

Beskrivning till karta över grundvattenförekomster i **Kristinehamns kommun**

Thomas Aneblom &
Magnus Åsman



K 50

Beskrivning till karta över grundvattenförekomster i
Kristinehamns kommun

Thomas Aneblom &
Magnus Åsman

ISSN 1652-8336
ISBN 91-7158-757-8

För mer detaljerad information om jordarter och berggrund hänvisas till SGUs jordarts-kartor och berggrundskartor.

Närmare upplysningar erhålls genom

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

Omslagsbild: Transport av borrhandsvagnen till Tyskön med pråm. I bakgrunden Tyskön.
Foto: Thomas Aneblom

© Sveriges geologiska undersökning 2006
Layout: Kerstin Finn, SGU

FÖRORD

Kartan över grundvattenförekomsterna i Kristinehamns kommun ingår i en serie kommuninriktade grundvattenkartor som framställs av Sveriges geologiska undersökning, SGU. Kartan är framtagen i samarbete med kommunens Miljökontor och Tekniska kontor.

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

Framställningen av kartan har skett i GIS-miljö (MapInfo och ArcInfo). Informationen är inlagrad i den underliggande databasen 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. Man ska emellertid vara medveten om att noggrannheten i informationen inte förändras vid en ändring av kartskalen.

Bedömningarna av grundvattentillgångarna i de kvartära avlagringarna, i första hand grusåsarna, är beroende av moderna geologiska jordartskartor i digital form. Sådana saknades för Kristinehamns kommun. De moderna jordartskartorna Ae 50 och Ae 54 för Karlskoga SV och Karlskoga NV digitaliserades. De gamla kartbladen Karlstad NO och Karlstad SO nykarterades till jordartskartorna Ae 142 och Ae 143 under ledning av t.e statsgeolog Curt Fredén.

Den på kartan redovisade kapaciteten för brunnar borrade i berg är statistiska bearbetningar av brunnar registrerade i SGUs brunnsarkiv.

Med ledning av kartstudierna och uppgifter som sammanställts från konsultrapporter, andra utredningar och annan dokumentation har SGU utfört kompletterande hydrogeologiska fältarbeten inom kommunen. De har innefattat geofysiska mätningar med georadar och seismik samt sonderingsborrningar med drivning av observationsrör, avvägningar, vattenprovtagning och fältanalyser.

Textbidrag har lämnats av Bo Thunholm: grundvattennivåer och grundvattnets kemi i allmänhet; Bo Wällberg: metodbeskrivningar – georadar och seismik; Leif Eriksson: metodbeskrivningar – elektriska motståndsmätningar. Magnus Åsman: metodbeskrivningar – kriging och variogramanalys. Seismogram och radargram har gjorts av Bo Wällberg.

Kartläggningen genomfördes 1998–1999. De geofysiska arbetena har letts av Bo Wällberg, borringarna av Roger Smedberg. I fältarbetena medverkade Sven-Eric Gradstock, Anders Lundström, Åsa Gierup, Leif Särnblad, Eva Elsmark Müllern, Sune Rurling och Heidi Graeffe.

Kristinehamns kommun har utfört höjdavvägningar av ett stort antal brunnar samt bekostat transport av bormaskin till Tyskön.

Kontaktpersoner vid kommunen har främst varit Kurt Eriksson och Lennart Nordqvist. Flera andra tjänstemän på kommunen har också varit delaktiga.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	8
Utförda arbeten	8
Resultat och slutsatser	9
Grundvattenförekomster	11
Allmänna förutsättningar	11
Naturresursen grundvatten	11
Vattnets kretslopp	12
Grundvattnet i och intill en grusås	13
Grundvattenbildning	14
Grundvattennivåer	14
Årstidsvariationer	14
Dricksvatten	17
Inducerad infiltration	19
Konstgjort grundvatten	19
Översiktlig beskrivning av grundvattenförekomsterna i Kristinehamns kommun	22
Grundvatten i jordlagren	22
Grundvatten i berggrunden	23
Teckenförklaring till kartorna	25
Redovisning av fältundersökningar	26
Skagersbrunn–Mo	26
Kolstrandsviken	29
Nybble	30
Visnum	32
Blaxmo	33
Bäckhammar	34
Hultängen	36
Strandvik	37
Ölmeslätten	38
St. Skanum	41
Bergsjön	42
Tyskön	44
Övriga undersökta områden	49
Hygn	49
Vallbromossen	49
Stormon	49
Rotängsmossen	49
Dye	49
Hjälmarsnäs	50
N. Ämtheden	50
Motorbanan	50
Skinnerud	50
Anneberg	50

Grundvattnets kemi	51
Salt grundvatten	52
Förekomsten av salt grundvatten	52
Åtgärder mot salt grundvatten	55
Grundvattnets sårbarhet	55
Allmänt om grundvattnets sårbarhet	55
Grundvattenpåverkan	55
Konsekvens- och riskanalys	55
Skydd av grundvattnet	55
Metodbeskrivningar	57
Georadar	57
Geologiska förutsättningar	57
Tillämpningsområden	58
Seismik	58
Grundläggande principer	58
Mätförfarande	59
Geologiska förutsättningar	59
Tillämpningsområden	60
Elektriska motståndsmätningar	60
Kriging och variogramanalys	62
Dokumentation av geofysiska mätningar och kemiska analyser	64
Geofysiska mätningar	64
Kemiska analyser av grundvatten i observationsrör	65
Databasstruktur	66
Litteratur och grundvattenkartor	67
Referenser	67
Allmän litteratur	67
SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel	69
Grundvattenkartor	70

SAMMANFATTNING

Utförda arbeten

De arbeten som genomförts i samband med kartläggningen av grundvattenförekomsterna i Kristinehamns kommun har utförts med delfinansiering av kommunen. Avvägningar av brunnar, observationsrör och fixpunkter vid geofysiska mätningar har utförts av stadsingenjörskontoret på kommunen.

Figur 1 visar en principbild av hur det kan se ut på djupet i en grusås. De arbeten som genomförts i detta sammanhang har huvudsakligen syftat till att utreda 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 och så vidare.

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

Arbetet har haft sin utgångspunkt i SGUs jordarts- och berggrundskartor samt grundvattenkartan över Värmlands län och har sedan, sammanfattningsvis, bestått av följande moment:

- Genomgång av tidigare utredningar och arkivmaterial.
- Inventering av brunnar och äldre observationsrör.
- Inventering av kända källor samt uppletande av ytterligare källor.
- Avvägning av brunnar, nyetablerade observationsrör och vissa fria vattenytor.
- Georadarmätningar i 41 profiler med en sammanlagd längd av 12 870 meter.
- Seismiska mätningar i 18 profiler med en sammanlagd längd av 5 860 meter.
- Avvägning av georadar- och seismiska profiler.
- Sonderingsborrningar på 24 platser med en sammanlagd längd av 303 meter.
- Inlagring i databaser av:
 - brunnsdata
 - georadar- och seismiska data
 - borrhingsdata
 - grundvattennivådata
- Upprättande av kartdatabaser över:
 - uttagsmöjligheter i berggrunden
 - grundvattentillgångar i jordlagren
 - större sprickzoner i berggrunden
 - grundvattennivåer
 - grundvattnets strömningsriktningar
 - grundvattendelare
 - källor
- Sammanställning av dessa databaser med Lantmäteriets digitala topografiska karta (T5) till en karta över grundvattenförekomsterna i Kristinehamns kommun.
- Sammanställning av föreliggande beskrivning.

Brunns- och källinventeringar har utförts i vissa utvalda områden. De geofysiska mätningarna, sonderingsborrningarna och observationsrördrivningarna har i regel genomförts på ställen som bedömts vara intressanta för utvinning av större grundvattenmängder. Dessa mer omfattande arbeten har även genomförts i nyckelområden för bestämning av lägen för grundvattendelare samt utbredning och mäktighet (berglägesbestämningar) av viktiga grundvattenmagasin.

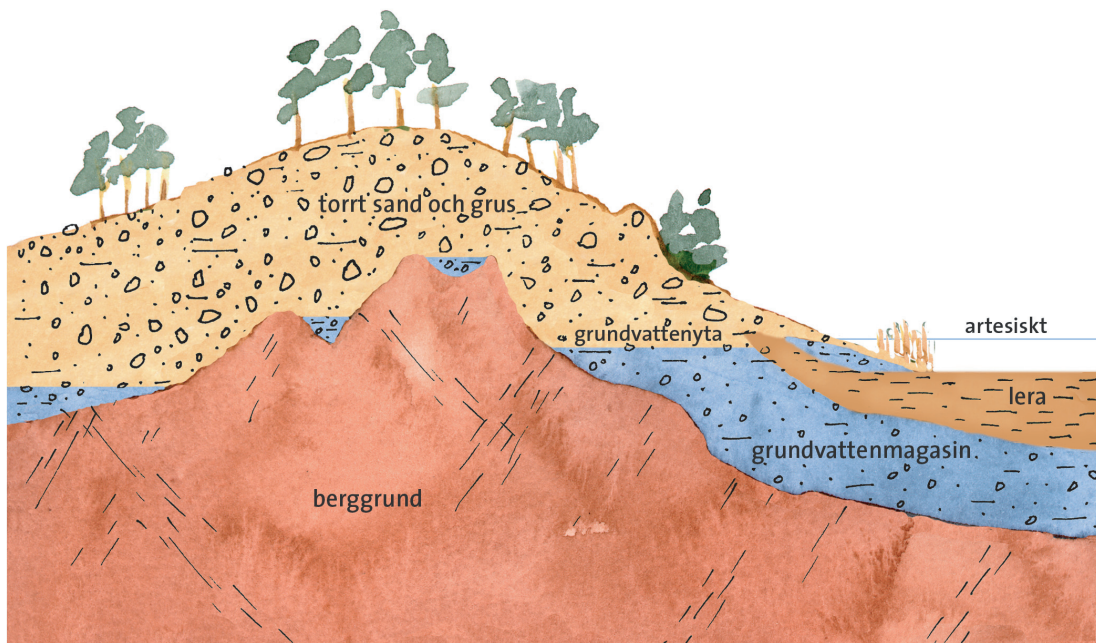


Fig. 1. Principbild av höga och låga berglägen – stora och små grundvattenmagasin i en grusavlagring. Lägg märke till hållkaren, de små grundvattensamlingarna, där bergläget är som högst. Illustration Anna Jonson, ArtAnna

Resultat och slutsatser

Inom ramen för SGUs grundvattenkartering har huvuddelen av arbetsinsatserna i fält satts in i områden som var föga eller inte alls undersökta och där det ur grundvattensynpunkt fanns potentiella förutsättningar för bra vattentäkter. Dessa områden kan ses som olika alternativ för framtida behov till vissa, befintliga vattentäkter eller som reservvattentäkter.

Den verkliga grundvattentillgången kan dock avgöras först efter fullskaliga propumpnings- och provinfiltrationsförsök. Det gäller såväl kvantitet som kvalitet. Det är också i stor utsträckning en rent teknisk fråga om hur anläggningarna utformas.

En annan fråga, som inte behandlas här, är eventuella motstående intressen på de olika platserna.

Vid kartläggningen av grundvattenförhållandena i Kristinehamns kommun har grundvattentillgångar av kommunal betydelse påvisats. De tillgångar som utnyttjas idag för den kommunala vattenförsörjningen kommer dock även inom överskådlig tid att vara de viktigaste. Det är därför av stor vikt att dessa tillgångar utnyttjas med förstånd och alla tänkbara skyddsåtgärder prioriteras. Det är även av stor betydelse att skyddet av grundvattenmagasin för framtida kommunal och enskild vattenförsörjning beaktas i kommunens översiktsplanering.

De undersökta lokalerna på Ölmeslätten har inte visat sig ha de förutsättningar som bör finnas för uttag av stora kvantiteter grundvatten.

Förutsättningar för uttag av större grundvattenkvantiteter torde finnas på Tyskö. Noggrannare undersökningar behövs dock utföras här.

De befintliga vattentäkterna vid Bäckhammar har möjligen förutsättningar att öka den potentiella kapaciteten genom konstgjord infiltration. Läget för infiltrationsanläggningen bör dock prövas och väljas med omsorg. En bedömning av grundvattentillgångar och uttagsmöjligheter i berggrunden har gjorts baserad på berggrundens uppbyggnad och skiffrighet samt förekomsten av potentiellt vattenförande sprickzoner. Kapacitetsdata från bergborrade brunnar i SGUs brunnsarkiv har använts för att påvisa områden i kommunen med olika möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden.

Tabell 1. Befinliga vattentäkter i Kristinehamns kommun. Siffrorna gäller 1992.

Plats	Kapacitet m ³ /dygn	Typ av vattentäkt	Antal försörjda personer
Bergsjön	11 000	Grundvatten jord + ytinfiltration	20 200
Bäckhammar	216	Grundvatten jord	
Krontorp			800
Bäckhammar	115	Grundvatten jord	
Algotserud			
Nybble	50	Grundvatten jord	180

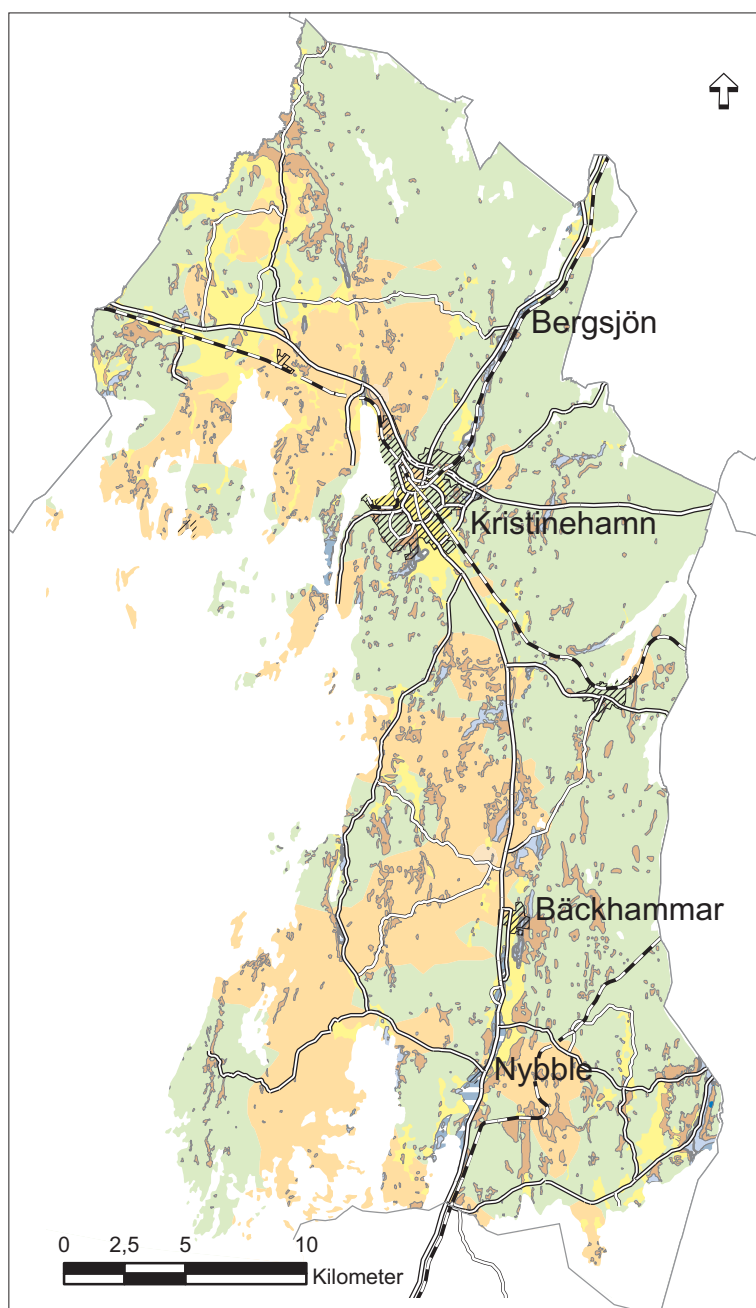


Fig. 2. Översiktlig karta över bedömd grundvattentillgång i Kristinehamns kommun. Blå områden: uttagbara mängder i jordbrunnar mer än 1 l/s. Mörkbruna områden: uttagbara mängder i jordbrunnar mindre än 1 l/s. Ljusgröna områden: uttagbara mängder i bergbrunnar mer än 600 l/tim. Gula områden: uttagbara mängder mindre än 600 l/tim. Heldragna linjer: gränser mellan topografiska kartblad.

GRUNDVATTENFÖREKOMSTER

Allmänna förutsättningar

Naturrensursen grundvatten

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

När nederbördsvattnet 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 perkolations. Djupare ner i marken, i den mättade zonen, fyller enbart vatten porerna och sprickorna. Det är det vattnet som kallas grundvatten.

Strömningen ned till grundvattenytan kan ta allt ifrån 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 svår genomträngliga 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 borrade 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.

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

Enskilda hushåll, som använder vatten från egna grävda eller borrade brunnar för sin vattenförsörjning, omfattar drygt en miljon människor i vårt land. Lika många utnyttjar grundvatten i sitt fritidsboende.

Grundvatten har många användningsområden. Några sådana är:

- för vattenförsörjning, både kommunal och enskild,
- som avlopp, där vattnet fungerar som transportmedel och lösnings- och spädningsmedel,
- i jordbruket för djurhållning och konstbevattning,
- som processvatten i vissa industrier,
- för trädgårdsbevattning,
- som energikälla genom värmeutvinning 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 3.

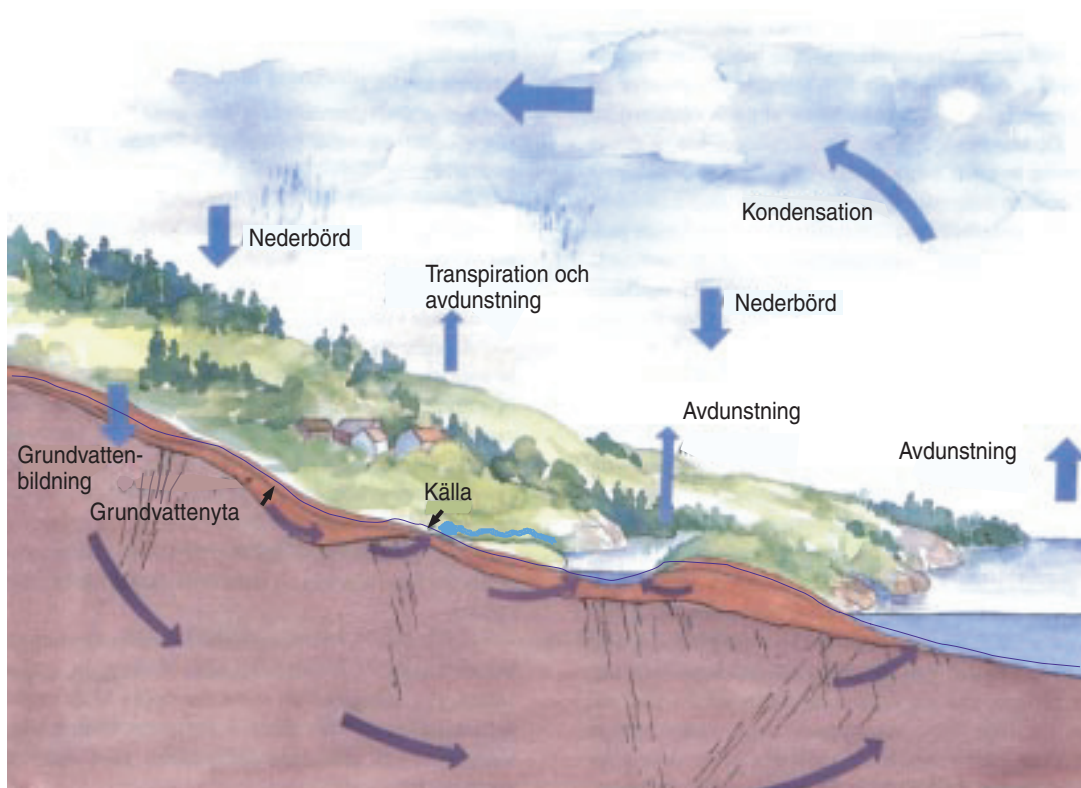


Fig. 3. Vattnets kretslopp. Grundvattnet rinner huvudsakligen ut i botten på bäckar, åar och sjöar samt i källor. Illustration: Elisabeth Carlson.

Grundvattnet i och intill en grusås

Figur 4 visar en dalgång med en isälvsavlagring – rullstensås – med sand, grus och block. Det är i åsarna som de största grundvattentillgångarna finns. Till höger i bilden finns också ett berg- och moränområde. Utanför åsarna finns de viktigaste grundvattentillgångarna i allmänhet i berggrunden. Terrängen ligger under högsta kustlinjen, dvs. landet har någon gång efter den senaste nedisningen varit täckt av hav, så som fallet är för större delen av Kristinehamns kommun. Högsta kustlinje ligger här på ca 170 m ö.h. 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.

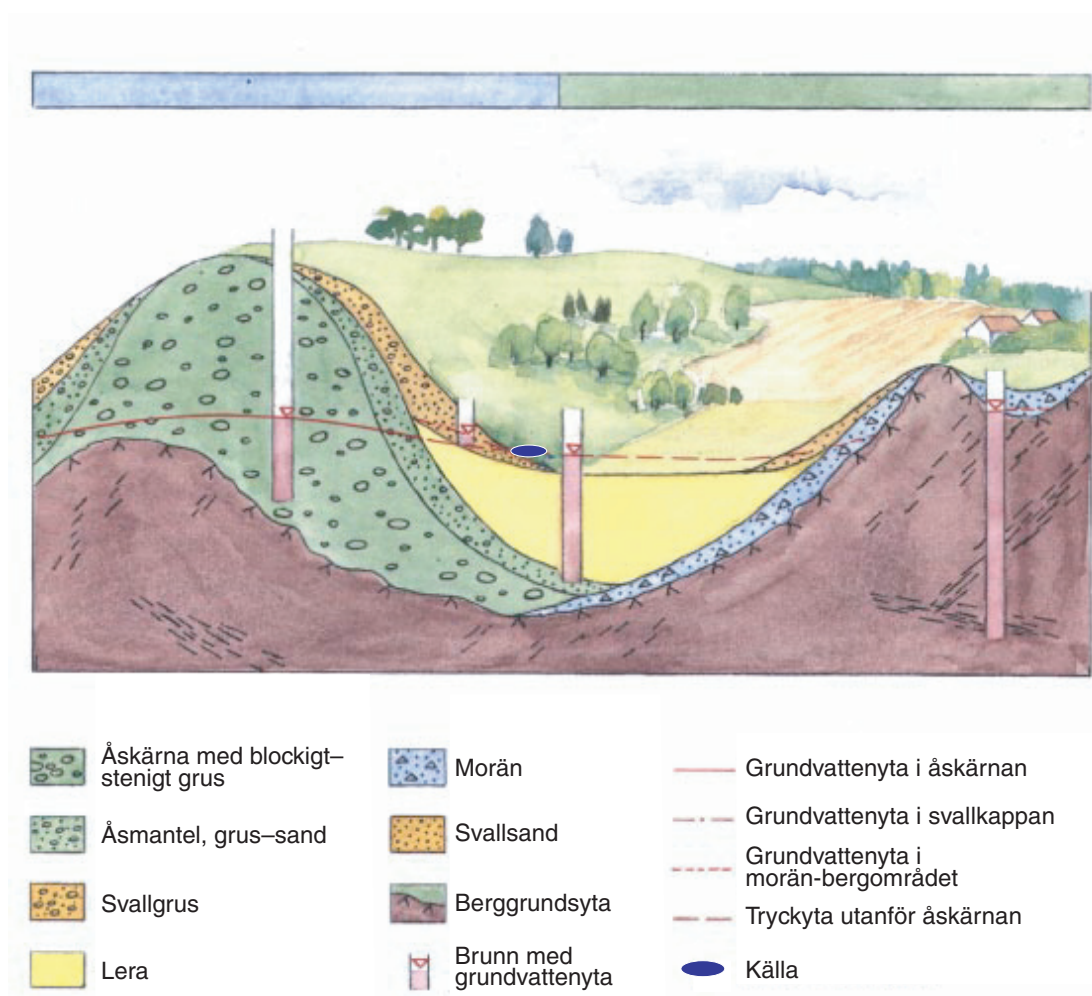


Fig. 4. Principbild på hur grundvattnet uppträder i och intill en grusås. (Färgmarkeringen överst i bild visar hur detta redovisas på kartan över "Grundvattentillgångar i Kristinehamns kommun". Blått – tillgångar i jord, grönt – tillgångar i berg.) Illustration: Elisabeth Carlson.

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. 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 regnrikaste månaderna på året. Grundvattennivåerna sjunker och ytavrinning i vattendragen av utläckande grundvatten minskar men upphör vanligen inte helt.

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

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, figur 5.

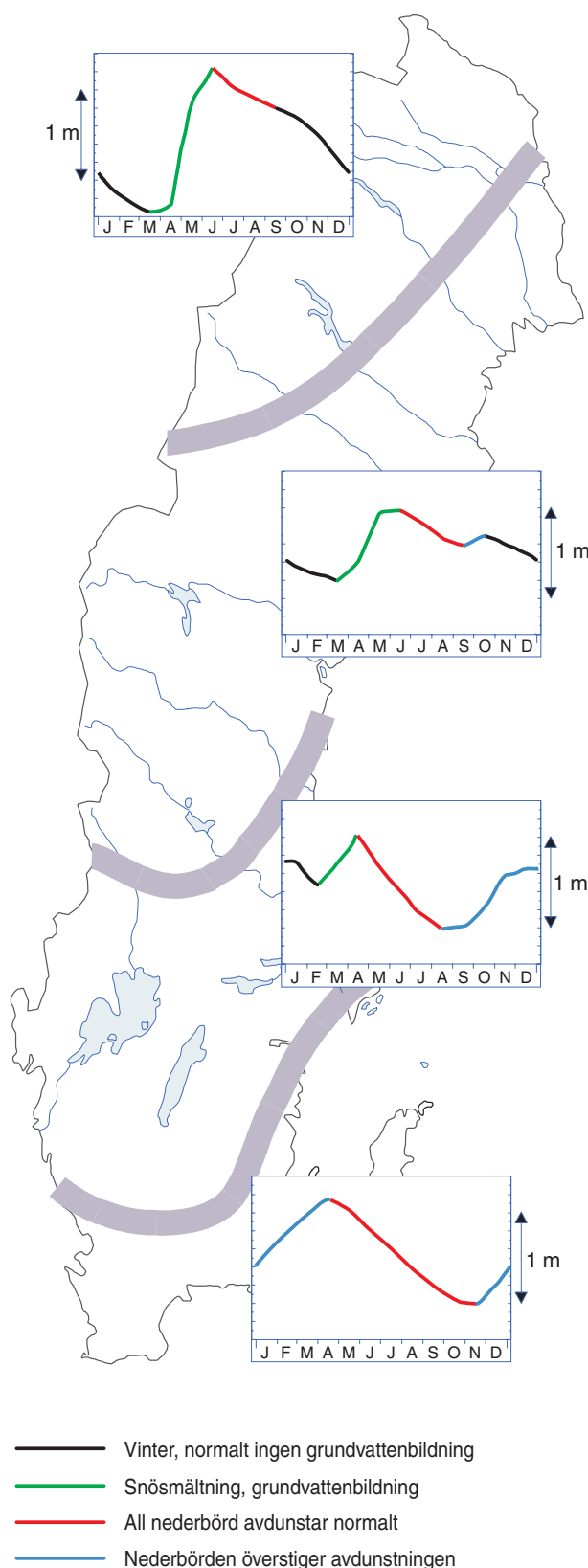
Variationsmönstret i södra Värmland framgår av figurerna 6–9 som visar förhållandena vid en av stationerna i SGUs grundvattennät (Brattforsheden, station 19) samt beräknad effektiv nederbörd (nederbörd minus avdunstning) enligt SMHI för området som motsvarar kartbladet 11D SO. Stationen visar nivåvariationer i ett litet magasin i grus. Figurerna 6–7 visar månadsmedelvärden för effektiv nederbörd för perioden 1961–1990 samt grundvattennivåns månadsvisa min-, medel- och maxvärden för perioden 1986–1995. Grundvattennivån är normalt lägst under perioden augusti–oktober som ett resultat av den relativt låga grundvattenbildningen under sommaren. Stor effektiv nederbörd under perioden mars–april återspeglas i årets högsta medelnivå under april. I figurerna 8–9 redovisas uppmätt grundvattennivå respektive grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet. Mycket låga nivåer uppmättes bl.a. under 1989 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.

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 5 har fyra av SGUs mätstationer valts ut som exempel på de fyra huvudmönster som finns i Sverige.



Arjeplog

Den huvudsakliga grundvattenbildningen i norra Sveriges inland sker i samband med snösmältningen på senvåren. 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 senvin- tern.

Sigtuna

I södra Sveriges inland och upp mot Gävle- bukten förekommer de lägsta grundvatten- nivåerna 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 hö- sten sker därför en kontinuerlig stigning, och nivån är som högst på våren.

Fig. 5. Grundvattennivåer i Sverige.

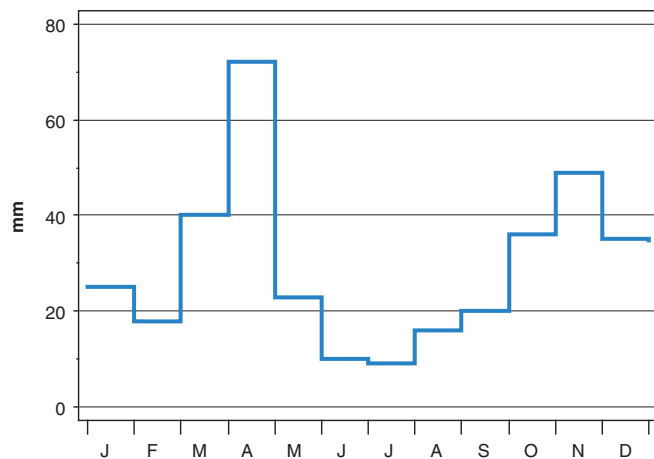


Fig. 6. Effektiv nederbörd (mm/mån.), 30 års medelvärden för topografiska kartbladet 11D SO enligt SMHI.

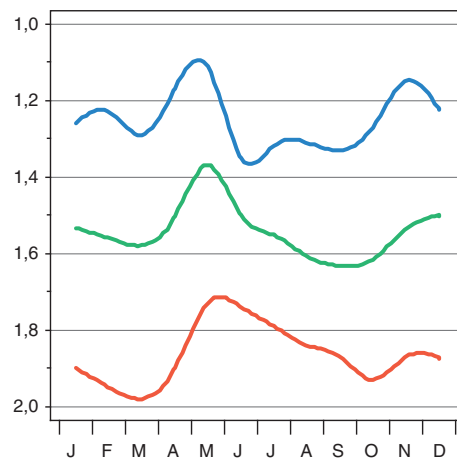


Fig. 7. Grundvattennivåns månadsvärden, meter under markytan, vid station 19:9, Brattforsheden, i SGUs grundvattennät.

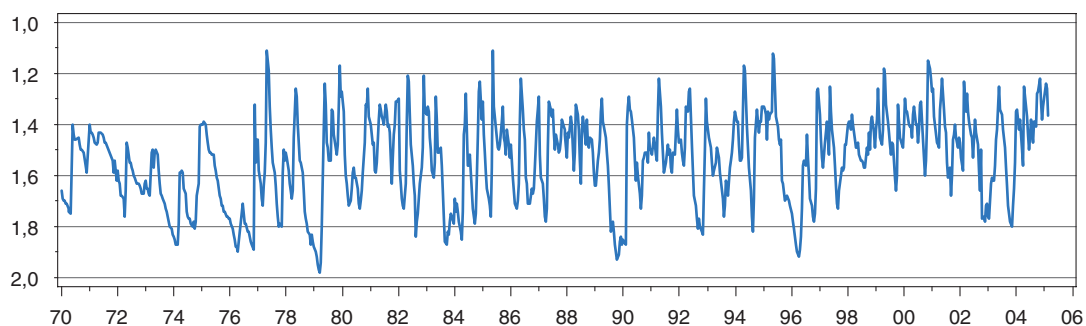


Fig. 8. Grundvattennivåer i meter under markytan, för åren 1970–2005 vid station 19:9, Brattforsheden, i SGUs grundvattennät.

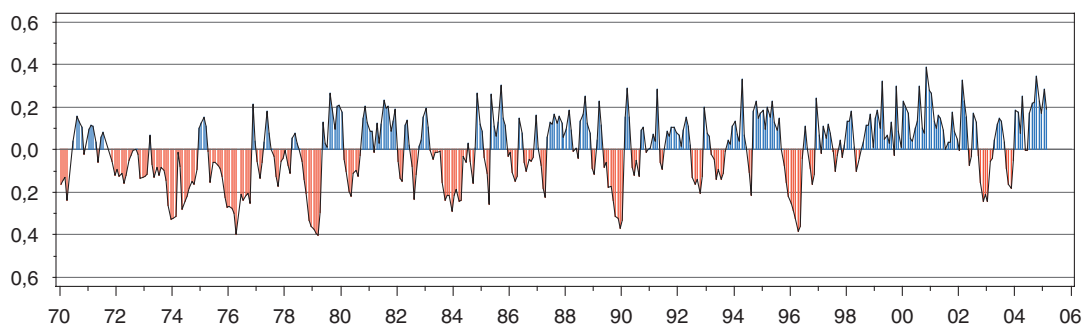


Fig. 9. Grundvattennivåer, avvikelser från månadsmedelvärden i meter, för åren 1970–2005 vid station 19:9, Brattforsheden, i SGUs grundvattennät.

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 skall 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. En ny författning av Livsmedelsverket, SLVFS 2001:30 (2001), tillämpas från och med 25/12 2003. För att främja en enhetlig tillämpning av föreskrifterna i denna författning har Livsmedelsverket även tagit fram en vägledning som regelbundet förnyas. Föreskrifterna och vägledningen återfinns på Livsmedelsverkets webbplats. De nya 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), som gäller från och med 5/12 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 2 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 2. Gräns- och riktvärden för dricksvatten enligt Livsmedelsverket (2001) och Socialstyrelsen (2003). Listan omfattar ett antal ämnen och parametrar 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	0,5		0,5 (t) 1,5 (h, t)	
Arsenik	µg/l As		10		10 (h)
Bekämpningsmedel enskilda	µg/l		0,1		0,1
Bekämpningsmedel totalhalt	µg/l		0,5		0,5
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	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	0,2	2	0,20 (e, t)	2,0 (h, e, t)
Krom	µg/l Cr		50		50 (h)
Kviksilver	µg/l Hg		1		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**	0,5	0,1 (t)	0,5 (h)
Oxiderbarhet (permanganatindex)	mg/l O ₂	4			
pH (vätejonkoncentrationen)		<7,5 >9,0	10,5	<6,5	10,5 (h)
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)	µg/l		0,1		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. Inducerad infiltration 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, figur 10.

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

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

Förutsättningar för inducerad infiltration föreligger på flera ställen inom Kristinehamns kommun. Viss betydelse har det t.ex. vid Bergsjön. För den potentiella tillgången på Tyskön är den av avgörande betydelse. Där förutsättning för inducerad infiltration bedömts föreligga har strandlinjen markerats med en kraftig, tandad linje på kartan.

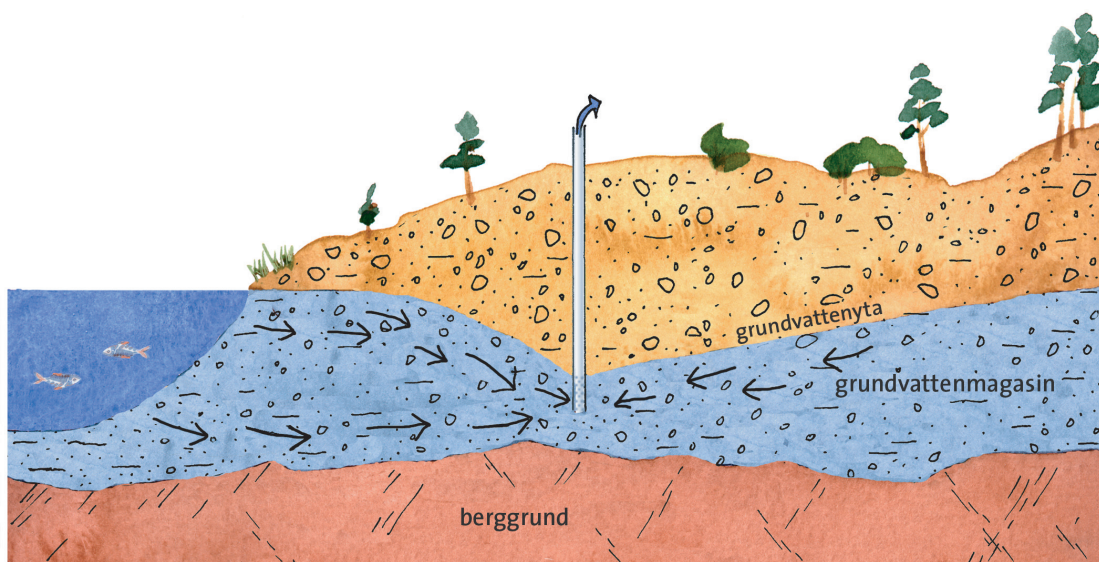


Fig. 10. Principbild på inducerad infiltration. Genom pumpning i brunnen sänks grundvattenytan under sjöns nivå. Därigenom kan sjövattnet infiltrera genom sjöbotten. Vid passagen genom sand- och gruslagren renas sjövattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna

Konstgjord grundvatten

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

Vattentillgången i en sand- eller grusavlagring kan förstärkas genom konstgjord grundvattenbildning. Det tillgår vanligen så att man leder ytvatten till bassänger eller gropar i avlagringen där det får infiltrera, se figur 11. Ibland byggs särskilda infiltrationsbrunnar.

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

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

- Vid infiltrationsläget bör sand- och gruslagren ha en relativt homogen sammansättning och vara tillräckligt genomsläppliga för att tillåta en infiltration av mellan 2 och 5 m³ per kvadratmeter och dygn.
- Den omättade zonens mäktighet under naturliga förhållanden bör vara minst 3–5 m.
- 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 skall vara så entydigt att huvuddelen av det infiltrerade vattnet kan utvinna.
- För att säkerställa jämn och god grundvattenkvalitet måste grundvattnets uppehållstid i marken vara tillräckligt lång, vilket medför att uttagsbrunnarna måste placeras på ett tillräckligt stort avstånd från infiltrationsläget – minst 14 dygn eller 200–300 m.
- En fördel är om grundvattenmagasinet har en så stor magasinering förmåga att uttag kan ske under lång tid – flera veckor – utan infiltration.

Naturligt grundvatten med ursprungligen höga halter av järn, mangan eller humus kan ofta förbättras genom att det luftas i vattenkaskaden i infiltrationsbassängen. En sådan anläggning kan se ut som figur 12 visar, men med den skillnaden att råvattnet kommer från en grundvattenbrunn i stället för från en sjö.

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

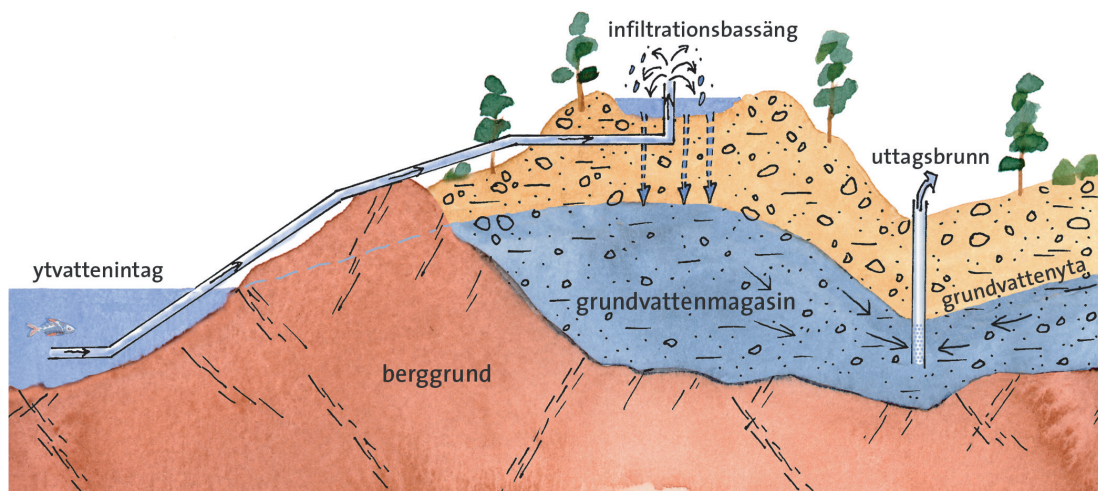


Fig. 11. Principbild på konstgjord grundvattenbildning. Sjövattnet leds till infiltrationsbassänger i en sand- och grusavlagring där den naturliga grundvattenbildningen inte är tillräcklig. Vid passage genom den omättade zonen renas vattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna



Fig. 12. Luftningsanläggning i infiltrationsdamm vid Kristinehamns vattentäkt vid Bergsjön. Järnet oxideras vid kontakt med luftens syre och faller ur som roströda avlagringar. Foto: Thomas Aneblom.

Översiktlig beskrivning av grundvattenförekomsterna i Kristinehamns kommun

Grundvatten i jordlagren

Inom Kristinehamns kommun finns de största grundvattenförekomsterna i isälvsavlagringarna. Vanligtvis förekommer isälvsavlagringar i form av långsträckta åsar med i huvudsak nord-sydlig utsträckning (se fig. 2). Isälvsavlagringarna inom Kristinehamns kommun uppträder främst som medelstora eller små avlagringar med blandad sammansättning. Av störst betydelse för Kristinehamns kommuns vattenförsörjning idag är åsstråket från Bergsjön söderut mot Kristinehamn. Viss betydelse har även åssträckan längs Visman mellan Bäckhammar och Nybble. Följande åsområden inom kommunen bedöms ha förutsättningar för grundvattenuttag av 5 l/s eller mer.

1. **Bergsjön** och åssträckan mot söder är som nämnts det för närvarande viktigaste området inom Kristinehamns kommun för dess försörjning av dricksvatten. De naturligt bildade mängderna, ca 25 l/s, räcker inte till för behovet som för närvarande är ca 130 l/s. Grundvattenbildningen förstärks därför med infiltration av vatten från Bergsjön i ett antal infiltrationsdammar på området mellan Sjöändan och Hedebottomen.
2. **Bäckhammar** har för närvarande två vattentäkter vilka tillsammans beräknas kunna ge maximalt 25 l/s. Uttagen kan möjligen ökas om konstgjord infiltration tillgripes.
3. **Nybble** har en vattentäkt med en kapacitet på minst 2 l/s. Även här finns vissa möjligheter till förstärkt grundvattenbildning i infiltrationsdammar.
4. **Tyskön** bedöms ha den bästa förutsättningen till en framtida vattentäkt. Praktiskt taget hela ön består av sand och grus som har direkt förbindelse med Vätern vilket är en förutsättning för inducerad infiltration. Möjlighet till konstgjord infiltration på ön föreligger även.
5. **Sandvik** har en enskild grundvattentäkt som försörjer permanent- och fritidsboende i området. Möjlighet till förstärkning av grundvattenbildningen med konstgjord infiltration av vatten från Vätern finns.
6. Vid **Hultängen**, ca 3 km väster Björneborg, löper en ås som till stora delar är dold av Klostermossen och Uddmossen. Förutsättningar för grundvattenuttag 10–20 l/s bör vara goda.
7. **Skagersbrunn–Mon** utgör ett parti av den mäktiga åsen som i stort följer Letälven mot Degerfors. Bästa förutsättningar för grundvattenuttag föreligger troligen närmast Skagern mellan Revsten och Skagersbrunn.
8. Vid **Hygn** bedöms möjlighet finnas för bra vattenuttag vid udden som är uppbyggd av en isälvsavlagring med direktkontakt med Vätern.
9. **Övriga platser.** Förutom ovannämnda platser finns förutsättningar till grundvattenuttag av upp till 5 l/s, på vissa platser kanske mer, vid följande sand och grusavlagringar inom kommunen: Skottlanda, Silletorp, Brattsand, Vallbromossen, Mon, Rotängsmossen, Dyåsen, Kvarnbyn, N. Ämtheden, Bergsjö, Östervik och Skinnerud. För ytterligare information, se kartan.

Många områden är på kartan betecknade som "Sammanhängande områden med mäktig lera. Vattenförande sand- och gruslager kan förekomma i och under leran." I sådana områden är det förhållandevis vanligt att det under leran förekommer någotsånär väl sorterade sand-, grus- eller luckra moränlager. Dessa kan ha en mäktighet av några decimeter till några meter och kan ge förhållandevis mycket vatten, upp till några liter per sekund, dvs. kanske 5 000–10 000 liter per timme.

Grundvatten i berggrunden

Berggrunden inom Kristinehamns kommun består av kristallint urberg. Bergarterna är huvudsakligen gnejser och graniter av varierande slag. Gnejsomvandlade graniter, s.k. urgraniter, dominerar. Inom kommunens västra delar förekommer på flera ställen hyperit, som är en mörk, något brunviolettt bergart.

Bergarterna intar generellt en nordväst–sydostlig strykning, dvs. strukturen – förskiffringsplanen – i berggrunden och bergartsgränserna är företrädesvis riktade i nordväst–sydost.

För närmare information hänvisas till SGUs kombinerade berggrunds- och jordartskartor Aa 136 (Johansson & Johansson 1917), Aa 145 (Sandegren & Johansson 1916) och Aa 151 (Sandegren m.fl. 1922) i skala 1:50 000, berggrundskartor Af 176 (Wahlgren 1992) och Af 182 (Wahlgren & Karis 1993) i skala 1:50 000 samt berggrundskartan Ba 45, södra bladet, i skala 1:250 000 (Lundegårdh m.fl. 1992).

Förskiffringsplanens stupningsvinkel har ganska stor betydelse för grundvattentillgången 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 förskiffringsplanen. Bergarten är lätt klyvbar längs förskiffringsplan, men inte lika lätt i andra riktningar. (Jämför med ådringen i trä!) Då de flesta brunnar borrar vertikalt är chanserna små att man skall träffa vattenförande avlossningssprickor i områden med vertikalt eller brant stupande förskiffringsplan. I områden med flackt stupande förskiffring är chanserna naturligtvis betydligt större att få vatten, se fig. 13. Möjligheterna är omvänt 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 Kristinehamns kommun är stupningen oftast flack, i regel 15–20 grader. Detta innebär att brunnborrning här i regel skall utföras vertikalt. I vissa områden, speciellt i kommunens sydöstra delar, är stupningen dock brantare. Inom dessa områden kan det löna sig att utföra gradborrning.

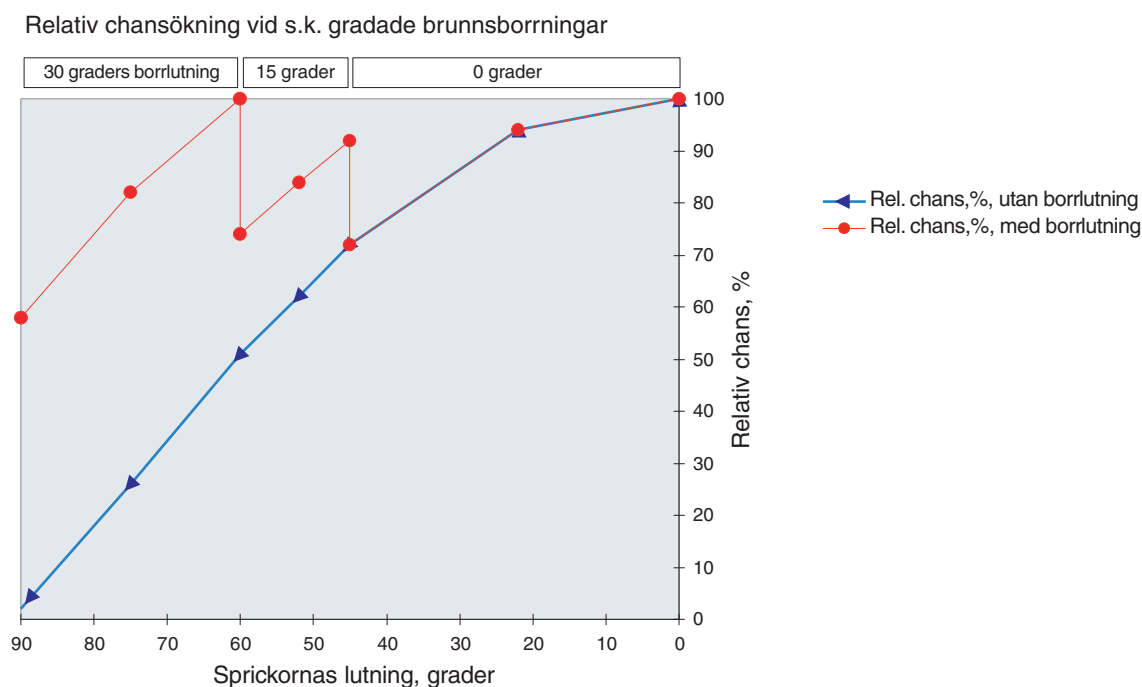


Fig. 13. Bilden visar hur den relativa chansen att få vatten ökar om man vid brunnborrning tar hänsyn till vilken riktning sprickorna har (strykning och stupning) och därvid riktar borringen åt rätt håll. Diagrammet förutsätter att man alltid borrar till ett visst djup. På grundvattenkartan har rekommenderade borriktningar markerats.

Vad beträffar möjligheterna att få vatten vid brunnborrning i berg, kan man rent allmänt säga att dessa bergarter i genomsnitt ger något större vattenmängder än vad som är vanligt i svenskt urberg. Den genomsnittliga (median) kapaciteten av bergborrade brunnar i kommunen är 1000 l/tim, och genomsnittsbrunnen är 66 m djup.

Kartbilden (huvudkartans bild) över variationerna i möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden har hämtats från SGUs karta "Grundvattnet i Sverige" (Ah 17). Denna har framtagits med hjälp av statistiska bearbetningar av brunnnsdata från SGUs brunnarsarkiv, se figur 14.

Vill man söka mer vatten genom borrning i berg än detta genomsnittsvärde, är det i allmänhet nödvändigt att borra på en större, vattenförande sprickzon. De större sprickzonernas och förkastningarnas lägen framgår av grundvattenkartan. Sprickzonernas mer exakta lägen i naturen bör då lokaliseras i förväg med särskilda geofysiska metoder.

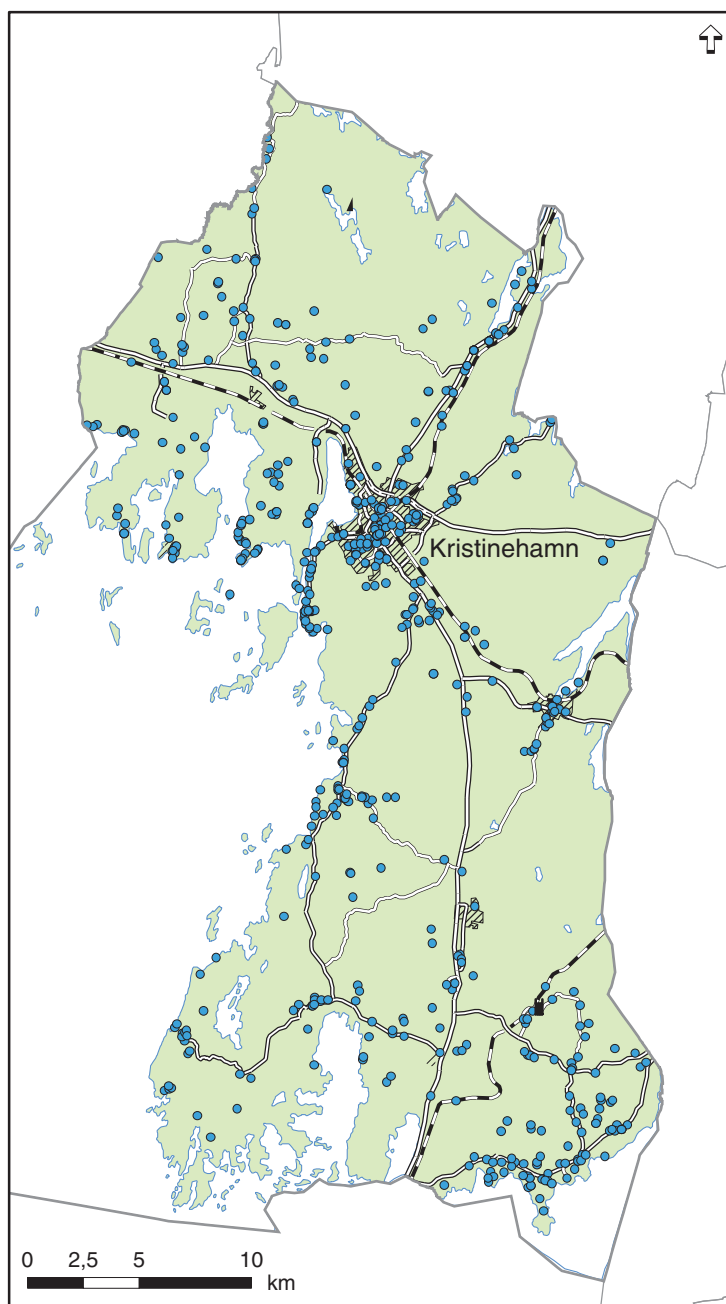
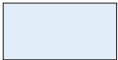
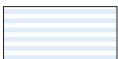


Fig. 14. Brunnar i Kristinehamns kommun registrerade i SGUs brunnarsarkiv. Kapaciteten i dessa har utgjort underlag för kartbilden över grundvattentillgångarna i berggrunden. (Gröna och ljusbruna områden på huvudkartan.)

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I JORDLAGREN

Sand och grus, huvudsakligen isälvsavlagringar

	Stor grundvattentillgång, storleksordningen 5–25 l/s
	Måttlig grundvattentillgång, storleksordningen 1–5 l/s
	Liten eller ingen grundvattentillgång, storleksordningen <1 l/s
	Liten eller ingen grundvattentillgång, storleksordningen <1 l/s, viktigt infiltrationsområde
	Stor grundvattentillgång, storleksordningen 5–25 l/s
	Måttlig grundvattentillgång, storleksordningen 1–5 l/s
	Sammanhängande område med mäktig lera, vattenförande sand- och gruslager kan förekomma i och under leran

ORGANISKA JORDARTER

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

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I BERGGRUNDEN

	Tämligen goda uttagsmöjligheter, mediankapacitet 600–2000 l/h
	Mindre goda uttagsmöjligheter, mediankapacitet 200–600 l/h

ÖVRIGA BETECKNINGAR

	Rörlig grundvattendelare
	Strandlinjer med förutsättningar för inducerad infiltration
	Grundvattnets huvudrörelseriktning i jordlager
	Grundvattnets trycknivå i jordlager, antagen (m ö.h.)
	Källa eller källhorisont med ett uppmätt flöde av 0,5–3 l/s
	Källa eller källhorisont med ett uppmätt flöde av 3–10 l/s
	georadarprofil
	seismisk profil

Fig. 15. Teckenförklaring till kartorna.

REDOVISNING AV FÄLTUNDERSÖKNINGAR

Skagersbrunn–Mo

Skagersbrunn–Mon utgör ett parti av den mäktiga åsen som i stort följer Letälven mot Degerfors. Där åsen går ut mot sjön Skagern vid dess nordöstra ände finns en källa. Vid denna källa har sedan mitten av 1800-talet bedrivits kurortsverksamhet. Den påstått hälsobringande brunnen finns omnämnd i skrifter från 1880-talet. I våra dagar har emellertid kurortsverksamheten upphört. Källan hade vid arbetet med denna karta (1998) ett flöde som knappt var mätbart.

Längs den 4 km långa åssträckan, från Revsten i söder till kommun- och länsgränsen i norr, genomfördes brunnsinventering, geofysiska mätningar och ett antal borrhningar. Syftet var att klarlägga grundvattenmagasinets storlek, grundvattnets strömningsmönster och eventuella grundvattendelare. Vissa fältinsatser utfördes även utanför kommungränsen vid Mo, eftersom grundvattenmagasin och grundvattenströmmar inte följer administrativa gränser, se figur 16.

Tvårs över åsen vid Ekedalen drogs en georadarprofil (R3-98, figur 17). Diagrammet indikerar lerinlag i väster och att berggrunden stiger från väster mot öster. En 920 m lång seismisk profil upprättades

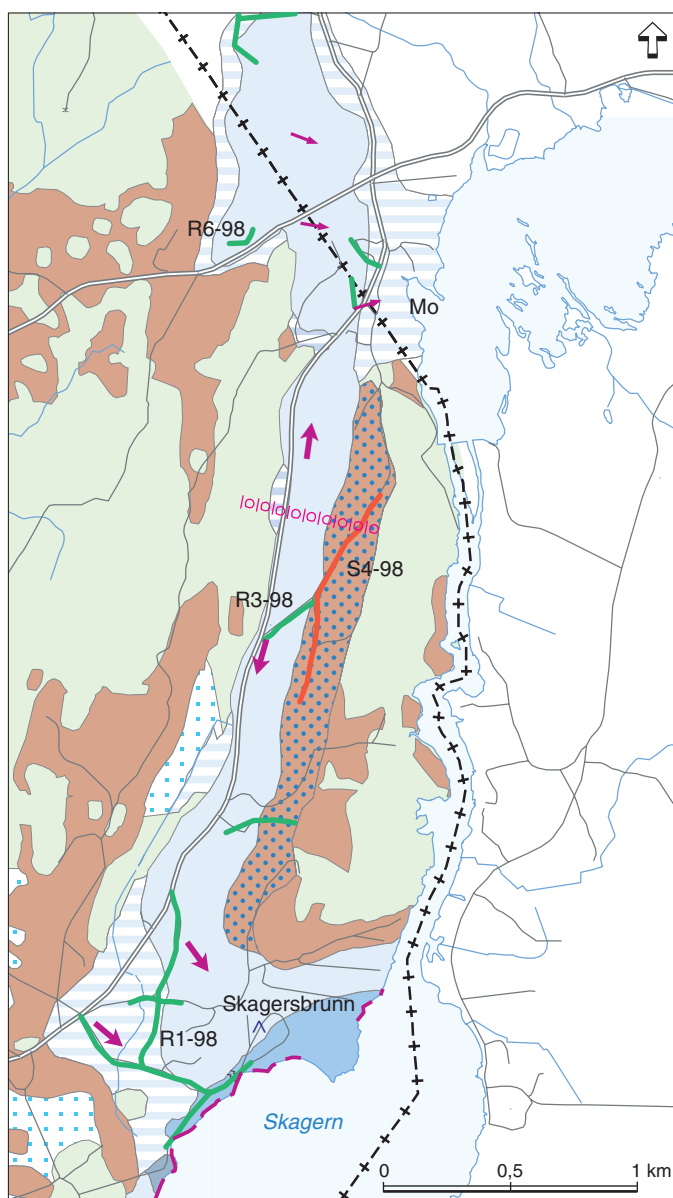


Fig. 16. Grundvattentillgångar i området Skagersbrunn–Mo. För att visa förhållandena vid områdets norra del har karteringsområdet utökats över kommungränsen.

på den lilla skogsvägen strax öster om åskrönet. Av det seismiska diagrammet (S4-98, figur 18) framgår att berggrunden här ligger högt och att dess överyta har ett högsta läge vid ca 250 m från profilens norra ände. Någon tydlig grundvattenyta framträder ej.

Brunnsinventering och nivåkontroll i nedsatta observationsrör visar att grundvattennivån sjunker både mot norr och mot söder från detta område med högt bergläge. Grundvattnet strömmar härifrån mot Mo i norr och mot Skagern i söder. Den höga bergtröskeln här utgör antagligen en fast grundvattendelare.

Ett av observationsrören (rör 4-98) placerades på den östra sidan av väg 204, ca 500 m söder om läns- och kommungränsen. Vid neddrivningen av röret erhöles följande lagerföljd: 0–3 m lös grovmo, 3–7 m lös mellansand, 7–7,4 m morän. Stopp mot berg vid 7,4 m. Grundvattenytan låg vid borringstillfället (980923) ca 2,3 m under markytan.

Flera georadarmätningar utfördes på botten av grustagen vid Mo, bl.a. R6–98, figur 19. Resultatet indikerar 5–10 m jorddjup. Materialet är huvudsakligen sand och mo. Viss förekomst av mindre lerlager förekommer troligen. Grundvattenytan sjunker mot Mo och ned mot Letälven.

Grundvattenmagasinet i åspartiet mellan Skagersbrunn och Mo finns i huvudsak under och omkring väg 204. Lager med lera förekommer och ger upphov till sekundära grundvattenmagasin ovanpå leran. Där det större grundvattenmagasinet täcks av lerlagret framgår av kartans blårandiga markeringar.

I områdets södra del, väster om Skagersbrunn, genomfördes ett antal georadarmätningar, se bl.a. R1-98 i figur 20. Diagrammen var delvis svårtolkade, förmodligen beroende på inslag av lera vilket har en dämpande effekt på radarvågorna. Grundvattenytan framträder dock ställvis distinkt och visar, vilket kunde förväntas, en gradient mot Skagern. Berggrundens överyta kan urskiljas och visar att jorddjupet är 15–20 m. Ett observationsrör sattes ca 60 m öster om fornlämningen "Domarringarna". Röret drevs ned till 14,5 m djup. Materialet var huvudsakligen grovmo med inslag av skikt med lera och

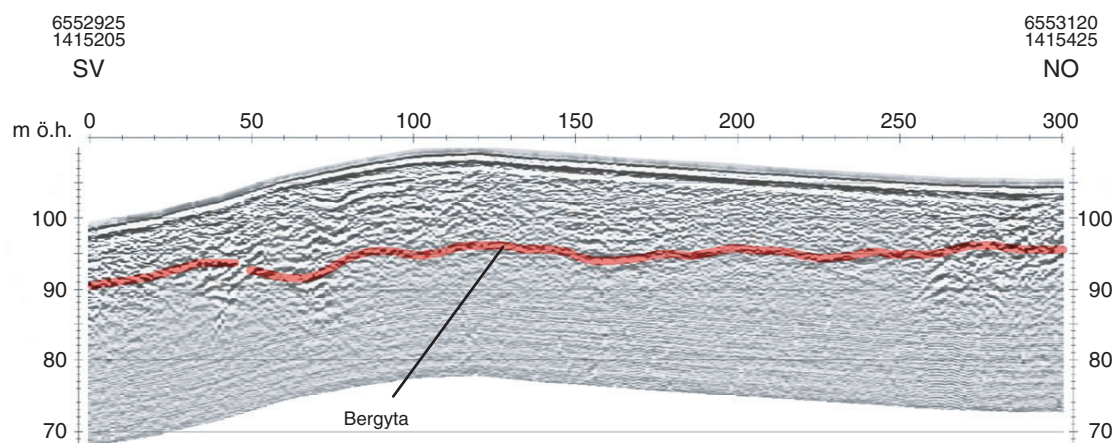


Fig. 17. Georadarprofil R3–98 tvärs över åsen vid Ekängen mellan Skagersbrunn och Mo.

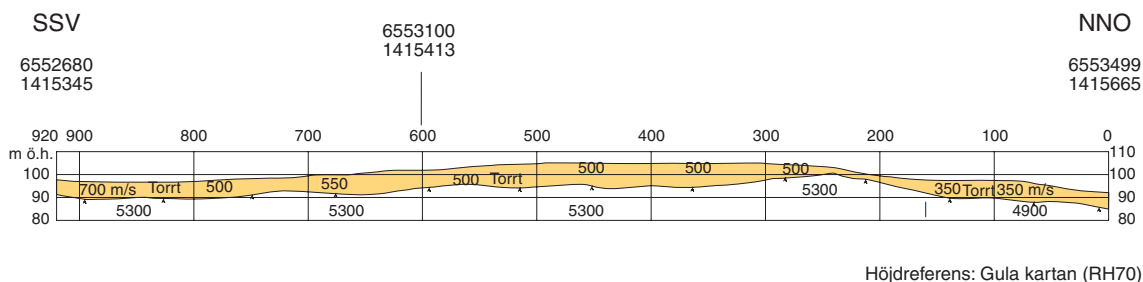


Fig. 18. Seismisk profil S 4-98 på åsen vid Ekedalen. Mätningen utfördes längs skogsvägen strax öster om åskrönet.

finmo. Berggrunden penetrerades ej, men jorrdjupet är säkerligen minst 20 m här. Grundvattenytan stod vid borrhningstillfället (980922) ca 10,0 m under markytan.

Undersökningarna visar att åsavsnittet Skagersbrunn–Mo förmodligen inte har förutsättningar till större uttag av naturligt bildat grundvatten. Stora partier av den östra delen av åsen är till stor del torr. Denna del utgör dock ett viktigt parti som infiltrationsområde för de vattenförande delarna i norr, väster och söder. De bästa förutsättningarna för uttag av grundvatten finns troligen närmast väg 204 och i området vid Skagern mellan Revsten och Skagersbrunn. Uttagsbrunnar nära Skagern kan i gynnsamma fall erhålla förstärkning genom inducerad infiltration från sjön. I den norra delen vid läns- och kommungränsen vid Mo bör möjligheter för uttag av ca 10 l/s finnas.

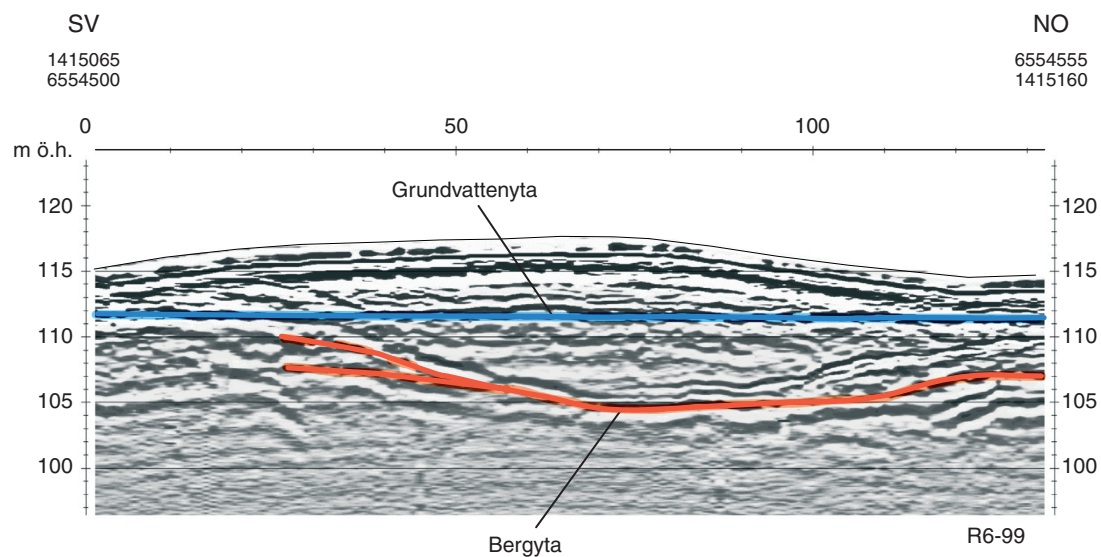


Fig. 19. Georadarprofil R6-98 på botten av grustaget ca 500 m väster om korsningen vid Mo.

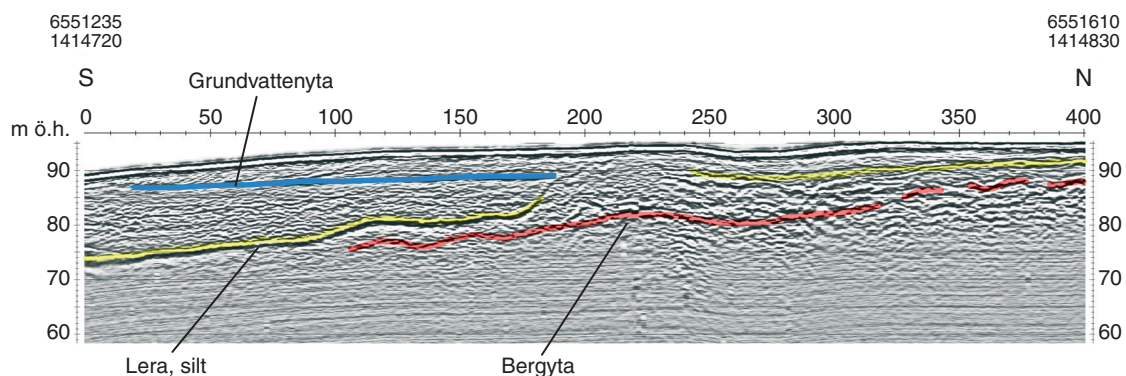


Fig. 20. Georadarprofil R1-98 500 m väster om Skagersbrunn.

Kolstrandsviken

På ömse sidor om Vismans mynning vid Kolstrandsvikens norra ände förekommer mäktiga sand- och grusavlagringar vilka tillhör den från Nybble–Bäckhammar gående åsen som följer Vismans dalgång, se figur 21.

Mätningar med georadar och seismik samt ett par borrhsonderingar utfördes för att utröna mäktigheter och materialsammansättning.

På den östra sidan om udden i Kolstrandsviken genomfördes en radarmätning. Mätningen visade att materialet var homogent med en mäktighet på minst 15 m. Materialet består med all sannolikhet av sand. Grundvattenytan står nära markytan och har Vänerns nivå. En seismisk profil (S2–98, figur 23) ca 700 m mot norr visar ett jorddjup 9–13 m.

En sondering i anslutning till den seismiska mätningen visar ett jorddjup på 10,6 m där 3,4–9 m består av sand.

Vid den västra sidan av Kolstrandsviken, ca 1 km norr om Nyland, genomfördes en georadarmätning, R12–98, från grustagets botten 100 m mot väster och därifrån ytterligare ca 350 m mot söder, se figur 22.

På botten av grustaget utfördes en sondering som visade att materialet i huvudsak var sand med en mäktighet av 6,3 m. På detta djup påträffades berg eller block. Grundvattenytan står nära eller något över Vänerns nivå.

Undersökningarna i området runt Kolstrandsviken har indikerat att uttag av större mängder (>25 l/s) naturligt bildat grundvatten är möjligt både i den östra och den västra delen. Förutsättningen är att den hydrauliska kommunikationen med Vätern är så bra att inducerad infiltration skapas. Vid grustaget i det västra området kan infiltrationsdammar i syfte att förstärka grundvattenbildningen vara en möjlig lösning för att ta ut större vattenmängder. En noggrannare kartläggning av underlagande leror är dock nödvändig.

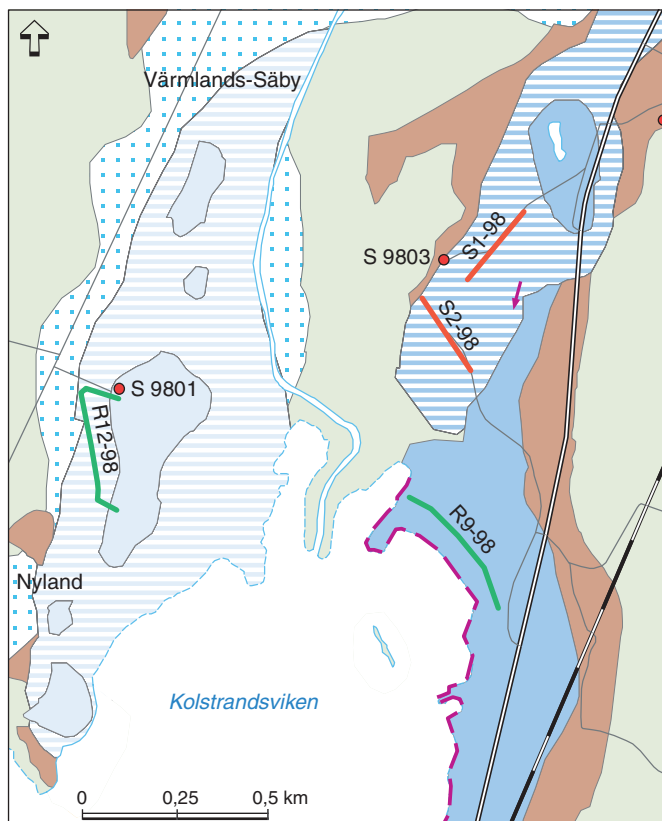


Fig. 21. Grundvattentillgångar i området närmast Kolstrandsviken. Röd linje visar radarprofiler och blå linje seismikprofiler.

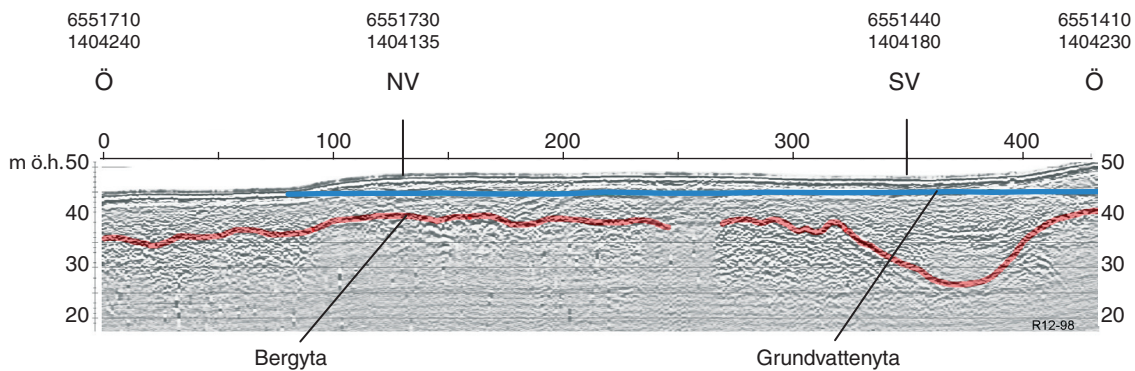


Fig. 22. Georadarprofil R12-98 ca 1 000 m norr om Nyland.

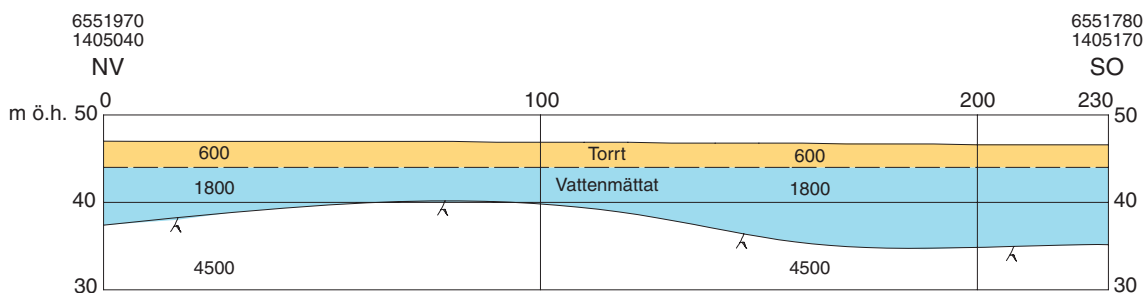


Fig. 23. Seismisk profil S2-98 ca 700 m norr om Vismans mynning.

Nybble

Vid Nybble finns en kommunal vattentäkt som idag försörjer samhället med dricksvatten från isälvs-avlagringen som finns här, se figur 24. Produktionen är för närvarande ca 2 l/s och täcker samhällets behov. Uttagsmöjligheten är sannolikt högre, möjligen ca 10 l/s.

Av intresse var att klarlägga om åspartiet mellan Nybble och Värmlands Säby har en utbredning mot Visman under finsedimenten mot sydöst. Därför upprättades en seismisk profil från åskullen ca 500 m nordväst om Värmlands Säby ned mot Visman. I profilen, S3-98 figur 25, framgår att det största jorddjupet, ca 11 m, återfinns vid den nordvästra delen på själva åskullen. Det minsta djupet, ca 5,5 m, finns 175 m mot sydväst. Jorddjupet ökar därefter mot Visman. En sondering nära profilens sydöstra del visade ett jorddjup på 5,4 m. Närmast markytan finns 1 m grovmo, därunder ca 3 m lera och under detta ett ca 1 m lager sand. Grundvattenytan sjunker ca 2,5 m från nordväst ned mot Visman.

Undersökningarna söder om Nybble, mellan Visman och åsen, visar ett jorddjup på mellan 5 och 11 m. Ett relativt mäktigt lerlager förekommer. Förutsättningen till inducerad infiltration från Visman är troligen begränsad på grund av höga berglägen. De uttagbara mängderna grundvatten är troligen högst 15 l/s.

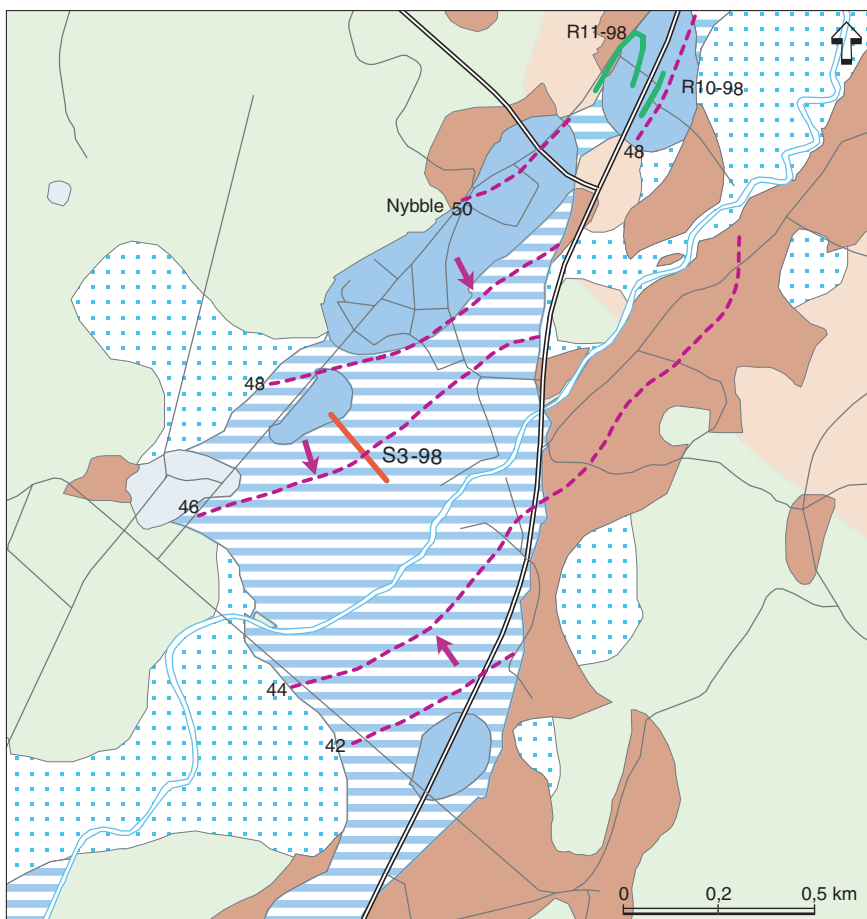


Fig. 24. Grundvattentillgångar i området runt Nybble.

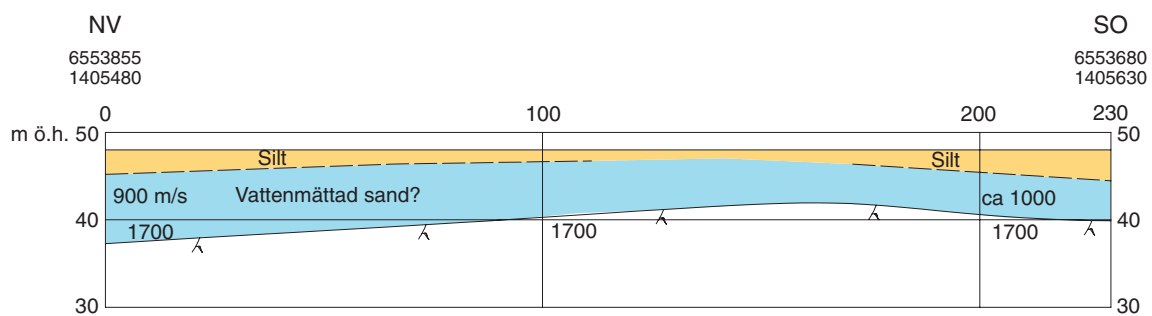


Fig. 25. Seismisk profil S3-98, vid Nybble.

Visnum

Visnums kyrka är belägen på krönet av den 14 km långa åsen som går mellan Jonsbol i norr och Kolstrandsviken i söder. Längs den lilla nord-sydgående vägen mellan kyrkan och väg 64 utfördes en georadarmätning. Diagrammet var svårtolkat, vilket troligen beror på inslag av lera, men indikerar ett jorddjup på ca 10 m. En inventerad brunn vid Klockargården 1:2, ca 200 m söder om kyrkan, uppgavs ha ett djup på 11,5 m till berget. Materialet var huvudsakligen sand. Grundvattennivån uppmättes till 4,05 m under markytan.

Åsen är delvis dold av lera, se figur 26. Omkring 400 m söder om kyrkan, på östra sidan om väg 64, mynnar en källa som har ett uppmätt flöde av ca 2,5 l/sek och dränerar till Visman. Brunnsinventeringen visar att grundvattenytans gradient i detta område lutar mot Visman. Vid källan bryter grundvattnet genom det överlagrande lerlagret.

För att få en uppfattning om utbredningen av åsen vid källan skulle geofysiska mätningar vara av stort värde. Mätning med georadar ger emellertid dåligt resultat eftersom radarn "ser" dåligt genom lera. En seismisk mätning skulle bli riskabel då åkermarken runt källan var genomkorsad av dräneringsledningar och tillförlitliga dräneringskartor saknades. En sondering utfördes ca 250 m söder om källan. Sonderingen gav följande resultat: 0–9 m lös lera, 9–9,7 m homogen lös mo, 9,7–12,2 m grusig sand, 12,2 m berg eller block. Detta tyder på att åsen finns dold under leran men här "tunnar ut" mot öster och här endast är ca 3 m mäktig.

Undersökningarna av åsavsnittet vid Visnum har visat att den uttagbara mängden grundvatten här troligen inte överstiger 10 l/s. Grundvattenmagasinens storlek är troligen begränsade både i mäktighet och bredd. Inducerad infiltration från Visman är inte heller att räkna med, något som kanske är en fördel, då Visman är påverkad av föroreningar från Bäckhammars bruk. Närheten till länsväg 64 är också en föroreningsrisk.

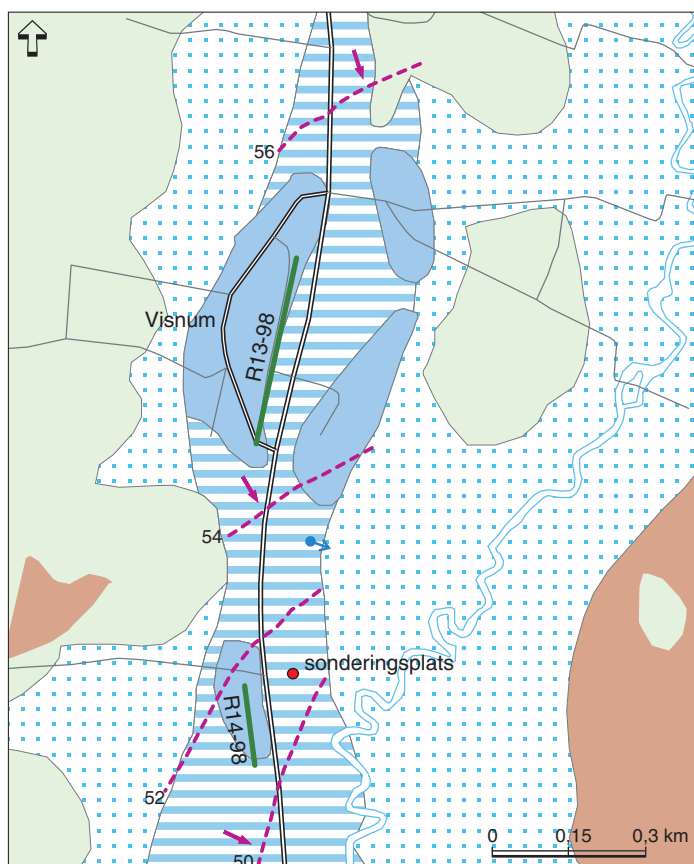


Fig. 26. Grundvattentillgångar vid Visnum. De blårandiga området visar bedömd utbredning av åsen under lera.

Blaxmo

Längs Vismans dalgång löper åsen i norr på den östra sidan. Vid Blaxmo ligger åsen både på den östra och västra sidan på en sträcka av ca 1 km och fortsätter sedan söderut på den västra sidan, se figur 27.

Längs den lilla vägen mellan Blaxmo och länsväg 64 över Visman upprättades en seismisk profil (S7-98, figur 28) för att utröna om åsen på den östra och västra sida av Visman hade förbindelse. På den östra sidan företogs en sondering som gav följande lagerföljd: 0–4,8 m mycket lös lera, 4,8–5,5 m hård morän. Stopp mot berg eller block vid 5,5 m. Inga sand- eller gruslager påträffades vilket visar att någon förbindelse mellan åspartierna på den östra och västra sidan troligen inte finns här. Ytterligare en sondering, denna gång på Vismans västra sida, utfördes ca 450 m söder om Blaxmo. Sonderingen visade här 5,5 m mycket lös lera, därunder ca 1 m hård morän följt av berg eller block. Inget åsmaterial påträffades vilket förstärker uppfattningen att åspartierna på ömse sidor om Visman är separerade från varandra.

Undersökningarna vid Blaxmo visar att grundvattenströmmen sker mot Visman. Inget tyder på att åsen "hänger ihop" där den byter från västra till östra sidan av Visman. Grundvattentillgången i själva åsen är troligen högst 10 l/s. Viss förutsättning till inducerad infiltration från Visman kan dock finnas.

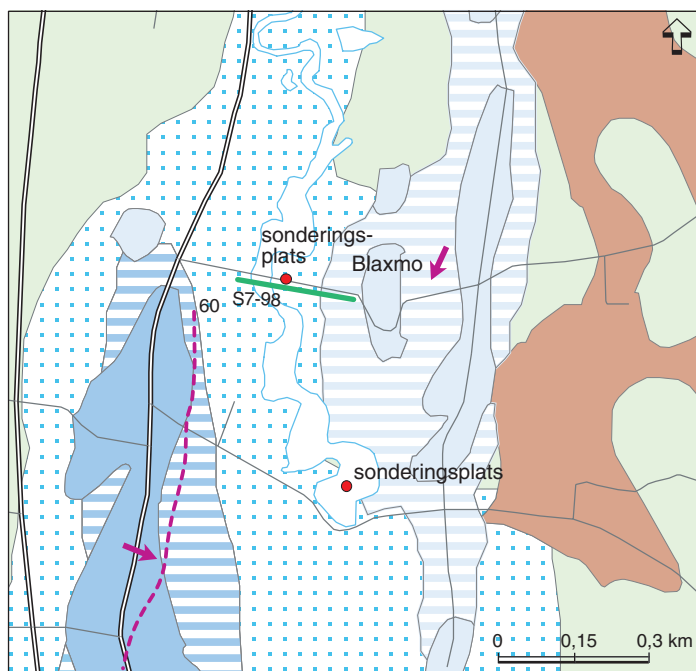


Fig. 27. Grundvattentillgångar vid Blaxmo.

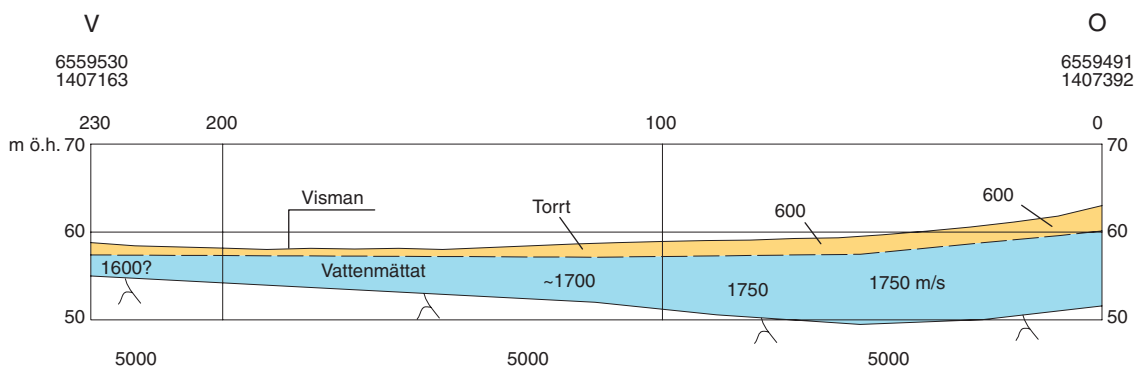


Fig. 28. Seismisk profil, S7-98, tvärs över Visman vid Blaxmo.

Bäckhammar

Efter att ha följt Vismans dalgång från Vänern, viker åsen av från denna vid Bäckhammar och ligger an mot det stora moränområdet i öster och fortsätter norrut mot Jonsbo. Tidigare borrhningar visar att mäktigheten mellan Bäckhammar och Krontorp är 8–18 m.

Kommunen har här fyra produktionsbrunnar som förser samhället med dricksvatten. Två av brunnarna finns vid Algotserud söder om samhället, se figur 29. De andra två brunnarna finns vid Krontorp norr om samhället. Bäckhammars bruk använder vatten från Vänern för tillverkningsprocesserna.

I närheten av Krontorps produktionsbrunnar utfördes två radarmätningar för att klarlägga jordmäktighet, bergytans lutning och grundvattenytans läge, se figurerna 30 och 31. Mätningarna visar att jordmäktigheten ökar markant mot söder och väster. Uttagsmöjligheterna skulle sannolikt vara ännu gynnsammare närmare Bäckhammars samhälle.

Undersökningarna vid Krontorp i Bäckhammarområdet visar att uttagsmöjligheten av grundvatten troligen är större längre mot sydväst jämfört med de nuvarande produktionsbrunnarna på platsen.

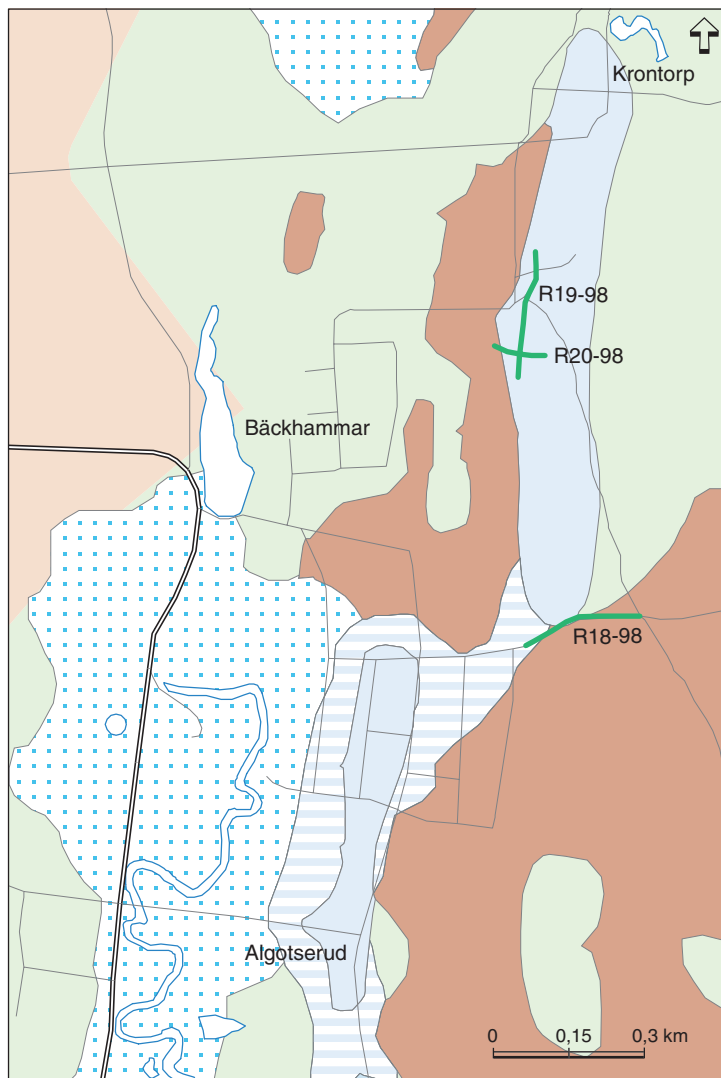


Fig. 29. Grundvattentillgångar vid Bäckhammar.

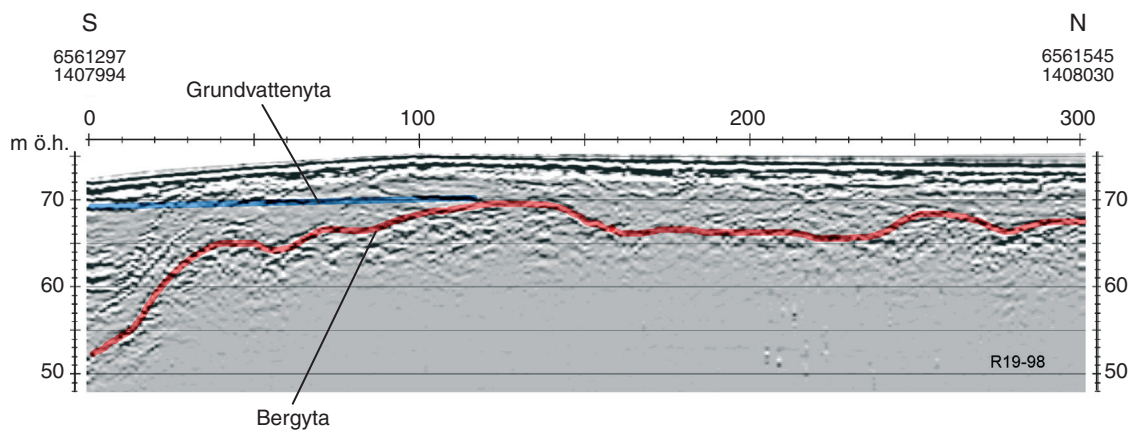


Fig. 30. Georadarprofil R19–98. I profilen framgår tydligt att bergytan sjunker kraftigt mot söder från ett minsta jorddjup av ca 5 m till mer än 20 m.

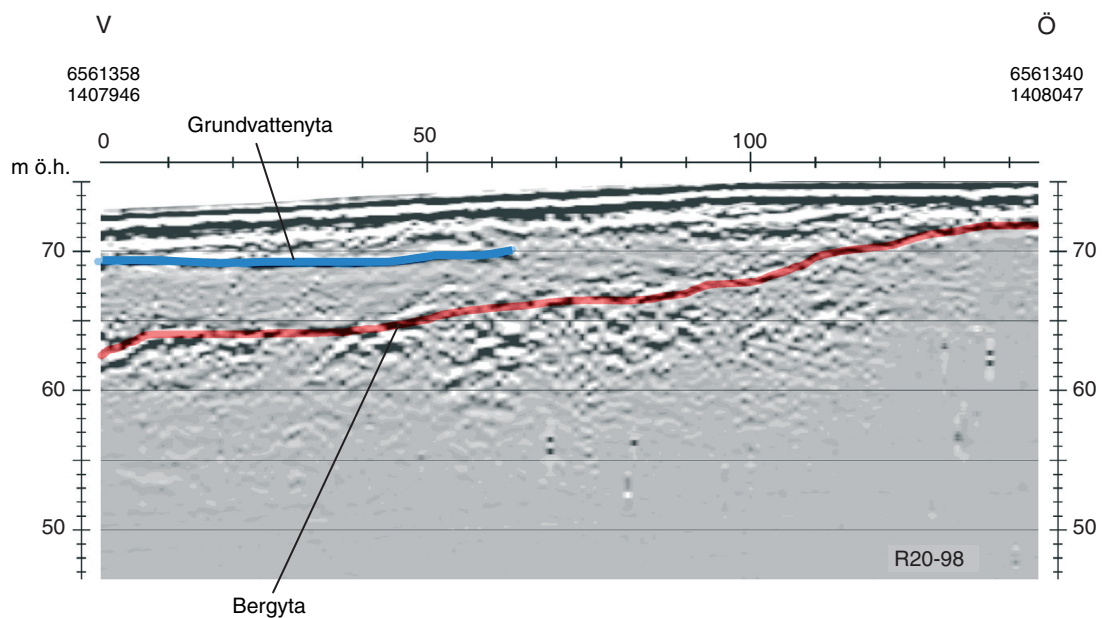


Fig. 31. Georadarprofil R20–98. Profilen visar tydligt att jorddjupet endast är ca 3 m i öster och mer än 10 m i väster. Grundvattenytan lutar svagt mot väster.

Hultängen

Mellan Uddmossen och Klostermossen 3 km väster om Björneborg finns en lokal ås som till stora delar är dold av de båda mossarna, se figur 32. En sondering vid en mindre grustäkt 500 m nordväst om Hultängen visade så lovande resultat att det motiverade en rödrivning, se figur 33. Denna gav följande lagerföljd: 0–4 m grusig sand, 4–5 m sandigt grus, 5–10 m mellansand, 10–12 m hårt packat material, troligen bottenmorän, 12–13,4 m hård svårborrad morän. Berg ej påträffat.

Vid blåsning av röret uppskattades vattenmängderna till ca 2 l/s, men uttagbara mängder bedöms vara 5–10 l/s. En viss svavelvätedoft kändes dock. Analys av vattnet visade en järnhalt av 0,47 mg/l. Kloridhalten analyserades till 11 mg/l.

Resultatet från borrningen vid Hultängen indikerar att åsen mellan Klostermossen och Uddmossen är en lovande grundvattentillgång. Om tillflödet från åsens fortsättning i söder och de båda mossarnas omgivning är god bör vattenkvantiteter på 5–10 l/s kunna utvinnas. Fler rödrivningar och provpumpningar erfordras dock för att närmare kvantifiera tillgången. Vattenkvaliteten, speciellt sulfidhalten, bör dock beaktas.

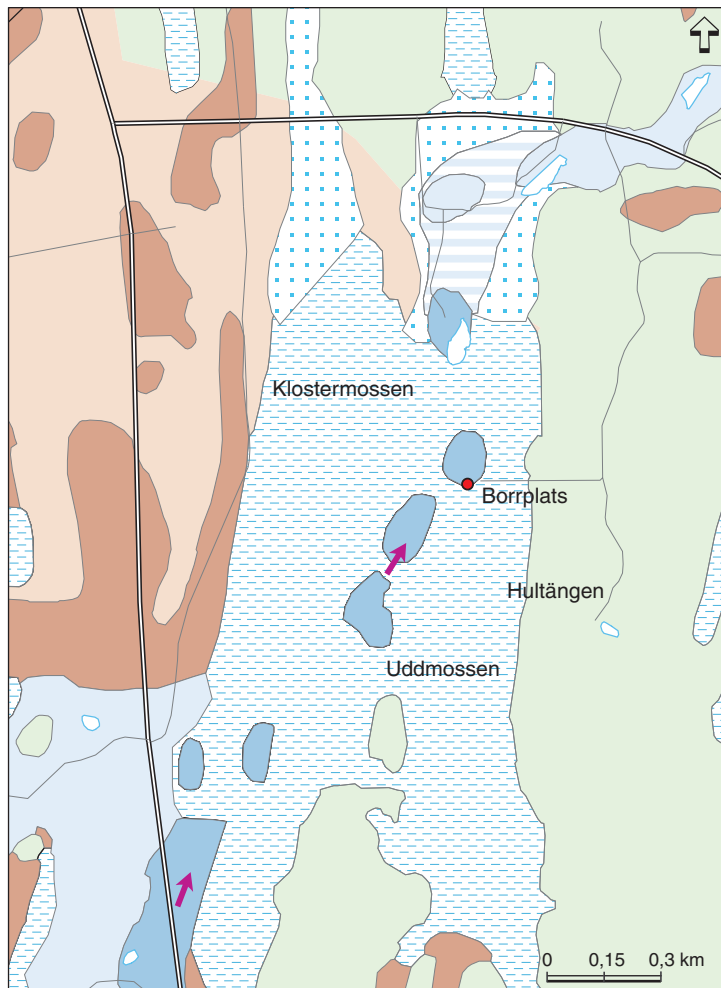


Fig. 32. Grundvattentillgångar vid Hultängen.



Fig. 33. Rörsättning i grustaget vid Hultängen (rör 9903). Foto: Heidi Graeffe.

Strandvik

Vid Strandvik, i kommunens västra del, finns en isolerad isälvsavlagring som sträcker sig från Vänerns strand i en båge ca 1,5 km mot nordost, se figur 34. I den södra delen nära Väneren finns en vattentäkt som förser boende i området med vatten. En georadarmätning från den norra delen gav intressanta upplysningar, se figur 35. Med ledning av dessa resultat sattes ett par grundvattenrör för att få en bättre uppfattning om materialsammansättning, jorddjup och grundvattentillgång. Rör 9901 sattes ca 500 m från norra änden på radarprofil R1a–99. Jorddjupet på denna plats var 8,1 m, 0–4 m utgjordes av grovmo underlagrad av 4 m mellansand. Grundvattnet stod här 0,60 m under markytan. Vid blåsning i röret uppskattades vattenföringen till ett par l/s.

Vid vägskalet mot Våse genomfördes en sondering som gav följande värden: 0–0,7 m grovmo, 0,7–4 m lös lera, 4–10 m grovmo, 10–10,8 m hård morän och vid 10,8 m stopp, troligen mot berg.

Ytterligare en sondering gjordes ca 25 m från Väneren och gav följande resultat: 0–1 m grovmo, 1–2 m lös lera, 2–8 m grovmo, 8–8,9 m hård morän och vid 8,9 m stopp mot förmodat berg.

Resultaten från undersökningarna vid Strandviksområdet tyder på att den lilla åsen har relativt goda möjligheter till grundvattenuttag. Förutom den existerande brunnen i den södra delen bör det finnas goda möjligheter för anläggande av en uttagsbrunn i den norra delen. Möjlighet finns dessutom att här förstärka grundvattenbildningen med konstgjord infiltration med vatten från Väneren.

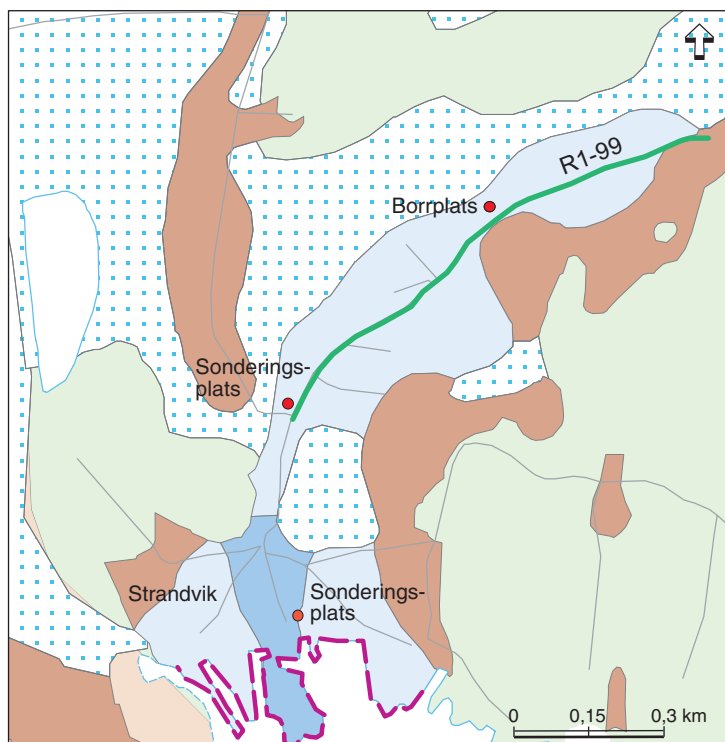


Fig. 34. Grundvattentillgångar i området runt Strandvik. Röda trianglar: sonderingspunkter.

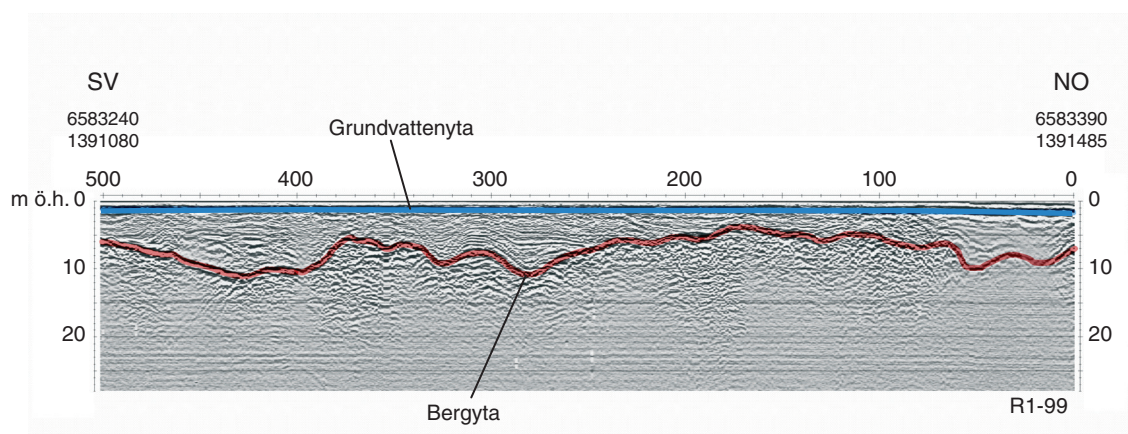


Fig. 35. Georadarprofil R1a-99.

Ölmeslätten

Redan vid arbetet med den hydrogeologiska länskartan över Värmland 1990–1994 riktades uppmärksamheten på Ölmans dalgång, se figur 36. Det är allmänt accepterat att Klarälven i tidigare skeden, antagligen före sista nedisningen, har flutit i andra banor än idag. Det anses troligt att ett av dess lopp tidigare gått längs Rådasjön och Grässjöns dalgång, vidare mot sydsydost längs Svartåns dalgång och i dalgången som i våra dagar är uppfylld av sjön Alstern norr om Brattforsheden. Brattforsheden bildades under en period då inlandsisens avsmältning avstannade. Iskanten stod mer eller mindre stilla under en längre tid för ca 9 500 år sedan. Den i naturen tydligt framträdande dalgången fortsätter vidare ned i dalgången där idag Ölman har sitt flöde.

Längs dalgången avlagrade smältvattnet från inlandsisen stora mängder material. Grövre material, som sand, grus och mo, bygger idag upp åsstråken vid bl.a. Hedetången och Väse. Finare material sjönk till botten av det forntida Yoldiahavet och återfinns nu bl.a. på Ölmeslätten.

En seismisk profil (S6–99, figur 39) drogs 1 km öster om Ölme kyrka ut mot Ölmans mynning. Mätningarna visade att jorddjupet varierade mellan 25 och 30 m. De översta 20–25 metrarna tolkades som lera. Under leran visade den seismiska hastigheten att materialet troligen utgjordes av morän och därunder fast berg. En sondering bekräftade att under ca 25 m lera fanns morän, på sonderingspunkten ca 1 m, och därunder fast berg.

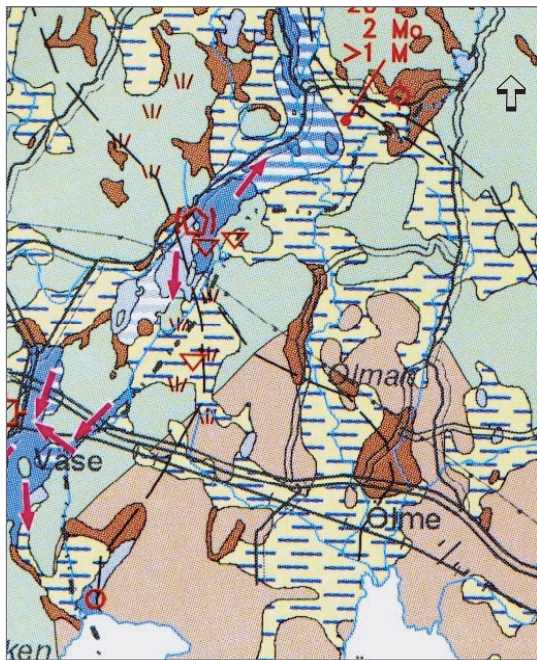


Fig. 36. Ölmeslätten. Utsnitt ur den hydrogeologiska kartan över Värmlands län, SGU Ah 19.

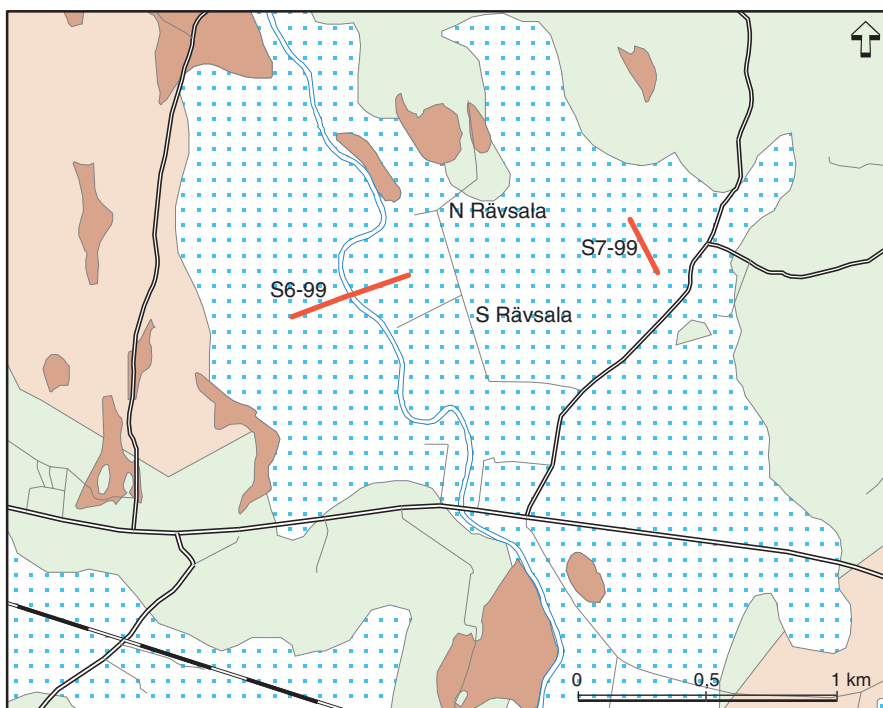


Fig. 37. Grundvattentillgången vid Rävåsa.



Fig. 38. Seismiska mätningar på Ölmeslätten. I bakgrunden ser man Ölme kyrka. Foto: Thomas Aneblom.

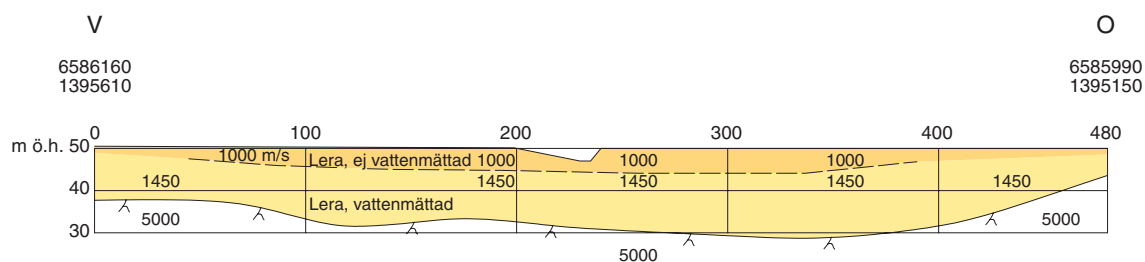


Fig. 39. Seismisk profil S 6-99 över Ölman mellan N. och S. Rävåsa.

St. Skanum

På lerslätten ca 2,5 km norr om Ölme ligger en liten åskulle vid St. Skanum, se figur 40. I den södra delen finns en vattenfylld grustäkt. Materialet består till övervägande del av grus och sand. Åsmaterial förekommer även ca 1 km norr och 1 km söder om denna. För att utröna den lilla åsens utbredning och mäktighet och för att undersöka om det finns ett eventuellt samband med åspartierna under lerorna norr och söder om den lilla åsen genomfördes ett par seismiska mätningar. Längs vägen drogs en profil (S8–99, figur 41) tvärs över åsavsnittet. Mätningarna visade att jorddjupet endast var 8–13 m. Åsens bredd under leran var ca 100 m. En korsande profil (S9–99, figur 42) upprättades för att få en uppfattning om huruvida åsen fortsatte mot norr. Resultatet visade att åsen tunnar ut och upphör ungefär vid vägen.

Undersökningen av den lilla åsen vid St. Skanum visar att åsen förmodligen bara har en lokal utbredning. Ingen sammanhängande fortsättning under lerorna mot norr och söder finns. De uttagbara kvantiteterna grundvatten är förmodligen inte högre än 5 l/s.

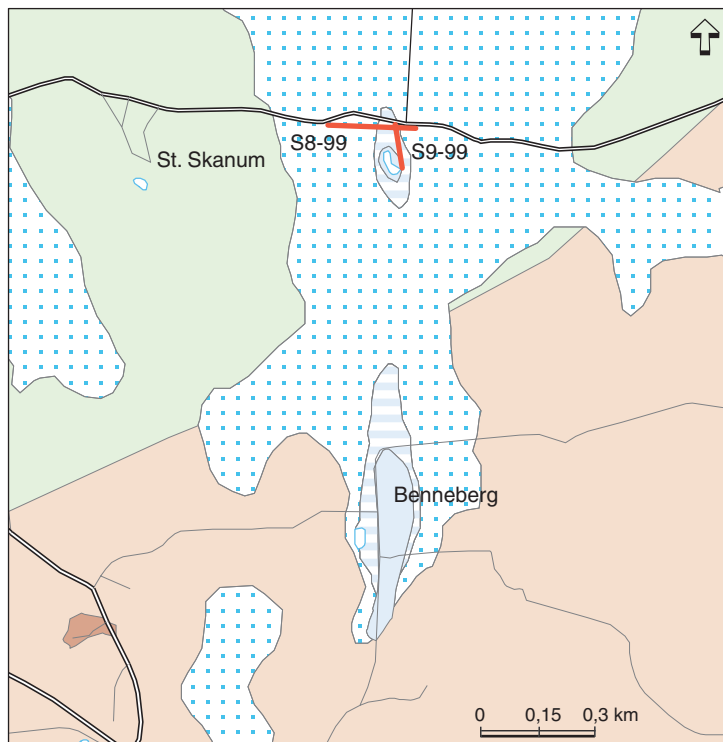


Fig. 40. Grundvattenförhållanden vid St. Skanum.

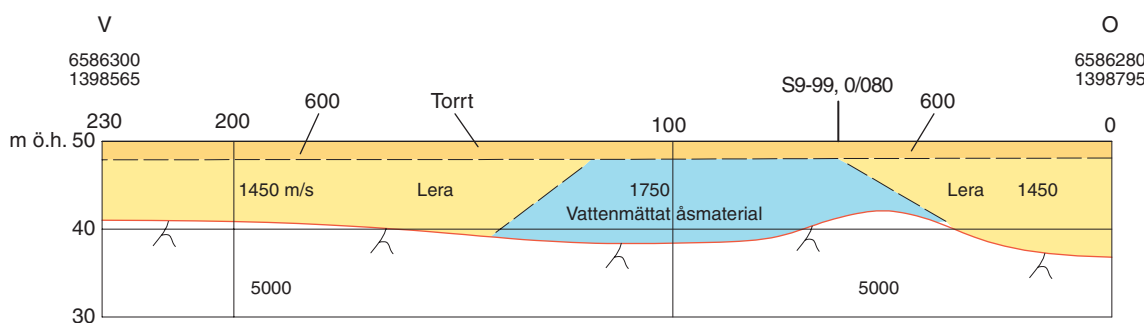


Fig. 41. Seismisk profil S8–99, vid St. Skanum.

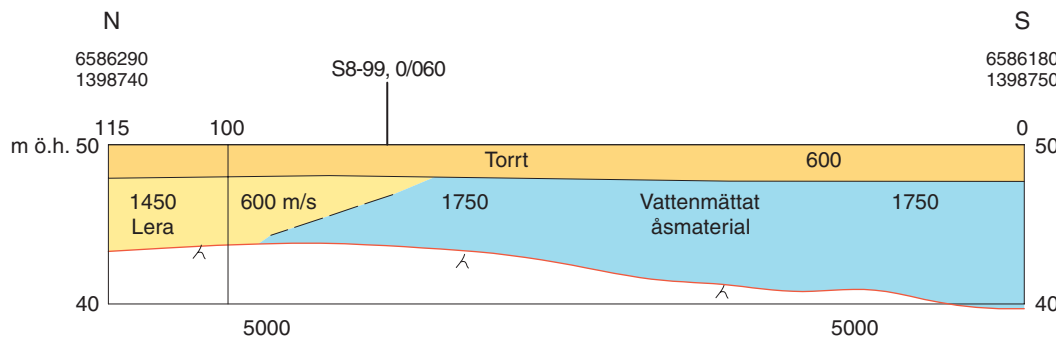


Fig. 42. Seismisk profil S9–99, vid St. Skanum.

Bergsjön

Större delen av Kristinehamns kommun får sitt dricksvatten från vattentäkten vid Bergsjön, se figur 43. Den naturligt bildade kvantiteten räcker inte till för kommunens vattenbehov, ca 11 000 m³/dygn. Med konstgjord infiltration av vatten från Bergsjön kan behovet tillfredsställas, se figur 44. Tack vare den stora höjdskillnaden, över 60 m, transporteras vattnet till tätorten genom självtrycket i ledningarna.

Infiltrationsanläggningen och produktionsbrunnarna har dock ett utsatt läge vid länsväg 64 och järnvägen mellan Kristinehamn och Storfors. Även Bergsjön, som utgör råvattenkälla för infiltrationsanläggningen, har ett utsatt läge. Landsvägen är delvis skyddsåtgärdad med betongsargar och gummiduk i vägens omedelbara närhet, se figur 45. Järnvägen är emellertid inte skyddad och trafikeras av några dieseldrivna godståg per dygn. Risken för att någon miljöfarlig incident på landsvägen eller järnvägen kan inträffa vid detta område kan inte helt uteslutas.

Området vid Bergsjön är väl dokumenterat i ett antal utredningar vid etablerandet och anläggandet av vattenverket, infiltrationsanläggningen och produktionsbrunnarna i området. I området finns ett stort antal observationsrör. Nivåuppgifter från observationsrören och uppgifter från utredningarna har varit till stor nytta vid upprättandet av grundvattenkartan. Av den anledningen har inte SGU utfört några egna fältinsatser i detta område.

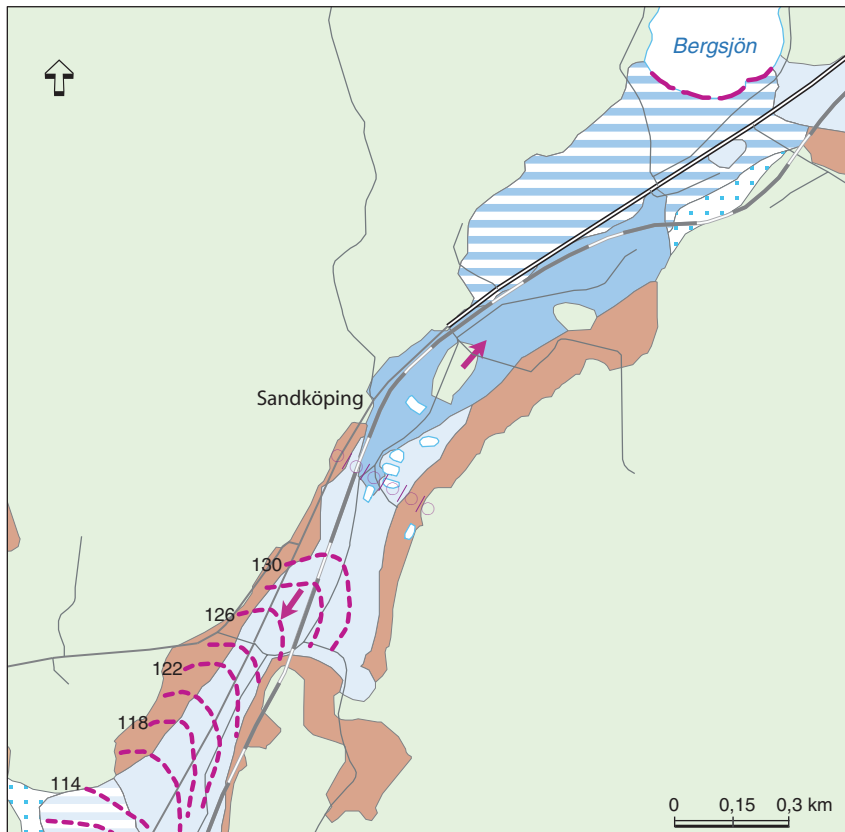


Fig. 43. Grundvattenförhållanden vid Bergsjön. Infiltrationsdammarna är belägna på vattendelaren mellan Letälvens och Varnans avrinningsområden. Grundvattennivån har en relativt kraftig gradient mot söder.



Fig. 44. Infiltrationsdamm med luftningstrappa. Luftningen medför att järn oxiderar som roströda utfällningar. Det översta lagret av sanden byts ut en gång per år. Observera närheten till landsvägen. Järnvägen är belägen omedelbart hitom vägen. Foto: Thomas Aneblom.



Fig. 45. Tätning av vägsidor på väg 64 vid Kristinehamns vattentäkt vid Bergsjön. Järnvägen som går strax till vänster om landsvägen är dock fortfarande inte skyddsåtgärdad. Foto: Curt Fredén.

Tyskön

Som nämndes i föregående avsnitt är vattentäkten vid Bergsjön Kristinehamns viktigaste vattentäkt. Kommunen saknar reservvattentäkt för grundvatten som kan förse huvudparten av dess invånare med friskt vatten. Vid tillkomsten av föreliggande kartering fanns förhoppningen att en alternativ plats för en grundvattentäkt med en kapacitet större än 100 l/s skulle kunna lokaliseras. Ganska snart under arbetets gång föll ögonen på Tyskön, se figur 46. Flera argument talade till dess fördel: den geologiska uppbyggnaden, närhet till tätorten, ledningar fanns redan dragna på fastlandssidan vid Strandudden och avsaknaden av omedelbara föroreningsrisker. Merparten av Tyskön är dessutom i kommunens ägo.

Tyskön är belägen vid Vänerns inlopp till Kristinehamn, ca 4 km från tätorten. Ön saknar idag bofast bebyggelse. På ön finns dock fem friköpta fritidsfastigheter. Större delen av den 700 m långa och 400 m breda ön är uppbyggd av en grusås som har sin fortsättning på fastlandet i norr vid Hjälmarsnäs och i söder på Vålön.

Förutom att Tyskön till större delen är uppbyggd av isälvsmaterial visar den geologiska jordarts-kartan att det finns berghällar vid den lilla holmen omedelbart sydost om Tyskön. Berghällar förekommer även längs den östra sidan av Hjälmarsnäs och på Vålön. Det förmodades då att en nord-sydlig bergrygg ligger dold på den östra sidan av Tyskön.

Den inledande fältinsatsen blev att lägga ett antal profiler med radarmätningar på lämpliga ställen. Den första profilen R11–99, se figur 47, visade vid den södra delen en tydlig indikation på grundvattenytan vilken nära sammanföll med Vänerns yta. Mellan 150 m och 300 m tolkades att berggrunden framträder på ca 10 m djup. Mot norr framträder grundvattenytan åter och närmar sig markytan vid strandkanten.

Tvärprofilerna R12–14–99 bekräftar bilden av att grundvattenytan under ön i stort sammanfaller med Vänerns yta och att berggrunden höjer sig över eller upp till denna på öns östra del, se figurerna 48–50.

Från det sydöstra hörnet av ön drogs slutligen radarprofil R15–99 mot väst över öns södra del och sedan mot norr längs den västra delen. Vid profilens början framträder tydligt berggrundsytan endast några meter under markytan. Mellan 80 och 170 m framträder berggrundsytan på 5–7 m djup. Mellan 170 m och 300 m är radargrammet diffust vilket indikerar att här förekommer finare material, sannolikt lera. Svaga radarekon indikerar att jorrdjupet är 20–25 m. Från 300 m till ca 550 m minskar jorrdjupet från ca 12 m till ca 7 m. Minsta jorrdjupet, ca 4 m, påträffades vid 600 m. Vid profilens slut, 670 m, tolkades jorrdjupet enligt radargrammet till ca 7 m.

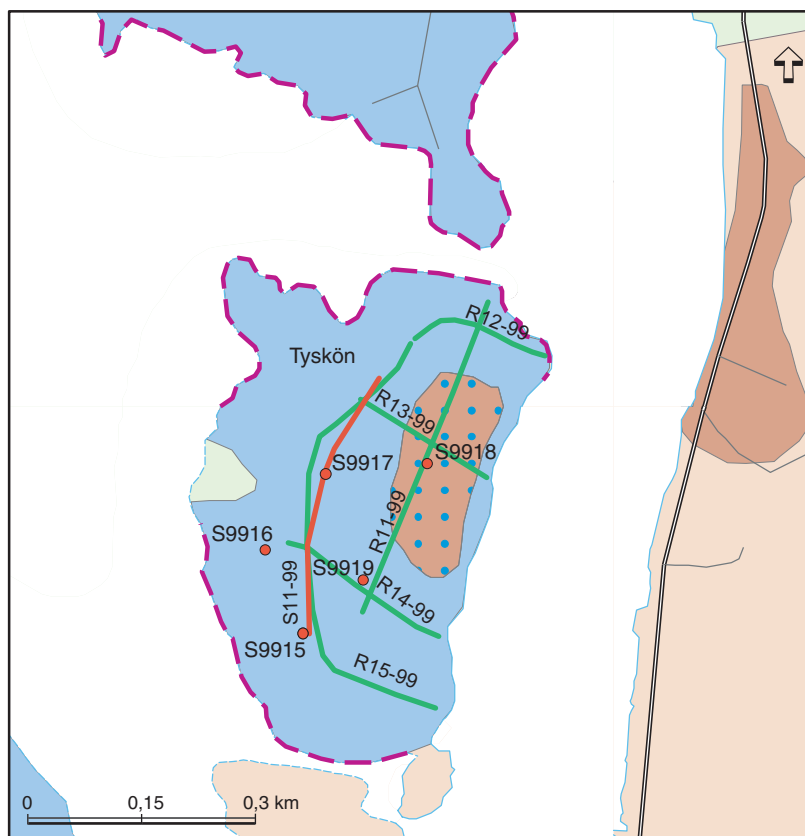


Fig. 46. Grundvattenförhållanden på Tyskön.

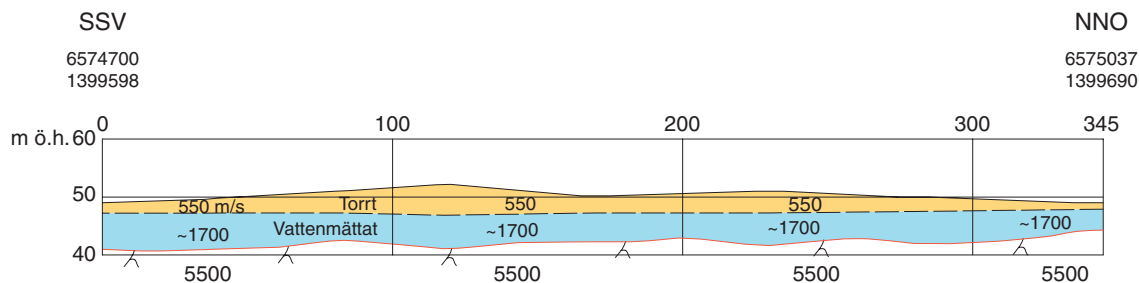


Fig. 47. Radarprofil R11-99.

Eftersom radarmätningarna gav så intressanta resultat utfördes en 345 m lång seismisk mätprofil, (S11-99, figur 51), för att få en bättre uppfattning om materialsammansättning och lokalisera eventuella borrhälsplatser. Den seismiska mätningen bekräftade bilden som radarmätningen gav. Våghastigheten, ca 1700 m/sek, indikerade ett material som var gynnsamt för vattenutvinning.

Kommunen erbjöd sig att ordna transport av borrhälsmaskin till Tyskön, se figur 52. En dag med sondering och rödrivning anslogs. Med ledning av de geofysiska resultaten utfördes tre sonderingar längs den seismiska profilen på öns västra sida.

Den första sonderingen (S9915) utfördes nära punkt o på den seismiska profilen. Sonderingen gav följande: 0–6 m grusig sand, 6–8,2 m mellansand. Stopp vid 8,2 m, sannolikt berg.

Nästa sondpunkt (S9916) sattes 100 m mot norr och gav följande: 0–5,5 m lös grusig sand, 5,5–7,4 m hårdare grusig sand. Stopp vid 7,4 m, sannolikt berg. Ytterligare en sondering utfördes vid ca 200 m på den seismiska profilen och gav: 0–2 m hård grusig sand, 2–7,2 m något lösare grusig sand. Stopp vid 7,2 m, sannolikt berg.

Sonderingarna längs profil S11–99 bekräftar att jorddjupet minskar mot norr. Materialet tenderar att vara gynnsammare ur hydrogeologisk synpunkt i söder. För att få en bra uppfattning om materialets sammansättning sattes ett 2” järnrör vid sondpunkt S9915. Materialet som spolades upp var huvudsakligen grovsand och mellansand. Vattenmängden var riklig. Järnhalten varierade mellan 1 och 5 mg/l. Kloridhalten varierade mellan 15 och 30 mg/l.

Slutligen utfördes två sonderingar i anslutning till radarprofil 11–99. Sondering S9918 utfördes nära centrum på Tyskön och gav följande: 0–2 m grusig sand, 2–3 m lera, 3–4 m grusig sand. Stopp vid 4 m mot block eller berg. Sondering S9919 utfördes 150 m mot söder och gav följande: 0–9 m grusig sand. Stopp vid 9 m, troligen mot berg.

Sonderingarna bekräftar det som radarmätningarna indikerade. Berggrunden ligger högst mitt på öns östra del, jordmaterialet utgörs huvudsakligen av sand och grus, lerinslag förekommer. Grundvattenytan står i nivå med Vänerns.

Under arbetena på Tyskön, vid inloppet till Kristinehamn, framkom indikationer på goda möjligheter till större grundvattenuttag. Dessa indikationer utgörs bl.a. av mycket genomsläppliga, vattenmätade sand- och gruslager. Utbredningen av dessa och den fullständiga bilden av Tysköns uppbyggnad är dock inte känd.

Den egentliga grundvattenbildningen på själva Tyskön uppgår till endast ett par liter per sekund. Öns läge i Vänern och jordarternas, dvs. grundvattenmagasinet, närhet till och kontakt med sjövattnet innebär emellertid att det finns anledning att tro att det kan finnas goda möjligheter till betydligt större grundvattenuttag än vad den normala grundvattenbildningen anger. Sådana stora grundvattenuttag kan vara möjliga genom s.k. inducering, dvs. att man genom kraftig pumpning kan suga in Vänervatten, som genom passagen av sand- och gruslagren renas och får grundvattenkaraktär. En annan möjlighet till stora grundvattenuttag är att pumpa Vänervatten till infiltrationsdammar i öns centrala delar och ta ut vattnet i brunnar närmare stranden. Dessa två möjligheter kan sannolikt kombineras.

Av de utförda insatserna på Tyskön framkom att den sydvästra delen av ön troligen är gynnsamast för uttag av grundvatten. På öns centrala och östra partier ligger berggrundens överyta högre än Vänerns nivå. Vid ett eventuellt anläggande av en infiltrationsanläggning är det viktigt att lokalisera utbredningen av lerlager och bergströsklar, något som låg utanför resurserna för detta arbete.

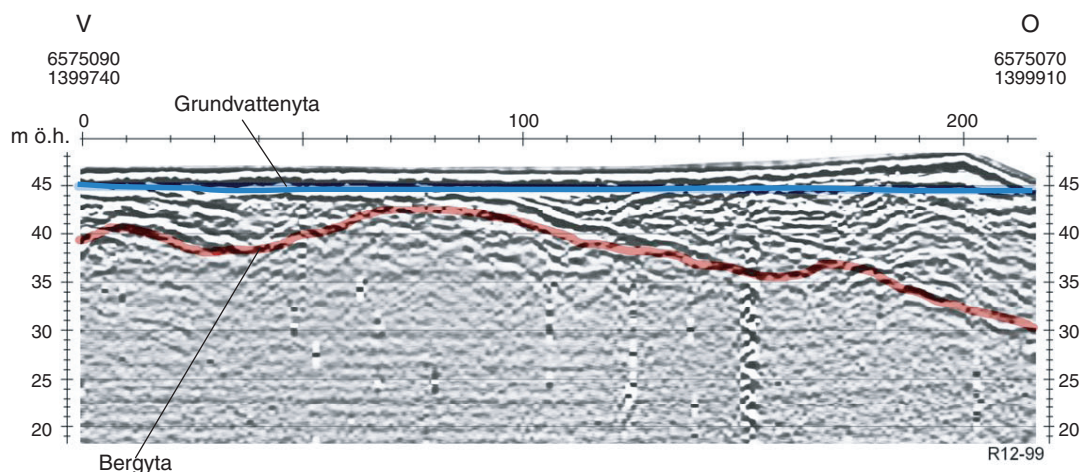


Fig. 48. Radarprofil R12–99.

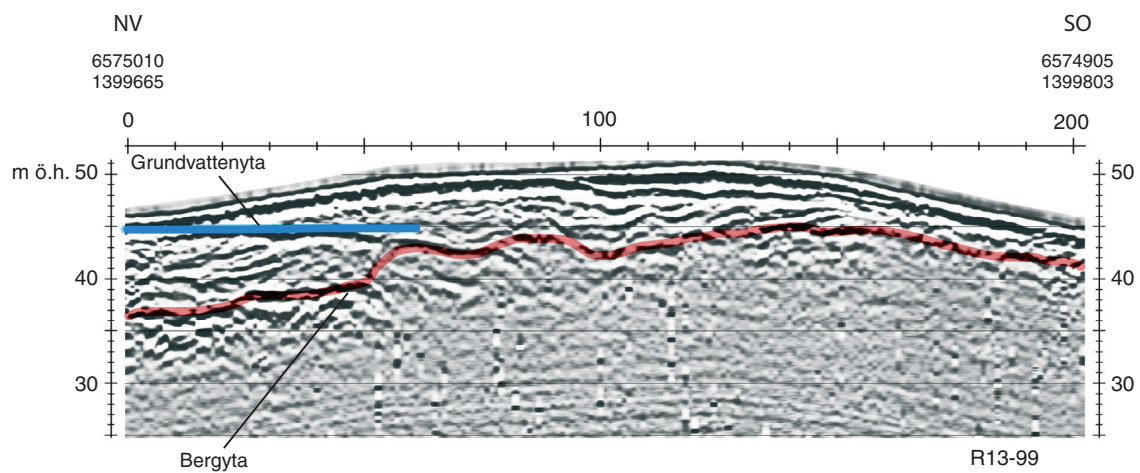


Fig. 49. Radarprofil R13-99.

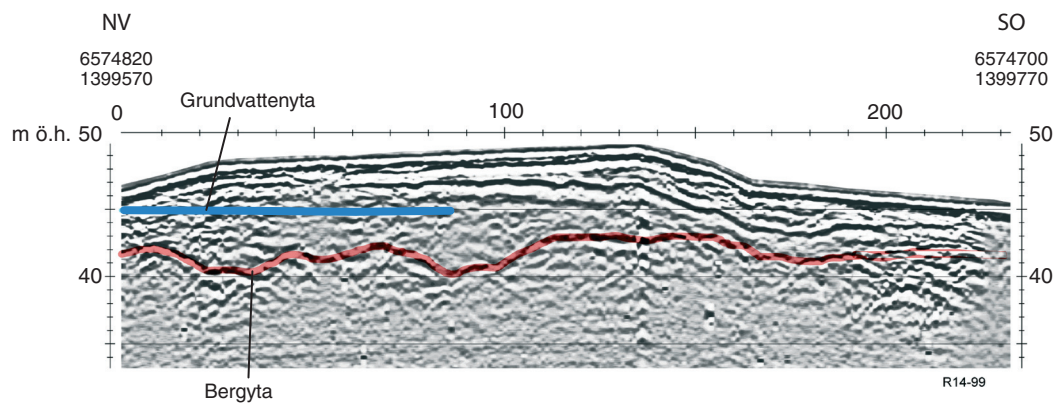


Fig. 50. Radarprofil R14-99.

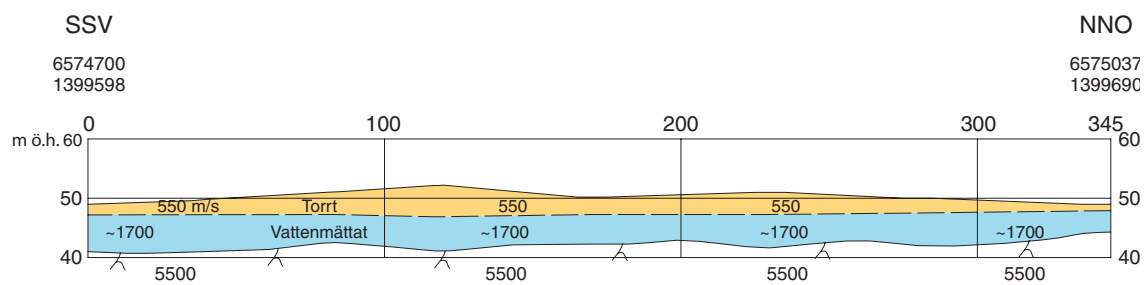


Fig. 51. Seismisk profil 11-99, Tyskön.



Fig. 52. Transport av borrbandvagnen till Tyskön med pråm. I bakgrunden Tyskön. Foto: Thomas Aneblom.



Fig. 53. Luftblåsning och vattenprovtagning av grundvattenrör 9904 på Tyskön. Foto: Thomas Aneblom.

Övriga undersökta områden

Förutom de föregående redovisade platserna har ytterligare ett antal platser undersökts. Några av de undersökta områdena har visat sig inte uppfylla kraven för goda förutsättningar för uttag av större kvantiteter grundvatten (>5 l/s). Andra områden har bedömts ha vissa förutsättningar för uttag av större kvantiteter grundvatten men underlaget är svårtolkat eller för bristfälligt för att ge en säker redovisning. De övriga platser som undersökts är:

Hygn

Udden vid Hygn, 4,5 km västnordväst om Nybble, utgörs av en grusås. En relativt svårtolkad georadarmätning här indikerar ett jorddjup på 5–10 m. Den bitvis diffusa profilden indikerar inslag av lera. Förutsättning för uttag av någon eller några l/s grundvatten föreligger troligen. Om god kommunikation med Vätern förekommer är det troligen möjligt att utvinna betydligt större kvantiteter.

Vallbromossen

Två kilometer norr om Bäckhammar, vid Vallbromossen, går fortsättningen av den ås som kommer från Kolstrandsviken. Materialet består mest av väl sorterad sand. I en relativt stor grustäkt är grundvattenytan blottlagd. Förutsättningar till utvinning av minst 10 l/s bedöms som goda. En nedlagd deponi finns dock mitt på åsen ca en kilometer rakt söder om Jonsbol.

Stormon

Den isolerade åsen på den västra sidan av väg 64, i jämnhöjd med Jonsbol, består av relativt grovt sand och grus. Georadarmätningar visar jorddjup på 5–10 m. En i stort sett nord-syd-gående bergrygg ett par hundra meter väster om väg 64 utgör troligen en grundvattendelare mot nordost och sydväst. Vid den stora täkten i den södra delen är grundvattenytan blottlagd. Förutsättningar för grundvattenuttag på minst 5 l/s finns säkert både i den södra och i den norra delen.

Rotängsmossen

På Rotängsmossens norra sida löper en ås i sydväst-nordostlig riktning och fortsätter ut i Uddmossen och Klostermossen i nordost. Materialet är till stora delar relativt grovsorterat sand, grus och sten. En nära en kilometer lång georadarmätning utfördes längs den lilla vägen på den flacka åsbildningen. Mätningarna visade jorddjup på 5–10 m. Grundvattenytan bedömdes ligga ett par meter under markytan. Ett par mindre "grundvattensjöar" nära åsens centrala del är troligen belägna nära en grundvattendelare. Grundvattnet strömmar troligen härifrån i tre, möjligen fyra, riktningar: nordost, sydost, sydväst och möjligen även mot norr. Förutsättningar för uttag av 1–5 l/s bedöms som relativt goda.

Dye

Efter kartstudier och en första fältbesiktning av det flacka området vid Dye fanns indikationer på goda förutsättningar till grundvattenutvinning från grövre sediment under lerorna. Den vida slätten söder om Kristinehamn är ett resultat av att flera stora tektoniska sprickzoner i berggrunden tvärar över området. Vid Märsta i den västra delen av Dyeslätten går en liten ås i sydväst-nordvästlig riktning. Åsen försvinner under lerorna mot Lötälven. Vid Kvarnbyn, i områdets nordöstra del, finns den troliga fortsättningen på denna ås. Mindre förekomster av "sandöar" norr om Dye antyder att åsen ligger under lerorna. Geotekniska undersökningar i området visar att delar av åsen påträffats. För att klargöra om åsen kunde ha en större utbredning mot Lötälven utfördes en nära en kilometer lång seismisk mätning från Lötälven mot Dyåsen i väster. Inga indikationer av åsen fanns här. Seismogrammet

visade dock att en zon med kraftigt uppsprucket berg förekom i nära anslutning till Lötälven. Goda betingelser för bergborrade brunnar finns således här. Vid Dyåsen finns en liten källa med ett uppmätt flöde av ca 2 l/s.

Hjälmarsnäs

Större delen av Hjälmarsnäs är uppbyggt av isälvsmaterial. Förstudierna indikerade på goda förutsättningar för grundvattenutvinning här som på Tyskönen. En georadarprofil upprättades tvärs över udden längs Amerikaudden. Diagrammet var dock delvis svårtolkat men visar att jorddjupet varierar. Höga berglägen förekommer, speciellt på den östra sidan där den går i dagen på flera ställen. Misstankar finns att delar av Amerikaudden är uppbyggd av morän. God förutsättning för utvinning av grundvatten på Hjälmarsnäs är dock inte helt utesluten.

N. Ämtheden

Två kilometer norr om E 18 i kommunens östra del finns en 2,5 km lång ostlig–västlig grusås. Materialet är huvudsakligen sand och mo. En georadarmätning gav ett delvis svårtolkat diagram. Jorddjupet tolkades vara 5–10 m. En sondering i den västra delen visade 7,5 m mo på morän. En sondering i den östra delen visade överst 5,5 m mo och 2,5 m grusig sand och därunder hård morän. Viss förutsättning för grundvattenutvinning finns här, troligen högst 5 l/s.

Motorbanan

Vid Gustavsvik omedelbart norr om E 18, vid motorbanan, finns några mindre förekomster av ås-material. En tydlig nord–syd-gående sprickdal, som mot norr kan följas långt upp i Värmland och mot söder ut i Väneren, ligger här. Misstanken fanns att delar av åsen kunde vara dold i de leror som fyller ut stor del av sprickdalen. En seismisk profil upprättades från motorbanan tvärs över dalgången. Den seismiska mätningen gav inte något säkert svar.

Skinnerud

Omkring 5 kilometer norr om motorbanan, i samma sprickdal som föregående lokal, återfinns fortsättningen på den lilla åsavlagringen vid motorbanan. En gammal grustäkt blottlägger grundvattnet här. Ett litet grundvattenflöde från den konstgjorda dammen till ett dike förekommer. En 145 m lång seismisk profil upprättades mellan den lilla dammen i öster mot vägen i väster. Seismiken visade att bergrundsytan sjunker från ca 53 meter över havet i öster till ca 34 meter över havet i väster.

Anneberg

Vid Anneberg längst upp i det nordvästra hörnet av kommunen visar den geologiska jordartskartan en relativt stor isälvsavlagring. Förutsättningarna för grundvattenutvinning antogs vara gynnsamma. Georadarmätning och sonderingar visade ett jorddjup på över 20 m. Materialet utgörs huvudsakligen av lera med någon eller några meter mo och sand på ytan. Goda förutsättningar för grundvattenuttag saknas.

GRUNDVATTNETS KEMI

Vid upprättandet av kartan "Grundvattenförekomster i Kristinehamns kommun" har inga resurser ägnats att klargöra och redovisa den befintliga kvaliteten på grundvattnet. I samband med fältarbetet insamlades dock vattenprov vid etablerandet av rör 9901 vid Strandvik, rör 9903 vid Hultängen och rör 9904 på Tyskö. Analysresultaten redovisas i tabeller i avsnittet "Kemiska analyser av grundvatten i observationsrör". Nedan presenteras en kort information om grundvattnets kemi i allmänhet.

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 nedsippande 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.

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

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

SALT GRUNDVATTEN

Förekomsten av salt grundvatten

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

Beträffande möjligheterna att bedöma risken för salt grundvatten i områden långt från havet, pekar nuvarande kunskaper på att salt grundvatten förekommer överallt, inte bara nära kusten och inte heller endast i områden som efter 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. Motsvarande saltlake har nu påträffats även i Oskarshamnsområdet och på "endast" ca 1 000 m djup. 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 med mätningar med geoelektrisk sondering kan man kvantifiera risken för salt grundvatten genom att mäta hur långt ner det är till gränsen mellan sött och salt grundvatten. Se avsnittet om elektriska motståndsmätningar.

En brunn måste dock inte nå ända ner till saltvattengränsen för att den skall kunna bli påverkad av det salta grundvattnet. Orsaken är att även om gränsen mellan sött och salt grundvatten ligger djupt ner, så har det salta vattnet en trycknivå som ligger avsevärt mycket högre. Detta förhållande illustreras i figur 54.

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 sprickor som via en brunn når ner till saltvattengränsen om man genom pumpning dränerar ut sötvattnet i sprickorna, se figur 55. I de flesta fall får man emellertid inte ett "rent" saltvatten utan tillförsel av ytterligare vatten från en mycket oregelbunden sprickighet, vilket 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.

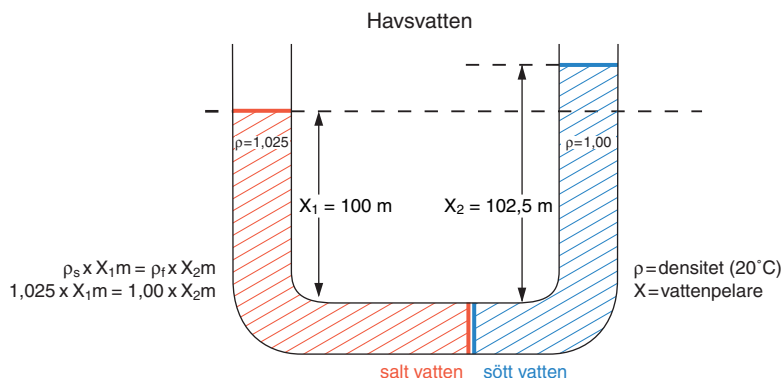


Fig. 54. Enligt principen om kommunicerande kärl balanseras en 102,5 m vattenpelare med sött vatten av en 100 m vattenpelare med salt vatten (3,5 %).

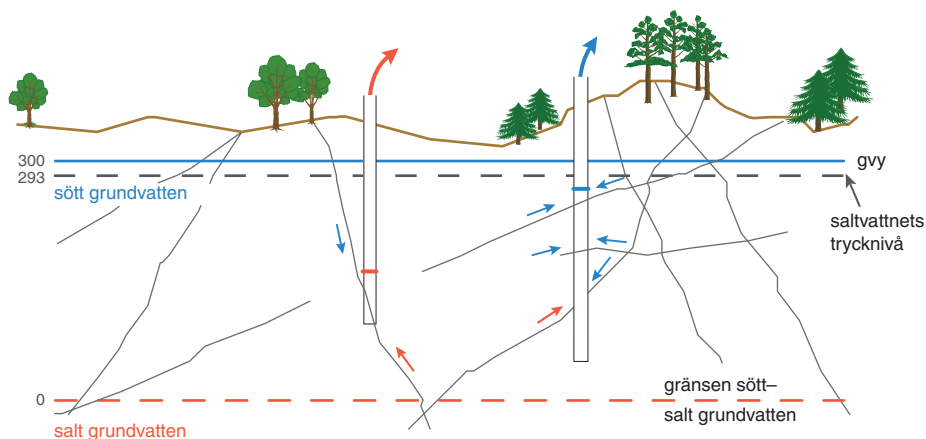


Fig. 55. Brunnen till vänster får vatten från i huvudsak en, dåligt vattenförande, spricka. Den övre delen av sprickan töms efter en tid på sitt söta vatten. Via den undre delen av sprickan trycks det salta vattnet upp utan att sina. Brunnen ger vatten med hög salthalt. Brunnen till höger får vatten 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.

Risken för salt grundvatten är störst i de låglänta delarna av kommunen, på öarna i Vänern och på många ställen nära stränderna.

Trots att stora delar av kommunen varit täckt av havsvatten efter den senaste istiden är risken för kvarvarande salt grundvatten således olika i olika delar av kommunen. Det föreligger ett klart samband mellan låg marknivå, särskilt i områden nära Vänern, 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.

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 om grundvatten i berggrunden.

Det är ofta bättre att borra "gradade" borrhål, dvs. med en avvikelse på 15–20 grader från vertikalplanet, och att inte borra djupare än 40–50 m eller mindre 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 spolas rena och t.o.m. att nya sprickor kan bildas.

Vid all borrning i områden med risk för salt grundvatten bör salthalten i vattnet kontinuerligt övervakas under pågående borrning allt eftersom borrhålet fördjupas. Detta dels för att undvika onödiga 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 det salta borrhålet. Detta måste då ske på ett

särskilt sätt. Borrhålet måste med hjälp av bl.a. en tillräckligt lång slang gjas 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 iakttagas vid borrning av en brunn i ett område med risk för salt grundvatten, måste man vara mycket försiktig även när man pumpar vatten ur brunnen. Ju mer man pumpar, desto större blir risken för att man får in salt grundvatten i brunnen. Risken hänger i första hand ihop med hur mycket grundvattennivån sänks i brunnen. Detta kan man mäta med ett s.k. kabelljuslod, vilket fungerar så att en lampa tänds när lodet kommer i kontakt med grundvattentytan nere i brunnen. Från pumpstart kan man följa hur mycket vattnet sjunker i brunnen allt eftersom pumpningen fortgår.

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

Vid nybörning 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 brunn som blivit salt åter kan bli sött, om man minskar vattenuttaget tillräckligt mycket. Brunnen bör då stå orörd en längre tid så att den ursprungliga skiktningen av sött och salt grundvatten kan återhämta sig innan den åter börjar pumpas 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 brunnsbörning, 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

Allmänt om 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 och spridning av föroreningar 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 grundläggningsskeden medför en ökad risk för förorenings-spridning till grundvattnet.

Konsekvens- och riskanalys

Konsekvensen för grundvattnet vid ett föroreningsutsläpp till marklagren kan beskrivas som en sammanvägning av grundvattnets värde och sårbarhet. Grundvattnets värde 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 hastighet 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, se figur 56.

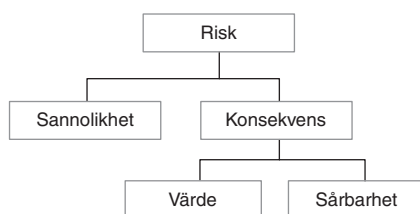


Fig. 56. Risk- och konsekvensanalys.

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.

Ett vattenskyddsområde kan fastställas av kommun eller länsstyrelse. Utgångspunkten för den geografiska avgränsningen av ett vattenskyddsområde för en grundvattentäkt är att hela grundvattentäktens tillrinningsområde bör omfattas av vattenskyddsområdet. Eftersom omsättningen i ett grundvattenmagasin är långsam och det medför mycket stora svårigheter att rena ett förorenat grundvatten krävs en strategi med ett starkt förebyggande skydd. Det innebär att i första hand bör inte potentiellt

förorenande verksamheter tillåtas inom vattenskyddsområdet. I andra hand ska en förorening hinna upptäckas i tid och marken saneras innan föroreningen når grundvattnet. I tredje hand ska föroreningen brytas ned, fastläggas eller spädas ut till acceptabla nivåer, eller kunna tas om hand innan den hinner transporteras med grundvattnet till uttagspunkterna av grundvatten.

Ett vattenskyddsområde kan delas in i zoner med bestämmelser som är anpassade efter skyddsbehovet i respektive zon. Vattenskyddsområdet kan delas in i vattentäktsson, primär skyddszon, sekundär skyddszon samt tertiär skyddszon. Syftet med vattentäktssonen är att säkra ett effektivt närskydd för uttagspunkterna. Området bör vara otillgängligt för andra än verksamhetsutövaren. Vattentäktssonen avgränsas som ett område kring uttagspunkten. Den primära skyddszonen ska avgränsas på sådant sätt att riskerna för akut förorening genom olyckshändelser minimeras. Särskilt känsliga inströmningsområden skall 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.

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.

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, se exempel i figur 57.

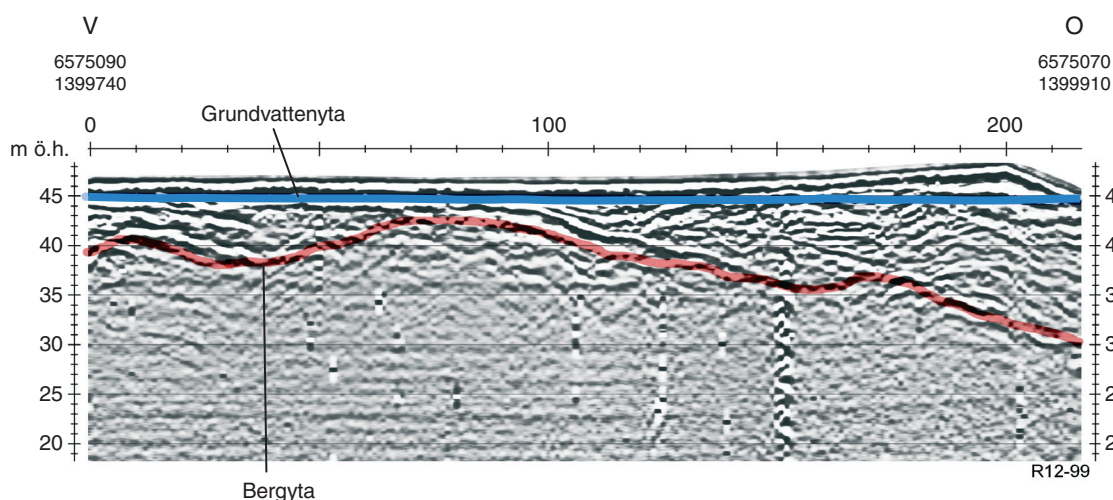


Fig. 57. Georadarprofil R12-99 går från väster till öster tvärs över norra delen på Tyskön vid inloppet till Kristinehamn. Röd linje visar berggrundsytan. Blå linje visar grundvattenytan som här i stort sett sammanfaller med Vänerns yta.

Geologiska förutsättningar

Georadar fungerar bäst på torr mark med grovkorniga, väl sorterade jordarter. Från områden med isälvsediment 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 de fukthållande egenskaperna. 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 jordjupet,
- få fram vilka strukturer som finns i jord och berg,
- lokalisera grundvattenytan,
- påvisa föremål i jordtäcknet (block, rör, håligheter etc.) och
- lokalisera spridning av föroreningar från vägar, deponier m.m.

Seismik

Grundläggande principer

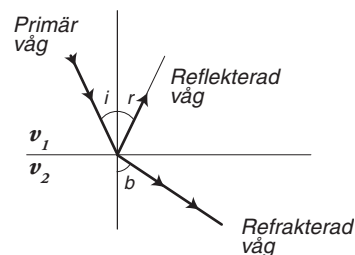
Den metod som används vid grundvattenundersökningar kallas refraktionsseismik. Det är en geofysisk mätmetod som baseras på elastiska vågors utbredning i marken. Vågornas utbredningshastighet skiljer sig mellan olika jord- och bergarter vilket gör det möjligt att beräkna lagermaktigheter och bedöma vissa 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 med annan hastighet reflekteras en del av vågens energi 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

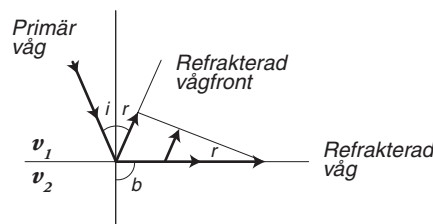


Om hastigheten ökar mot djupet inträffar vid en viss infallsvinkel kritisk refraction, vilket innebär att vågstrålen efter passage av skiktgränsen går parallellt med denna. Infallsvinkeln vid kritisk refraction är

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

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 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 skiktmaktigheter och hastigheter i lagerföljden. Förloppet registreras med givare i marken anslutna till en seismograf. Registreringarna, som kallas seismogram, innehåller data som beskriver markens rörelse i tiden samt uppgifter om geofonernas och skottpunkternas lägen.

Mätförfarande

Mätningen utförs i praktiken längs en linje där man på jämna avstånd placerar givare – s.k. geofoner – som reagerar för vibrationer i marken. Genom att spränga på lämpliga platser i profilen genereras mätdata i den omfattning som behövs. 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 mäktigheter och hastigheter för den aktuella lagerföljden beräknas. Bergets läge kan beräknas i såväl skottpunkter som geofonpunkter, vilket ger en relativt detaljerad kontinuerlig bild av bergytan. Hastigheten i berget ger viss information om bergets kvalitet jämte läget av mer markerade svaghetszoner. Mätresultaten redovisas i profilform där lagerföljden anges som skikt med olika hastigheter.

Geologiska förutsättningar

I Sverige har vi genom landisens verkningar ett jordtäckte bestående av morän och 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. De sedimentära bergarterna har 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, se vidare figur 58. Dessa förhållandevis enkla fysikaliska förhållanden har medfört att refraktionsseismiken oftast ger goda undersökningsresultat.

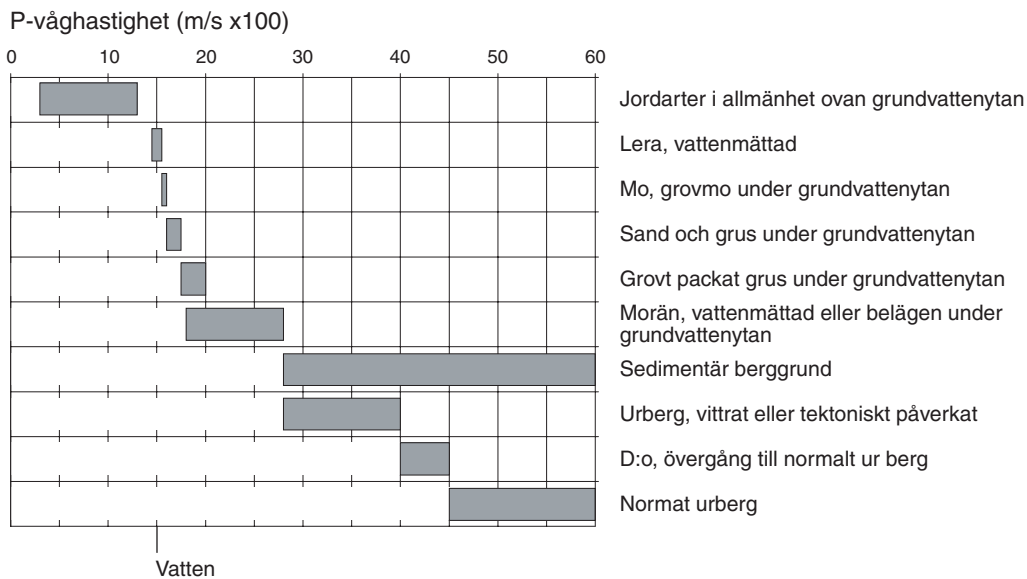


Fig. 58. Seismiska hastigheter i olika jord- och bergarter. Begreppet tektoniskt påverkat urberg avser i första hand sprickzoner, vilka vanligen är mer vattenförande än omgivande berggrund.

Tillämpningsområden

Refraktionsseismik används bl.a. för att:

- bestämma jordarter,
- bestämma jorddjupet,
- bedöma grundvattenmagasins mäktighet och volym,
- lokalisera sprickzoner i berg – sprickakviferer och
- bedöma bergkvalitet i samband med anläggningsarbeten.

Elektriska motståndsmätningar

Resistiviteten hos vanliga jord- och bergarter beror huvudsakligen på deras innehåll av elektrolyt, dvs. mängden porvätska (porositeten anges i procent), och på elektrolytens salthalt. Som framgår av figur 59 bestäms elektrolytens resistivitet av salthalt och temperatur och kan som jämförelse uppskattas för havsvattnet i Östersjön (ca 1 % salthalt och 10 °C) till något mindre än 1 ohmmeter.

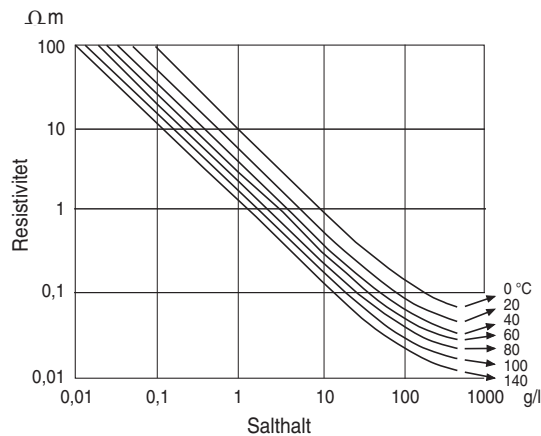


Fig. 59. Förhållandet mellan salthalt och resistivitet i vatten.

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 blir resistiviteten betydligt högre än om vi har salt grundvatten. Porositeten kan variera från några hundradels procent i kristallint berg utan sprickor till flera tiotals procent i sand och grus (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 som blir kvar på djupet. Vi får 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, se figur 60. 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, se figur 61. Elektroderna består av rostfri ståltråd som körs ner i jordtäcket.

När vi nu känner ström och spänning 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 $1/3$ till $1/4$ av avståndet mellan strömelektrodena beroende på den elektriska kontrasten mellan de skikt som man vill detektera.

Om vi successivt ökar avståndet mellan strömelektrodena 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, se figur 62. Ska vi undersöka jordtäcket i kontrast mot berggrunden behöver vi mäta ut till ett avstånd av minst 40 meter mellan strömelektrodena om jordtäcket är 10 m tjockt. Skall vi upptäcka gränsen mellan sött och salt grundvatten på 1000 m djup måste vi mäta ut till avståndet 4 000 m mellan strömelektrodena.

Med moderna datorprogram kan man lätt konstruera en rimlig, horisontellt skiktad modell av flera lager med lämpliga, tänkbara resistiviteter som stämmer med våra uppmätta mätvärden. Vi måste dock komma ihåg att det kan finnas många olika modeller som kan fungera lika bra, och vidare att naturen kan vara betydligt mer komplicerad. Den kanske i själva verket inte alls är horisontellt skiktad i vår mätpunkt.

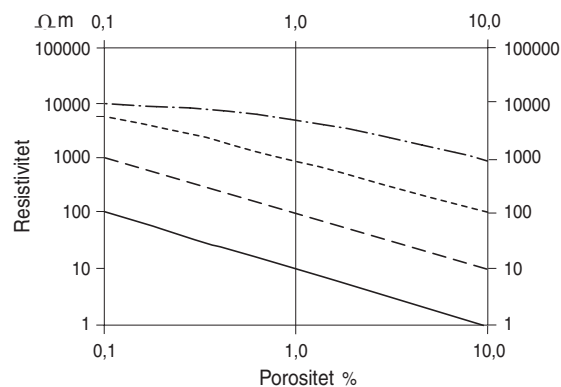


Fig. 60. Förhållandet mellan resistivitet och porositet i jord och berg.

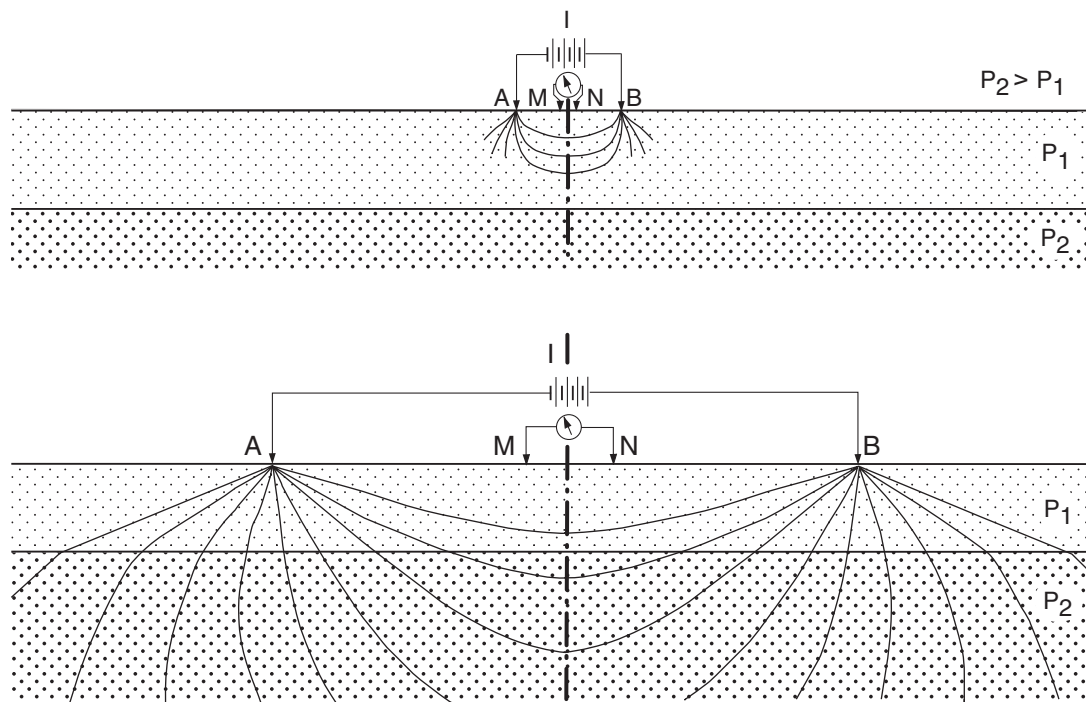


Fig. 61 (överst) och 62. Vertikala elektriska sonderingar – VES – genomförs med successivt större avstånd mellan elektrodena, varvid allt djupare liggande skikt undersöks.

Kriging och variogramanalys

Kriging är en interpolationsmetod för att förutsäga rumsliga värden. Metoden är namngiven efter Kriege, en sydafrikansk gruvingenjör som på femtiotalet utvecklade empiriska metoder för att bestämma malmklassfördelning från fördelningar baserade på insamlade malmklasser.

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_j, y_j) 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 63 visar ett exempel på ett variogram, 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. Ser man på mindre områden, speciellt de extrema, är detta antagande inte korrekt.
2. Att krigingvariansen från den geostatistiska modellen är en korrekt uppskattning av variansen av de faktiska felen.

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

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

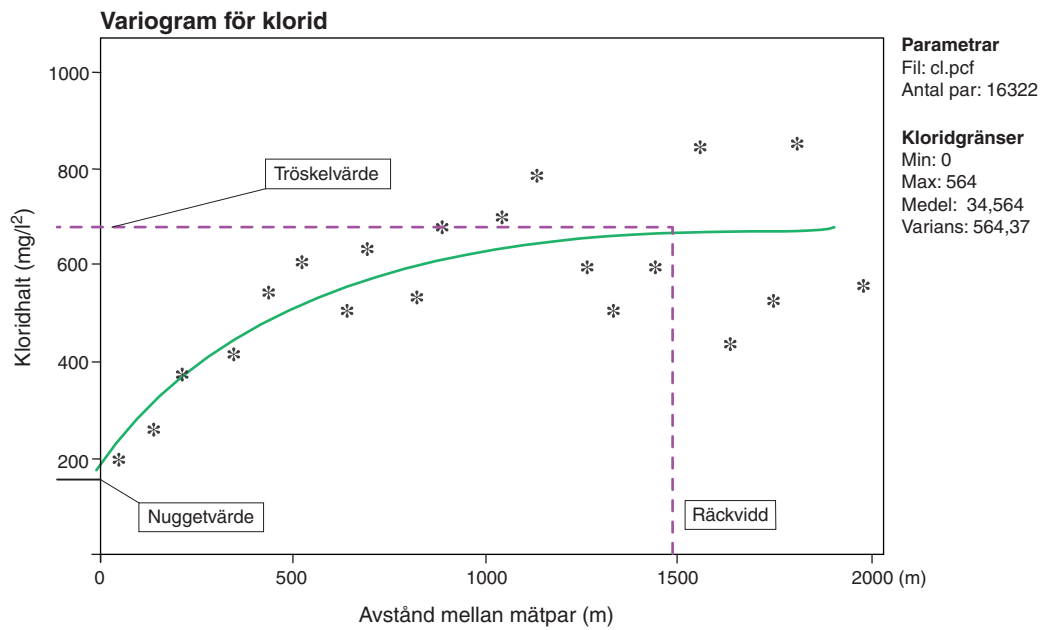


Fig. 63. Exempel på variogramanalys. Här är variansen på kloridhalten plottad mot avståndet mellan mätparen. I figuren framgår autokorrelationens räckvidd, tröskelvärdet för observationer som är oberoende av varandra samt nuggetvärdet, den lägsta variansen.

DOKUMENTATION AV GEOFYSISKA MÄTNINGAR OCH KEMISKA ANALYSER

I kapitlet ”Redovisning av fältundersökningar” finns ett urval av de geofysiska mätningar som utfördes vid kartläggningen av grundvattentillgångarna i Kristinehamns kommun.

Förutom denna dokumentation finns SGUs geofysiska mätningar tillgängliga i form av radargram och seismogram samt inventerade brunnar, observationsrör, borrhningar m.m. i databaser som medföljer den digitala MapInfo-versionen av ”Grundvattenförekomster i Kristinehamns kommun”.

Geofysiska mätningar

R = Georadar, S = Seismik

Profil	y-start	x-start	y-slut	x-slut	Plats eller sträcka
R1-98	141417	6551233	1414864	6551926	Skagersbrunn
R2-98	1414055	6552161	1415327	6552212	Skagersbrunn
R3-98	1415204	6552926	1415306	6553009	Ekedalen
R4-98	1415565	6554247	1415562	6554358	Mo
R5-98	1415550	6554410	1415660	6554514	Mo
R 6-98	1415066	6554487	1415161	6554554	Mo
R7-98	1414815	6550914	1415152	6551250	Skagersbrunn
R8-98	1414478	6551133	1414990	6551432	Skagersbrunn
R9-98	1405006	6551152	1405242	6551444	Kolstrandsviken
R10-98	1406303	6554649	1406347	6554761	Nybble
R11-98	1406181	6554715	1406309	6554869	Nybble
R12-98	1404137	6551410	1404237	6551732	Kolstrandsviken
R13-98	1406687	6557381	1406766	6557744	Visnum
R14-98	1406664	6556753	1406685	6556908	Vall
R15-98	1406502	6556222	1406525	6556400	Vall
R16-98	1402083	6555666	1402167	6555743	Hygn
R17-98	1414674	6565486	1414876	6551507	Skagersbrunn
R18-98	1408008	6560754	1408235	6560822	Bäckhammar
R19-98	1407994	6561296	1408029	6561545	Krontorp
R20-98	1407946	6561339	1408047	6561358	Krontorp
R21-98	1408394	6563360	1408413	6563580	Vallbromossen
R22-98	1404394	6563360	1408413	6563580	Vallbromossen
R23-98	1407020	6564810	1406640	6564054	Stormon
R24-98	1407010	6564810	1406820	6564950	Stormon
R25-98	1407010	6569260	1405860	6568840	Rotängsmossen
R26-98	1406300	6568840	1405648	6568636	Rotängsmossen
R1-99	1390658	6582830	1391483	6583387	Strandvik
R3-99	1399489	6575533	1399850	6575594	Hjälmarsnäs
R4-99	1399800	6575933	1399886	6576077	Hjälmarsnäs
R8-99	1409279	6579629	1409600	6579827	N Ämtheden
R9-99	1410536	6579864	1410660	6579831	N. Ämtheden
R10-99	1410939	6579994	1410974	6580013	N. Ämtheden
R11-99	1399668	6574728	1399788	6575138	Tyskö
R12-99	1399738	6575067	1399910	6575113	Tyskö
R13-99	1399666	6574906	1399832	6575009	Tyskö
R14-99	1399570	6574696	1399658	6574765	Tyskö
R15-99	1399594	6574601	1399764	6575083	Tyskö
S 1-98	1405160	6552020	1405310	6552200	Kolstrandsviken
S 2-98	1405040	6551970	1405170	6551780	Kolstrandsviken
S3-98	1405480	6553855	1405630	6553680	Nybble
S 4-98	1415346	6552680	1415666	6553499	Ekängen
S 5-98	1415104	6555404	1415087	6555218	Mo
S 6-98	1415103	6555389	1415328	6555411	Mo
S 7-98	1407393	6559491	1407164	6559530	Blaxmo

Profil	y-start	x-start	y-slut	x-slut	Plats eller sträcka
S 1-99	1404260	6575700	1403340	6575630	Dye
S 2-99	1400980	6583375	1401160	6583245	Motorp
S 3-99	1400380	6587390	1400525	6587595	Skinnerud
S4-99	1395000	6583820	1385455	6583685	Ölmeslätten
S5-99	1395480	6583800	1395440	6583625	Ölmeslätten
S6-99	1395610	6586160	1395150	6585990	N Rävsala
S7-99	1396440	6586380	1396440	6586380	Vall
S8-99	1398565	6586300	1398797	6586280	St. Skanum
S9-99	1398740	6586290	1398750	6586180	St. Skanum

Kemiska analyser av grundvatten i observationsrör

		Provtagningsplatser			
		9901 7–8 m	9903 4–5 m	9904 4–5 m	9904 8–9 m
Parameter		rör Strandvik x:65 83 250 y:13 91 050	rör Hultängen x:65 70 319 y:14 08 020	rör Tyskön x: 65 74 700 y: 13 99 590	rör Tyskön x: 65 74 700 y: 13 99 590
Turbiditet	FNU	28	35	69	41
Lukt 20°		Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Lukt 50°		Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Färgtal	Pt mg/l	25	70	<5	7,7
COD(Mn)	mg/l	7,5	24	1,1	< 1,0
Konduktivitet 25 °C	mS/m	6,1	6,9	17	27
pH		6,2	6,4	8,3	8,1
Alkalinitet	mg/l	6	17	61	110
Kolsyra agg. CO ₂	mg/l	7,0	10	<1	<1
Hårdhet tot. Ca+Mg	mg/l	5,0	5,9	27	44
Hårdhet, total	°dH	0,70	0,82	3,8	6,2
Ca	mg/l	2,9	3,4	14	18
Fe	mg/l	0,62	0,47	0,17	0,66
Mn	mg/l	0,046	0,14	0,014	0,18
K	mg/l	0,9	0,8	2,3	3,9
Na	mg/l	4,5	7,2	6,5	9,5
Al	mg/l	0,13	0,04	0,13	0,19
Cu	mg/l	0,013	0,007	0,13	<0,003
Zn	mg/l	0,014	0,004	0,005	0,005
NH ₄ -N	mg/l	0,04	0,39	<0,02	<0,2
Nitrit, NO ₂ -N	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fosfat-fosfor	mg/l	0,03	0,03	0,14	0,15
Flourid	mg/l	0,16	0,13	0,21	0,89
Klorid	mg/l	5,5	11	9,6	14

DATABASSTRUKTUR

Den digitala informationen över grundvattentillgångar i Kristinehamns kommun som finns tillgänglig i SGUs databaser presenteras översiktligt i figur 64. Informationen är framtagen i formaten MapInfo och ArcInfo, men kan erhållas även i andra format. Data är lagrade i koordinatsystemet RT90 2,5 gon V.

Övriga data med anknytning till ”Karta över grundvattenförekomster i Kristinehamns kommun” som finns tillgängliga på SGU är bl.a.:

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

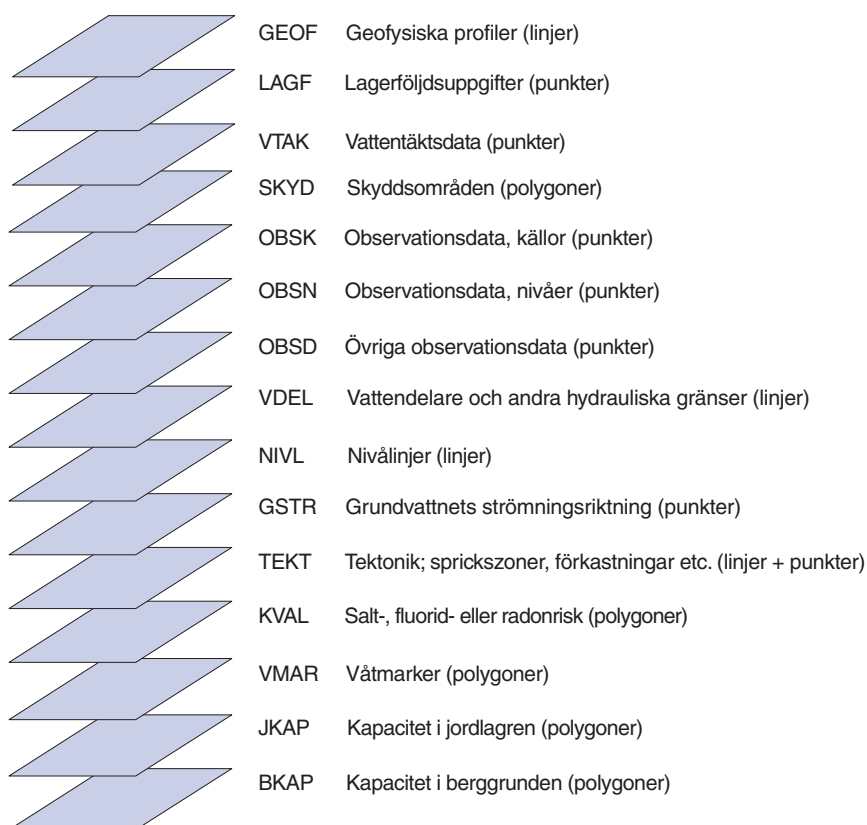


Fig. 64. Översiktlig databasstruktur. För Kristinehamns kommun saknas skikten LAGF, SKYD, OBSD och KVAL.

LITTERATUR OCH GRUNDVATTENKARTOR

Referenser

- Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995: Grundvattnets kemi i Sverige. *Statens naturvårdsverk. Rapport 4415*.
- Aneblom, T. & Åsman, M., 2001: Karta över grundvattnet i Karlstads kommun. *Sveriges geologiska undersökning An 8*.
- Blomqvist, T., 1969: Sörmon. *Stratigrafiska studier av en litoralt omlagrad glaciofluvial ackumulation i Värmland*. Kvartergeologiska institutionen. Uppsala universitet.
- Fredén, C., 2000a: Jordartskartan Karlstad NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 140*.
- Fredén, C., 2000b: Jordartskartan Karlstad SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 141*.
- Fredén, C., 2001a: Jordartskartan Karlstad NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 142*.
- Fredén, C., 2001b: Jordartskartan Munkfors SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 150*.
- Hörner, N.H., 1927: Brattforsheden. Ett värmländskt randdeltakomplex och dess dyner. *Sveriges geologiska undersökning C 342*.
- Lundqvist, J., 1958: Beskrivning till jordartskarta över Värmlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 38*.
- Statens Livsmedelsverk, 1993: Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten. *SLV Författningssamling 1993:35*.

Allmän litteratur

- Aastrup, M., 1994: Grundvattenövervakning inom PMK. Rapport från verksamheten 1994. *Statens naturvårdsverk. Rapport 4128*.
- 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 R 42:1984*.
- Andersson, S., Eriksson, A. & Åbyhammar, T., 1980: Utvinning av värme ur bergborrade brunnar. Förstudie. *Byggforskningsrådet R 142:1980*.
- Aneblom, T., 1998: Karta över grundvattnet i Värmlands län med beskrivning. *Sveriges geologiska undersökning Ah 19*.
- Bengtsson, M.-L., 1996: Hydrogeologisk sårbarhetsklassificering som verktyg i kommunal planering. Med exempel från Lerums kommun. *Chalmers tekniska högskola, Geologiska institutionen Publ. A81*.
- Bergström, S., 1993: *Sveriges hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI, Norrköping.
- Bertills, U., von Brömssen, U. & Sarr, M., 1989: Försurningsläget i enskilda vattentäkter i Sverige. *Statens naturvårdsverk. Rapport 3567*.
- Brink, R. & Tullberg, H., 1982: Att utvinna och lagra värme i mark och vatten. Juridiska aspekter. *Byggforskningsrådet. T 44:1982*.
- von Brömssen, U., 1968: *Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt: försök till bestämning av infiltrationskoefficienter*. Särtryck ur: Teknik Metod Analys. Stockholm.
- Byggforskningsrådet, 1982: Bergvärme, grundvattenvärme och geotermi. BFR-seminarium maj 1982. *Rapport R130:1982*.
- Bäckström, O., 1981: *Försurning*. Uppsala universitet. Kvartergeologiska avdelningen.
- Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977: Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrocks. *Nordic Hydrology 8*, 103–116.
- Carlsson, L. & Gustafsson, G., 1984: Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. *Byggforskningsrådet R41: 1984*.

- Coordinating committee for hydrology in nordic countries (COHYNO), 1984: *Nordic Glossary of Hydrology*. Iréne Johansson (red.). Almqvist & Wiksell International, Stockholm.
- De Geer, J., 1970: Några hydrogeologiska synpunkter på jordtäckets akviferer främst åsarnas. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm.
- 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), 2002: *Berg och jord*. Sveriges Nationalatlas. Tredje uppl.
- Frycklund, C., Jacks, G., Johansson, P.-O. & Lekander, K., 1994: Konstgjord grundvattenbildning – Processstudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. VAV. *VA-forsks rapportserie 1994-08*.
- Granberg, G., 1934: Den kalendärt fixerade källdrickningen. *Folkminnen och folktankar* 21, 20–34, 56–75.
- Grip, H. & Rodhe, A., 1988: *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren & Fallgren Studieförlag AB. Uppsala.
- Gustafson, G., 1974: A method of calculating the hydraulic properties of esker aquifers. *Nordic Hydrologic Conference, Aalborg 1974*, 525–543. København.
- Gustafson, 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. *Byggforskningsrådet R 134:1980*.
- Gustafsson, Y., 1970: Topografins inverkan på grundvattenbildningen. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm.
- Hult, A., 1991: *Källan till vattnet*. Anders Hult & Gidlunds Bokförlag, Värnamo.
- Hydén, H., 1983: Energiutvinning ur kommunala grundvattentäkter. *Byggforskningsrådet 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. *Kungliga 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.
- Larsson, I., 1977: Torra och vattenrika bergartstyper i svenskt urberg. *Vatten*, 33.2, 96–101.
- 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.)
- Lidman, E.-K. & Mattson, E., 1982: *Förurningens inverkan på korrosionen i vattenledningar av koppar*. Korrosionsinstitutet. Stockholm.
- 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.
- Müllern, C.-F., 1980: Airborne geophysical measurements used for hydrogeological mapping. 6:e *Nordiska Hydrologiska Konferensen*. Uppsala Universitet, Naturgeografiska Institutionen. Rapport Nr 53. Uppsala.

- Naturvårdsverket, 1991: Grundvattentäkter. Skyddsområden – skyddsföreskrifter. *Allmänna råd 90:15*.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1979: *Vårt vatten – tillgång, utnyttjande*. LTs förlag, Stockholm.
- Nordic Hydrological Programme, 1994: Salt groundwater in the Nordic countries. *NHP Rapport 35*.
- Nordqvist, R., 1982: *Försurning*. Uppsala Universitet. Kvartärgeologiska avdelningen.
- Olofsson, B. & Ericsson, L.O., 1985: Miljöförändringar vid värmeutvinning ur berg och grundvatten. *Bygghälsningsrådet R 149: 1985*.
- Persson, G., 1992: Groundwater protection and vulnerability maps in Sweden. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia Vol. XLII*.
- Pousette, J., 1988: Groundwater Documentation in Sweden. *Water Quality Bulletin, Vol.13, No. 4*, WHO Canada Centre for Inland Waters, October 1988.
- Programmet för övervakning av miljö kvalitet (PMK), 1986: Sura och försurade vatten. *Monitor*. Statens naturvårdsverk, Solna.
- Rodhe, A., 1987: The origin of streamwater traced by oxygen-18. *Report Series A, No 41, Division of Hydrology, Uppsala Universitet*, 260 s.
- Samuelsson, M., 1983: Ytligt grundvatten – kemi och omsättning. En studie av källor i skogsmark. *Kungl. tekniska högskolan. Institutionen för kulturteknik. Meddelande TRITA-KUT 3023*.
- Sandberg, B., 1982: *Korrosion på markförlagda konstruktioner – påverkan av markförsurning*. Korrosionsinstitutet, Stockholm.
- Saxena, R. & Dressie, Z., 1983: Estimation of groundwater recharge and moisture movement in sandy formations by tracing natural O-18 and injected tritium profiles in the unsaturated zone. *I: Isotope hydrology (Proceedings of Symposium in Vienna, 1983), IAEA, Vienna 139–150*.
- Statens offentliga utredningar, 1994: Reglering av vattenuttag ur enskilda brunnar. Delbetänkande av Grundvattenutredningen. *SOU 1994:97*.
- Sundlöf, B. & Kronqvist, L., 1992: Konstgjord grundvattenbildning. *Va-forsks rapportserie 1992-13*.
- Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, 1995: VA-verk 1994. Statistiska uppgifter över kommunala vatten- och avloppsverk. *VAV S94*.
- Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, 1997: Skydd av vattentäkter. *Meddelanden, VAV M98*.
- 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.

SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel

Nr

17. Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand–bentonitskikt. 1980.
21. Groundwater-level fluctuations as a measure of the effective porosity and groundwater recharge. 1980.
27. Intruded and relict groundwater of marine origin. SWIM -81. 1981.
30. Radon – geological aspects of an environmental problem. 1982.
37. Geokemisk kartering. 1984.
39. Salt grundvatten i Sverige. 1985.
42. Geokemisk kartering. Bäcktorv. 1985.
43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
57. Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
67. Strandförskjutningen i Eskilstunatrakten för ca 9 000 till 4 000 år sedan. 1991.
75. Biogeokemiska kartan 8–10, G–J och 11–12, H–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1993.
86. Miljögeologi. Kartor för samhällsplanerare och miljövärdare. Exempel från Mittnordenområdet. 1996.

87. 14th Salt Water Intrusion Meeting. SWIM -96. 1996.
99. Grundvattnets tillstånd i Sverige. Årsskrift från miljöövervakningen 1999. 1999.

Grundvattenkartor

SGU serie Ag

Grundvattenkartor i skala 1:50 000

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

SGU serie Ah

Grundvattenkartor, län, i skala 1:250 000.

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

SGU serie An

Digitala grundvattenkartor med beskrivning, kommuner, i skala 1:50 000, utgivna på cd (finns även som databas).

2	Hässleholm
3	Strängnäs
4	Upplands-Bro
6	Söderhamn
7	Katrineholm
8	Karlstad
9	Laxå
10	Norrköping
13	Bollnäs
14	Höganäs

SGU serie K

Digitala grundvattenkartor med beskrivning, kommuner, i skala 1:50 000 (finns även som databas)

K44	Umeå
K49	Västerås-Hallstahammar
K50	Kristinehamn

Dessutom finns följande kartdatabaser tillgängliga:

Alingsås	Klippan	Nynäshamn
Botkyrka	Kumla	Partille
Burlöv	Kungsör	Salem
Båstad	Kävlinge	Staffanstorps
Båstad	Köping	Stockholm
Ekerö	Laholm	Södertälje
Enköping	Landskrona	Uddevalla
Eskilstuna	Lerum	Vårgårda
Göteborg	Linköping	Åstorp
Halmstad	Lomma	Ängelholm
Haninge	Lund	Örebro
Heby	Malmö	Örkelljunga
Håbo	Mölnadal	
Härryda	Norrtälje	

