen–Femstugan (se fig. 24) bli föremål för omprövning.

Kyrkudden–Äspuss

Enköpingsåsen bildar en utpräglad höjd med namnet Äsåsen sydväst om Äspuss (fig. 36). Handlingar från kommunen visar att höga berglägen i Äsåsen ger upphov till torra partier i denna. Dokumenten ger dock ingen upplysning om på vad informationen grundar sig (borrning, geofysik eller dylikt).

Förekomsten av höga berglägen kan förväntas medföra barriärer i form av t.ex. grundvattendelare och trösklar. Detta, samt att ett skyddsområde för vattentäkterna Munksundet och Vånsjöbro är fastställt över området, har gjort det angeläget att fördjupa studierna av de hydrogeologiska förhållandena i åspartiet. Av den anledningen genomfördes i samband med kartläggningen tre seismiska mätprofiler, S1-02, S2-02 och S8-02, samt en georadarmätning, R9-02, i Äsåsen. Mellan Ål och Kyrkudden utfördes en fjärde seismisk mätning, S7-01. Vidare har en sonderingsborrning, S 0105, utförts i ett mindre grustag i östra delen av Äsåsen och grundvattennivån har registrerats i fem brunnar mellan Äspuss och Ål. Söder om Ål genomfördes också en sonderingsborrning, S 0202 (fig. 36).

Den seismiska profilen S1-02 i östra kanten av Äsåsen, från Äspuss samt vidare 460 m söderut, uppvisar en varierande bergyta mellan 5 m ö.h. och 15 m ö.h. I profilen kan två mindre och förmodligen isolerade grundvattenmagasin med vattenytor på 13–14 m ö.h. urskiljas. I övrigt saknar jordlagren grundvatten (fig. 37).

En tvärs över Äsåsen lagd seismisk profil, S2-02, har i de centrala delarna drygt 30 m mäktiga torra jordlager av sand och grus (seismiska hastigheter 400 och 700 m/s). Berggrunden är relativt flack och den seismiska hastigheten i berget (5 500 m/s) motsvarar den i mindre sprickrikt berg. Dock förekommer en sprickzon av ca 20 m bredd i profilen. Denna indikerar ett starkt uppsprucket berg med en seismisk hastighet av 3 500 m/s (fig. 38). En sonderingsborrning, S 0105, utförd i ett tidigare grustag i östra änden av profilen, anger sex meter torr grusig sand och stopp mot berg på ca 14 m ö.h. (tre sonderingsförsök utfördes på platsen till samma djup).

För att även i västra delen av Äsåsen erhålla information vad gäller berg, jordlager och eventuella grundvattenytor genomfördes där den seismiska mätningen S8-02. Liksom i S2-02 är bergytan belägen mellan 15 m ö.h. och 18 m ö.h. Markytan är liksom bergytan ganska jämn och marken ligger mellan 25 m ö.h. och 30 m ö.h. Jordlagren, som är 10–15 m mäktiga, saknar även här grundvattenmagasin (fig. 39).

I ett försök att få en sammanhängande bild av jordlagren samt eventuella berg- och grundvattennivåer i åsen utfördes en georadarmätning, R9-02, på en sträcka av 1800 m i västra delen av isälvsavlagringen. Av de första 960 metrarna från norr och söderut kunde inget speciellt tolkas i radargrammet. Däremot bedöms ett drygt 100 m långt lerlager finnas på ca 20 m över havsnivån samt en mot söder lutande bergyta på en sträcka av 180 m i profilens slut. I anslutning till profilen finns en grävd brunn med beteckningen 184. Brunnens överkant ligger ungefär på nivån 16,0 m ö.h. och den är fem meter djup. Vattennivån i brunnen låg i mitten av maj 2002 på 14,0 m ö.h. (fig. 36 och 40).

I ytterligare fyra brunnar i Äsåsen har grundvattennivån mätts. Dessa är brunnarna 152, 153, 154 och 185 (fig. 36). Tre av brunnarna har grundvattennivåer mellan 20,5 m ö.h. och 24,2 m ö.h. medan den fjärde uppvisar nivån 29,3 m ö.h. Denna är sannolikt belägen i ett övre grundvattenmagasin, som uppstår

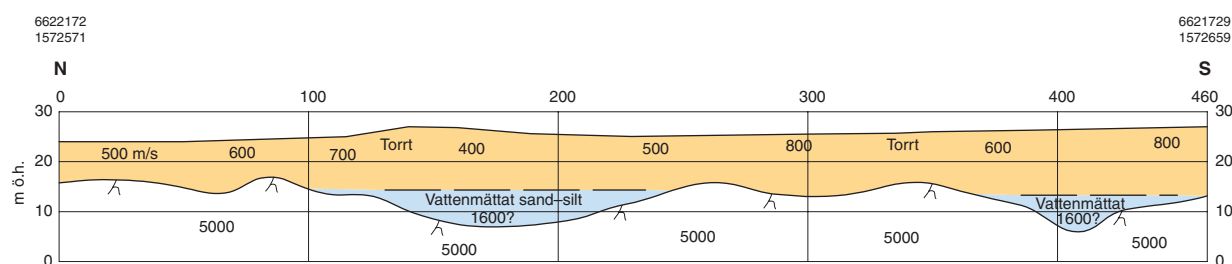


Fig. 37. I den seismiska profilen S1-02 är markytan relativt jämn och belägen omkring 25 m ö.h. Bergytan på sträckan varierar däremot mer än 10 meter i höjd. De två isolerade grundvattenmagasinen finns mellan 100 och 250 m samt ungefär vid 400 m i den 460 m långa sektionen. Jordlagren är i övrigt torra och berggrunden relativt sprickfattig (seismisk hastighet 5 000 m/s), vilket kan betyda att även bergborrade brunnar ger dåligt med vatten.

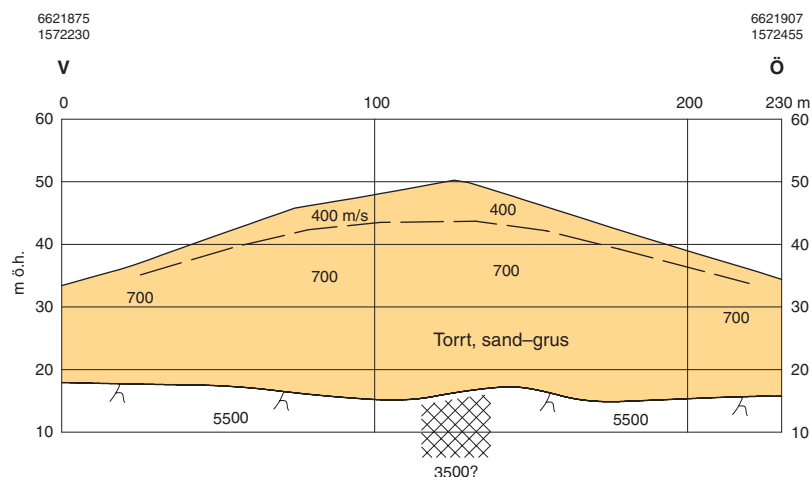


Fig. 38. Bilden visar en tvärprofil genom Äsåsens centrala del såsom den framträder i den seismiska mätningen S2-02. Härvid framgår åsytans välvning mycket väl och toppen ligger på ca 50 m ö.h. Även om jordlagren är torra, dvs. saknar grundvatten, så kan mindre vattenmagasin förekomma ovanpå tätare jordlager. Brunnar på sådana lager kan dock lida brist på vatten under torrperioder.

p.g.a. förekomsten av något tätt skikt i jordlagren. Grundvattennivån i övriga tre brunnarna kan också tänkas styras av täta lager eller av berggrundens ojämna konfiguration, vilken ger upphov till isolerade grundvattenmagasin på olika nivåer eller så kan orsaken vara en kombination av båda. Äspuss vattenyta är belägen på drygt 20 m ö.h.

Den samlade tolkningen blir att Äsåsen till största delen är torr p.g.a. höga berglägen. Vidare bedöms utifrån uppmätta grundvattennivåer både norr och söder om åsen (ett exempel är vattenytan i brunn 184) att i Äsåsen finns en grundvattendelare, dvs. härifrån strömmar det bildade grundvattnet både norrut och söderut, se figur 36.

För att få veta om åsen finns under lerområdet mellan Ål och Kyrkudden genomfördes en seismisk mätning, S7-01, i lågområdet. Av mätningen framgår en grundvattenyta mellan 13 m ö.h. och 14 m ö.h. och att grundvattenmagasinet är 10–15 meter mäktigt (fig. 41). Den seismiska hastigheten i magasinet är omkring 1600 m/s, vilket är en typisk hastighet för silt till sand. En sondering, S0202, i västra delen av profilen ger anledning till viss justering av tolkningen av den seismiska mätningen. Bland annat visar sonderingen att de finkorniga jordlagren inte är så mäktiga samt att de grundvattenförande lagren är grövre och mäktigare än vad den seismiska mätningen anger. Sonderingen ned till ca 27 meters djup anger lös lera i närmare 5 m och därunder 13 m sand samt vidare 7,5 m grusig sand på morän.

Även här finns anledning till översyn av skyddsområdesgränserna. Med anledning av här redovisade undersökningar och med nuvarande kommunala vattentäkter i bruk skulle skyddsområdet mellan Äsåsen och Femstugan kunna slopas.

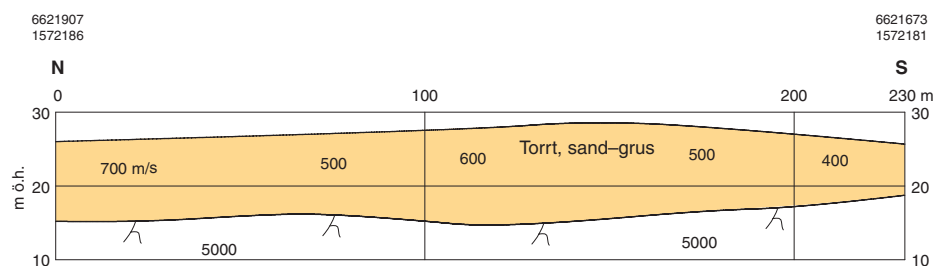


Fig. 39. Markytan på både västra och östra sidan om Äsåsen är relativt plan. Utvärderingen av den seismiska profilen S8-02 ger vid handen att jordlagren är torra med seismiska hastigheter på 400–700 m/s. Berget är sprickfattigt med seismiska hastigheter av 5 000 m/s.

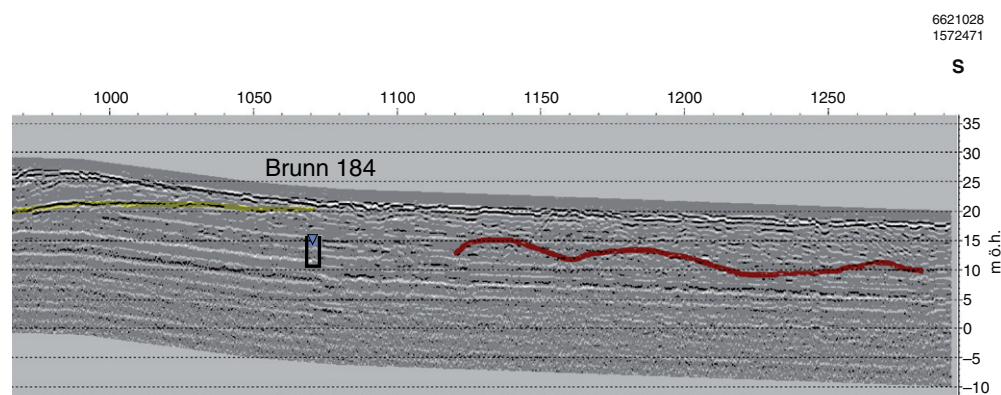
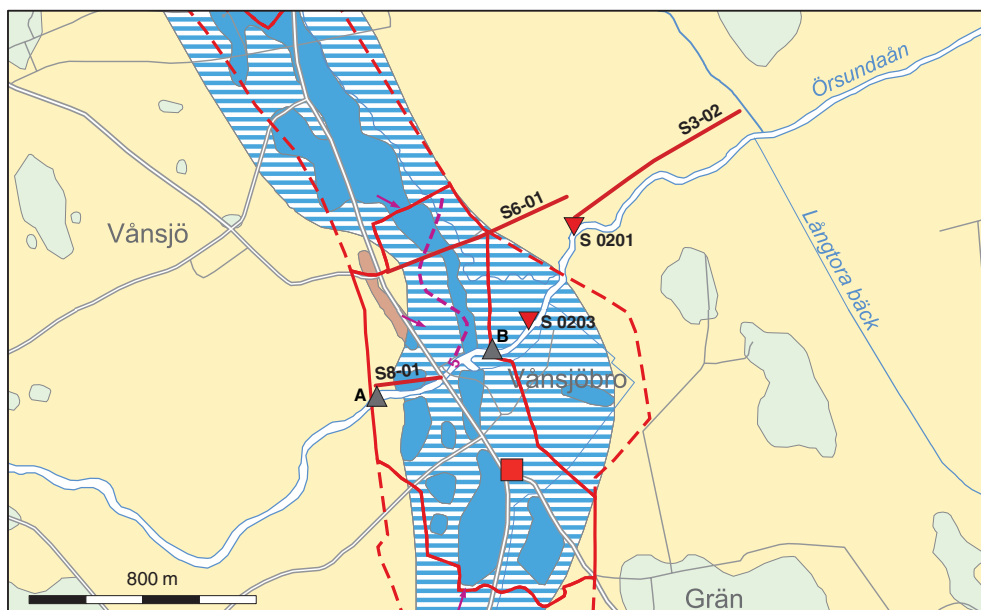
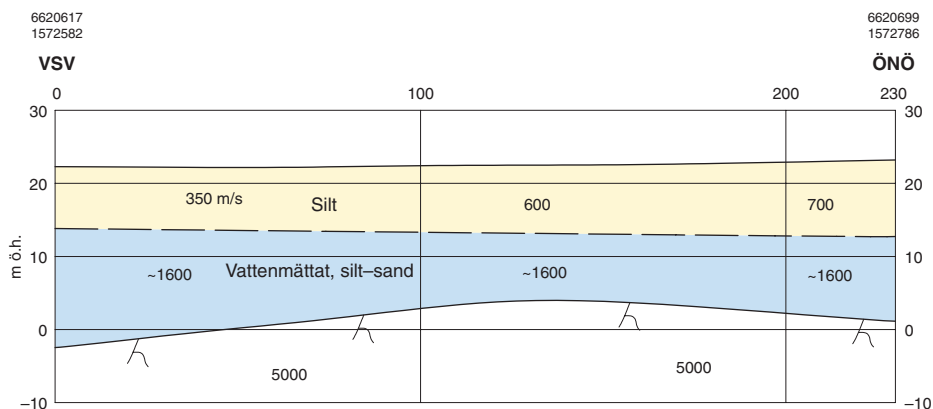


Fig. 40. Figuren visar de 330 sista metrarna av den 1800 meter långa georadarprofilen R9-02. Den gula linjen, som finns mellan 5 och 15 m under markytan, representerar ett tätande skikt som kan vara lera. Den röda linjen är bergytan, som i profilen varierar mellan 10 m ö.h. och 15 m ö.h. med en tendens till lutning mot söder.



Vånsjöbro

Den andra av kommunens två stora grundvattentäkter i Enköpingsåsen är belägen vid Vånsjöbro (fig. 42). Lokalt kallas bildningen också Vånsjöåsen. Här finns också tre dalgångar, en ost–västlig med Örsundaån, samt två nord–sydliga med Gällbäcken respektive Skattmansöån. De två nordliga dalgångarna förenas till en gemensam dalgång omkring två kilometer norr om Vånsjöbro, och Långtora bäck utgör fortsättning på Skattmansöån söderut.

Åsens läge omkring Örsundaån gör att den utgör ett stort utströmningsområde för grundvattenmagasinet mellan Åsåsen i söder och Sävasta i norr. Detta är en sträcka på 13 kilometer och grundvattentillgången i magasinet är av storleksordningen 25–125 l/s. Vid Vånsjöbro är grundvattennivån belägen omkring fem meter över havsnivån (fig. 42) och det utläckande grundvattnet strömmar österut i Örsundaåns dalgång till Alsta sjö och vidare till Lårstaviken i Mälaren.

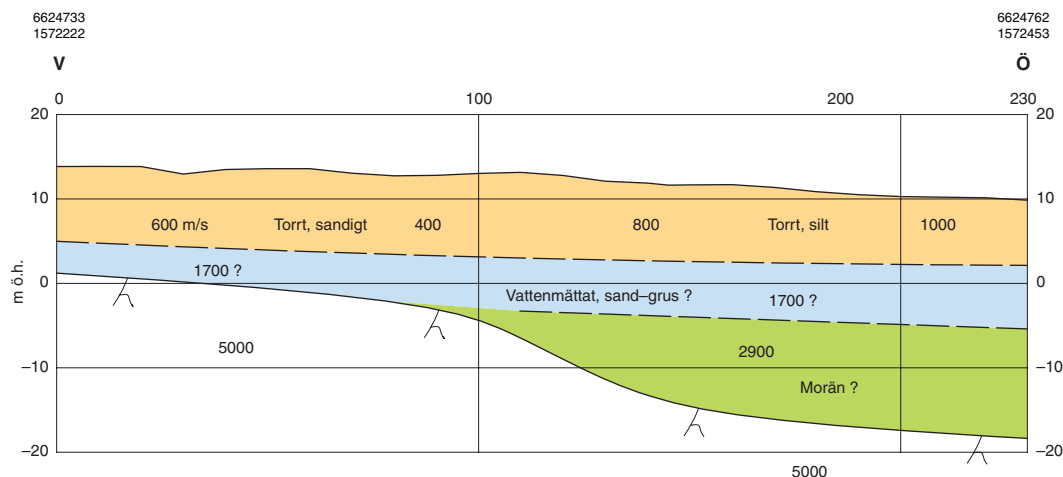


Fig. 43. Den seismiska profilen S8-01 visar att grundvattenmagasinet i västra delen av åsen är mellan fem och tio meter mäktigt. Grundvattennivån ligger på omkring fem meter över havet och däröver följer cirka tio meter torra jordlager.

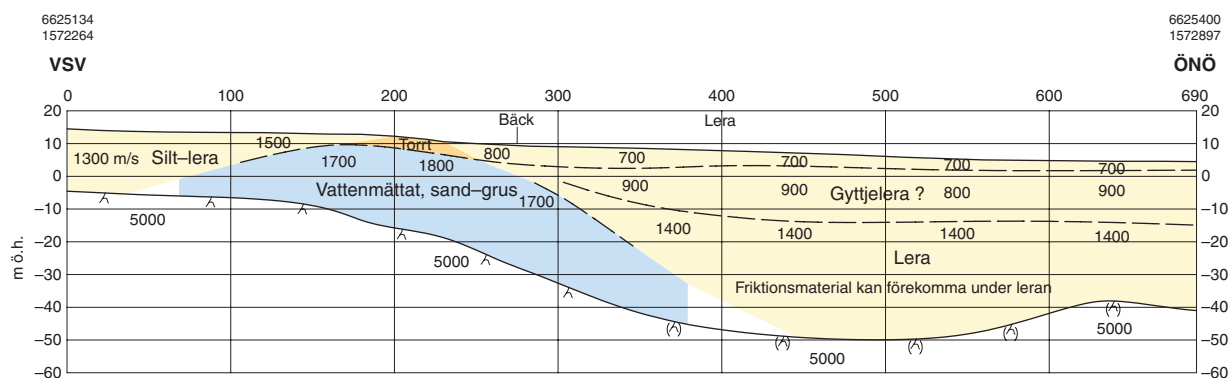


Fig. 44. Grundvattenmagasinet i Enköpingsåsen är markerad i den seismiska profilen S6-01 med blå färg (vattenförande sand och grus av upp till 25 m mäktighet). Vidare täcks åsen till största delen av finkorniga sediment med varierande vattenhalt. Bergnivån sjunker från ca 5 m under havsytan i väster till som lägst 50 m under havsytan i öster, där de finkorniga sedimenten som mest är drygt 50 m mäktiga.

I flödesmätningar som gjordes i mitten av oktober 2001, som vid tidpunkten kännetecknades av höga vattennivåer och stora flöden, ökade flödet mellan punkt A och punkt B med ca 200 l/s på grund av det utströmmande grundvattnet (fig. 42).

För att få en uppfattning om grundvattenmagasinet och huruvida sand och grus förekommer under lera i dalgången mellan åsen och Skattmansöån utfördes tre seismiska mätningar: S8-01 i åsens västra del, S6-01 i åsens centrala del och S3-02 i dalgången öster därom. Som ett komplement till de seismiska mätningarna gjordes två sonderingsborrningar, S0201 och S0203, invid Örsundaåns västra sida.

Den seismiska profilen S8-01 visar att bergytan sjunker från ungefär havsnivå i väster till närmare 20 m under havsnivå i öster. Berget överlagras här av morän (2 900 m/s) med upp till ca 15 m mäktighet. På berget i väster och över moränen i öster tolkas lagren som vattenförande sand och grus, vilka i sin tur överlagras av torra jordlager (fig. 43).

Förhållandena i åsens centrala del samt i närmaste lerområde i öster återspeglas i den seismiska mätningen S6-01. Denna har en längd av närmare 700 m. Den vattenförande delen av avlagringen under lera är minst 300 m bred vilket figur 44 visar. Vidare framgår att åsen i huvudsak är avlagrad på den mot öster stupande bergytan. Det är vanligt att isälvsavlagringar bildats i lägen där en förändring av

bergytan (förkastning, stupning osv.) gjorde att inlandsisen lättare sprack upp varvid dräneringsvägar för smältvattnet uppkom.

Som fortsättning på profil S6-01 utfördes vidare den seismiska profilen S3-02 i dalgången norr om Örsundaån fram till Skattmansöån i öster, se figurerna 42 och 45. Avsikten var att se om ytterligare vattenförande sand och grus finns i dalgången, hur bergytan ser ut och på vilka nivåer denna förekommer. Den geofysiska tolkningen av den närmare 700 m långa mätningen är att vattenförande friktionsmaterial kan finnas under lera. Beträffande berggrunden är den seismiska hastigheten i väster (5 200 m/s), vilken är karaktäristisk för urberg. Däremot förekommer i profilens senare 400 m hastigheter mellan 3 900 m/s och 4 200 m/s. Enligt tolkningen kan detta förutom en sprickzon vara t.ex. en rest av jotnisk sandsten.

Som komplement till de seismiska mätningarna utfördes sonderingarna (borrningarna) S 0201 och S 0203. Den senare är belägen ca 200 m öster om åsens synliga parti och i västra kanten av Örsundaån. Borrningen avslutades i en meter morän på 45,5 m djup, men det bedömdes möjligt att fortsätta borrningen. Lagerföljden från markytan till moränen var följande: 18 m lera, 17 m glaciallera, 5 m sand, 4,5 m grusig sand. Borrningen visar således att närmare 10 m friktionsmaterial (sand och grus) förekommer mellan leran och moränen som överlagrar berget. I sonderingen S 0201 noterades lera till 17 m under markytan samt därunder 23,5 m glaciallera. Sonderingen avslutades på block eller berg efter att ha genomborrat 0,5 m morän. Borrningen ger således inget stöd för att vattenförande sand och grus förekommer i detta läge.

I sonderingspunkterna sattes inga observationsrör. Grundvattennivån noterades dock i samband med borrningen i S 0203 till 0,6 m under markytan och ca 1,0 m över Örsundaåns nivå (27 nov. 2002). Vid S 0201 är förhållandena artesiska. Grundvattenytan uppskattades där vid samma tidpunkt till 0,2 m över markytan.

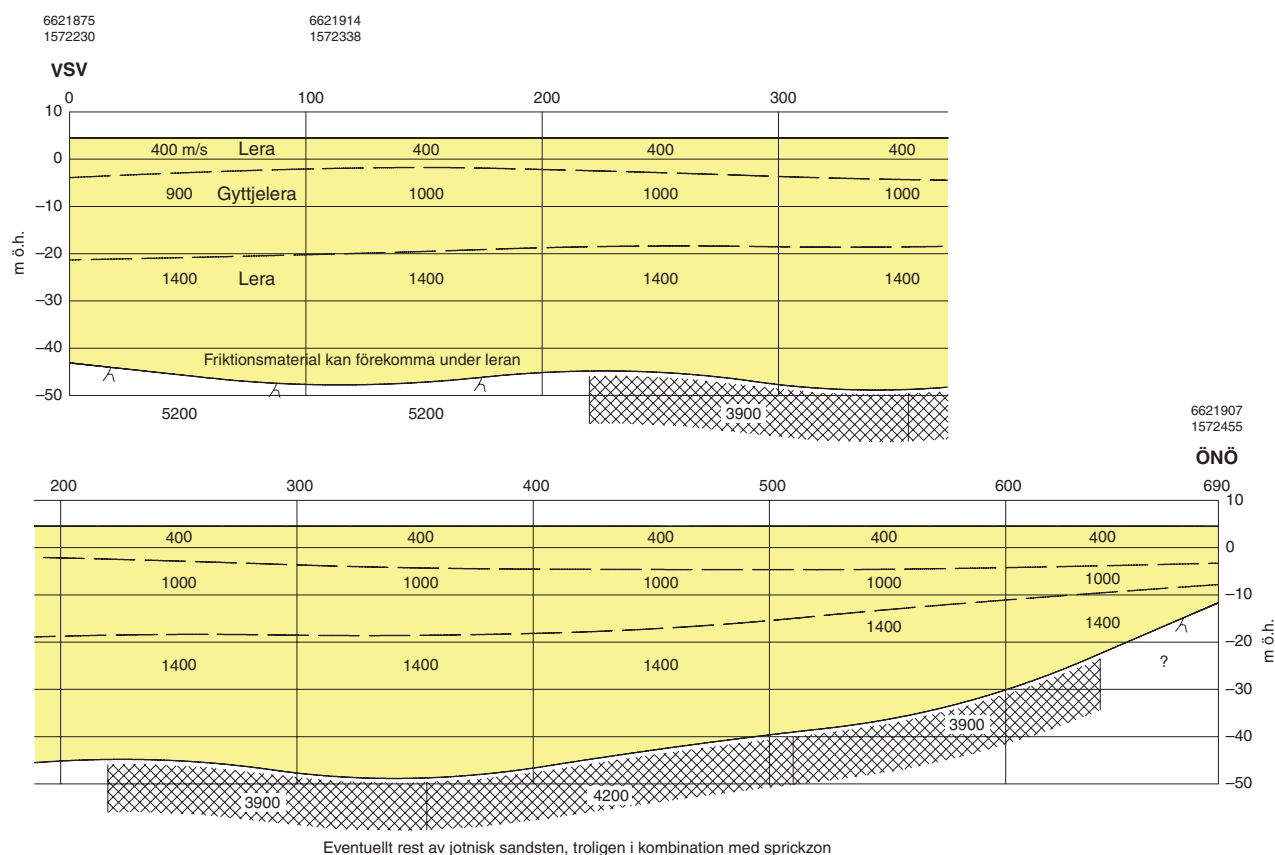


Fig. 45. Den seismiska mätningen S3-02 redovisas här i två delar med överlappning på sträckan 185–375 m. Jordlagrens mäktighet är som mest mer än 50 m. Dessa tunnar dock ut mot öster p.g.a. den stigande bergytan.

GRUNDVATTNETS KEMI

Grundvattnets kemiska sammansättning är ett resultat av de kemiska egenskaperna hos nederbörden och de processer som vattnet utsätts för på sin väg genom marken ner till grundvattnet. Jonkoncentrationen ökar genom avdunstningen i de övre marklagren. Förändringar i jonsammansättningen sker genom att joner i det nedsipprande vattnet byts ut mot joner som är bundna till markpartiklar, jonbyte, och genom sönderdelning av mineral, vittring. Jonbytesprocessen är speciellt intensiv när vattnet är i kontakt med organiskt material och lerpartiklar som har stor kontaktyta. Intensiteten av vittringen är beroende av mineralens vittringsbenägenhet och kontaktytan mellan vatten och mineral. I grova jordar som grus, sand och grovkorniga moräner är vittringsintensiteten låg, medan den är hög i finkorniga jordar, som t.ex. lera och lerig morän. Vittringen ”drivs” under naturliga förutsättningar av humussyror och kolsyra som bildas genom nedbrytning av växtrester. Genom förbränningen av fossila bränslen har nederbörden tillförts svavelsyra, som bidrar till ökad sulfathalt och tillskott av vätejoner som bidrar till ökad vittring.

Kalcit är det mest lättvittrade mineralet, och kalkhaltiga jord- och bergarter har mycket stor betydelse för grundvattnets kemiska sammansättning. Lättvittrade mineral, som i allmänhet innehåller stor andel kalcium och magnesium, i kombination med finkorniga jordarter och lång uppehållstid ger grundvattnet hög totalhårdhet, liksom hög elektrisk konduktivitet som är ett mått på den totala halten lösta salter.

Vid normal kolsyravittring bildas lika mycket kalcium och magnesium (totalhårdhet) som alkalinitet, medan det vid vittring med en stark syra som t.ex. svavelsyra bildas förhållandevis mer kalcium och magnesium än alkalinitet. Alkaliniteten, som är ett mått på grundvattnets förmåga att motstå försurning, utgörs inom de normala pH-intervallen av vätekarbonat.

Grundvattnets surhet, vätejonkoncentrationen, anges som pH. Låga pH-värden kan bero på effekter av den sura nederbörden, men kan också ha naturliga orsaker. Ett ytligt grundvatten som är naturligt surt p.g.a. hög halt humussyror eller högt koldioxidtryck, kanske aldrig hinner neutraliseras under sin uppehållstid i det grundvattenförande lagret. Vätejoner förbrukas vid vittringen varvid pH ökar.

Sulfatjoner som tillförs grundvatten från nederbörden har både mänskligt och marint ursprung. Riktigt höga halter i grundvatten har dock i allmänhet geologiskt ursprung och bildas genom oxidation av sulfider. Dränering av gyttjeleror ger ofta upphov till höga sulfathalter i grundvattnet.

Fluoridhalten i grundvatten är beroende av berggrundens geokemiska sammansättning. Bergborrade brunnar belägna i områden med pegmatiter och vissa yngre graniter har ofta relativt höga fluoridhalter i vattnet. Vattnet i grävda brunnar har generellt sett låga halter.

Grundvattnets kloridhalt beror på det geografiska läget. Nederbörden bidrar med högre kloridmängder i Sydvästsverige än på andra håll i landet p.g.a. det marina inflytandet. I delar av Sverige som tidigare har varit täckta av hav kan saltvatten finnas kvar och ge höga kloridhalter. Även andra orsaker till förhöjda kloridhalter i grundvattnet förekommer. Se vidare avsnittet Salt grundvatten och motåtgärder som berör frågan om salt grundvatten närmare.

Höga nitrathalter beror praktiskt taget enbart på mänsklig påverkan. Problem med höga halter i grundvatten förekommer i jordbruksområden med genomsläppliga jordar, särskilt i grundvattnet i jordlagren.

Analys

I samband med kartläggningen togs ett vattenprov för fysikalisk-kemisk analys i observationsrör R0202 ca 500 m söder om Kvarnbo. Alkaliniteten i vattnet är hög, 230 mg/l, vilket visar på att grundvattnet har lång uppehållstid i magasinet och att vattnet motstår försurning väl. Av metallerna är järnhalten hög, 3,3 mg/l, och manganhalten något hög, 0,11 mg/l, vilket inte är ovanligt i grundvatten. Aluminiumhalten, som är 1,7 mg/l, är hög. I övrigt är grundvattnet på platsen utifrån analysen av relativt god kvalitet. Analysresultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Analysresultat för vattenprov från observationsrör R 0202.

Parameter	Observationsrör R 0202		
	21,0 m djup Enköpingsåsen x: 6618586 y: 1572875		
			Anmärkning, t.ex. art
Turbiditet	FNU	73	
Bottensats			
Bottensats, art			
Lukt 20°		svag	petroleumpr.
Lukt 50°			
Färgtal	Pt mg/l	80	
COD (Mn)	mg/l	4,4	
Konduktivitet 25°C	mS/m	58,7	
pH		8,1	
Alkalinitet	mg/l	230	
Kolsyra agg. CO ₂	mg/l		
Hårdhet tot. Ca+Mg	mg/l		
Hårdhet, total	°dH	16	
Ca	mg/l	88	
Mg	mg/l	15	
Na	mg/l	20	
K	mg/l	4	
Fe	mg/l	3,3	
Mn	mg/l	0,11	
Al	mg/l	1,7	
Cu	mg/l		
Zn	mg/l		
Cd	ug/l		
Pb	ug/l		
Ammonium, NH ₄ -N	mg/l	0,10	
Nitrit, NO ₂ -N	mg/l	0,002	
Nitrat, NO ₃ -N	mg/l	<0,1	
Fosfat, PO ₄ -P	mg/l	0,009	
F	mg/l	0,17	
Cl	mg/l	20	
SO ₄	mg/l	87	

SALT GRUNDVATTEN OCH MOTÅTGÄRDER

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.

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 forntida 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 avsnittet Metodbeskrivningar). 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 fig. 46.

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 47. 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.

Trots att stora delar av kommunen varit täckta av havsvatten (Littorinahavet) efter den senaste istiden är risken i dessa delar för kvarvarande salt grundvatten ändå mycket olika. Det föreligger dock ett klart samband mellan låg marknivå och hög saltvattenrisk.

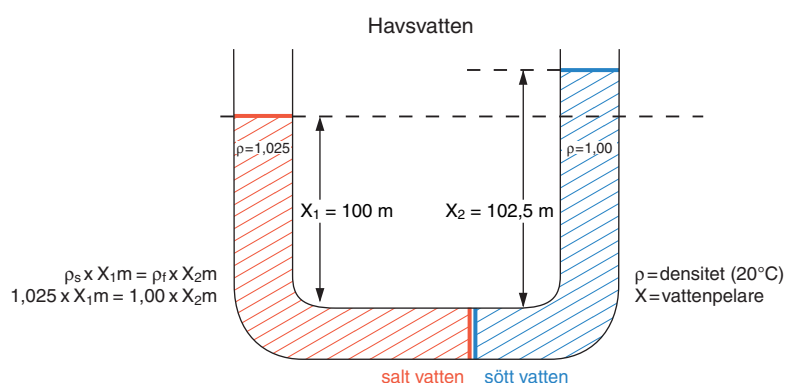


Fig. 46. Enligt principen om kommunicerande kärl balanseras en 102,5 m pelare med sött vatten av en 100 m pelare med salt vatten (3,5 %).

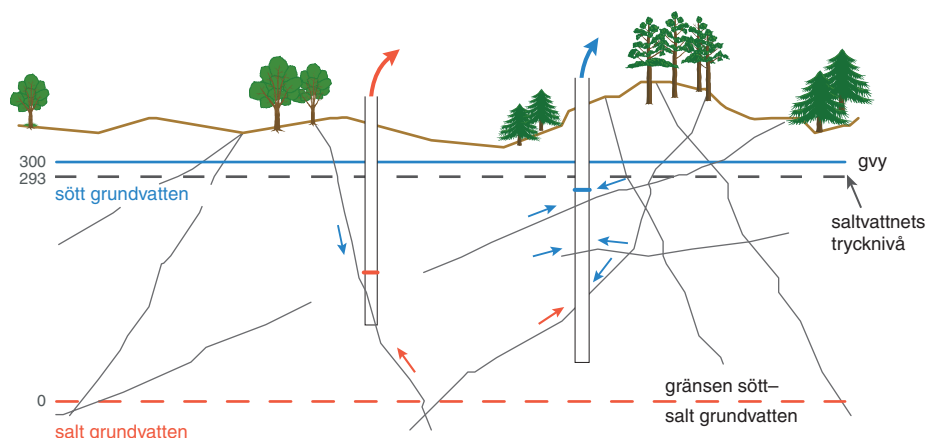


Fig. 47. Brunnen till vänster får vatten från i huvudsak en, dåligt vattenförande spricka. Den övre delen av sprickan töms efter en tid på sitt söta vatten. Via den undre delen av sprickan trycks det salta vattnet upp utan att sina. Brunnen ger vatten med hög salthalt. Brunnen till höger får vatten från 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 Grundvattnet i berggrunden.

Det är ofta bättre att borra ”gradade” borrhål, dvs. med en avvikelse av 15–20 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 allteftersom borrhålet fördjupas. Detta dels för att undvika onödiga borkostnader, 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 iakttas 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 lampas tänds när lodet kommer i kontakt med grundvattenytan nere i brunnen. Från pumpstart kan man följa hur mycket vattnet sjunker allteftersom 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.

Numera finns även avsaltningsanläggningar 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. Värden beror bl.a. på grundvattenmagasinets 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. 48).

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.

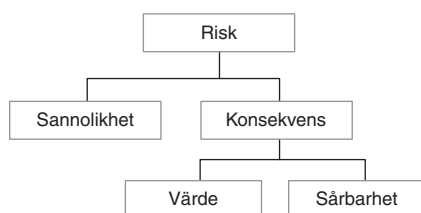


Fig. 48. Risk- och konsekvensanalys.

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 uttagpunkterna 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 skyddszon, sekundär skyddszon samt tertiär skyddszon. Syftet med vattentäktssonen är att säkra ett effektivt närskydd för uttagpunkterna. Området bör vara otillgängligt för andra än verksamhetsutövaren. Vattentäktssonen avgränsas som ett område kring uttagpunkten. Den primära skyddszonen ska avgränsas på sådant sätt att riskerna för akut förorening genom olyckshändelser minimeras. Särskilt känsliga inströmningsområden ska också beaktas vid avgränsningen av denna skyddszon. Vidare ska bestämmelserna göra att den primära skyddszonen skyddas mot sådan markanvändning och verksamheter som kan medföra risk för förorening av grundvattnet. Gränsen mellan primär och sekundär skyddszon sätts så att uppehållstiden i den primära skyddszonen till vattentäktssonens gräns beräknas vara minst 100 dygn. Den sekundära skyddszonen 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 skyddszonen 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.

För enskilda brunnar finns inga regler eller bestämmelser när det gäller skyddet av vattnet. Brunnägaren måste själv svara för att åtgärder är vidtagna så att vattnet inte skadas. Att se till att marken lutar utåt och är tät åt alla håll närmast brunnen och att ordna med något slags hägn omkring den är till stor nytta.

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.

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 miljondels 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 isälvs-sediment 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.

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 grundvattenytan i grövre sediment,
- påvisa föremål i jordtäcknet (block, rör, håligheter etc.) och
- lokalisera spridning av föroreningar från vägar, deponier m.m.

Seismik

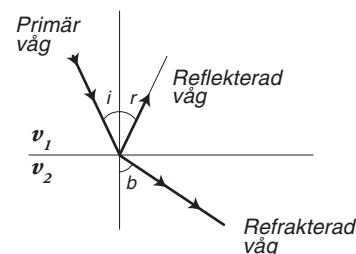
Den metod som används vid grundvattenundersökningar kallas refraktionsseismik. Det är en geofysisk mätmetod som baseras på elastiska vågors utbredning i marken. Vågornas utbredningshastighet skiljer sig mellan olika jord- och bergarter, vilket gör det möjligt att beräkna lagermäktigheter och bedöma vissa 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 refractionen 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

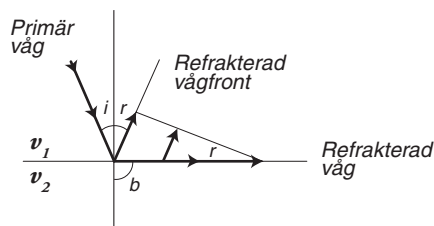


Om hastigheten ökar mot djupet, inträffar vid en viss infallsvinkel kritisk refraction, vilket innebär att vågstrålen efter passage av skiktgränsen går parallellt med denna. Infallsvinkeln respektive brytningsvinkeln vid kritisk refraction är

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

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 skiktjäktigheter 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 detonera laddningar på lämpliga platser i profilen genereras mätdata i den omfattning som behövs. 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. gångtidskurvor kan skiktens jäktigheter 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 jämfört med 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 vattenmättad, 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. 49). Dessa förhållandevis enkla fysikaliska förhållanden medför att refraktionsseismiken oftast ger goda undersökningsresultat.

Tillämpningsområden

Refraktionsseismik används bl.a. för att:

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

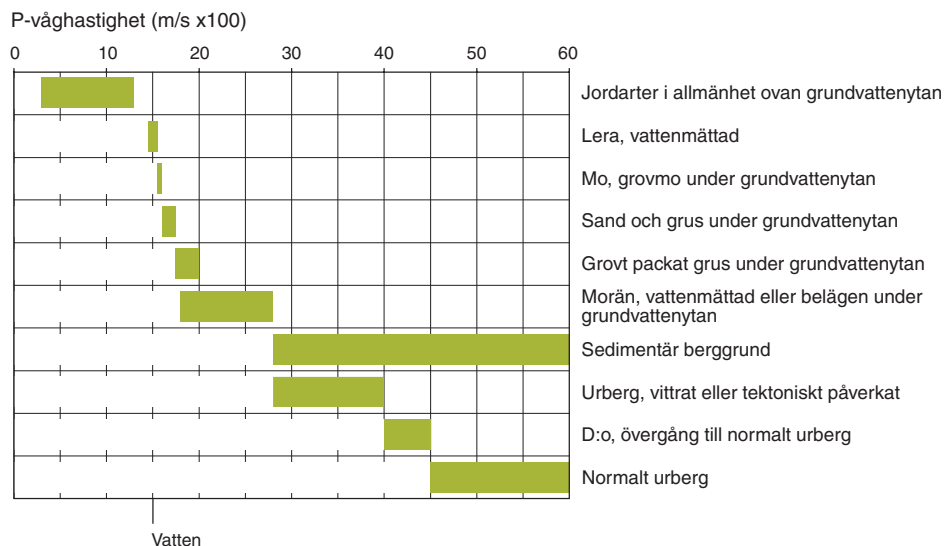


Fig. 49. Seismiska hastigheter i olika jordarter och berggrund. Begreppet tektoniskt påverkat urberg avser i första hand sprickzoner, vilka vanligen är mer vattenförande än omgivande berggrund.

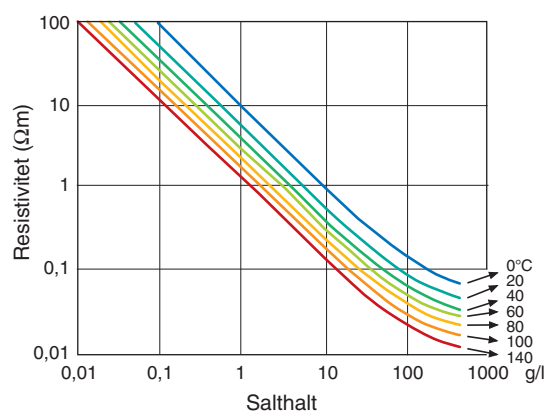


Fig. 50. Förhållandet mellan salthalt och resistivitet i vatten.

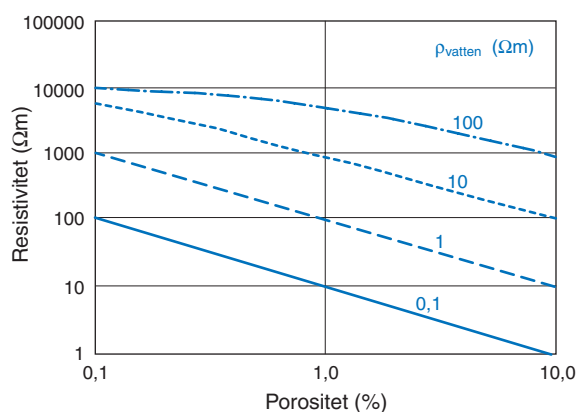


Fig. 51. Förhållandet mellan resistivitet och porositet i jord och berg.

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 50 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.

Resistivitetsmätningar eller motståndsmätningar kan således användas för att skilja mellan olika berg- och jordarter på grundval av deras resistivitetsegenskaper (fig. 51). 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. 52). 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, figur 52. Ska jordtäckets undersökas i kontrast mot berggrunden så måste mätning ske ut till ett avstånd av minst 40 meter mellan strömelektroderna om jordtäckets tjocklek är 10 m. 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 mät punkt som används. Dessutom kan en ojämn fördelning av elektriskt ledande mineral förekomma i berggrunden.

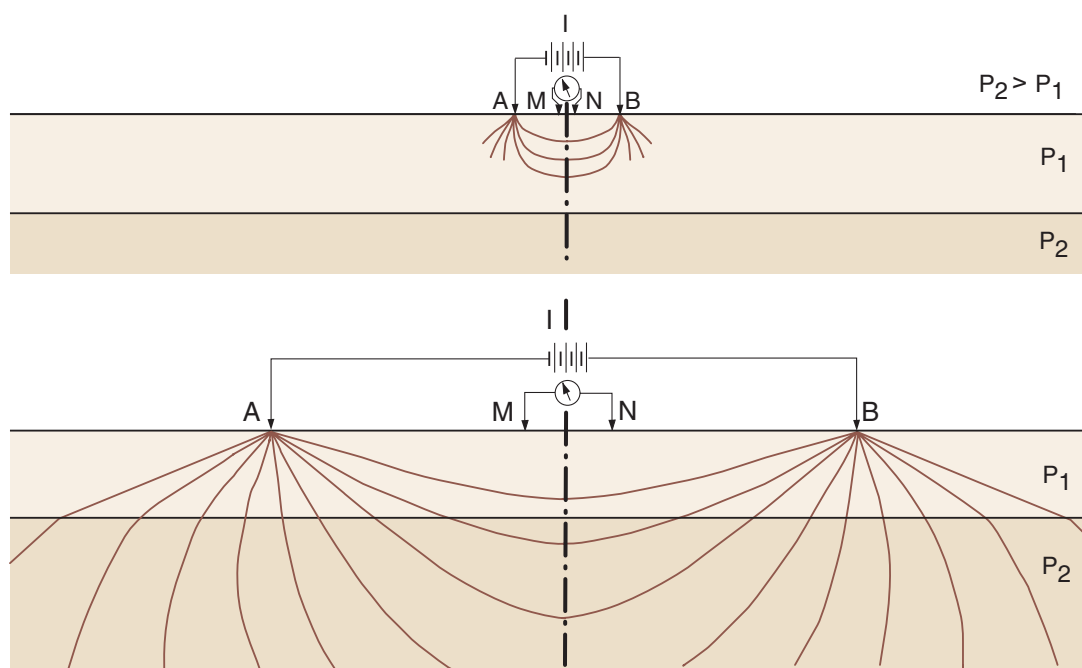


Fig. 52. Vertikala elektriska sonderingar (VES) genomförs med successivt större avstånd mellan elektroderna, varvid allt djupare liggande skikt undersöks.

Kriging och variogramanalys

Kriging är en interpolationsmetod för att förutsäga rumsliga värden. Metoden är namngiven efter Kriege, en sydafrikansk gruvingenjör som på femtioalet 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 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 53 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.

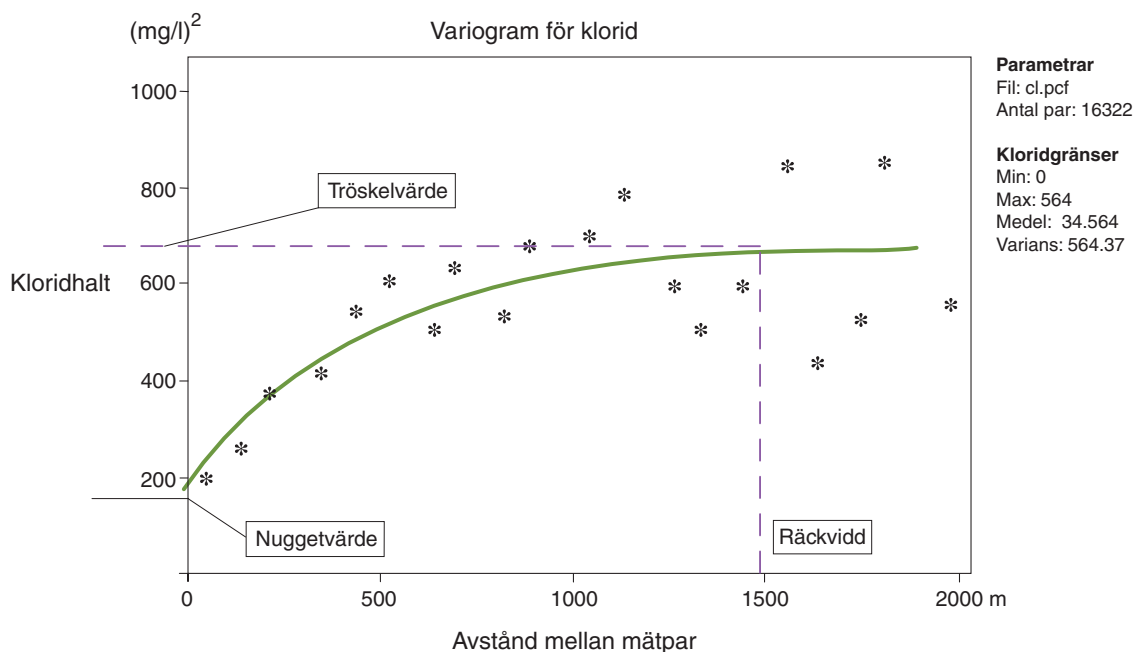


Fig. 53. Exempel på variogramanalys. Här är variansen på kloridhalten plottad mot avståndet. Nuggetvärde – lägsta varians.

2. Att krigingvariansen från den geostatistiska modellen är en korrekt uppskattning av variansen av de faktiska felen.

Särskilt viktigt är att tröskelvärde 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.

DOKUMENTATION AV GEOFYSISKA MÄTNINGAR, BRUNNAR OCH KEMISK ANALYS

Förutom följande dokumentation finns SGUs geofysiska mätningar tillgängliga i form av radargram och seismogram samt inventerade brunnar, observationsrör och SGUs borrhningar dokumenterade i databaser.

Geofysiska mätningar

R = Georadar, S = Seismik

Profil	N-S-koordinat	O-W-koordinat	Plats eller sträcka
R1-01	6607579	1571560	Fageruddsåsen
R2-01	6607100	1571892	Fageruddsåsen
R3-01	6615248	1573360	Garnisonen
R4-01	6615101	1573280	Garnisonen
R5-01	6615188	1573150	Väster Garnisonen
R6-01	6615431	1572829	Söder E 18 och Kalkberget
R7-01	6616230	1573151	Akademiåsen
R8-01	6616652	1573135	Akademiåsen
R9-01	6614023	1572181	Kyrkåsen
R10-01	6614153	1572234	Kyrkåsen
R11-01	6613965	1571990	Kyrkåsen
R12-01	6614402	1572424	Kyrkåsen
R13-01	6617134	1573311	Mellan Akademiåsen och Femstugan
R14-01	6617839	1573181	Femstugan
R15-01	6615032	1573455	Garnisonen, längst i öster
R16-01	6615612	1572980	Norr E 18
R17-01	6617308	1573069	Söder Femstugan
R18-01	6618268	1572997	Norr Femstugan
R19-01	6619998	1572752	Söder Kyrkudden och Ål, Skanskas grustäkt
R20-01	6620060	1572745	Söder Kyrkudden och Ål, Skanskas grustäkt
R1-02	6619367	1572743	Öster Ugglevreten
R3-02	6618948	1572840	Söder Ugglevreten
R4-02	6618882	1572802	Söder Ugglevreten
R5-02	6631551	1566293	750 m nordväst Nygård vattentäkt
R6-02	6631335	1566363	550 m nordväst Nygård vattentäkt
R7-02	6631241	1566215	550 m nordväst Nygård vattentäkt
R8-02	6631224	1566366	500 m nordväst Nygård vattentäkt
R9-02	6621356	1572394	Mellan Ål och Åsåsen (grustäkt i söder)
S1-01	6615052	1572853	Väster Garnisonen
S2-01	6616474	1573369	Öster Akademiåsen
S3-01	6616041	1573206	Akademiåsen
S4-01	6617824	1573102	Femstugan
S5-01	6623696	1572549	800 m söder Vånsjöbro vattentäkt
S6-01	6625235	1572528	Höbron, norr Vånsjöbro vattentäkt

Profil	N–S-koordinat	O–W-koordinat	Plats eller sträcka
S7-01	6620683	1572682	Mellan Kyrkudden och Ål
S8-01	6624747	1572337	Norr Örsundaån och Vånsjöbro vattentäkt
S1-02	6621902	1572625	Söder Äspuss
S2-02	6621914	1572338	Äsåsen
S3-02	6625527	1573205	Öster Vånsjöåsens naturreservat
S4-02	6614251	1572519	Kyrkåsen
S5-02	6627275	1570192	Valsbrunna
S6-02	6628234	1568355	600 m sydväst Vallby
S7-02	6618781	1572863	Söder Ugglevreten
S8-02	6621795	1572166	Väster Äsåsen

Brunnar, borrhningar och vattenytor

Rök = Rör-, brunnsöverkant o.d. i meter över havet (m ö.h.)

Observationsplats	Id i brunnsprot.	N–S-koordinat	O–W-koordinat	Rök	Obs-typ
Vånsjöbro	HSM2001022601	6624405	1572748		spets
Vånsjöbro	HSM2001022701	6624428	1572545	12,6	spets
Åsby	HSM2001031201	6628049	1568987	24,04	spets
Billerstena	HSM2001031202	6634690	1563390		spets
Altuna	HSM2001031203	6634370	1563240		spets
Altuna	HSM2001031204	6634150	1563128	28,83	spets
Altuna	HSM2001031205	6633640	1563880		spets
Eneby	HSM2001031206	6632884	1564579	28,91	spets
Eneby	HSM2001031301	6632854	1564541	27,24	spets
Sävasta	HSM2001031302	6631958	1565634	38,46	spets
Nygård	HSM2001031304	6630588	1566943	32,01	spets
Nygård	HSM2001031305	6630550	1566980		spets
Lugnet	HSM2001031306	6629801	1567036	35,18	rörbrunn
Skenstaåsen	HSM2001031307	6629175	1567747	32	spets
Valsbrunna	HSM2001031401	6627250	1570110		spets
Albäck	HSM2001031501	6628340	1563450		spets
Albäck	HSM2001031502	6628230	1562330		spets
Albäck	HSM2001031503	6628140	1562420		spets
Albäck	HSM2001031505	6628460	1562680		
Albäck	HSM2001031506	6628610	1563040		
Albäck	HSM2001031507	6628210	1562490		spets
Simtuna	HSM2001031508	6628340	1562030		spets
Simtuna	HSM2001031509	6628540	1561580		spets
Simtuna	HSM2001031510	6628800	1562270		
Albäck	HSM2001031511	6627960	1562610		spets
Simtuna	HSM2001031603	6628210	1561470		spets
Ådalen	HSM2001032201	6636560	1562240		
Ådalen	HSM2001032202	6636590	1562350		
Ådalen	HSM2001032203	6636720	1562440		
Ådalen	HSM2001032204	6636430	1562250		spets
Ådalen	HSM2001032205	6636710	1562570		spets
Ådalen	HSM2001032601	6636540	1562610		spets
Ådalen	HSM2001032602	6636700	1562570		spets
Ådalen	HSM2001032701	6636840	1562560		spets
Kolarudd Fagerudden	HSM2001092801	6606937	1571750	5,77	spets
Skogsbo Fagerudden	HSM2001092802	6607522	1571957	21,59	schaktbrunn
Bredsand	HSM2001092803	6608274	1571652	8,26	bergborra
Kesudden	HSM2001092804	6608908	1571091	1,61	spets
Kesudden	HSM2001092805	6609131	1570980	2,92	spets
Kesudden	HSM2001092806	6609358	1570952	10,31	bergborra
Kesudden	HSM2001092807	6609229	1571076	3,76	spets
Kesudden	HSM2001092808	6608730	1571104	1,86	schaktbrunn
Haga	HSM2001092809	6610102	1570773	2,63	spets
Haga (Gröngarn)	HSM2001092810	6610793	1570596	2,31	spets

Observationsplats	Id i brunnsprot.	N-S-koordinat	O-W-koordinat	Rök	Obs-typ
Gröngarn	HSM2001100101	6611185	1570500	2,28	spets
Gröngarnsåsen	HSM2001100102	6611540	1570780	3,72	spets
Gröngarn	HSM2001100103	6611506	1570443	1,1	schaktbrunn
Enköping, Korsängen	HSM2001100104	6613712	1572532	3,39	spets
Norra Enköping	HSM2001100105	6619016	1572774	23,18	schaktbrunn
Norra Enköping	HSM2001100106	6618916	1572705	22,76	schaktbrunn
Norra Enköping	HSM2001100107	6619038	1572556	27,02	bergborra
Norra Enköping	HSM2001100108	6617606	1572641	29,34	schaktbrunn
Norra Enköping Skälby	HSM2001100109	6617488	1572715	33,65	schaktbrunn
Norra Enköping Skälby	HSM2001100110	6617444	1572742	33,67	schaktbrunn
Tibble Torstuna	HSM2001100111	6631255	1569071	26,07	schaktbrunn
Djurby	HSM2001100112	6629955	1569053	24,35	schaktbrunn
Simtuna	HSM2001100113	6628140	1561689	22,97	spets
Simtuna	HSM2001100114	6628297	1561596	22,48	spets
Simtuna	HSM2001100115	6627980	1562433	24,39	spets
Simtuna	HSM2001100116	6628045	1562488	22,66	spets
Åsbo Nysätra	HSM2001100117	6626578	1574933	5,33	spets
Ål	HSM2001100118	6619882	1572449	22,54	schaktbrunn
Ål	HSM2001100119	6620500	1572733		schaktbrunn
Ås	HSM2001100120	6621985	1572177	30,91	schaktbrunn
Ås	HSM2001100121	6622271	1572463	23,25	schaktbrunn
Ås	HSM2001100122	6621961	1572471		schaktbrunn
Vånsjöbro	HSM2001100123	6624921	1572519	10,64	spets
Vånsjö	HSM2001100124	6625409	1572324	8,18	spets
Vånsjö	HSM2001100125	6625835	1571959	16,24	schaktbrunn
Valsbrunna	HSM2001100126	6627235	1570114	17,43	schaktbrunn
Valsbrunna	HSM2001100127	6626919	1570730	20,39	spets
Nygård	HSM2001100128	6630868	1566753	35,31	spets
Nygård	HSM2001100129	6630912	1566748	35,6	spets
Altuna	HSM2001100130	6634089	1563137	29,07	källa
Bergalund	HSM2001100131	6631440	1565987	42,19	bergborra
Sävasta	HSM2001100201	6632374	1565554	35,03	spets
Vånsjö	HSM2001100202	6624269	1572774	10,82	spets
Mälby	HSM2001100203	6632943	1563109	35,51	schaktbrunn
Hyvlingeåsen	HSM2001100204	6626346	1571506	24,65	rörbrunn
Hyvlingeåsen	HSM2001100205	6626413	1571537	27,44	spets
Fagerudd Bredsand	HSM2001100206	6608030	1571685	8,56	schaktbrunn
Haga	HSM2001100207	6609773	1570886	3,81	rörbrunn
Gröngarn	HSM2001100208	6612137	1570894	7,8	spets
Enköping	HSM2001100209	6613299	1571663	2,5	rörbrunn
Enköping	HSM2001100210	6613165	1571686	1,6	spets
Fagerudd	HSM2001100211	6607931	1571374	4,76	spets
Fagerudd	HSM2001100212	6607765	1571391	5,36	spets
Fagerudd	HSM2001100213	6607820	1571363	4,54	spets
Lilla Härnevi	HSM2001100214	6623615	1572470	13,45	spets
Skanskas grustag i Ål	HSM2001100215	6620266	1572619	14,55	schaktbrunn
Skanskas grustag Ål	HSM2001100216	6620028	1572762	15,17	schaktbrunn
Stenvreten Enköping	HSM2001100217	6614531	1572859	24,76	spets
Bromsbo Enköping	HSM2001100218	6618211	1572433	26,15	schaktbrunn
Ås Enköping	HSM2001100219	6622639	1572996	15,89	schaktbrunn
Lilla Härnevi	HSM2001100220	6622932	1572608	16,36	schaktbrunn
Grustag Åsåsen	HSM2001100221	6621237	1572504	15,92	schaktbrunn
Lilla Härnevi	HSM2001100222	6621753	1572471	24,7	schaktbrunn
Altuna	HSM2001100223	6635122	1563216	31,03	schaktbrunn
Strömsta	HSM2001100224	6633118	1569995	49,85	schaktbrunn
Strömsta	HSM2001100225	6633152	1569875	47,22	schaktbrunn
Nygård	HSM2001100226	6630990	1566766	33,71	spets
Lillkyrka	HSM2001100227	6604379	1580865	2,68	spets
Lillkyrka	HSM2001100228	6604266	1580687	3,27	spets
Lillkyrka	HSM2001100229	6604436	1580970	2,09	spets

Observationsplats	Id i brunnsprot.	N–S-koordinat	O–W-koordinat	Rök	Obs-typ
Lillkyrka	HSM2001100230	6604493	1580825	4,54	spets
Lillkyrka	HSM2001100231	6604123	1581115	3,04	spets
Åsbo Nysätra	HSM2001100232	6626666	1575130	6,58	spets
Åkerby Enköping	HSM2001100233	6615925	1572694	26,74	schaktbrunn
Ål, Enköping	HSM2001100234	6619376	1572784	13,4	vattenyta
Hyvlingeåsen	HSM2001100235	6626658	1571385	7,19	vattenyta
Nibble Torstuna	HSM2001100236	6630749	1569343	20,92	schaktbrunn
Kolarudd	RSG2001100801	6607313	1571933	12,43	spets
Norr Kolarvik	RSG2001100802	6613760	1572104	8,19	spets
Kyrkåsen	RSG2001100803	6614150	1572152	24,02	spets
Stenvreten	RSG2001100804	6615050	1572880	21,47	spets
Åkerby	RSG2001100805	6615831	1573064	22,96	spets
Fageruddsåsen	RSG2001100806	6607339	1571732		sondering
Åsenstugan	RSG2001101001	6614281	1572390		sondering
Åkerbylund	RSG2001101002	6617530	1573179		sondering
Öster Kvarnbo	RSG2001101003	6618280	1572957		sondering
Karlsdal	RSG2001101004	6621898	1572465		sondering
Söder Åkerbylund	RSG2001101005	6616979	1573143		sondering
Solhem	RSG2001101006	6618865	1573069		sondering
Kvarnbo	RSG2002120601	6618260	1572832	34,83	spets
Kvarnbo	RSG2002120602	6618586	1572875	28,92	spets
Vånsjöbro	RSG2002120603	6625294	1572923		sondering
Ål	RSG2002120604	6620652	1572619		sondering
Vånsjöbro	RSG2002121001	6624961	1572763		sondering
Akademiåsen	RSG2002121101	6616814	1573139		sondering
Akademiåsen	RSG2002121102	6616789	1573107		sondering
Akademiåsen	RSG2002121103	6616765	1573066		sondering
Haga	SEG2002112701	6610442	1570654	1,63	schaktbrunn
Gröngarnsåsen	SEG2002112702	6611692	1570907	4,29	spets
Söder om Vånsjöbro v-verk	SEG2002112703	6624155	1572673	13,43	spets
Kvarnbo	SEG2002112704	6618279	1572834	34,83	spets
Kvarnbo	SEG2002112705	6618587	1572867	28,92	spets
Söder om Vånsjöbro v-verk	SEG2002112706	6623438	1572469	16,89	spets
Vappeby	SEG2002112901	6626530	1571590	10,79	rörbrunn

UTREDNINGAR

Förkortningar:

AIB	Allmänna Ingenjörbyrå
K-konsult	Kommunernas konsultbyrå
LBF	Landsbygdens byggnadsföretag
SGAB	Sveriges geologiska AB
SGI	Statens geotekniska institut
SGU	Sveriges geologiska undersökning
VBB	Vattenbyggnadsbyrå
VIAK	Ingenjörfirman VIAK (Via et Aqua)
VBB VIAK	VBB och VIAK efter sammanslagning

Numreringssystem: ID i SGUs Brunnarkiv eller ID i SGUs Georegister

ID	Titel
075/11287	Beskrivning av Enköpings stads grundvattenverk m. m. VBB 1962-01-15.
076/11288	PM över utförda rekognosceringsborrningar i Enköpingsåsen norr om Enköping VBB. 1965-12-20.
077/11289	Utvecklingsplan för Enköpings kommunblock. 6. Vattenförsörjning, avlopp och elförsörjning. Stadsarkitektkontoret 1970-06-01.
078/11290	Redogörelse för geohydrologiska undersökningar av Enköpingsåsen för vattenförsörjningen i Fjärdhundra och Enköping. VIAK 1970-11-20.
079/11291	Förslag till vatten- och avloppsanläggning för Hummelsta, Åsunda. Bergström & Co 1956-12-20.
080/11293	Redogörelse över grundvattenundersökning vid Hummelsta vattenverk. LBF 1963-09-12.
081/11294	Redogörelse för utförd grundvattenundersökning vid Vindsberga för Hummelsta samhälle K-konsult. 1968-06-25.
082/11295	Redogörelse över utförd provpumpning i Säva, Lagunda. Bergström & Co 1956-11-07.
083/11297	Yttrande över provpumpning av bergborrad brunn vid Lillkyrka kyrka. Mellansvenska ingenjörbyrå, Stockholm 1955-12-15.
084/11300	Yttrande över grundvattenundersökning samt provpumpning av föreslagen vattentäkt belägen 650 m NV om Lillkyrka kyrka. Mellansvenska ingenjörbyrå, Stockholm 1965-09-03.
085/11301	Redogörelse för grundvattenundersökning för Grillby municipalsamhälle. AIB 1951-02-12.
086/11302	Redogörelse för utförd grundvattenundersökning vid Skäggesta för Grillby samhälle i Norra Trögd. Kommunernas konsultbyrå 1967-02-10.
087/11303	Förslag till vattenförsörjnings- och avloppsanläggningar för Ekolsunds samhälle. AIB 1957-02-25.
088/11304	Förslag till vatten- och avloppsanläggning för Skolsta. Bilaga: Redogörelse för grundvattenundersökning i Skolsta. Bergström & Co 1955-03-28.
089/11305	Redogörelse för grundvattenundersökning. Orrje & Co 1954-10-22.

- 090/11306 Förslag till utbyggnad av vattenanläggning för Örsundsbro samhälle. K-konsult – LBF 1966-04-14.
- 091/11307 VA-utredning tillhörande dispositionsplan för Fjärdhundra samhälle. K-konsult – LBF, Västerås 1967-10-01.
- 092/11308 Redogörelse för undersökningar för vattenförsörjningen inom Fjärdhundra samhälle. VIAK 1968-11-27.
- 093/11309 Redogörelse för grundvattenundersökning för Fjärdhundra. AIB 1950-01-13.
- 094/11310 Enköping vattenförsörjning. Teknisk beskrivning angående grundvattentäkt i Vånsjöbro. VBB 1967-01-19.
- 095/11311 Redogörelse över utförd grundvattenundersökning i Altuna. Bergström & Co 1957-02-20.
- 096/11312 Redogörelse för grundvattenundersökningar för vattenförsörjningen inom Ådalens samhälle. VIAK 1967-03-02.
- 129/11345 Orienterande undersökning av vattenkvaliteten i grusåsen på sträckan Enköping–Svinnegarnsviken. AIB 1974-04-18.
- 133/11375 Rekognoserande utvärdering av grundvattenmagasinet i Enköpingsåsen. VIAK 1976-11-03.
- 134/11378 Redogörelse för grundvattenundersökningar vid Nygård. VIAK 1972-10-06.
- 135/11379 Undersökningar för vattentäkt. Heby gård. VIAK 1970-02-24.
- 136/11380 Isby 1:3. Undersökningar för ny vattentäkt. VIAK 1970-02-24.
- 137/11383 Rapport över provpumpning av vattentäkt för fritidsområde på Östra Märsön, Enköping. AIB, Stockholm 1974-01-31.
- 173/11431 Fortsatt grundvattenundersökning för Örsundsbro. K-konsult 1969-01-27.
- 174/11432 Redogörelse för rekognoserande grundvattenundersökningar i Järlåsaåsen. VIAK, Stockholm 1974-06-03.
- 175/11433 Redogörelse för grundvattenundersökningar för Frösthults samhälle i Fjärdhundra kommun. AIB, Stockholm 1954-09-14.
- 176/11434 PM över besiktning den 25/1 1970 på sträckan Vånsjö kvarn - Vilstena kvarn, Enköpingsåsen. AIB, Stockholm 1970-02-02.
- 177/11435 Översiktlig utredning angående vattenförsörjningen inom Fjärdhundra kommun. AIB, Stockholm 1970-02-03.
- 178/11436 Angående grundvattenbrunnen i Hummelsta. LBF, Uppsala 1962-11-05.
- 179/11437 PM angående vattenförsörjningen för Hummelsta samhälle i anslutning till fastställelse av byggnadsplan för norra delen av Hummelsta i Åsunda kommun. Naturvårdssektionen.
- 180/11438 Undersökning för att klargöra hydrogeologiskt samband i Enköpingsåsen vid Sävasta-Nygård-området. Orrje & Co.
- 181/11439 Inventering av avlopp, oljetankar, gödselstäder och grustäkter inom blivande skyddsområde för vattentäkten i Vånsjöbro. Enköpings byggnadskontor 1970-10-16.

- 182/11440 Synpunkter på Enköpings grundvattentäkt vid Vånsjöbro. VIAK, Stockholm 1973-04-03.
- 183/11441 Enköpings vattenförsörjning. AIB 1972-08-18.
- 184/11442 Orienterande undersökning av vattenkvaliten i grusåsen på sträckan Enköping–Svinnegarnsviken. Redovisning av etapp 1. AIB, Stockholm 1974-12-12.
- 185/11443 Förslag av förberedande grundvattenundersökning för planerad bebyggelse vid S Trögds kommuns huvudort i Lillkyrka. Mellansvenska ingenjörbyrå.
- 186/11444 Vägprojekt E18. Enköping - Litslena/Grillby. Statens vägverk.
- 229/11487 Vattentäkt. Enköping. Vattenståndsobservationer 1972-77. Gatukontoret, Enköping.
- 230/11488 Vattentäkt. Vånsjöbro. Vattenståndsobservationer 1966-77 Gatukontoret, Enköping.
- 231/11489 Vattentäkten Vånsjöbro. Avlästa vattenståndsobservationer enligt Österbygdens vattendomstols deldom den 28/7 1967. Gatukontoret, Enköping.
- 232/11490 Fjärdhundra. Datakurvor för observationsrör. VIAK, Stockholm 1972-10-06.
- 233/11491 Vattenprovtagning vid Nygård, Enköpings kommun. Utlåtande sammanställt på uppdrag av Enköpings kommun, gatukontoret. SGU 1981-12-23.
- 234/11492 Utlåtande över grundförhållandena för ny bro över Örsundaån vid Altuna station å väg 796 Bärtbo-Flosta, Västmanlands län. SGI 1954-06-15.
- 235/11493 Vattentäkt Nygård. Vattenståndsobservationer 1972-77. Enköpings gatukontor.
- 236/11568 Redogörelse för grundvattenundersökningar vid Hässlinge. VIAK 1975-03-19.
- 237/11569 Redogörelse för kontroll av brunnsanläggning med stegprovpumpning vid Hässlinge VIAK 1975-11-18.
- 263/11702 Förslag till vattenförsörjnings- och avloppsanläggningar för Frösthults samhälle, Fjärdhundra kommun. AIB 1954-09-14.
- 271/11712 Stegprovpumpning. Akva Terra 1982-04-20.
- 347/26841 Enköpings kommun. Västerledsskolan. Grundvattenundersökning. Rörborrningar. Bil. 1. VBB VIAK 1995.
- 355/27190 Angående eventuell påverkan på brunn på fastigheten Varsta 10:1, Enköpings kommun. SGU 1997-11-04.
- 362/27235 Grillby – Borggatan. Provpumpning för GC-tunnel. SGU 1997-10-02.
- 363/27236 Grillby – Storgatan. Provpumpning för järnvägsbro. SGU 1997-10-23.
- 365/27238 Mälarbanan. Delen Grillby– (Enköping). Järnvägsbro över GC-väg. SGU 1998-02-09.
- 367/27240 Mälarbanan. Delen Grillby– (Enköping). Järnvägsbro över Storgatan, km 63+975. SGU 1998-02-09.
- 368/27242 Mälarbanan. Delen Grillby– (Enköping). Järnvägsbro över Villbergavägen, km 62+528. SGU 1998-02-09.
- 369/27334 Enköping. Vattenförsörjning. PM över långvarig propumpning av grundvattentäkt i Vånsjöbro. VBB 1966-11-09.
- 370/27335 Enköping. Vattenförsörjning. Principförslag angående ny vattentäkt. VBB 1966-05-10.

- 371/27336 Enköping. Vattenförsörjning. PM angående provpumpning vid vattentäkten vid Vånsjöbro. VBB 1970-11-13.
- 372/27337 PM angående Enköpings och Fjärdhundras framtida vattenförsörjning. Enköpings gatukontor 1971-09-16.
- 375/28987 Översiktlig hydrogeologisk bedömning av grundvattenuttag vid Ekolsund. SGU 1997-06-11.
- 380/29042 Norrhammar 1:11, Skarphagens gård, Kungs-Husby socken i Enköpings kommun. Grundvattenundersökning. SGU 1994-04-21.
- 395/33950 Enköpings kommun. Mätning av grundvattennivåer. SGAB 1989-01-30.
- 407/36341 E 18. Västerås – Stockholm. Delen förbifart vid Enköping. Statens vägverk 1974-03-12.
- 408/36342 Redogörelse för brunnsentreprenad och stegprovpumpning av ny brunn (Br 4) vid Rb 9301, Vånsjöbro. VBB VIAK 1993.
- 409/36343 Enköpings kommun. Skyddsområden och skyddsföreskrifter för vattentäkterna Munksundet, Vånsjöbro och Nygård. Åtgärdsberedskap mot föroreningar. SGAB 1989-03-30.
- 410/36345 Rapport Geoteknik (RGeo). Geoprojektering av vattenskydd vid Vånsjöbro vattentäkt, Enköping / Väg 558 och 566. Objekt Nr 10 716. Scandiaconsult 2002-11-07.

LITTERATUR

- Aastrup, M., 1985: Grundvattenövervakning inom PMK. Rapport från verksamheten 1985. *Statens naturvårdsverk. Rapport 3236*.
- Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995: Grundvattnets kemi i Sverige. *Naturvårdsverket, Rapport 4415*.
- 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.
- 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, 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. Kvartärgeologiska institutionen. Även STU 69-519/U386*.
- Bergström, S., 1993: *Sveriges hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI, Norrköping.
- Björnbom, S., 1985: Beskrivning till jordartskartan Strängnäs NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 68*.
- 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.

- Byggeforskningsrådet, 1982: Bergvärme, grundvattenvärme och geotermi. BFR-seminarium maj 1982. *Rapport R130:1982*.
- Bäckström, O., 1981: *Förurning*. Uppsala universitet. Kvartärgeologiska 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. *Byggeforskningsrådet R41: 1984*.
- Coordinating committee for hydrology in Nordic Countries (COHYNO), 1984: *Nordic glossary of hydrology*. I. Johansson (red.). Almquist & 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 brunnarsarkivet 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 – Processstudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. *VAV. VA-försk 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.
- Gustafson, G., Norling, E., Ahlbom, K., De Geer, J., Hård, S., Karlqvist, L., Persson, G. & Thoregren, U., 1980: Energigeologisk kartering. Metodstudie. *Byggeforskningsrådet R 134:1980*.
- 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. *Byggeforskningsrådet 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 grundvattenskydd. *Vägverket Publikation. 1995:1*.

- 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 energitillförsselforskning.
- 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.
- Livsmedelsverket, 1993: Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten. *SLV FS* 1993:35.
- Länsstyrelsen Uppsala län, 1996: *Inventering av krossberg i Uppsala län*.
- Müllern, C.-F., 1980: Airborne geophysical measurements used for hydrogeological mapping. 6:e *Nordiska Hydrologiska Konferensen*. Uppsala Universitet, Naturgeografiska Institutionen. Rapport Nr 53. Uppsala.
- Müllern, C.-F., 2008: Grundvattenförekomster i Heby kommun. *Sveriges geologiska undersökning K* 91.
- Möller, H., 1976: Beskrivning till jordartskartan Enköping SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae* 28.
- Möller, H., 1977: Beskrivning till jordartskartan Enköping SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae* 20.
- Naturvårdsverket, 1991: Grundvattentäkter: skyddsområden – skyddsföreskrifter. *Allmänna råd* 90:15.
- 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. *Byggforskningsrådet 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.
- Ripa, M. & Persson, L., 2007a: Berggrundskartan 11H Enköping NV. *Sveriges geologiska undersökning K* 84.
- Ripa, M. & Persson, L., 2007b: Berggrundskartan 11H Enköping NO. *Sveriges geologiska undersökning K* 85.
- 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.
- Stålhös, G., 1974: Beskrivning till berggrundskartan Enköping SO. *Sveriges geologiska undersökning Af* 110.
- Stålhös, G., 1977: Beskrivning till berggrundskartan Enköping SV. *Sveriges geologiska undersökning Af* 118.

- Stålhös, G., 1984: Beskrivning till berggrundskartan Strängnäs NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 145*.
- Sundlöf, B. & Kronqvist, L., 1992: Konstgjord grundvattenbildning. *Va-forsks rapportserie 1992-13*.
- Svantesson, S.-I., 1991: Beskrivning till jordartskartan Enköping NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 110*.
- Svantesson, S.-I., Söderlund, T., 1999: Beskrivning till jordartskartan Enköping NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 131*.
- Svenska vatten- och avloppsföreningen, 1995: VA-verk 1994. Statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk. *VAV S94*.
- Svenska vatten- och avloppsföreningen, 1997: Skydd av vattentäkt. *Meddelanden, VAV M98*.
- Svensson, C., 1996: Litteraturlöslösa för grundvatten i urban miljö på Internet. *Va-forsks rapportserie 1996-12*.
- Söderholm, H., Müllern, C.-F. & Engqvist, P., 1983: Beskrivning till hydrogeologiska kartan över Uppsala län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 5*.
- 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

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.
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.
101. Betydelsen av de geokemiska och mineralogiska förhållandena för grundvattnets kemiska sammansättning i morän och sorterade sediment i norra Värmland. 1999.