

Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Heby kommun

Carl-Fredrik Müllern



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-652-0

Ändring genomförd 9 mars 2022

Sidan 30, under rubriken Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö:

Ny text: Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö begränsas av den rörliga grundvattendelaren söder om samhället och av en rörlig grundvattendelare strax söder om grustaget i Skärsjöåsen.

Ursprunglig text: Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö begränsas av den rörliga grundvattendelaren söder om samhället och av en fast grundvattendelare strax söder om grustaget i Skärsjöåsen.

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

Närmare upplysningar erhålls genom

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

Omslagsbild: En av källorna vid Ingbo. Det totala källflödet är här ca 50 l/s, eller 4 miljoner liter varje dygn. Foto: C.- F. Müllern.

FÖRORD

Kartan över grundvattenförekomster i Heby kommun ingår i en serie kommuninriktade grundvattenkartor, serierna An och K, som framställs av Sveriges geologiska undersökning, SGU. Kartan är framtagen i nära samarbete med kommunens Miljö- och hälsoskyddskontor, och är avsedd att i första hand komma till användning i den kommunala verksamheten. Den kan givetvis komma till användning även i andra, grundvattenrelaterade sammanhang.

Kartan är speciellt anpassad för att utgöra ett av de nödvändiga beslutsunderlag som krävs i samband med kommunal planering enligt miljöbalken, plan- och bygglagen och Agenda 21 för t.ex. markanvändning, vattenförsörjning, grundvattenskydd samt grundvattenrelaterade tillstånds- och tillsynsfrågor. Kartan bedöms också vara ett bra underlag för att nå målsättningarna i de nationella miljömålen och i EUs ramdirektiv för vatten.

Den föreliggande kartan över grundvattentillgångarna i Heby kommun är digitalt framställd. Informationen är inlagrad i databasen, vilken levererats till kommunen, med en noggrannhet som huvudsakligen är avsedd att passa en framställning i skala 1:50 000. Framställningar av analoga kartor över hela eller delar av kommunen från kartdatabasen kan göras i såväl större som mindre skala, vilket emellertid kräver insikt i att noggrannheten inte alltid överensstämmer med den förändrade kartskalan.

Bedömningarna av grundvattentillgångarna i de kvartära avlagringarna, i första hand sand- och grusavlagringarna, har grundats på de hydrogeologiska fältarbeten som utförts inom ramen för SGUs grundvattenundersökningar i Heby kommun. Dessa har innefattat geofysiska mätningar med georadar, seismik och geoelektrik samt sonderingsborrningar och drivning av observationsrör. Utgångspunkt för arbetena har varit den hydrogeologiska översiktskartan över Västmanlands län i skala 1:250 000, SGU Ah 2, vilken är en syntes av äldre grundvattenundersökningar och utredningar.

De undersökningar som utförts för kartläggningen av grundvattentillgångarna i Heby kommun har givetvis lett till nya insikter om grundvattenförhållandena, varför kommunkartan i flera avseenden skiljer sig från länskartan. Det gäller t.ex. grundvattnets strömningsriktningar, torra åsavsnitt, källor m.m. Arbetena med den nya kartan har även inneburit en avsevärt säkrare kvantifiering av grundvattentillgångarna och grundvattenmagasinen genom bl.a. de geofysiska mätningarna och borrningarna, varvid grundvattenmagasinens faktiska storlek uppmätts.

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

Kartläggningen genomfördes 1999–2000. De geofysiska arbetena har letts av Bo Wållberg och borrningarna av Roger Smedberg. I fältarbetena medverkade Barbro Aastrup, Magnus Bengtsson, Eva Elsmark, Sven-Erik Karlsson, Torbjörn Persson, Sune Rurling och Leif Särnblad.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	6
Utförda arbeten	6
Resultat och slutsatser	7
FOTOGRAFIER FRÅN UNDERSÖKNINGARNA	9
GRUNDVATTENTILLGÅNGAR	19
Allmänna förutsättningar	19
Naturresursen grundvatten	19
Vattnets kretslopp	20
Grundvattnet i och intill en grusås	21
Grundvattenbildning	21
Tidsmässiga variationer i grundvattennivå	22
Årstidsvariationer	24
Dricksvatten	24
Inducerad infiltration	26
Konstgjort grundvatten	27
Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångarna i Heby kommun	29
Grundvatten i jordlagren	29
Grundvatten i berggrunden	31
Större sprickzoner	33
Teckenförklaring till kartorna	35
Grundvattentillgångar i Masteråsen – åsförgreningen	36
Översikt	36
Masteråsens huvudsakliga grundvattendelare till bergtröskeln	37
Åsförgreningen, Stengubbåsen–Ulebo källa–Ingbo källor	40
Grundvattentillgångar i den nordöstra åsgrenen, Tärnsjö–Dalälven	44
Skärsjö till Dalälven	44
Tärnsjömagasinet	45
Grundvattentillgångar i den nordvästra åsgrenen, Ingbo till Dalälven	47
Grundvattentillgångar i Masteråsen–Dalkarlsåsen mellan Råsbo och Runhällen	49
Grundvattentillgångar i magasinerna vid Skräddarbo och Stingtorpet	51
Grundvattentillgångar vid Heby samhälle	52
Grundvattentillgångar i Röcklingemagasinet och Flostaåsen	54
GRUNDVATTNETS KEMI	59
Grundvattnets kemi i allmänhet	59
Grundvattnets kemi i Heby kommun	60
Kemiska analyser på grundvattnet i källor och i observationsrör	78
SALT GRUNDVATTEN OCH MOTÅTGÄRDER	78
Förekomsten av salt grundvatten	78
Salt grundvatten i Heby kommun	80
Översikt	80
Vägsalt i kommunens största grundvattenmagasin	82
Åtgärder mot salt grundvatten	84

GRUNDTVATTNETS SÅRBARHET	85
Allmänt om grundvattnets sårbarhet	85
Grundvattenpåverkan	85
Konsekvens- och riskanalys	85
Skydd av grundvattnet	86
METODBESKRIVNINGAR	87
Georadar	87
Geologiska förutsättningar	87
Tillämpningsområden	87
Seismik	87
Grundläggande principer	87
Mätförfarande	88
Geologiska förutsättningar	88
Tillämpningsområden	89
Elektriska motståndsmätningar	89
Kriging och variogramanalys	91
DOKUMENTATION AV GEOFYSISKA MÄTNINGAR, BORRNINGAR, INVENTERADE BRUNNAR OCH KEMISKA ANALYSER	92
Geofysiska mätningar	92
Utförda borrhningar (serierna SGU 99 och 00) samt inventerade borrhningar med uppgifter på lagerföljd	93
Inventerade och avvägda brunnar och observationsrör	100
Kemiska analyser av grundvatten från källor och observationsrör	101
Georadar- och seismiska profiler tolkade med avseende på grundvattenförhållanden	103
DATABASSTRUKTUR	104
LITTERATUR OCH GRUNDTVATTENKARTOR	104
Allmän litteratur	104
Ej tryckta utredningar	107
SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel	109
Grundvattenkartor	109
SGU serie Ag	109
SGU serie Ah	110
SGU serie An	110
SGU serie K	111

SAMMANFATTNING

Utförda arbeten

De arbeten som genomförts i samband med kartläggningen av grundvattentillgångarna i Heby kommun har utförts med delfinansiering av och i samråd med kommunen.

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

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

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

- Genomgång av äldre utredningar och arkivmaterial.
- Inventering av 132 brunnar och äldre observationsrör, varav 36 har avvägts.
- Inventering av kända källor samt uppletande av ytterligare källor.
- Georadarmätningar i 35 profiler med en sammanlagd längd av 16 780 m.
- Seismiska mätningar i 17 profiler med en sammanlagd längd av 6 185 m.
- Avvägning av georadar- och seismiska profiler.
- Sonderingsborrningar och drivning av observationsrör på 26 platser med en sammanlagd längd av 567 m.
- Provtagning av grundvattnet i 4 observationsrör för kemisk analys, samt ett sextiototal klorid- och järnanalyser utförda i fält.
- Inlagring i databaser av:
 - brunnsdata
 - georadar- och seismiska data, även äldre
 - borrhingsdata, även äldre
 - grundvattennivådata
 - grundvattenkemiska data
- Upprättande av kartdatabaser över:
 - grundvattentillgångar i berggrunden
 - grundvattentillgångar i jordlagren
 - större sprickzoner i berggrunden
 - stryknings- och stupningsvärden på berggrundsstrukturer
 - grundvattnets strömningsriktningar
 - källor
- Sammanställning av dessa databaser med Lantmäteriverkets digitala topografiska karta (T5) till en karta över grundvattenförekomster i Heby kommun.
- Sammanställning av föreliggande beskrivning.

Brunns- och källinventeringar har utförts i anslutning till Enköpingsåsen, Huddungeåsen samt den lilla biås, som ansluter vid Runhällen. De geofysiska mätningarna, sonderingsborrningarna och observationsrödrivningarna har i regel genomförts på ställen som varit viktiga för att utreda grundvattnets strömningsmönster och lägen för grundvattendelare etc.

Grundvattennivåerna som anges på kartan över grundvattenförekomster i Heby kommun och

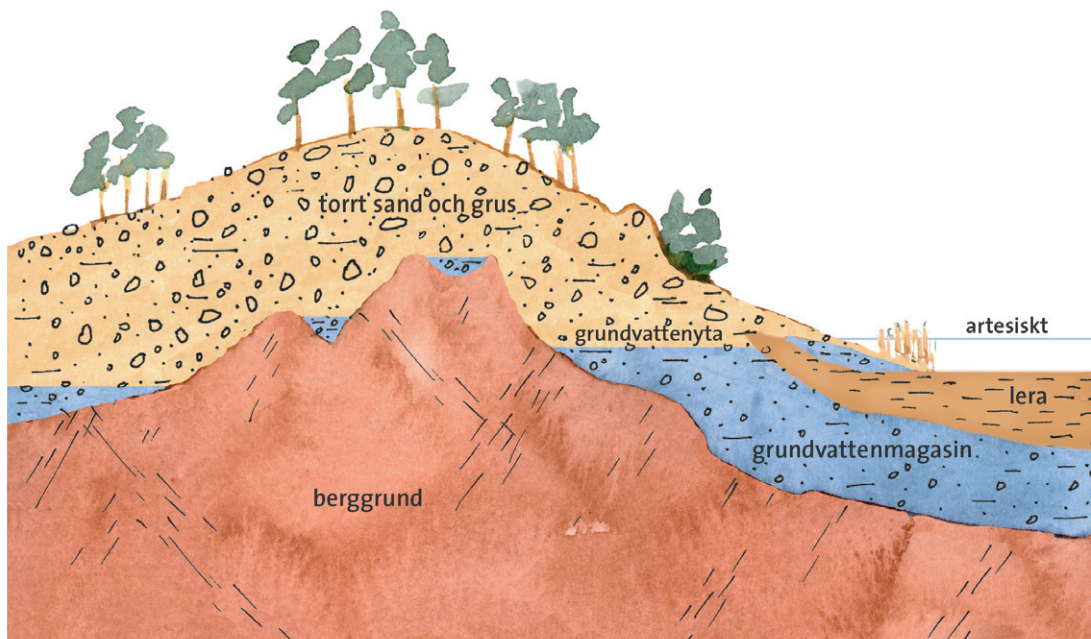


Fig. 1. Principbild av höga och låga berglägen – stora och små grundvattenmagasin i en grusavlagring. Lagg märke till hållkaren, de små grundvattensamlingarna, där bergläget är som högst. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

i beskrivningen är till helt övervägande del uppmätta vid ett gemensamt tillfälle i juni 2000. Nivåerna är angivna i höjdsystemet RH 00 och tillhör med få undantag det primära åsmaterialets grundvattenmagasin. Angivna nivåkurvor och strömningsriktningar tillhör alltid det primära åsmaterialets grundvattenmagasin.

Resultat och slutsatser

De hydrogeologiska och geofysiska undersökningar som utförts inom ramen för SGUs grundvattenkartering har i första hand inriktats på de grundvattenförekomster som bedömts vara störst och som inte redan nu utnyttjas.

I figur 2 visas lägen för de största grundvattentillgångarna i Heby kommun. Inom ramen för denna grundvattenkartläggning har i första hand de delar av Enköpingsåsen som kallas Dalkarlsåsen, Masteråsen och Stengubbsåsen samt isälvsavlagringen söder om Heby undersökts närmare, huvudsakligen med geofysiska mätningar och borrhningar.

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

Som slutsats beträffande grundvattentillgångarna kan sägas att:

- Grundvattenförekomsten vid Masteråsen–Stengubbsåsen (1), framstår som den största. Källorna i området flödade år 2000 med sammanlagt ca 80 liter per sekund. Härtill kommer att det närbelägna grundvattenmagasinet vid Tärnsjö har en naturlig kapacitet på ca 20 l/s. Således föreligger vid åsförgreningen en grundvattentillgång på ca 100 l/s, som har goda förutsättningar att mångdubblas genom konstgjord grundvattenbildning med stöd av den närbelägna Dalälven.
- Grundvattenmagasinet i Dalkarlsåsen mellan Råsbo och Källbäcken (2) hade vid undersökningstillfället ett sammanlagt utflöde av ca 35 l/s. Även denna grundvattenförekomst skulle kunna förstärkas väsentligt genom konstgjord grundvattenbildning med Dalälvsvatten.

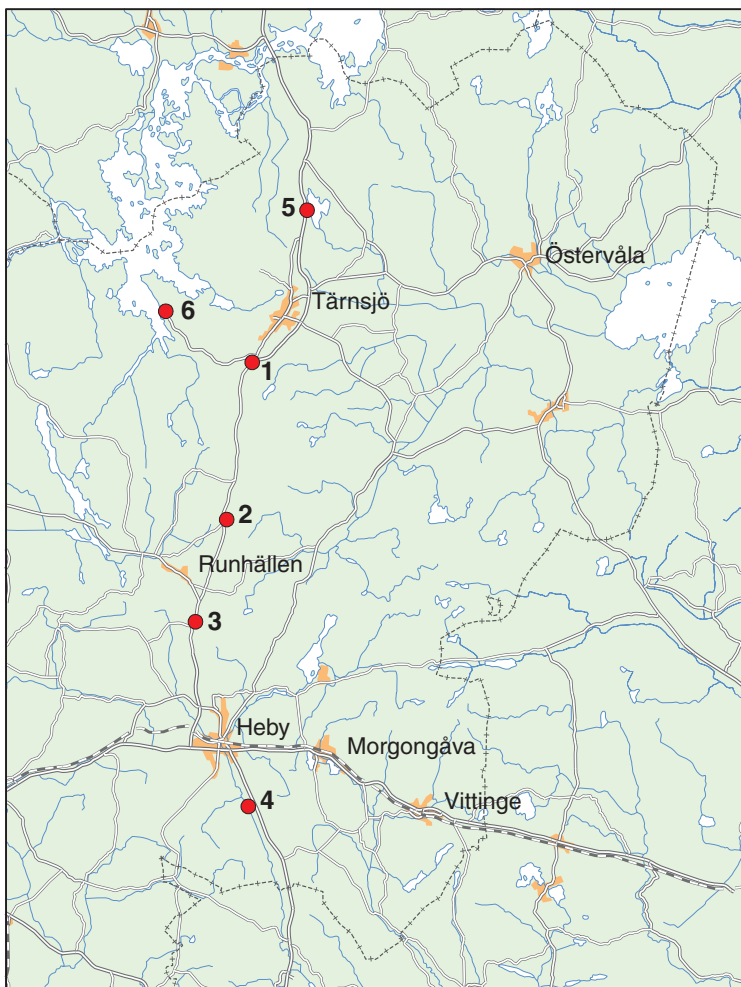


Fig. 2. Större grundvattentillgångar i Heby kommun. Platser där förutsättningarna för större grundvattenuttag bedöms vara goda.

- Grundvattenmagasinet i Dalkarlsåsen mellan St. Runhällen och elljusspåret (3) har ett utflöde i området vid Sävnmossen på sammanlagt nästan 40 l/s, en grundvattentillgång som också har goda förutsättningar att förstärkas med konstgjord grundvattenbildning.
- Grundvattenmagasinet söder om Heby (4), som är dolt under leran i Örsundaåns dalgång, är sammanhängande utan några grundvattendelare (förutom den som uppstått nära kyrkan och som beror på de kommunala grundvattenuttagen) ända ner till källorna vid Flosta. Grundvattentillgången i detta magasin är av storleksordningen 100–110 l/s inklusive de kommunala grundvattenuttagen. Förutsättningarna att förstärka detta grundvattenmagasin genom konstgjord grundvattenbildning är små.

Den sammanlagda grundvattentillgången i åsområdet mellan Heby och Tärnsjö, och som i dag rinner bort i de olika källorna, är alltså av storleksordningen 170 l/s, och söder om Heby ca 90 l/s. Således är den totala, naturliga grundvattentillgången, som i dag inte utnyttjas, i de största magasinerna ca 260 l/s – eller drygt 22 miljoner liter per dygn.

Utöver dessa största grundvattentillgångar torde uttagsmöjligheterna vid Skärsjö (5) och Östa (6) vara av storleksordningen 5–10 l/s, kanske något mer vid Skärsjö. På båda dessa ställen kan inducerad infiltration uppstå vid större grundvattenuttag. Vid Skärsjö är dessutom förutsättningarna för konstgjord grundvattenbildning goda.

FOTOGRAFIER FRÅN UNDERSÖKNINGARNA



Fig. 3. Georadarmätningar ger information om lagerstrukturer och grundvattenytor. A och B är antenner för sändning och mottagning, C är styrenhet för datainsamling och D är dator med bildskärm. Jämför med t.ex. figur 45. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 4. Vid seismiska mätningar detoneras en mindre dynamitladdning och ljudvågorna som fortplantar sig i marken registreras av geofoner vid A, B och C. D är en seismograf som ritar upp och lagrar kurvor för ljudvågornas utbredning. E är en GPS-mottagare för positionering. Jämför med t.ex. figur 47. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 5. Fotomontage som ger en bild av hur man med borrhinar söker höga och låga berglägen – grundvattendelare och grundvattenmagasin. På sådana ställen under isälvsavlagringens sand och grus där bergytan ligger högre än grundvattenytan kan man inte ta ut vattnet i brunnar. Vattnet rinner av på bergytan och ner i intilliggande grundvattenmagasin. Foton: C.-F. Müllern.



Fig. 6. Ingbo källor flödar ständigt med sammanlagt mer än 50 l/s (4 miljoner liter) varje dag. Här ses en del av det totala flödet från källorna. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 7. En av Ingbokällorna. Det uppströmmande grundvattenet håller botten fri från löv och kvistar.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 8. Den av källflödet frispolade sanden skimrar turkos i vårsolen. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 9. Mellan nedfallna stammar ser man en mängd aktiva källkratrar i sanden.
Foto: C.-F. Müllern.

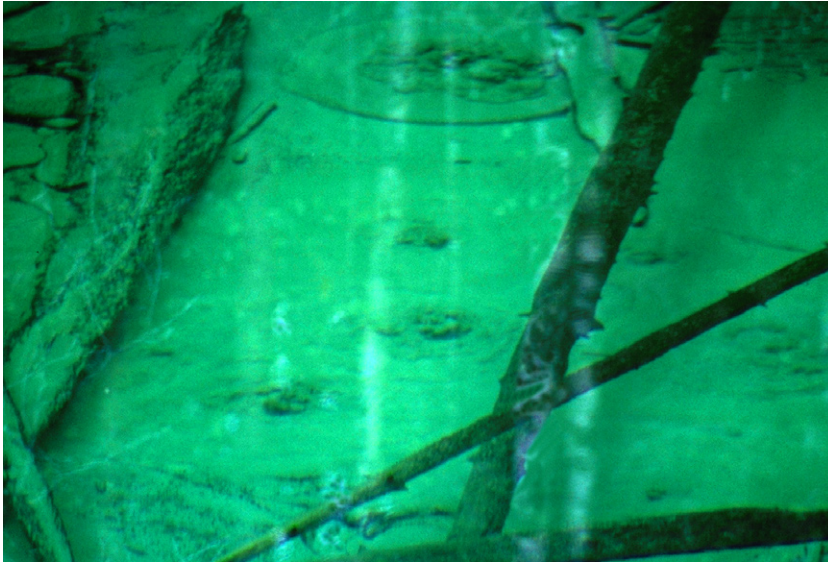


Fig. 10. Ingbokällans botten kokar av sandblandade vattenkratrar som ständigt skiftar läge och storlek. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 11. Källan sydöst intill Ingbo är dold av stenblock och buskar. Den rinner med ca 5 l/s. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 12. Ulebokällan ser ut att rinna fram ur berget. Berget är dock ett mycket stort flyttblock och vattnet kommer från åsens grundvattenmagasin. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 13. Sanden vid Runhällen är finkornig och väl sorterad i sandtaget vid ridbanan öster om väg 67. Omkring 1 m hög skärning. De mer perifera och ytliga delarna av åsen utgörs normalt av sådant finkornigt material som ses här. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 14. Nästan 10 m hög skärning med mycket grovt isälvsmaterial vid Stingtorpet. De centrala och djupare delarna av åsen har vanligen en sammansättning som denna. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 15. Emmas källa, en av de många källorna i anslutning till Sävnemossen. Källan ligger nästan mitt ute på mossen och den rinner med ett par liter per sekund. Sammanlagt från alla källor i detta område rinner ca 40 l/s.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 16. Från de seismiska mätningarna över Örsundaåns dalgång vid Röcklinge. Vid varje skottpunkt används vanligen ungefär ett hekto dynamit. Jämför med den seismiska profilen figur 75, som uppmätts längs detta dike. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 17. Borrmaskinen på väg över den gamla stenbron över Örsundaån vid Röcklinge.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 18. Borrstart vid Röcklinge. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 19. Söder om Heby ligger den mäktiga Dalkarlsåsen dold under leran. Här har dess starkt vattenförande sand- och gruslager påträffats. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 20. Detalj från borringarna vid Röcklinge. Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 21. Grundvattenmagasinet
nets fortsättning från Röck-
linge mot söder pekas ut. Åt
andra hållet sträcker sig detta
grundvattenmagasin under
åkrarna till Heby samhälle i
bakgrunden.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 22. Från de seismiska mät-
ningarna vid Ål. Mätning med
en skottpunkt i Örsundaån.
Vid tallbacken är grundvat-
tenmagasinet som mäktigast.
Det sträcker sig från 5 m till
65 m under åns nivå. Magasi-
nets botten når ca 25 m under
havsnivån. Se även den seis-
miska profilen i figur 76 som är
uppmätt ungefär i siktlinjen på
detta ställe.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 23. Mellan halmbalarna
i bildens mitt och det mörka
trädet tittar Dalkarlsåsen upp
ur leran. Sörgården, Örsunda-
åns dalgång. Jämför med den
seismiska profilen i figur 77
som är uppmätt längs åker-
kanten i siktlinjen.
Foto: C.-F. Müllern.



Fig. 24. Några av de största källorna vid Flosta är vanligtvis uppdämda till en större damm. Vintern 2000/2001 brast fördämningen, vattnet tömdes ut och källflödena blottades. På fotot ses hur vatten från ett flertal ställen där grundvattnet rinner upp samlas till en bäck på botten av den tömda dammen. Det sammanlagda flödet från källorna vid Flosta uppmättes vid denna tid till ca 60 l/s. Foto: C.-F. Müllern.

GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

Allmänna förutsättningar

Naturresursen 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 nederbördsvatten infiltrerat i markytan passerar det först genom den luftade eller omättade zonen. I den finns både luft och vatten i markens por- och sprickutrymmen, och flödet kallas för perkolation. Djupare ner i marken, i den mättade zonen, fyller enbart vatten porerna och sprickorna. Det är det vattnet som kallas grundvatten.

Strömningen ned till grundvattenytan kan ta allt ifrån mindre än en timme till flera år. I sand och grus och i stora sprickor i berg sker transporten snabbare än i finkorniga jordarter och småsprickigt berg.

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

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

Vanligen har grundvattnet en låg, jämn temperatur, är fritt från organiska föroreningar och innehåller ämnen som lösts ut ur marken och som är nyttiga för människor, djur och växter. Från borrhåll 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 isälvsavlagringarna – sand- och grusavlagringar – som bildades under avsmältningen av den senaste inlandsisen.

Enskilda hushåll, som använder vatten från egna grävda eller borrhållar brunnar för sin vattenförsörjning, omfattar ca 1,2 miljoner människor i vårt land. Lika många utnyttjar grundvatten för sitt fritidsboende.

Grundvatten har många användningsområden. Några sådana är:

- för vattenförsörjning, både kommunal och enskild
- som avlopp, där vattnet fungerar som transportmedel och lösnings- och spädningsmedel
- i jordbruket för djurhållning och konstbevattning
- som processvatten i vissa industrier

- för trädgårdsbevattning
- som energikälla genom värmeutvinning
- för kylning i t.ex. industriprocesser

Vattnets kretslopp

Grundvattnet ingår i vattnets kretslopp (se fig. 25) 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 terrängavschnitt mot lägre. Vilka vägar det tar och hur fort transporten går beror på grundvattenytans lutning och marklagrens genomsläpplighet.

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

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

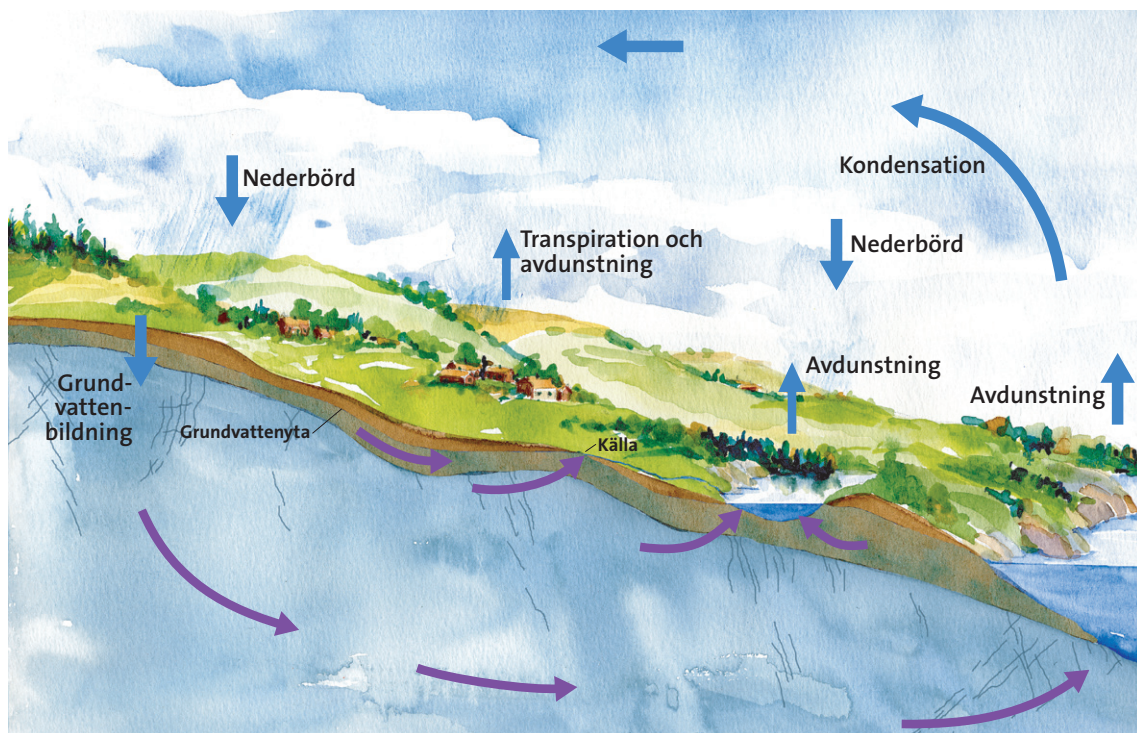


Fig. 25. Vattnets kretslopp. Grundvattnet rinner ut huvudsakligen i botten av bäckar, åar och sjöar samt i källor.
Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Grundvattnet i och intill en grusås

Figur 26 visar en dalgång med en isälvslavlagring – rullstensås – med sand, grus och block. Det är i åsarna som de största grundvattentillgångarna finns. Till höger i bilden finns också ett berg- och moränområde. Utanför åsarna finns de viktigaste grundvattentillgångarna i allmänhet i berggrunden. Terrängen i bilden ligger under högsta kustlinjen, dvs. landet har någon gång efter den senaste nedisningen varit täckt av hav, så som fallet är för större delen av kommunen. 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 isälvslavlagringen och dess närmaste omgivning kan tryckytan ligga lägre, och då strömmar vatten in mot åsen; den dränerar sin omgivning. Vattentransporten sker sedan vidare i åsens längdriktning.

Grundvattenbildning

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

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.

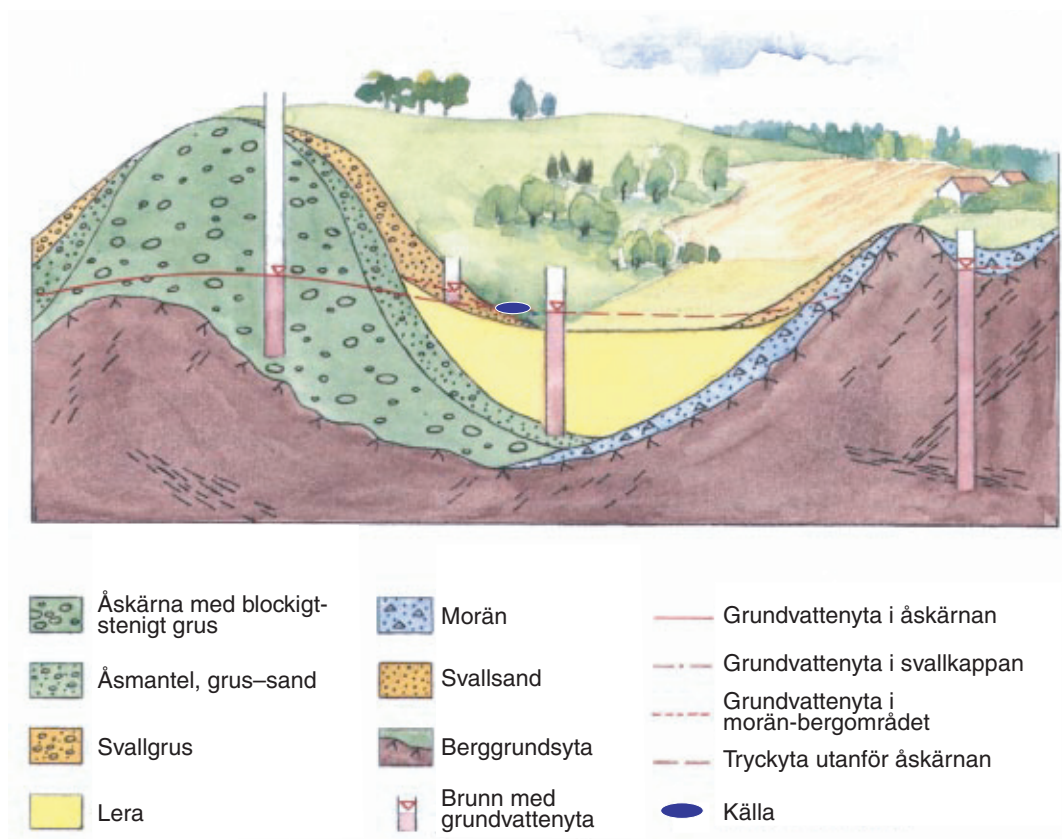


Fig. 26. Principbild på hur grundvattnet uppträder i och intill en grusås. Illustration: Elisabet Carlson.

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

Tidsmässiga variationer i grundvattennivå

I figurerna 27–33 redovisas information från två av stationerna i SGUs grundvattennät, 23:20 och 23:21 söder om Tärnsjö, samt beräknad effektiv nederbörd (nederbörd minus avdunstning) enligt SMHI för området som motsvarar kartbladet 12H SV. Stationerna utgörs av var sitt 2-tums observationsrör som står alldeles intill varandra strax söder om gården L. Runhällen. Station 23:20 visar grundvattnets nivåvariationer i Masteråsens stora grundvattenmagasin. Detta rör når ner till 11 m djup (jfr figur 26 ”grundvattenyta i åskärna”). Station 23:21 når bara ner till 3 m djup. Det registrerar grundvattennivån i ett övre, litet grundvattenmagasin i svallsand, som skiljs från det undre, större magasinet av lera (jfr figur 26 ”grundvattenyta i svallkappa”).

Figur 27 visar månadsmedelvärden för effektiv nederbörd i detta område för perioden 1961–1990. Av figuren framgår att den mesta delen av den effektiva nederbörden förekommer under mars och april. Det är huvudsakligen vattnet från snösmältningen som då kommer grundvattenmagasinen till godo. Sedan är det höstregnen efter växtsäsongen som fyller på grundvattenmagasinen.

Figur 28 visar grundvattennivåns månadsvisa min-, medel- och maxvärden för perioden 1972–2001. Grundvattennivåns månadsmedelvärden vid station 23:20 varierar inte mycket, vilket beror på att inflytandet av de förhållandevis korta torra och våta perioder som förekommer under året utjämnas i detta stora grundvattenmagasin. Däremot framgår skillnader mellan torra och våta år, och i ännu högre grad perioder av år, betydligt bättre så som i figur 30.

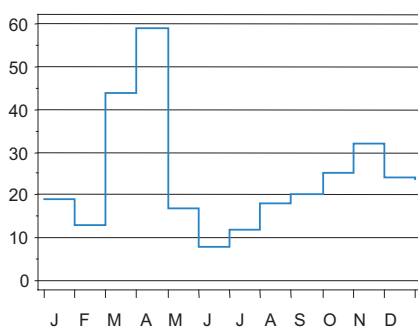


Fig. 27. Effektiv nederbörd (mm/månad). 30-års medelvärden för området som motsvaras av topografiska kartbladet 12H SV enligt SMHI.

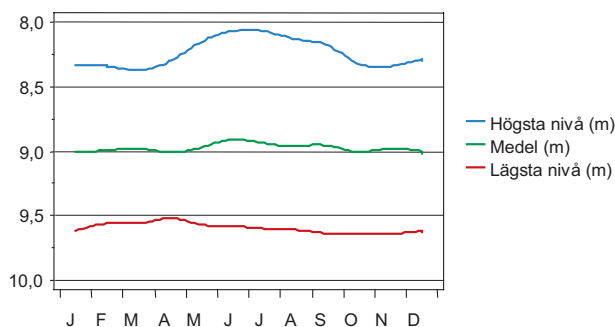


Fig. 28. Grundvattennivåns månadsmedelvärden, meter under markytan, i Masteråsens stora grundvattenmagasin, Tärnsjö, Station 23:20.

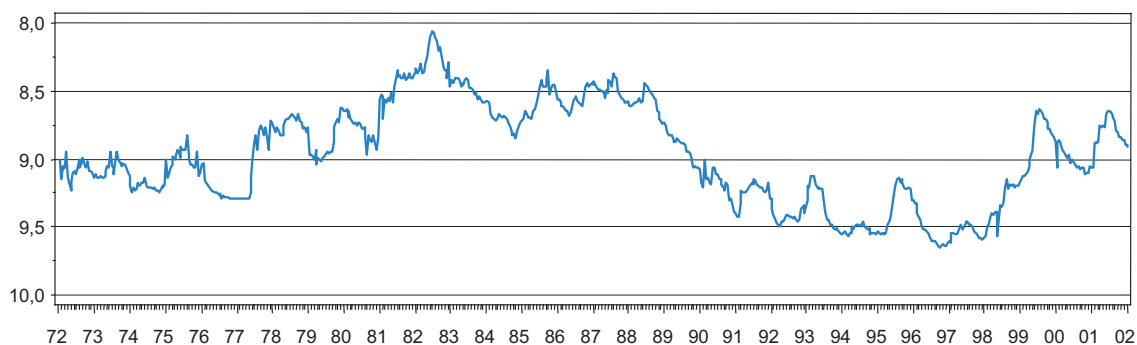


Fig. 29. Grundvattnets nivåvariationer i meter under markytan, 1972–2002 i Masteråsens stora grundvattenmagasin, Tärnsjö, station 23:20.

I figurerna 29 och 30 redovisas uppmätt grundvattennivå respektive grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet. Perioden 1978 till 1989 framstår som en våt period medan den följande perioden 1990 till 1999 framstår som torr.

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 svallsand, morän eller urberg kan variationerna vara stora och snabba, eftersom por- eller sprickvolymen är liten, 0,01–5 %. De flesta av de privata brunnarna i Sverige är nedförda i sådana magasin. Ett stort magasin, t.ex. en isälvsavlagring som Masteråsen med sand och grus och därmed med stor porvolym – ca 25 %, reagerar långsamt och med små nivåförändringar, även om förhållandevis stora vattenvolymer tillförs eller avlägsnas. Små magasin fylls snabbt upp till brädden och överskottet rinner ut i bäckar och diken.

En jämförelse mellan figurerna ovan från Masteråsens stora grundvattenmagasin och de följande från ett betydligt mindre grundvattenmagasin i svallsand illustrerar dessa stora skillnader som alltså faktiskt gäller samma plats. I det lilla grundvattenmagasinet, som reagerar på ett känsligare sätt än det stora, har man vanligtvis de högsta nivåerna i april–maj och de lägsta i september.

I det lilla grundvattenmagasinet förmår mindre omfattande våta och torra perioder fylla respektive tömma magasinet på ett sätt som visar snabba pendlingar mellan max- och min-nivåer.

Även om perioderna med underskott respektive överskott avlöser varandra på ett mer frekvent sätt i det lilla magasinet, kan man på liknande sätt som i det stora magasinet se en våt period mellan 1977 och 1988 och en torrare mellan 1989 och 1998. Vid en närmare jämförelse mellan magasinerna kan man i det lilla avläsa övergången från underskott till överskott och vice versa ungefär ett år tidigare än i det stora.

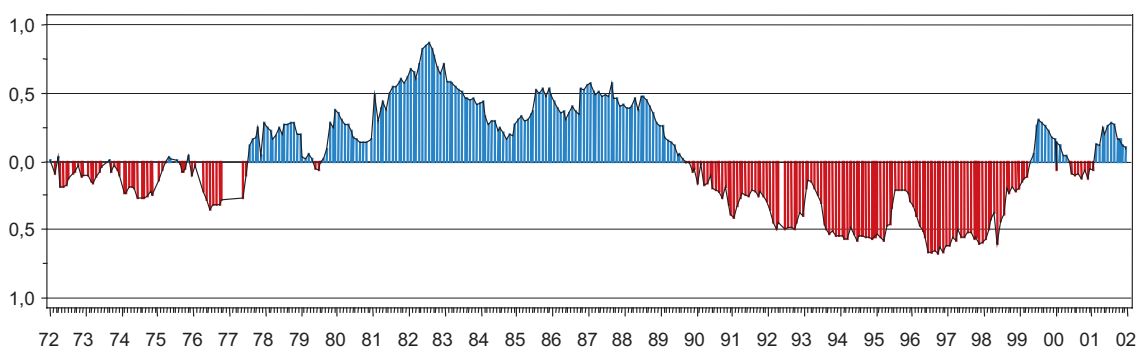


Fig. 30. Grundvattennivåernas avvikelser från månadsmedelvärde i meter, 1972–2002 i Masteråsens stora grundvattenmagasin, Tärnsjö, station 23:20.

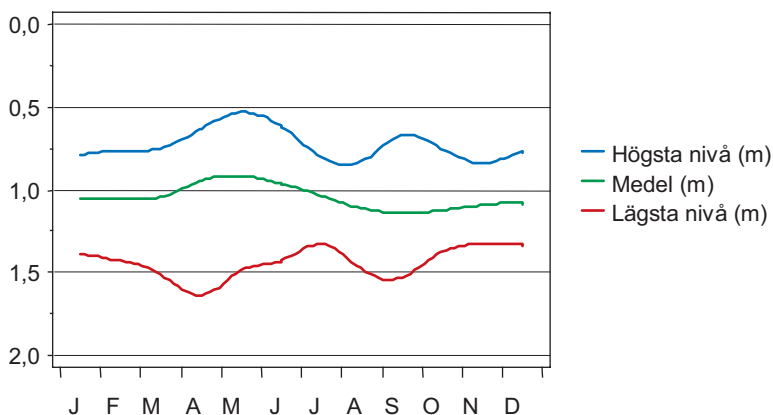


Fig. 31. SGU, Grundvattennätet, Tärnsjö, station 23:21. Grundvattennivåns månadsmedelvärden i meter under markytan i ett litet grundmagasin i svallsand.

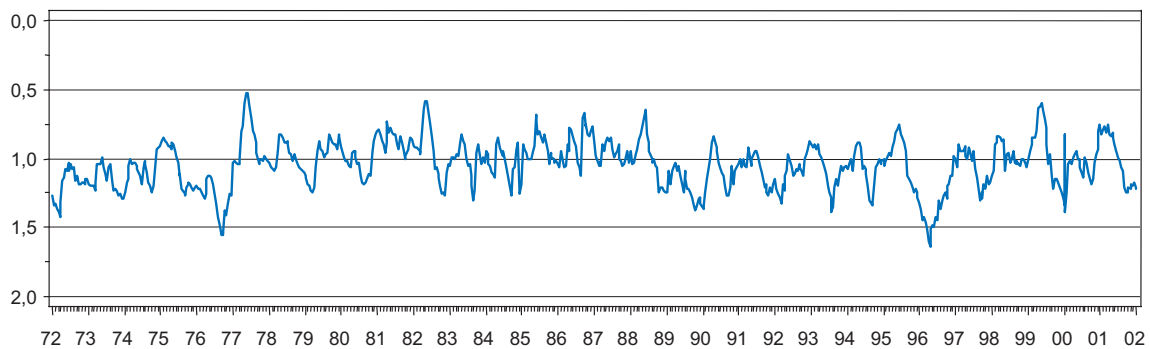


Fig. 32. SGU, Grundvattennätet, Tärnsjö, station 23:21. Grundvattennivåer, meter under markytan. Grundvattnets nivåvariation 1972–2002, i ett litet magasin i svallsand.

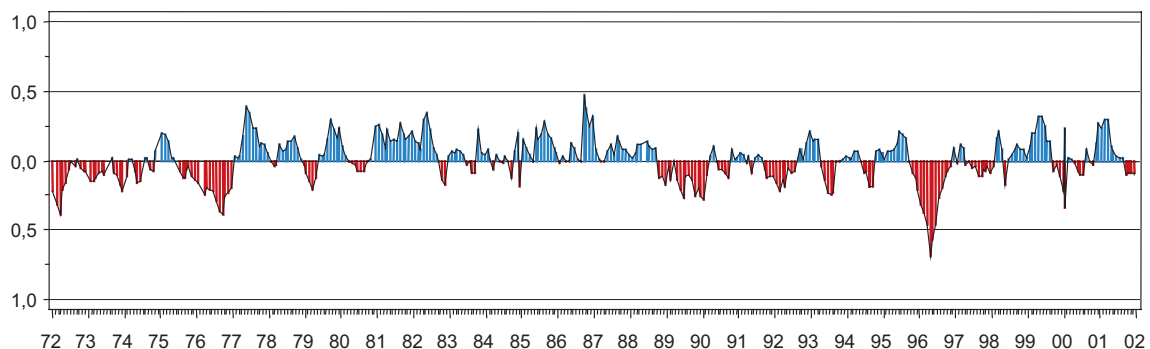


Fig. 33. SGU, Grundvattennätet, Tärnsjö, station 23:21. Grundvattennivåernas avvikelser från månadsmedelvärde i meter, 1972–2002, i ett litet grundvattenmagasin i svallsand.

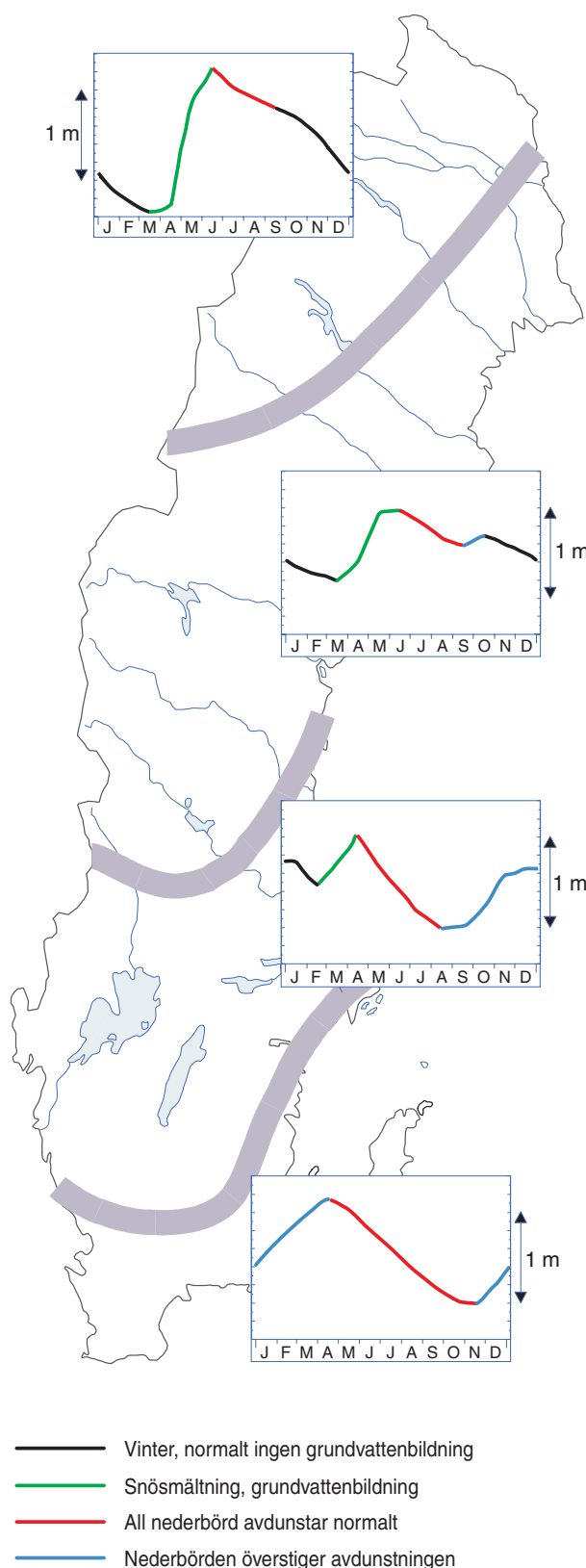
Årstidsvariationer

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 34 har fyra av SGUs mätstationer valts ut som exempel på de fyra huvudmönster som finns i Sverige. Höjdskalorna är ungefärliga och visar endast storleksordningen på variationerna.

Dricksvatten

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

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



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 senvintern.

Sigtuna

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

Vellinge

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

Fig. 34. Grundvattenregimer i Sverige.

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

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

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

Inducerad infiltration

En brunn som anläggs i en sand- och grusavlagring, t.ex. en grusås intill en sjö (eller annat ytvatten), kan tillgodogöra sig ett ofta mycket betydande vattentillskott från sjön. 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, se fig. 35.

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.

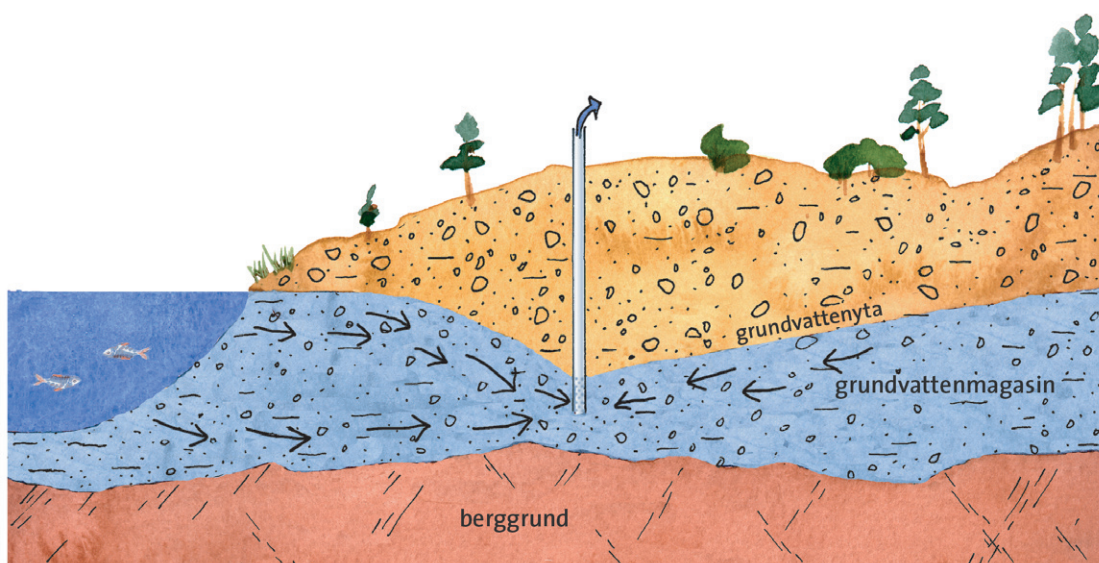


Fig. 35. Principbild på inducerad infiltration. Genom pumpning i brunnen sänks grundvattenytan under sjöns nivå. Därigenom kan sjövattnet infiltrera genom sjöbotten. Vid passagen genom sand- och gruslagren renas sjövattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Tabell 1. Gräns- och riktvärden för dricksvatten enligt Livsmedelsverket (2001) och Socialstyrelsen (2003). Listan omfattar ett antal 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	0,50		0,5 (t) 1,5 (h, t)	
Arsenik	µg/l As		10		10 (h)
Bekämpningsmedel enskilda	µg/l		0,10		0,1
Bekämpningsmedel totalhalt	µg/l		0,50		0,50
Bly	µg/l Pb		10		10 (h)
Cyanid	µg/l CN		50		50 (h)
Fluorid	mg/l F		1,5	1,3 (h)	6,0 (h)
Färg	mg/l Pt	15/30*		30 (e)	
Järn	mg/l Fe	0,100/0,200*		0,50 (e, t)	
Kadmium	µg/l Cd		5,0	1,0 (h)	5,0 (h)
Kalcium	mg/l Ca	100		100 (t)	
Klorid	mg/l Cl	100		100 (t) 300 (e, t)	
Konduktivitet	mS/m	250		-	
Koppar	mg/l Cu	0,20	2,0	0,20 (e, t)	2,0 (h, e, t)
Krom	µg/l Cr		50		50 (h)
Kviksilver	µg/l Hg		1,0		1,0 (h)
Lukt		Svag	Tydlig eller mycket stark	Tydlig (e)	Tydlig (h) Mycket stark (e)
Magnesium	mg/l Mg	30		30 (e)	
Mangan	mg/l Mn	0,050**		0,30 (e, t)	
Natrium	mg/l Na	100		100 (t) 200 (e, t)	
Nickel	µg/l Ni		20		20 (h)
Nitrat	mg/l NO ₃	20	50	20 (t)	50 (h, t)
Nitrit	mg/l NO ₂	0,10**	0,50	0,1 (t)	0,5 (h)
Oxiderbarhet (permanganatindex)	mg/l O ₂	4,0			
pH (vätejonkoncentrationen)		<7,5 >9,0	10,5	<6,5	10,5 (h)
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)	µg/l		0,10		0,1 (h)
Smak		Svag	Tydlig eller mycket stark	Tydlig (e)	Tydlig (h) Mycket stark (e)
Sulfat	mg/l SO ₄	100		100 (t)	250 (h, e, t)
Turbiditet	FNU, NTU	0,5/1,5*		3	

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

I Heby kommun finns förutsättningar för inducerad infiltration i första hand vid Skärsjön och vid Östa, där isälvsavlagringen har god kontakt med Dalälven. Troligen föreligger vissa förutsättningar även där åsen norr om Kerstinbo går ut i Dalälven.

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. Ibland byggs särskilda infiltrationsbrunnar (fig. 36).

På liknande sätt som vid inducerad infiltration renas sjövattnet vid passagen 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 genomsläppligt 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 avsänkningsmöjligheter föreligger med hänsyn till de önskade uttagsmängderna.
- God hydraulisk kommunikation måste föreligga mellan infiltrationsläget och uttagsbrunnarna.
- Strömningsriktningen från infiltrationsläget ska vara så entydigt att huvuddelen av det infiltrerade vattnet kan utvinna.
- För att säkerställa jämn och god grundvattenkvalitet måste grundvattnets uppehållstid i marken vara tillräckligt lång, helst 14 dygn, vilket medför att uttagsbrunnarna måste placeras på ett tillräckligt stort avstånd från infiltrationsläget, helst 200–300 m.
- En fördel är om grundvattenmagasinet har en så stor magasinering förmåga att uttag kan ske under längre tid – flera veckor – utan infiltration.

Naturligt grundvatten med ursprungligen höga halter av järn, mangan eller humus kan ofta förbättras genom att det luftas i vattenkaskaden i infiltrationsbassängen. En sådan anläggning kan se ut som figur 36 visar, med den skillnaden att råvattnet kommer från en grundvattenbrunn i stället för från en sjö.

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

I Heby kommun föreligger goda förutsättningar för konstgjord grundvattenbildning i stora delar av åsen norr om Heby. Det är detta, i kombination med närheten till Dalälvens vatten som kan infiltreras i åsen och därvid göras till ett högvärdigt grundvatten, som gör åsen (Dalkarlsåsen, Masteråsen och Stengubbsåsen) till en potentiellt mycket stor dricksvattenresurs.

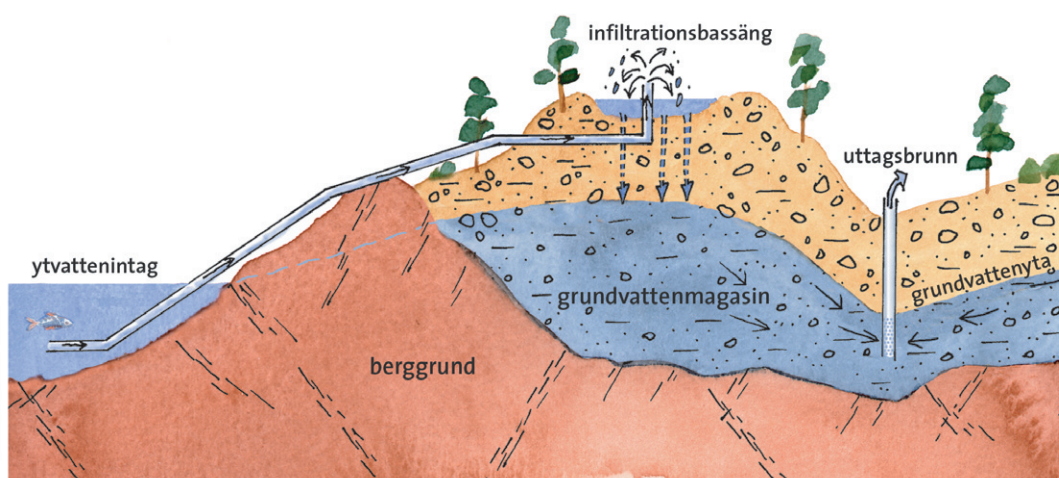


Fig. 36. Principbild på konstgjord grundvattenbildning. Sjövattnet leds till infiltrationsbassänger i en sand- och grusavlagring där den naturliga grundvattenbildningen inte är tillräcklig. Vid passage genom den omättade zonen renas vattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångarna i Heby kommun

Grundvatten i jordlagren

I Mellansverige finns de största grundvattentillgångarna i de stora isälvsavlagringarna – rullstensåsarna. Inom Heby kommun finns en större isälvsavlagring – Enköpingsåsen – som söder om Tärnsjö förgrenar sig i en nordvästlig sträckning, som även fortsättningsvis kallas Enköpingsåsen. Den nordöstliga åsgrenen passerar Tärnsjö och kallas i Gästrikland för Gävleåsen.

Enköpingsåsen, som i sin hela längd sträcker sig från Trosa i söder till trakterna söder om Bollnäs, är totalt drygt 300 km lång. Till detta kommer åsgrenen som från Tärnsjö sträcker sig upp förbi Gävle och, även den, sedan till trakten av Bollnäs. Den del av Enköpingsåsen som sträcker sig inom Heby kommun kan delas upp i följande avsnitt, från söder (se även fig. 37):

- Flostaåsen
- Röcklingemagasinet (delen söder om Heby, vilken är dold under lera)
- Dalkarlsåsen
- Masteråsen
- Stengubbåsen (vid åsförgreningen)
- Ingboåsen (Enköpingsåsens fortsättning)
- Tärnsjöåsen
- Skärsjöåsen–Torrbäckåsen
- Kerstinboåsen

Utöver denna stora isälvsbildning förekommer sand- och grusavlagringar som mindre förekomster av dåligt sammanhängande isälvsavlagringar, vilka uppträder i mindre stråk. Grundvattentillgången i dessa torde överstiga 1 l/s endast i delar av Huddungeåsen och i det lilla åsavsnittet ca 5 km öster om Harbo.

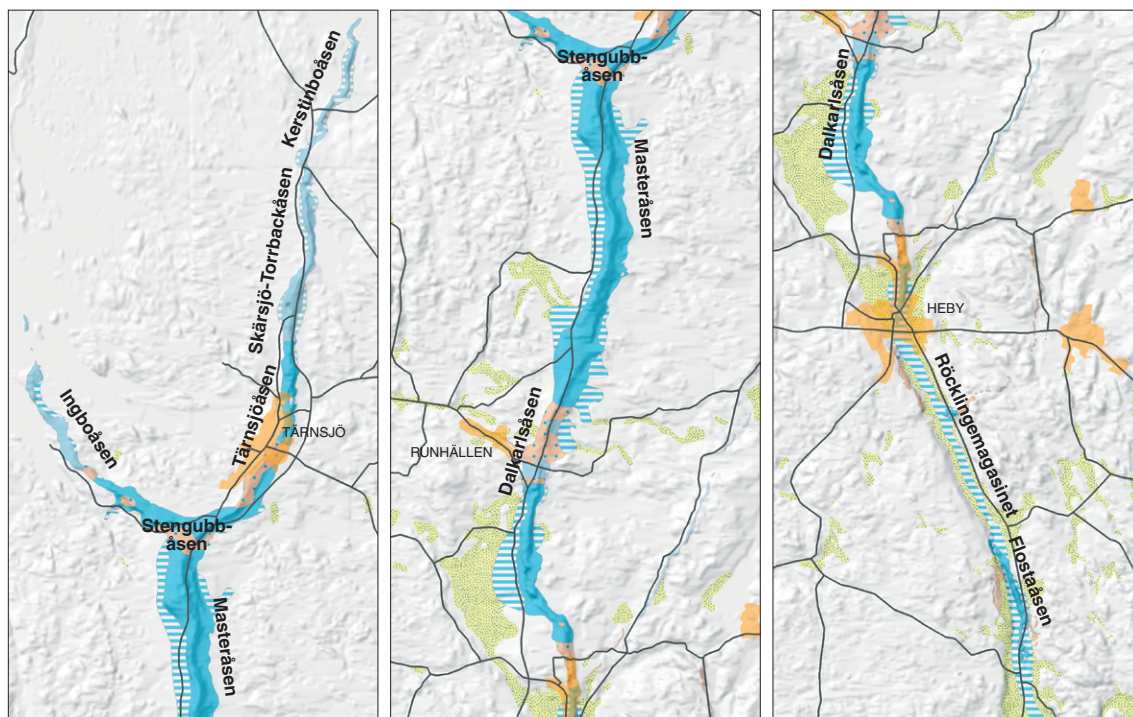


Fig. 37. Lokala namn på Enköpingsåsen inom Heby kommun.

Avsnittet söder om Heby – Flostaåsen och Röcklingemagasinet

Flostaåsen och Röcklingemagasinet sträcker sig från en berggrundsbetingad, högt belägen grundvattendelare vid elljusspåret norr om Heby till källorna vid Flosta. Mellan Heby och Åsboda är isälvsavlagringen djupt nedsänkt, och täckt av lera i den stora berggrundsspricka som utgör Örsundaåns dalgång. Grundvattenmagasinet är här mycket stort. Vid Horrsta är grundvattenmagasinet (från grundvattenytan till den underliggande berggrundsytan) ca 40 m mäktigt och vid Ål är det 60 m, vilket är en ovanligt stor mäktighet. Eftersom detta grundvattenmagasin till övervägande del är täckt av lera är grundvattenbildningen förhållandevis liten. Den sker dels mellan kyrkan i Heby och grundvattendelaren vid elljusspåret och vid Flostaåsen, dels också från dalsidorna. Åsen – isälvsavlagringen – är i detta avsnitt en s.k. dränerande ås. Den ligger i botten av sprickdalen och fungerar på grund av sin höga genomsläpplighet som en dräneringsledning.

Grundvattennivån ligger t.o.m. lägre än Örsundaåns nivå ända fram till dammen vid Vilstena, där den första källan söder om Heby förekommer. Det sammanlagda källflödet mellan Vilstena och Flosta, där den största delen av grundvattenflödet läcker ut, är 80–90 l/s.

Från grundvattendelaren vid elljusspåret och norrut är åsen en s.k. läckande ås. Den ligger högt i terrängen och har ett flertal källor där grundvattnet läcker ut till omgivningen.

Dalkarlsåsen mellan elljusspåret och St. Runhällen

Grundvattenmagasinet mellan elljusspåret och St. Runhällen sträcker sig från grundvattendelaren vid elljusspåret vilken utgörs av ett högt bergläge (se fig. 1) till området vid St. Runhällen där det också förekommer höga berglägen. De höga berglägena vid St. Runhällen fungerar delvis som grundvattendelare, delvis bara som en bergtröskel över vilken grundvatten norrifrån kan rinna.

Den största mäktigheten av detta grundvattenmagasin (14 m) har påträffats i södra delen av Stingtorpets grustag. Magasinet avvattnas genom ett flertal källor vid Sävнемossen. Grundvattentillgången har här beräknats till nästan 40 l/s.

Dalkarlsåsen – Masteråsen mellan Källbäcken och Råsbo

Grundvattenmagasinet mellan Källbäcken och Råsbo sträcker sig från de höga berglägena vid St. Runhällen till en rörlig grundvattendelare i höjd med Råsbo. Magasinet avvattnas huvudsakligen via ett flertal källor mellan åsen och Norråmyra, vilka får ett samlat utflöde i Källbäcken.

Som ovan nämnts flödar en del av grundvattnet från detta magasin över bergtröskeln vid St. Runhällen. De grundvattennivåmätningar som gjorts i bergtröskelområdet tyder på att det vid låga grundvattennivåer flödar mindre vatten över tröskeln eller t.o.m. inget vatten alls, än vad det gör när grundvattennivåerna är höga. Grundvattentillgången har i detta magasin beräknats till ca 35 l/s.

Masteråsen–Stengubbåsen

Grundvattenmagasinet vid åsförgreningen är mycket komplicerat. Grundvattenflödet förgrenas precis som åsen med ett nordvästligt flöde mot Ingbo källor och ett nordöstligt flöde mot Ulebo källa. Förutom mot dessa källor rör sig grundvatten från magasinet även mot källor vid Dunsjön och källor omedelbart sydöst om Ingbo.

Detta grundvattenmagasin avgränsas i söder av den rörliga grundvattendelaren vid Råsbo, i nordväst av en fast grundvattendelare betingad av höga berglägen mellan Ingbo och Vikbolandet och i nordöst av en rörlig grundvattendelare omedelbart söder om Tärnsjö samhälle. Dessutom förekommer en rörlig grundvattendelare mellan de två grundvattengrenarna strax öster om Tärnmossen. Den samlade grundvattentillgången i detta magasin bedöms vara ca 80 l/s.

Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö

Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö begränsas av den rörliga grundvattendelaren söder om samhället och av en rörlig grundvattendelare strax söder om grustaget i Skärsjöåsen. Detta grundvatten-

magasin avvattnas huvudsakligen genom Åsbokällan. Grundvattentillgången bedöms vara totalt drygt 20 l/s i detta magasin.

Grundvattenmagasinet i Skärsjöåsen–Kerstinboåsen

Grundvattenmagasinet i Skärsjöåsen–Kerstinboåsen är inte närmare undersökt. En mycket flack gradient i grundvattennivån i Skärsjöåsen tyder på hög genomsläpplighet och goda uttagsmöjligheter. Såväl konstgjord grundvattenbildning som inducerad infiltration från Skärsjön är möjlig i detta avsnitt. Några säkra källutflöden från åsens primära grundvattenmagasin har inte påträffats. Sannolikt avvattnas åsen vid Skärsjön, vid Dalälven och möjligen även vid Brokartärnen.

Totalt torde grundvattenbildningen uppgå till ca 20 l/s, men beroende på de vidsträckta, omgivande myrarna kan man förmoda att berggrundsytan är flack och inte ligger så djupt, vilket sannolikt medför sämre uttagsmöjligheter.

Grundvattenmagasinet vid Östa

Grundvattenmagasinet vid Östa begränsas i sydöst av den fasta grundvattendelaren mellan Vikbolandet och Ingbo och i övrigt av Dalälven. Grundvattenbildningen är av storleksordningen 5–10 l/s. Grundvattenmagasinet avvattnas direkt till Dalälven. Här torde såväl inducerad infiltration som konstgjord grundvattenbildning vara möjlig.

Grundvattenmagasinet i Huddungeåsen

Grundvattenmagasinet i Huddungeåsen är mycket begränsat och inte sammanhängande, varför grundvattenflödet i denna ås inte torde ha någon enhetlig riktning. Några säkra grundvattendelare har inte identifierats.

Två källor har påträffats. Den ena, ca 200 m nordnordöst om gården Täljebo, rinner med 1–3 l/s. Den andra är betydligt större och är belägen ca 200 m väster om Huddungevägen och 600 m söder om avtagsvägen mot Håcksby. Den börjar som en källkrater med ca 10 m diameter och övergår sedan till en bäck med ett flöde av 5–10 l/s. Denna källa rinner upp närmare 400 m från den synliga delen av Huddungeåsen, men det stora flödet antyder ändå att vattnet direkt eller indirekt härrör från åsen. Det torde också representera större delen av grundvattenbildningen i Huddungeåsen.

Källans geografiska läge, höjdläge och flödesmängd pekar mot att grundvattenflödet i åsen är riktat mot norr från en punkt strax norr om Knutbo och fram till denna källa. Detta avsnitt håller det största och mest samlade grundvattenflödet i Huddungeåsen.

Den sammanlagda grundvattentillgången i denna ås torde inte överstiga 10 l/s. Man kan bedöma att uttagsmöjligheterna inte är så bra, varför man knappast kan räkna med att kunna ta ut mer än någon enstaka liter per sekund ur en enskild brunn, förutom i anslutning till den större källan.

Övriga grundvattentillgångar i sand- och grusavlagringarna

Av övriga grundvattentillgångar i sand- och grusavlagringarna är det sannolikt endast det lilla åsavsnittet ca 5 km öster om Harbo som kan ge mer än 1 l/s. Detta grundvattenmagasin torde endast kunna ge ett par tre liter per sekund.

Grundvatten i berggrunden

Berggrunden inom Heby kommun utgörs av kristallint urberg. Den domineras av äldre, omvandlade bergarter av granitiskt ursprung. I höjd med Runhällen och Harbo genomdras dessa av ett 5 till 10 km brett, ungefär öst–västligt stråk med omvandlade bergarter av vulkaniskt ursprung. I anslutning till detta förekommer smala skikt av kalksten samt en del järn- och sulfidmineraliseringar. Norr om stråket förekommer större och mindre partier av mer basiska bergarter.

Vad beträffar möjligheterna att få vatten vid brunnborrning i berg, kan man rent allmänt säga att berggrunden i Heby kommun i genomsnitt ger ungefär vad som är vanligt i svenskt urberg. Den genomsnittliga (median-) kapaciteten i bergborrade brunnar i kommunen är 800 l/tim, och genomsnittsbrunnen är 58,6 m djup. Figur 38 visar brunnar registrerade i SGUs brunnarsarkiv.

Kartbilden (huvudkartans bild och figur 39) över variationerna i möjligheter till uttag av grundvatten i berggrunden är framtagen med data ur Brunnarsarkivet med hjälp av statistiska bearbetningar med s.k. variogramanalys och kriging. Dessa metoder beskrivs i kapitlet "Metodbeskrivningar".

Bergarterna intar mestadels en ungefärligt öst–västlig strykriktning, dvs. strukturen – förskiffringsplanen – i berggrunden och bergartsgränserna är företrädesvis orienterade i denna riktning. Förskiffringsplanens stupningsvinkel, deras lutning från horisontalplanet, varierar från område till område.

Stupningsvinkeln kan ha 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 dessa. 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 ska 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. Möjligheterna är proportionella mot stupningsvinkeln. Störst möjlighet har man om man borrar med så rät vinkel som möjligt mot förskiffringsplanen. Sådana borrningar som avsiktligt avviker från vertikalplanet brukar kallas gradade borrningar. Hur möjligheterna att få vatten ökar vid gradade borrningar åskådliggörs i figur 40.

Sprickorna längs förskiffringsplanen är förutsägbara medan de flesta andra sprickor inte är det, särskilt i områden där berggrunden är jordtäckt och sprickförekomsten inte kan studeras.

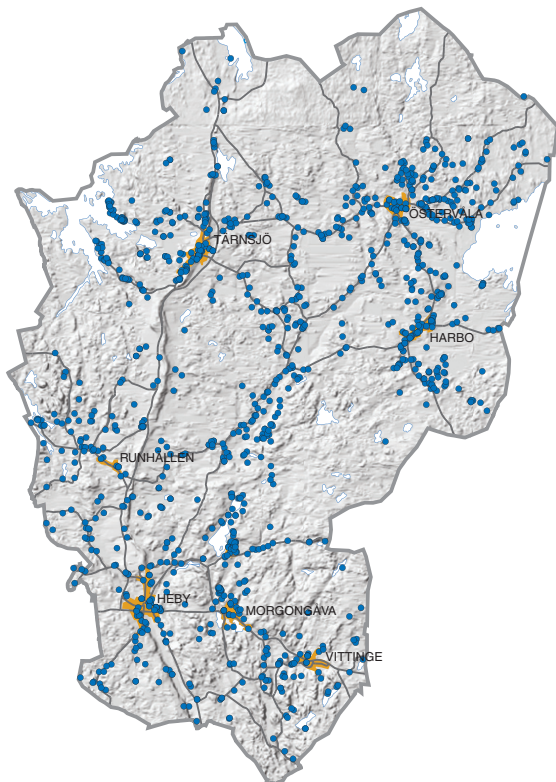


Fig. 38. Kartan visar brunnar registrerade i SGUs Brunnarsarkiv. Kapaciteten i dessa har utgjort underlag för kartbilden över grundvattentillgångarna i berggrunden.



Fig. 39. Grundvattentillgångar i berggrunden. Genomsnittskapacitet (median), brunt <600, ljusgrönt 600–2000 och mörkgrönt >2000 l/tim.

Detta kan vara viktigt att ta hänsyn till i områden med små grundvattentillgångar, t.ex. där tillgängligt markområde oftast inte inrymmer några egentliga sprickzoner, dvs. de flesta villa- och sommarstugetomter. Rekommenderad borrhningsriktning framgår med en särskild beteckning på grundvattenkartan.

Vill man söka mer vatten genom borrhning i berg än vad genomsnittsvärdena anger är det i allmänhet nödvändigt att borra på en större, vattenförande sprickzon. De större sprickzonernas lägen framgår av grundvattenkartan och figur 41. Sprickzonernas mer exakta lägen i naturen bör då lokaliseras i förväg med särskilda geofysiska metoder.

För närmare information om förhållandena i berggrunden hänvisas till berggrundskartorna SGU Ah 2 (bilaga över berggrunden) i skala 1:250 000 och kartorna K 38 och K 39 i skala 1:50 000 över kartbladen 12H SV/SO.

Större sprickzoner

Heby kommun berörs av ett flertal större sprickzoner. De största framträder i form av långa dalgångar. Lägg även märke till hur framträdande Dalkarls–Masteråsen är. Dessa sprickzoner framgår mycket tydligt på höjdreliëfkartan, figur 41. Denna karta har tagits fram med hjälp av Lantmäteriverkets höjddatabas, där uppgift finns på markytans höjd för var femtionde meter.

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

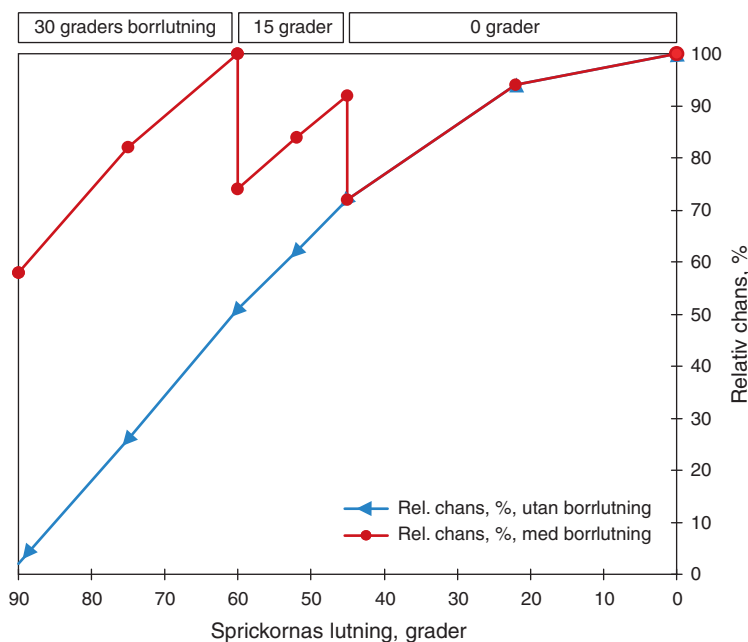


Fig. 40. Bilden visar hur den relativa chansen ökar om man vid brunnsborrning tar hänsyn till vilken riktning sprickorna har (strykning och stupning) och därvid riktar borrhningen åt rätt håll. (Diagrammet förutsätter att man alltid borrar till ett visst djup). På "Kartan över grundvattenförekomster i Heby kommun" har rekommenderade borrhningar markerats.

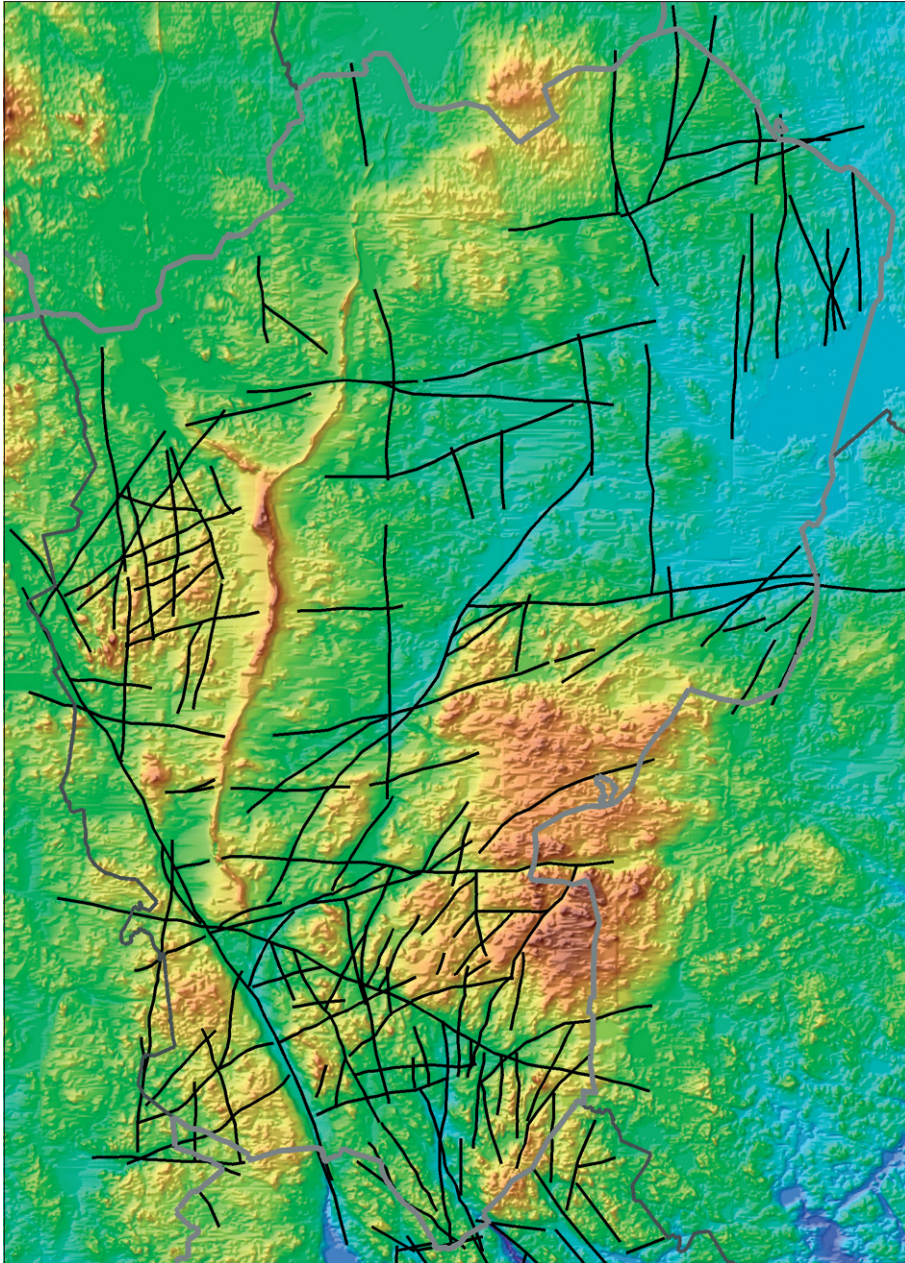


Fig. 41. Större sprickzoner i Heby kommun. För att inte överbelasta kartbilden har inte alla sprickzoner markerats. Lantmäteriets höjddatabaskarta bildar underlag.

Teckenförklaring till kartorna

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I JORDLAGREN

Sand och grus, huvudsakligen isälvssavlagringar

	Mycket stor grundvattentillgång, med utmärkta eller ovanligt goda uttagsmöjligheter, storleksordningen 25–125 l/s (ca 2000–10000 m³/d)
	Stor grundvattentillgång, med mycket goda eller utmärkta uttagsmöjligheter, storleksordningen 5–25 l/s (ca 400–2000 m³/d)
	Måttlig grundvattentillgång, med goda eller mycket goda uttagsmöjligheter, storleksordningen 1–5 l/s (ca 80–400 m³/d)
	Liten eller ingen grundvattentillgång, storleksordningen < 1 l/s (< ca 80 m³/d) Viktigt infiltrationsområde (höger)

Sand- och gruslager under lera

	Grundvattentillgång i sand- och gruslager under jordlager som är täta eller har dålig genomsläpplighet, främst lera. Grundvattentillgång och uttagsmöjligheter enligt färgskalan ovan. Sättningar kan uppstå i leran vid avsänkning av grundvattennivån
	Sammanhängande område med mäktig lera. Vattenförande friktionslager kan förekomma i och under leran. Brunnar i jord kan vara ett alternativ till brunnar i berg. Sättningar kan uppstå i leran vid avsänkning av grundvattennivån

ORGANISKA JORDARTER

	Mosse, kärr, gytta. Utgör ofta utströmningsområden för grundvattnet
---	---

BEDÖMDA MÖJLIGHETER TILL UTTAG AV GRUNDVATTEN I BERGGRUNDEN

Områdena är framtagna genom interpolering av brunnskapacitetsdata ur SGUs brunnarkiv

Urberg

	Goda uttagsmöjligheter. Mediankapacitet 2000–6000 l/h (ca 50–150 m³/d)
	Tämligen goda uttagsmöjligheter. Mediankapacitet 600–2000 l/h (ca 15–50 m³/d)
	Mindre goda uttagsmöjligheter. Mediankapacitet <600 l/h (<ca 15 m³/d)

ÖVRIGA BETECKNINGAR

	Fast grundvattendelare
	Rörlig grundvattendelare
	Grundvattnets huvudrörelseriktning
	Grundvattenfall
	Grundvattnets trycknivå, m ö.h.
	Grundvattnets trycknivå, m ö.h.
	Källa registrerad vid SGU med ett flöde av >1 l/s
	Observationsrör eller rörbrunn för mätning av grundvattennivå
	Kommunal grundvattentäkt i jord med en eller flera produktionsbrunnar
	Anläggning för konstgjord grundvattenbildning
	Enskild brunn i jord, t.v., i berg, t.h., med kapacitet överstigande 6000 l/h (> ca 150 m³/d)
	Sprickzon

Grundvattentillgångar i Masteråsen – åsförgreningen

Översikt

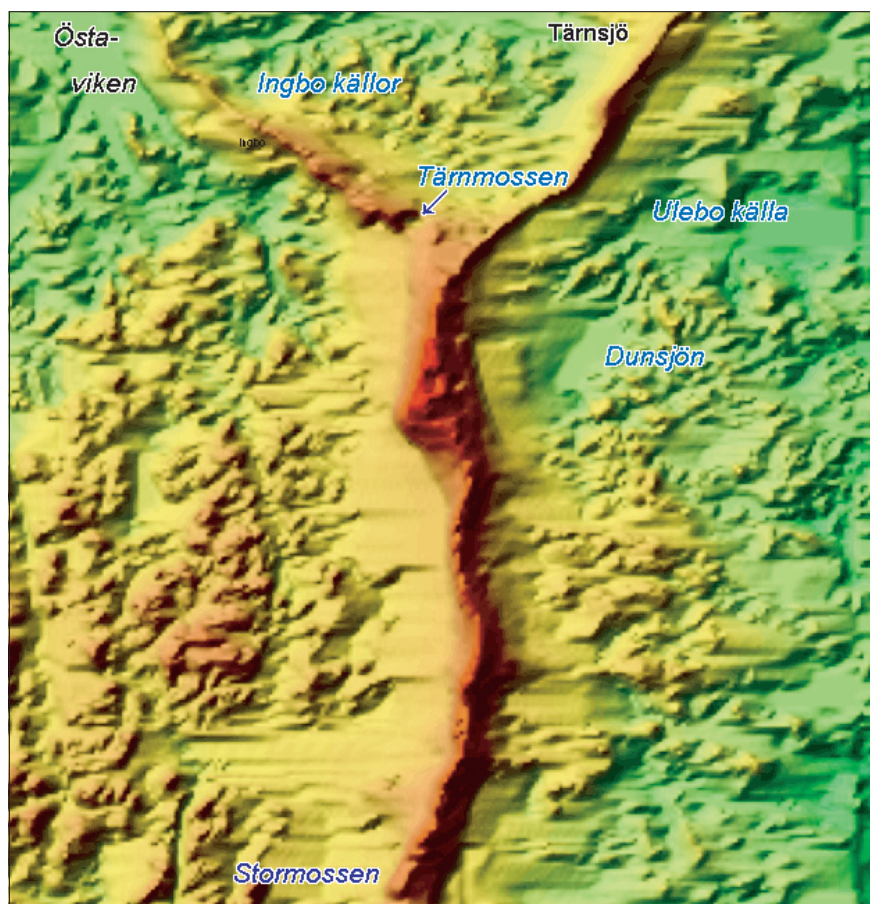


Fig. 42. Höjdreliëfkarta (LMV) över åsförgreningen söder om Tärnsjö, och den mäktiga Masteråsen i centrum.

Masteråsen kallas det avsnitt av Enköpingsåsen, som reser sig högt över omgivande terräng, och som sträcker sig från åsförgreningen i norr och ca 8 km mot söder till området vid Stormossen.

Masteråsen avvattnas via fem större källområden: Ingbo källor, källor söder och sydöst om Ingbo, Ulebo källa, källor vid Dunsjön och ett flertal källor vid Källbäcken (söder om kartutsnittet).

Uppe på och längs isälvsavlagringen löper den förhållandevis hårt trafikerade riksväg 67. Här finns inga skyddsanordningar såsom tätade diken eller liknande. Vid ett eventuellt kemikaliespill skulle en förorening snabbt infiltrera i de genomsläppliga sand- och grusmassorna. Eftersom det på de flesta avsnitten längs vägen är 10–30 m ner till grundvattenytan, så skulle det bli mycket svårt att sanera ett större utsläpp.

Skyddande lerskikt förekommer inte uppe på åsen. Däremot finns lera längs sidorna i vissa avsnitt. Sand och grus har svallats ner från åsens högre partier och avlagrats på leran närmast åsen. På vissa ställen har det ansamlats grundvatten i svallmaterialet. Detta vatten hålls uppe av den nedåt tätande leran, och på så sätt finns det på vissa ställen två grundvattenvåningar. Nivåskillnaden mellan svallgrusets grundvattenyta och det underliggande, primära åsmaterialets grundvattenyta är på flera ställen av storleksordningen 5 till 10 m. Grundvattenrören ca 400 m söder om Lilla Runhällen, Kungskällan och Rudbergs källa (båda mycket blygsamma källor) är exempel på flöden från svallgrusets grundvattenmagasin, jämför figur 26.

I höjd med Råsbo finns en rörlig grundvattendelare, från vilken grundvattnet strömmar dels mot söder och dels mot norr. Merparten av den sydliga grundvattenströmmen lämnar åsen i källorna vid Källbäcken, men en viss del passerar över en bergtröskel i höjd med St. Runhällen. Se avsnittet ”Grundvattentillgångar i Masteråsen–Dalkarlsåsen mellan Råsbo och Runhällen”.

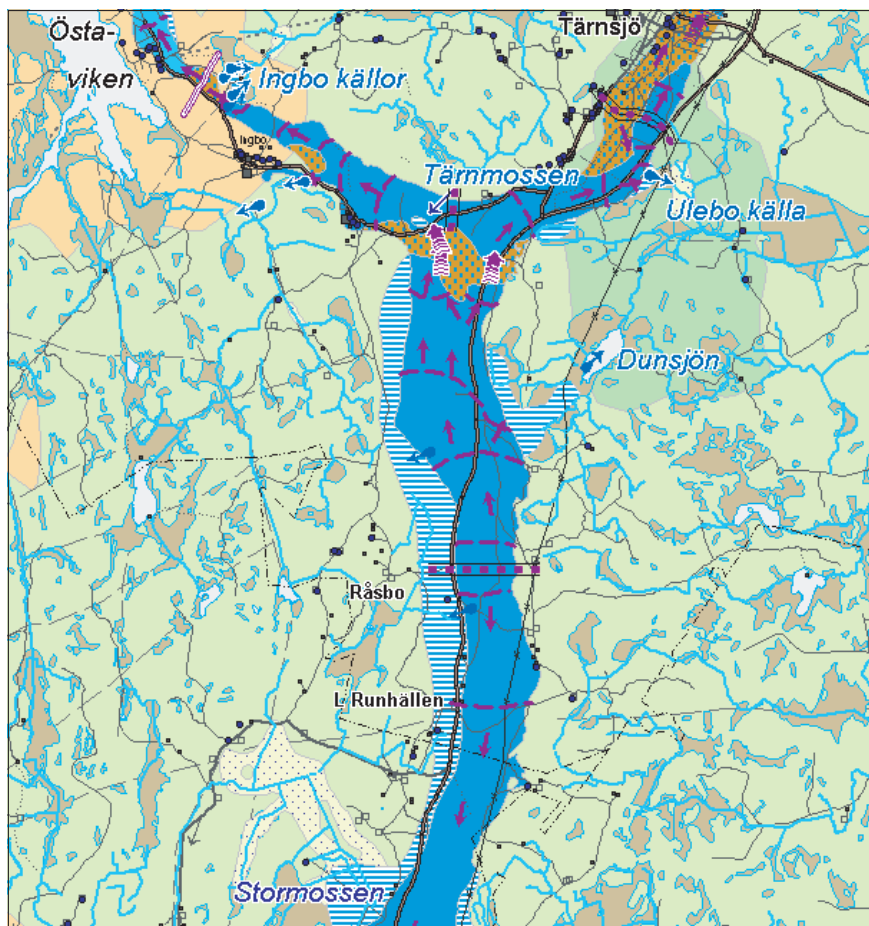


Fig. 43. Utsnitt ur kartan över grundvattentillgångar i Heby kommun. Utsnittet är över samma område som figur 42. För teckenförklaring se s. 35.

Den nordliga grundvattenströmmen fördelas genom en bergtröskel med grundvattenfall ut i de två åsgrenarna.

Masteråsens huvudsakliga grundvattendelare till bergtröskeln

Vid Dunsjön förekommer flera källor, vilka huvudsakligen förekommer i sjöns botten, jämför figur 10. Grundvattenströmmen till dessa källor skapar en brantare gradient i grundvattenytan åt detta håll, vilket framkommer vid jämförelser av grundvattennivåer i observationsrören. Merparten av grundvattenflödet fortsätter emellertid vidare mot norr. I figur 44 visas var undersökningar är utförda i området. Profiler från georadarundersökningen visas i figurerna 45 och 46. I figurerna 47 och 48 visas seismikprofilen S5-71.

I den östra delen av georadarprofilen 1-99 (se figur 45) kan grundvattenytan följas nästan 250 m in i åsen, därefter blir de överliggande jordlagren för mäktiga för radarsignalerna att tränga igenom. Man kan anta att de gulmarkerade ler- eller siltskikten sannolikt är mycket tunna eftersom georadarsignalerna kan registrera skiktstrukturer även under dessa.

Detta område, mellan grundvattendelaren i söder och bergtröskeln i norr kan med nuvarande kunskap bedömas vara lämpligt för en större produktion av konstgjort grundvatten. Stora ytor finns tillgängliga för infiltrationsdammar och såväl den omättade zonen (ovanför grundvattenytan) som den mättade zonen (grundvattenmagasinet) har fullt tillräckliga mäktigheter. Avståndet till ytvatten att infiltrera är dessutom förhållandevis litet.

Vad som i första hand måste undersökas närmare inför en större infiltrationsanläggning är noggrannare kunskap om eventuella lerskikt samt det tillgängliga ytvattnets kvalitet.

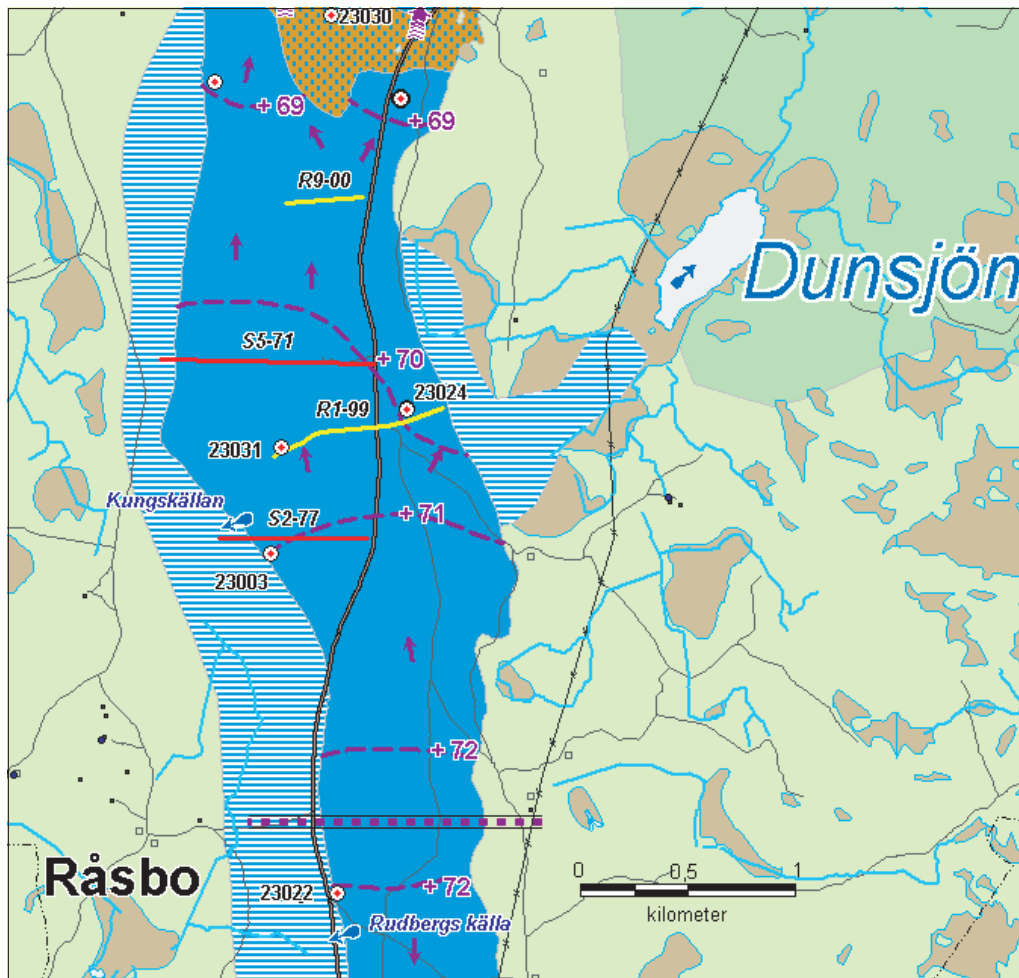


Fig. 44. Masteråsens huvudsakliga grundvattendelare vid Råsbo till bergtröskeln i norr (brund med blå prickar). Röda linjer är seismiska profiler, gula är georadarprofiler, röd-vita prickar är observationsrör.

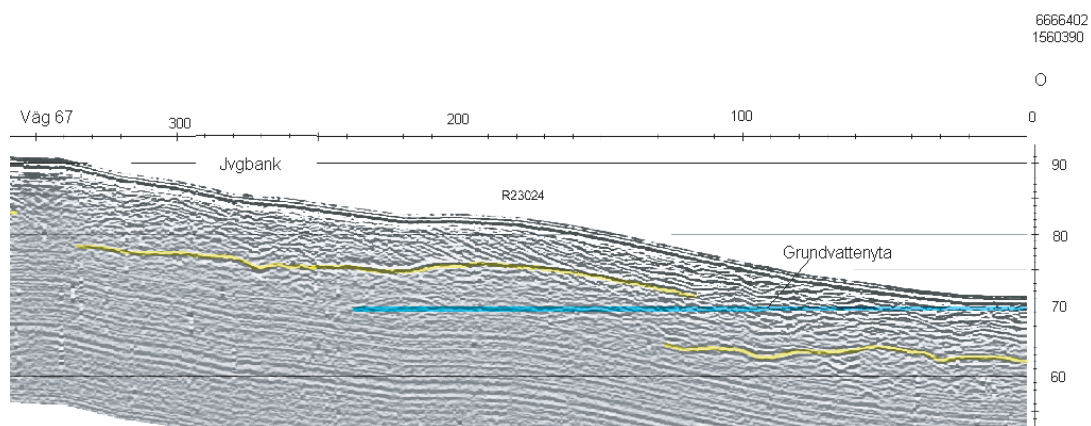


Fig. 45. Del av georadarprofilen 1-99, där grundvattenytan framträder mycket tydligt. Väg 67 går vid 350 m i profil-linjen. Man kan således se att grundvattenytan ligger ca 20 m under vägbanan på detta ställe.

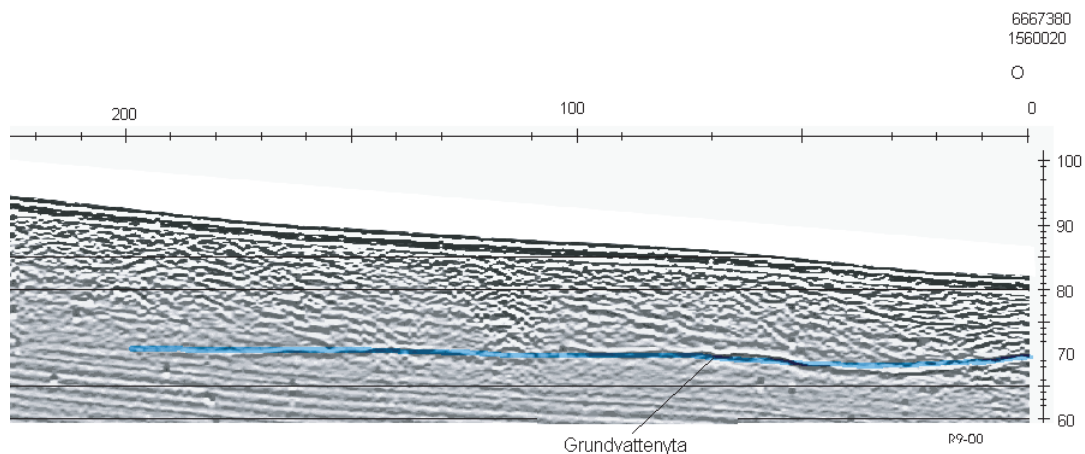


Fig. 46. Vid skanslämningen (?) förekommer inga lerskikt. Väg 67 går några tiotal meter öster om profilen (till höger i bild).

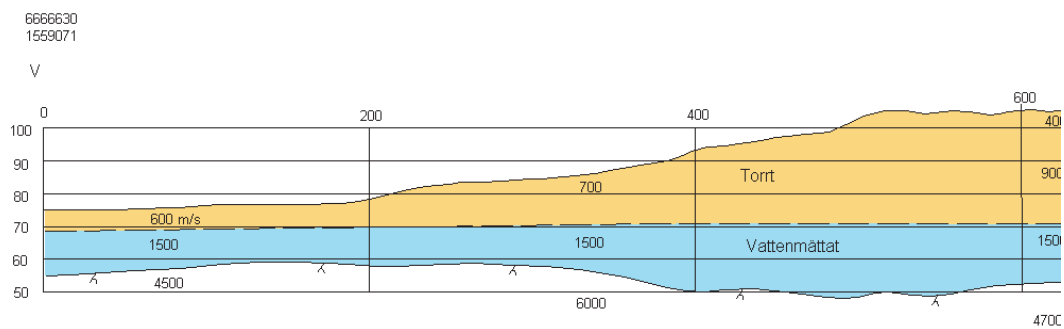


Fig. 47. Västra delen av den seismiska profilen S5-71. Detta är således en äldre profil, som uppmättes före kartläggningen av grundvattentillgångarna i Heby kommun. Grundvattenmagasinet är som mest ca 20 m mäktigt. Det överlagras av upp till 35 m torrt sand och grus.

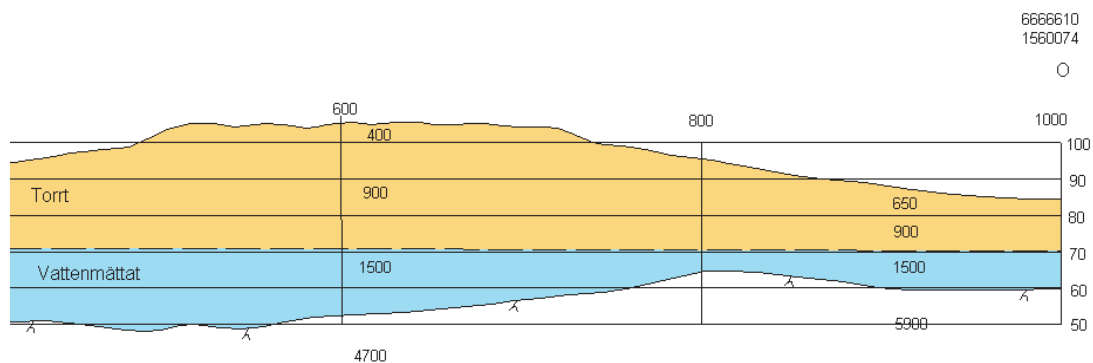


Fig. 48. Östra delen av den seismiska profilen S5-71. Profilen är mätt över de högsta delarna av Masteråsen. Väg 67 går vid 1 000 m i profilen.

Åsförgreningen, Stengubbåsen–Ulebo källa–Ingbo källor

Som framgår av figur 49 är förhållandena vid åsförgreningen relativt komplicerade. I stora delar av området förekommer rikligt med stora stenar och block, vilket gör området svårundersökt och som antagligen har givit området det passande namnet Stengubbåsen.

Bergtröskeln (brun med blå prickar på kartbilden) är relativt omfattande, med en hel del kupe-rade ytförmer, vilket bl.a. den seismiska profilen S2-00 (figur 51) visar. Detta betyder att grundvattnet flödar över tröskeln på ett mycket oregelbundet sätt, där vissa fåror leder mer vatten och andra partier är helt torra, vilket bl.a. borrningen mitt i området visar.

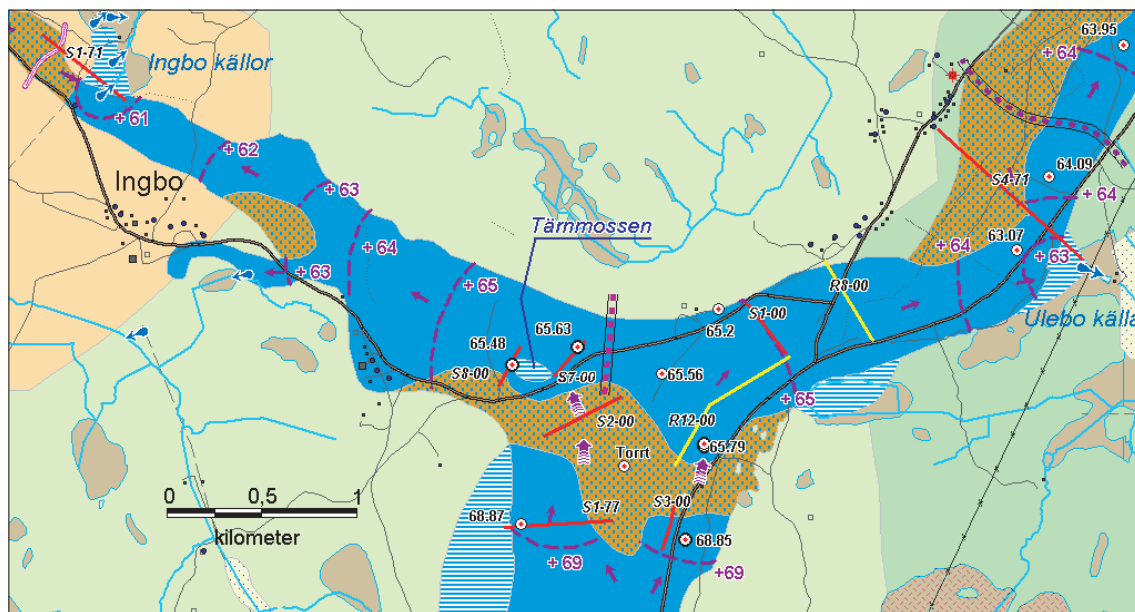


Fig. 49. Åsområdet vid Masteråsens förgrening kallas för Stengubbåsen. Det bruna området med blå prickar i bildens mitt utgör en bergtröskel över vilken grundvattenströmmen från söder i mindre grundvattenfall tar sig vidare mot nordväst och mot nordöst (jfr fig. 5.) I nordöst bildar en rörlig grundvattendelare gräns mot grundvattenmagasinet vid Tärnsjö. I nordväst förekommer en fast grundvattendelare strax bortom Ingbo källor, och öster om Tärnmossen ligger en rörlig grundvattendelare, vilken bildar gräns för det vatten som rör sig mot Ulebo resp. Ingbo källor. Grundvattennivåer i m ö.h. (RH00), S – seismisk profil (röd) med nr och år för utförande, R – georadarprofil (gul) med nr och år.

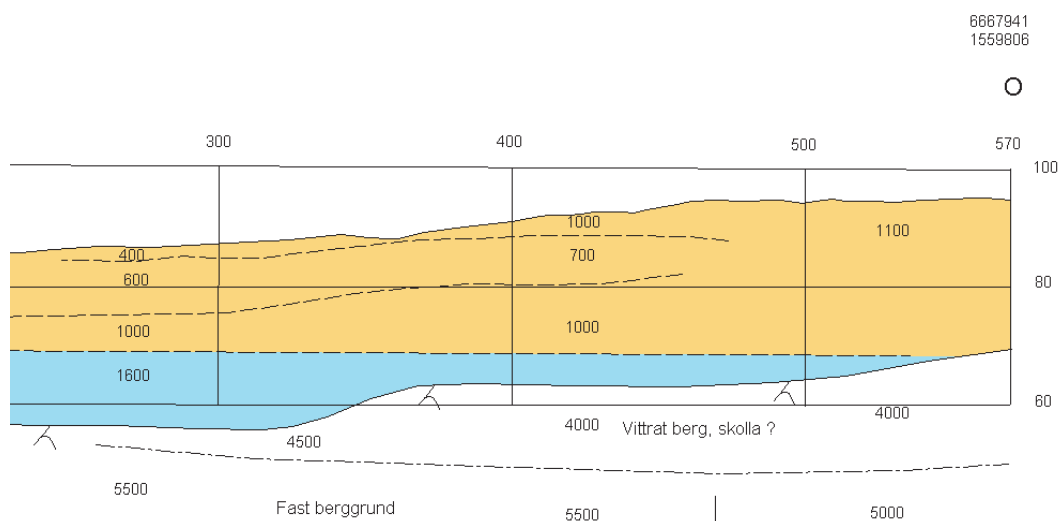


Fig. 50. Östra delen av seismiska profilen S1-77 visar hur berggrunden höjer sig mot öster och övergår i en bergtröskel högre än grundvattenytan. Här ligger torrt sand och grus direkt på berget.

Över bergtröskeln faller grundvattenytans nivå drygt 3 m på en sträcka av ca 500 m (1 m per 170 m), vilket kan jämföras med grundvattengradienten i området i övrigt som är omkring fem gånger mindre (1 m per 800 m).

Detta område har tidigare undersökts av SGU med seismiska mätningar och nedsättning av observationsrör. Dessa tidigare undersökningar har varit av stort värde i föreliggande undersökning. En någorlunda klar bild av hur grundvattnet rör sig i området har nu kunnat tas fram, men det är närmast omöjligt att i detalj utreda vilka vägar vattnet tar över bergklacken. De pilar som på kartan symboliserar grundvattenfall är lagda på sina platser endast med en viss rimlighetsbedömning som grund.

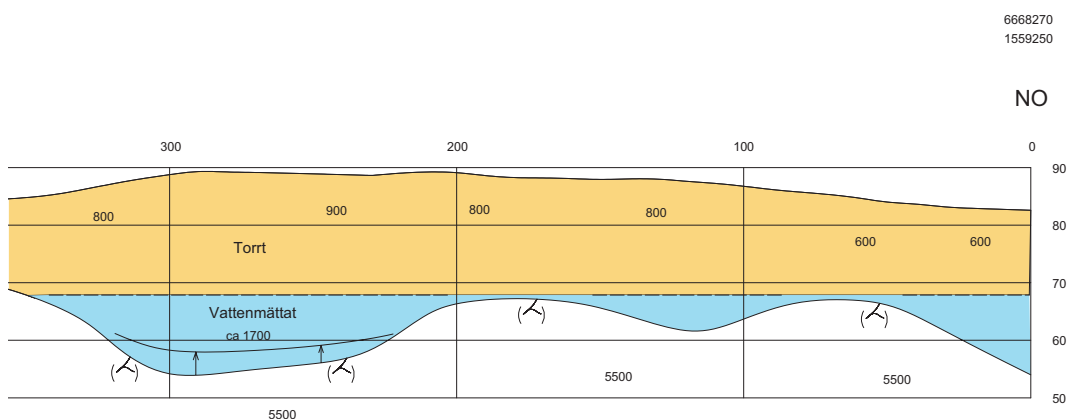


Fig. 51. Den seismiska profilen S2-00 visar flera höga berglägen omväxlande med vattenfyllda sänkor. Dessa kan vara isolerade hållkar eller mer sammanhängande kanaler.

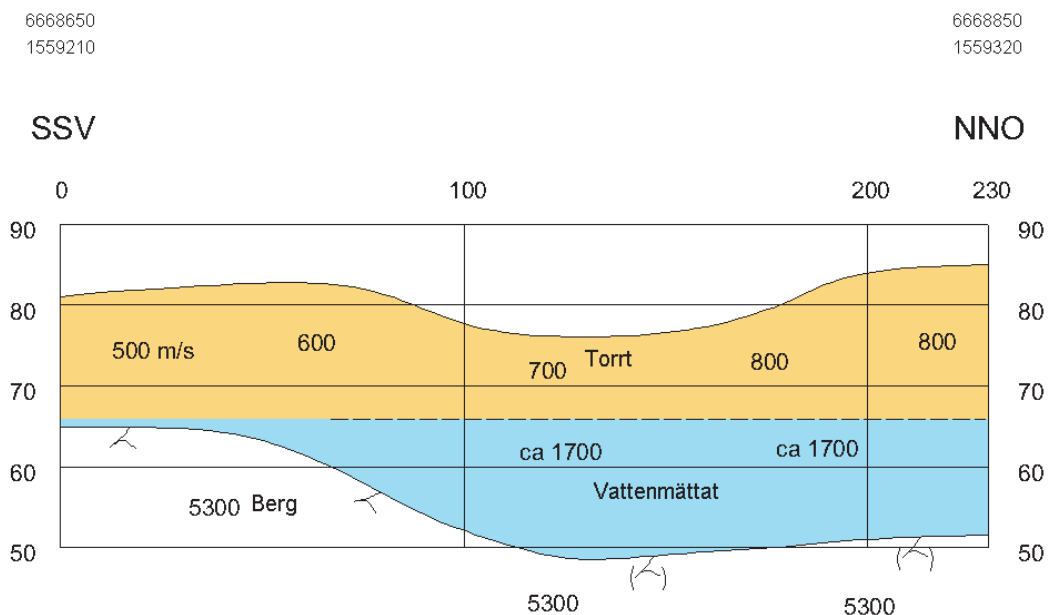


Fig. 52. Den seismiska profilen S8-00 visar hur grundvattenmagasinet norr om bergtröskeln åter är relativt mäktigt – mellan 10 och 20 m.

Borrningen R 0004 i anslutning till den seismiska profilen S7-00 (fig. 49) har visat att materialet i grundvattenmagasinet huvudsakligen består av sandigt grus. Detta gör att uttagsmöjligheterna i området norr om bergtröskeln får bedömas som mycket goda.

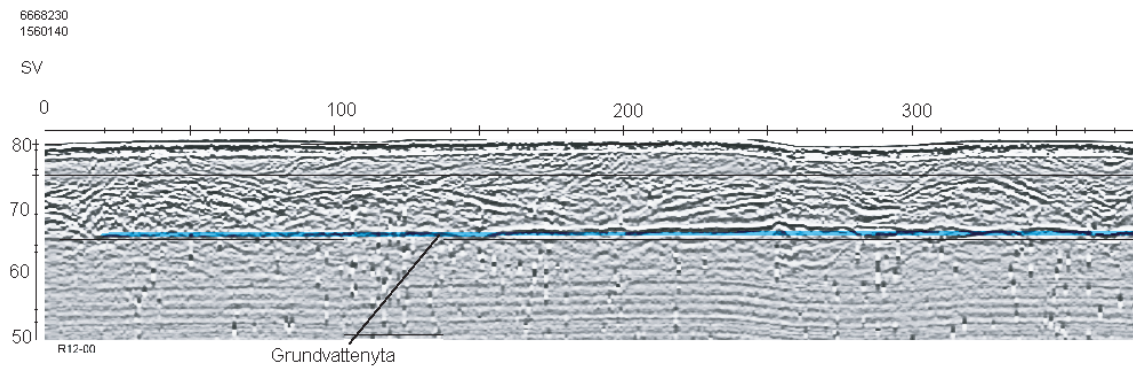


Fig. 53. Georadarprofil R12 från bergtröskeln mot nordöst intill väg 67. Den mycket tydliga och obrutna grundvattenytan tyder på att åsen här består av ett mycket grovt, genomsläppligt material.

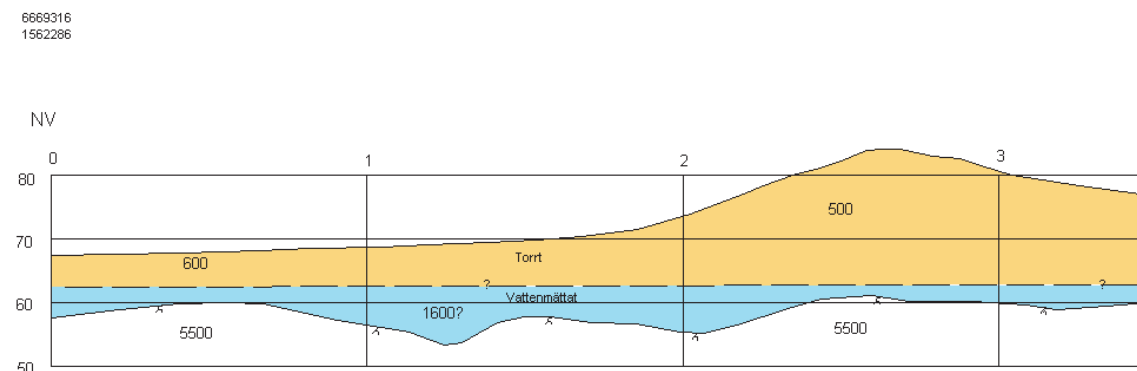


Fig. 54. Nordvästra tredjedelen av seismisk profil S4-71 strax söder om Tärnsjö till Ulebo källa. I denna del kan man se några partier med något så när mäktigt grundvattenmagasin, men mestadels är det mycket grunt.

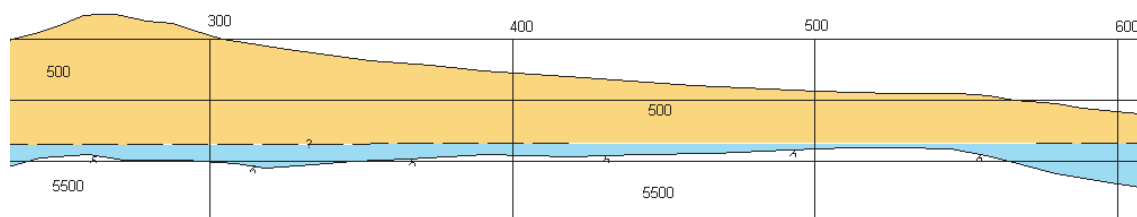


Fig. 55. Mittendelen av seismisk profil S4-71 strax söder om Tärnsjö till Ulebo källa. Utmed större delen av åsen förekommer endast ett mycket tunt skikt med grundvatten.

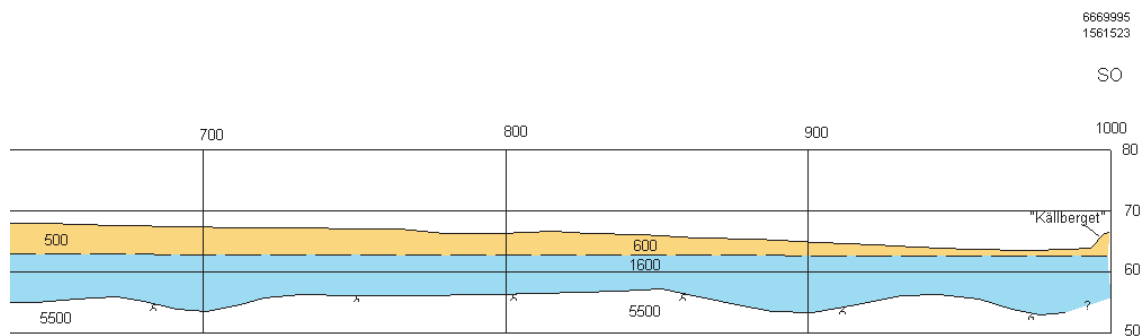


Fig. 56. Sydöstra tredjedelen av seismiska profilen S4-71, som slutar vid Ulebo källa. Det är i denna del av profilen som grundvattenmagasinet är som mäktigast. Väg 67 går ungefär vid 750 m i profilen.

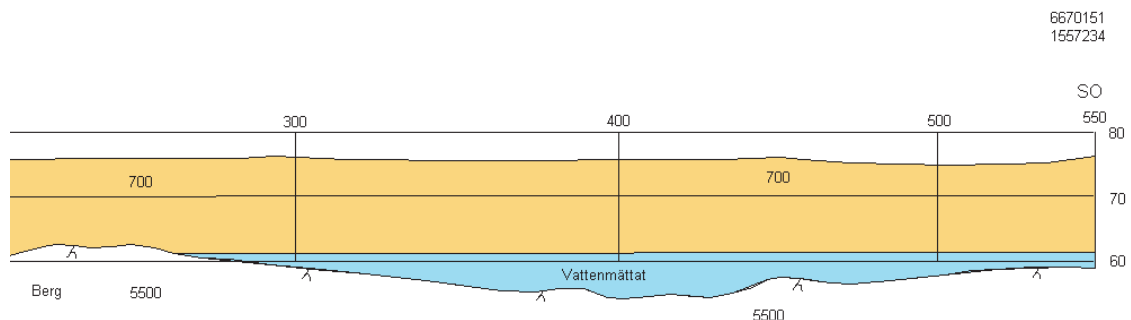


Fig. 57. I den seismiska profilen S1-71 strömmar grundvattnet från sydöst mot det höga bergläget i nordväst. I detta läge "punkteras" åsen innan grundvattennivån når över det höga bergläget i nordväst och grundvattnet läcker ut i Ingbo källor (på motsatt sida i bilden).

Undersökningarna vid Stengubbåsen har visat att grundvattenmagasinet är som mäktigast närmast åsförgreningen och tunnar ut mot Tärnsjö, se figurerna 53–56.

Det som kallas Källberget i profil S4-71 är egentligen ett mycket stort flyttblock. Ulebo källa är belägen omedelbart sydöst om Källberget. I profilbilden rör sig grundvattnet således från vänster till höger. Se även figur 12.

Den mängd grundvatten som rinner ut i Ulebo källa är av storleksordningen 15 l/s. Detta torde vara huvuddelen av grundvattenbildningen och därmed den naturliga grundvattentillgången i denna del av grundvattenmagasinet.

Genom den uppdelning i två grundvattenströmmar som uppstår i bergtröskeln fördelas en betydligt större del av grundvattenströmmen mot den nordvästra åsgrenen. Grundvattnet i denna åsgren avgår via ett flertal källor nära Ingbo.

I Ingbo källor, vilka är åtminstone fyra-fem stycken, rinner det sammanlagt ut drygt 50 l/s och i ett par källor söder och sydöst om Ingbo rinner det ut ca 10 l/s.

Totalt är således den naturliga grundvattenbildningen – grundvattentillgången i det komplexa grundvattenmagasinet från Masteråsens huvudsakliga grundvattendelare i höjd med Råsbo till grundvattendelarna vid Ingbo respektive omedelbart söder om Tärnsjö, inklusive det som rinner ut i källorna i Dunsjön – ca 80 l/s.

Grundvattenkvaliteten i detta område, som har stationsnummer 23 i SGUs landsomfattande grundvattennät, har inom ramen för SGUs miljöövervakning följts i Ulebo och Ingbo källor samt i vissa observationsrör sedan slutet av 1960-talet. Resultat av kemisk analys av kontinuerligt tagna vattenprov finns tillgängliga på SGU, och övervakningen avses fortsätta under överskådlig tid.

Sedan starten av mätningarna har salthalten i grundvattnet stigit kraftigt. Detta är en följd av saltningen av väg 67, som ju på långa sträckor går på åsen. Vägsaltet följer med smältvattnet ner i dikena, vilka endast har sand och grus som underlag. Detta innebär att det saltrika vattnet infiltrerar rakt ner i det underliggande grundvattenmagasinet, se ovanstående georadar- och seismiska profiler.

Grundvattentillgångar i den nordöstra åsgrenen, Tärnsjö–Dalälven

Skärsjö till Dalälven

Den stora isälvsavlagringen som löper genom Heby kommun och utgör den västra åsgrenen kallas som tidigare nämnts för Enköpingsåsen, i första hand när man talar om hela stråket, från Trosa vid Östersjökusten till trakten söder om Bollnäs. Den åsgren, som via Tärnsjö och Kerstinbo passerar Dalälven och fortsätter vidare i en vid båge förbi Gävle till trakten nordväst om Bollnäs, kallas med ett gemensamt namn för Gävleåsen. En översikt över åsen visar i figur 58.

Området kring åsavsnittet norr om Skärsjö är mycket flackt vilket antyder att bergytan under ett förhållandevis tunt jordtäckte också är mycket jämn. Detta innebär att man inte heller i åsen kan förvänta sig några större jorddjup. Därmed får även grundvattenmagasinet norr om Skärsjö bedömas vara litet.

I anslutning till grundvattenmagasinet från Skärsjö till Dalälven har inga större källor påträffats. Detta magasin avvattnas antagligen på bred front längs långa sträckor av åsen till de omgivande

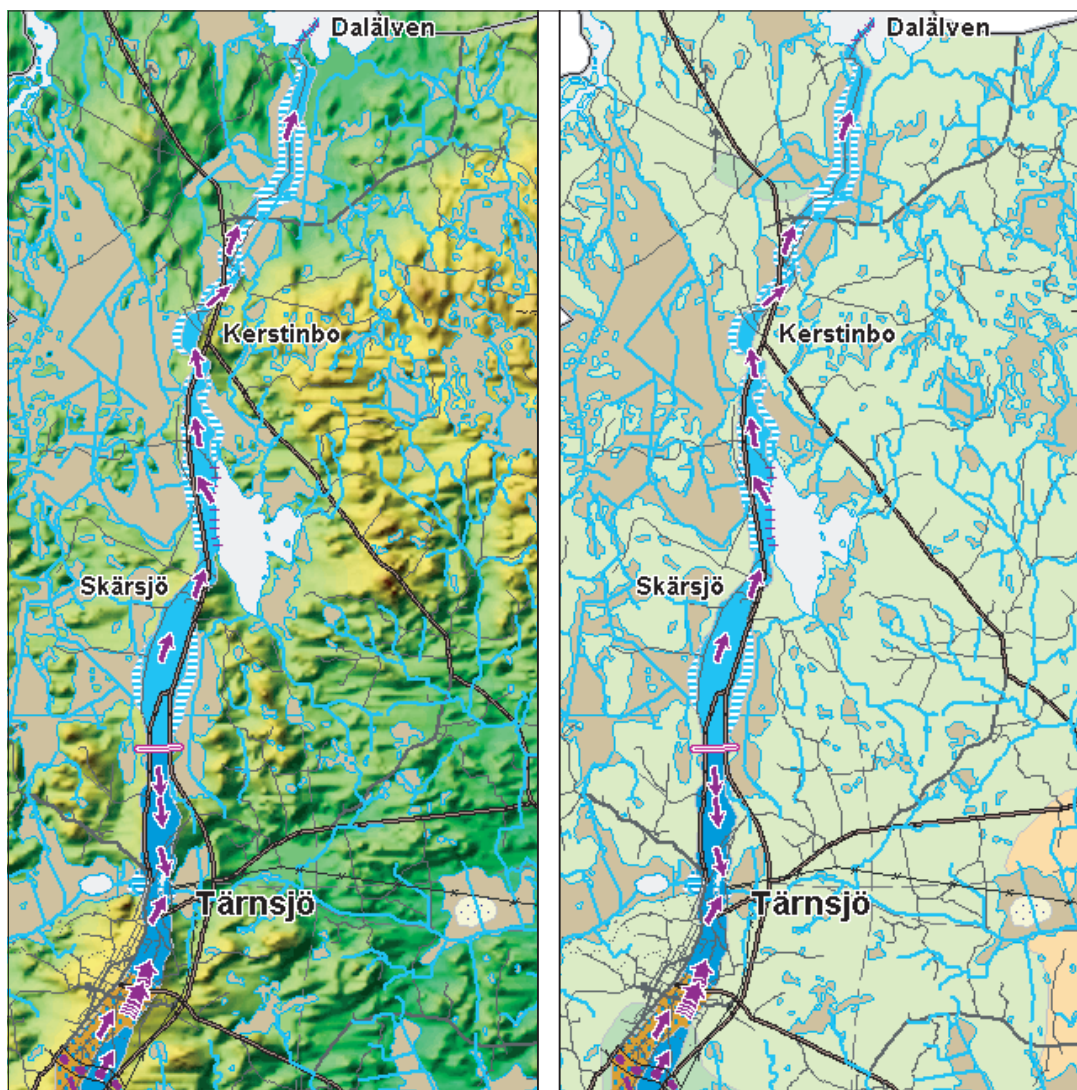


Fig. 58. Översikt över åsgrenen från Tärnsjö till Dalälven. Kartan till vänster med höjdreliëfkarta (Lantmäteriverket). Grundvattenmagasinet Skärsjö–Dalälven uppvisar en obruten gradient i grundvattennivåns lutning mot norr ända från grundvattendelaren i söder fram till Dalälven. Detta grundvattenmagasin omges av vidsträckta myrar (brun-grå på kartorna). Grundvattentillgången bedöms mindre i detta magasin än i Tärnsjömagasinet främst p.g.a. sämre uttagsmöjligheter.

myrmarkerna. Den obrutna gradienten mot norr tyder också på att inga större, koncentrerade källflöden förekommer i detta stråk.

Sammanfattningsvis får man därför göra den bedömningen att uttagsmöjligheterna är mycket begränsade i detta avsnitt. Sannolikt är de störst i området vid Skärsjö.

Tärnsjömagasinet

Grundvattendelaren norr om Tärnsjö bedöms vara rörlig, dels för att inget högt bergsläge har indikerats på detta ställe och dels för att grundvattenytans gradient ner mot vattentäkten och Åsbokällan är mycket måttlig – ca 1 ‰ (fig. 59).

Den grundvattendelare som begränsar Tärnsjömagasinet i söder är mer komplicerad. Den utgörs av en rörlig delare i den östra flanken av åsen, där ett 5–10 m mäktigt grundvattenmagasin föreligger, se den seismiska profilen i figur 57. I den centrala och västra delen av åsen är bergsläget generellt sett högt och där kan den möjligen vara fast, t.ex. vid 200 m i seismiska profilen i figur 60.

Det bruna fältet med blå prickar markerar ett område där bergsläget är så högt att det inte går att ta ut några större grundvattenmängder. Grundvattenmagasinet är så tunt, i genomsnitt endast ca 3 m, att det knappast finns utrymme för en större filterbrunn med avsänkning av grundvattenytan, säkerhetsmarginaler för nivåvariationer m.m.

Som framgår av figurerna 59 och 61 är skillnaderna i grundvattennivå betydligt större söderut än norrut i detta magasin. Intill den södra grundvattendelaren är grundvattennivån 6 m högre än vid källan och brunnen, medan nivån vid den norra grundvattendelaren bara är ca 2 m högre. Detta beror med största sannolikhet på att det höga bergsläget i södra delen håller uppe grundvattennivån. Grundvattnet ligger där som på en hylla och spiller över mot norr i form av grundvattenfall.

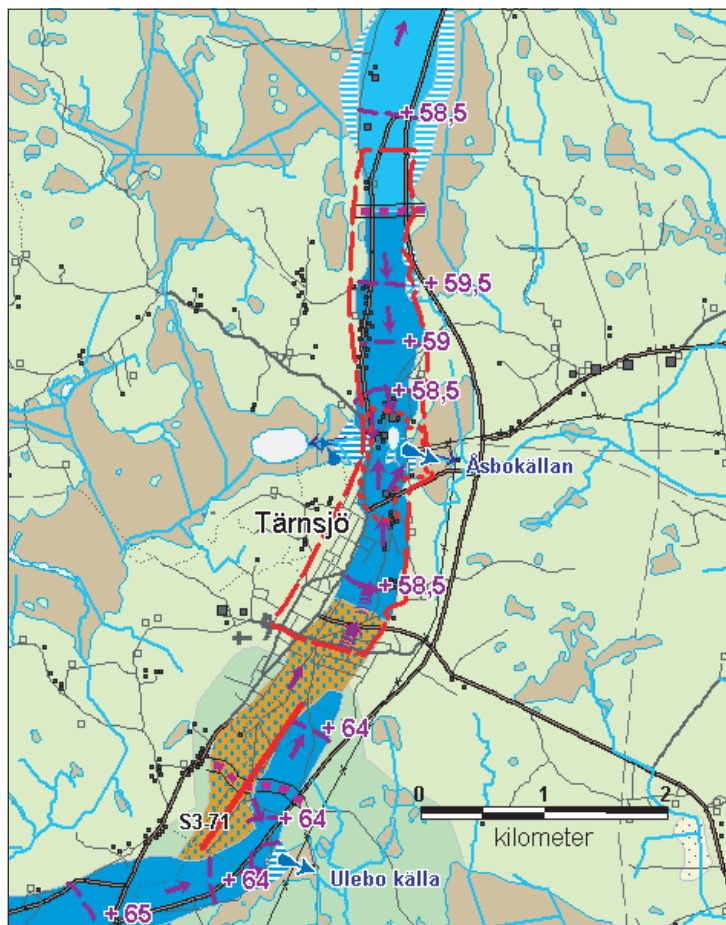


Fig. 59. Grundvattenmagasinet vid Tärnsjö. Långa röda streck är yttre skyddsområde, korta streck är inre skyddsområde.

Detta betyder att man vid ett ökat grundvattenuttag inte kan påräkna större tillrinning från söder än vad som sker i dag. Den södra grundvattendelaren kommer inte att flyttas längre mot söder, trots att den till sin karaktär är rörlig. Däremot kommer den norra grundvattendelaren att flyttas längre mot norr.

Åsbokällan rinner med ca 15 l/s, andra källor i området (bl.a. Svartkällan söder om Gäddsjön, ca 2 l/s) och diffust läckage kan uppskattas till ca 5 l/s och grundvattenuttaget för den kommunala vattenförsörjningen är i genomsnitt ca 5 l/s. Den sammanlagda grundvattentillgången Tärnsjömagasinet är således ca 25 l/s. En överslagsberäkning av grundvattenbildningen i Tärnsjömagasinet pekar också mot en kontinuerligt uttagbar grundvattenmängd av 25–30 l/s.

Detaljbilden i figur 61 av vattentäktsområdet visar att grundvatten på detta ställe läcker ut både åt öster och åt väster. Vattnet som går västerut går till Dalälven och det som går österut går till Tämnaån och Tämnaån. I detta avsnitt består åsen av mycket grovt och genomsläppligt material, vilket har visat sig vid stegprovpumpning med drygt 46 l/s (VIK). Med konstgjord grundvattenbildning genom infiltration av ytvatten skulle man sannolikt kunna öka grundvattenuttaget betydligt.

Det kan även tilläggas att den lilla Tärnsjön är belägen i en åsgrop och underlagras av lera som isolerar den från grundvattnet i åsen. Tärnsjöns vattennivå ligger ca en meter över grundvattennivån i åsen.

6669383
1561586

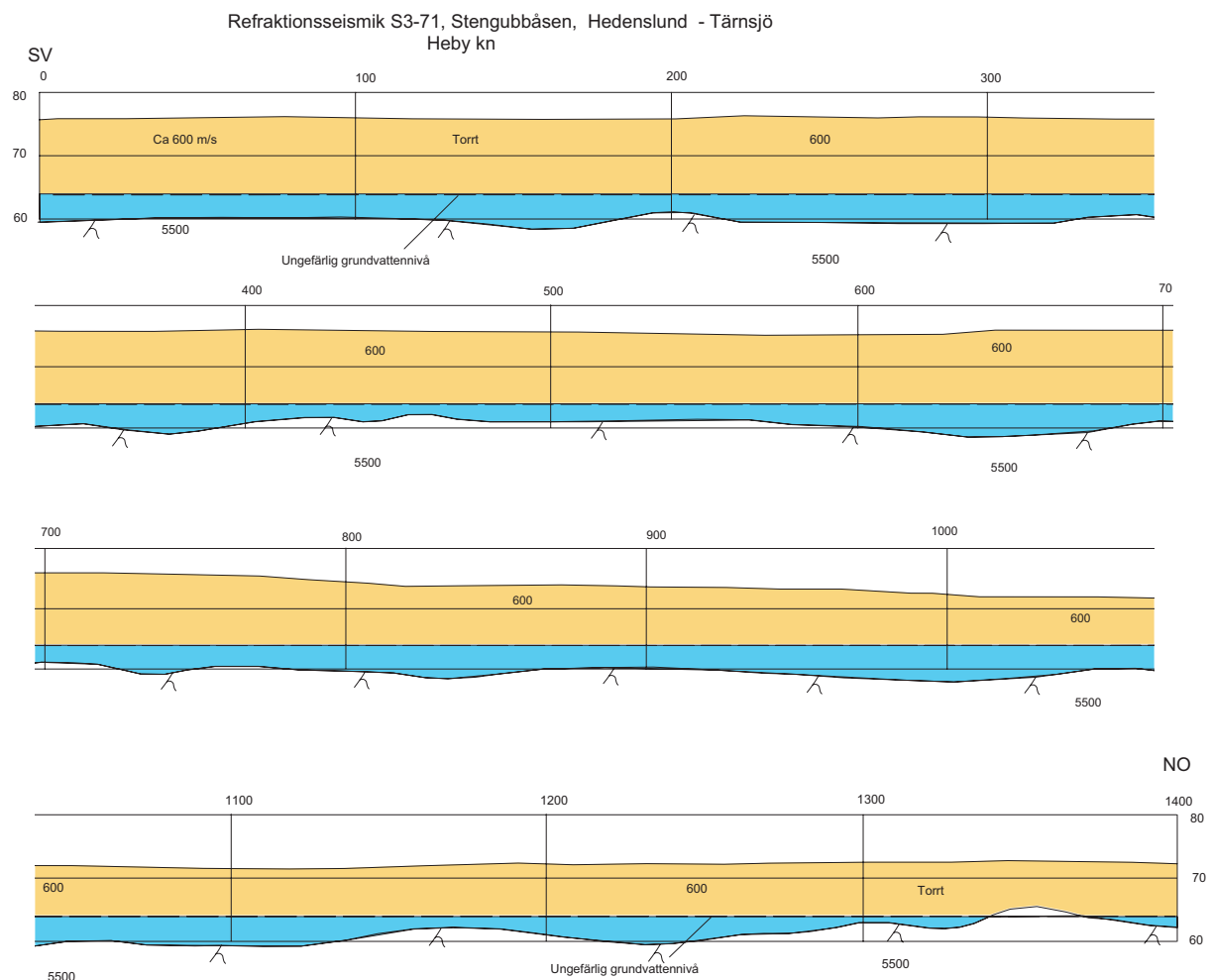


Fig. 60. Den seismiska profilen S3-71 uppvisar ett mycket tunt grundvattenmagasin. På grundvattenkartan är detta område markerat som liten eller ingen grundvattentillgång.

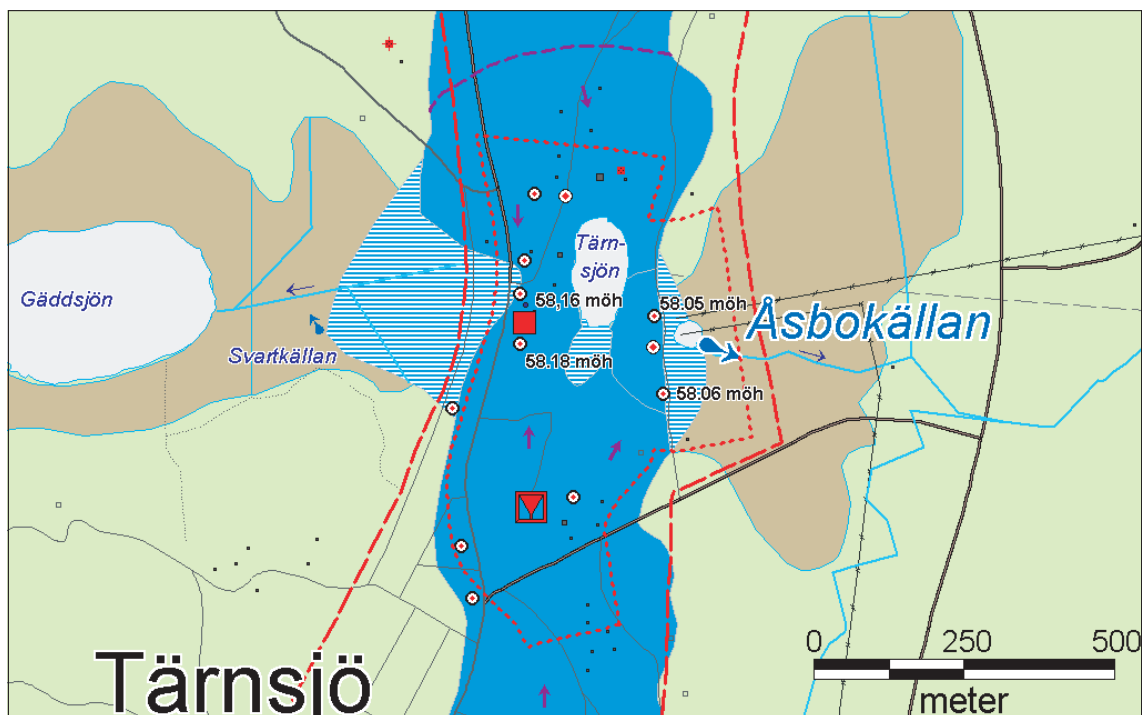


Fig. 61. Detalj av brunnsområdet vid Tärnsjö. Röd fyrkant är uttagsbrunn, fyrkant med tratt är infiltrationsanläggning, långa, röda streck är gräns för yttre skyddsområde, röda punkter gräns för inre skyddsområde.

Grundvattentillgångar i den nordvästra åsgrenen, Ingbo till Dalälven

Grundvattendelaren nordväst om Ingbo källor är betingad av höga berglägen och är därför en fast grundvattendelare, se figur 62. Se även den seismiska profilen (fig. 57) där det höga bergläget kan ses vid 250 m i profilen. Detta höga bergläge bromsar grundvattenflödet från sydöst och tvingar ut grundvattnet i källorna i lågpartiet nordöst om åsen (fig. 6–10).

Det höga bergläget öster om Ingbo länkar av en mindre grundvattenström mot väster. Det mesta av detta vatten rinner ut i källan ca 600 m sydöst om Ingbo (fig. 11).

Vid Östa förekommer en ganska kraftig gradient i grundvattennivån. Nivån sjunker 3 m på ca 500 m. Det är möjligt att en ribba med högt bergläge dämmer upp grundvattenflödet och att grundvattenströmmen här spiller över ungefär som vid Tärnsjö. Något högt bergläge har dock inte markerats på detta ställe med den vanliga beteckningen, brunt med blå prickar, eftersom något sådant inte har belagts, t.ex. med seismiska mätningar. Norr om detta grundvattenfall intar grundvattennivån ungefär samma nivå som Östavikens vatten (Dalälven).

Åsmaterialet som man kan se i strandkanten är förhållandevis finkornigt, men det är ändå möjligt att man genom att pumpa i en större brunn i detta avsnitt skulle kunna suga in Dalälvs-vatten och på så sätt öka grundvattentillgången (fig. 63). De tvärställda strecken över strandlinjen i figuren markerar var inducerad infiltration skulle kunna uppstå. Se även avsnittet "Inducerad infiltration".

Grundvattenbildningen i åsavsnittet norr om grundvattendelaren kan beräknas till mellan 5 och 10 liter per sekund.



Fig. 62 Grundvattenflödet i åsen vid Ingbo–Östa sett mot bakgrund av höjdreliëfkartan.

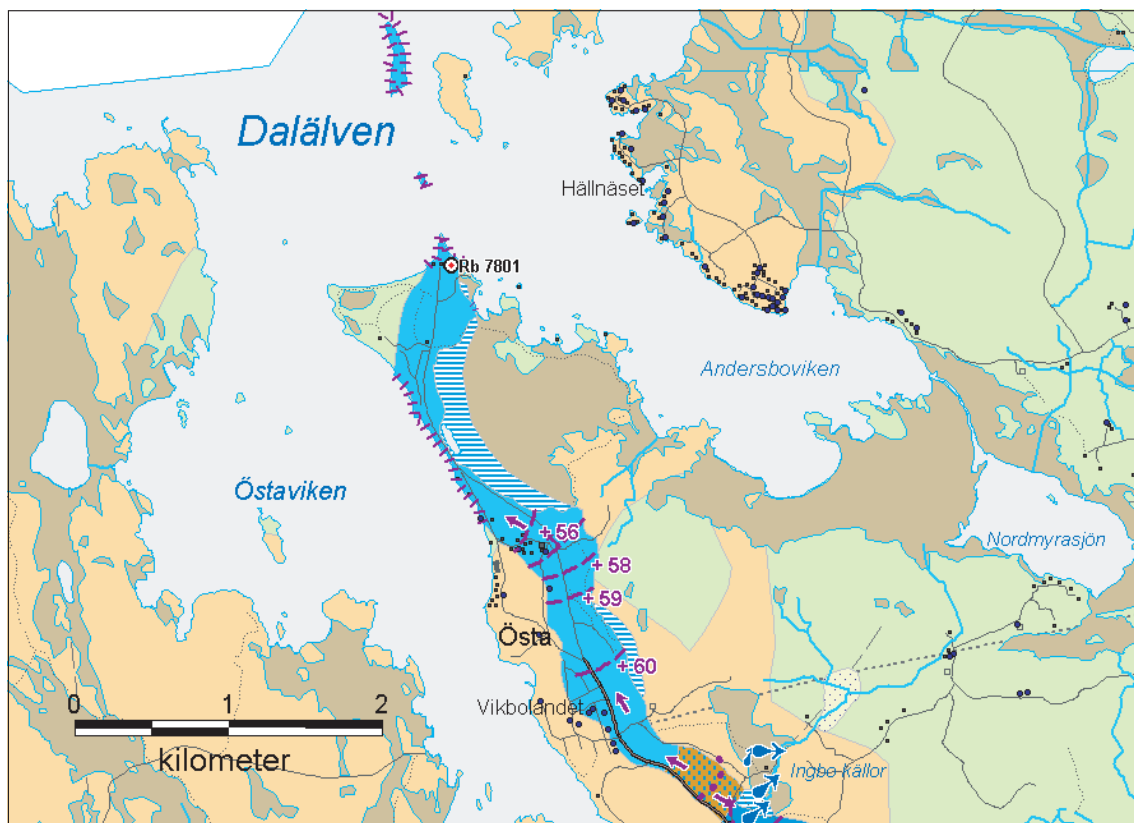


Fig. 63. Ingboåsen norr om grundvattendelaren vid Ingbo är ett av få åspartier i Heby kommun där inducerad infiltration skulle kunna uppkomma vid större grundvattenuttag.

Grundvattentillgångar i Masteråsen–Dalkarlsåsen mellan Råsbo och Runhällen

Från grundvattendelaren vid Råsbo (fig. 44) rör sig en grundvattenström söderut. I höjd med Källbäcken stöter den på ett ca 2,5 km långt område med höga berglägen. Se den seismiska profilen S3-99 (fig. 64 och 65). Inom detta område förekommer avsnitt med såväl något större grundvattenmagasin som mindre av hållkarskaraktär och t.o.m. helt torra områden som vid borrhningen R9901. Vid georadarmätningarna R8-99 och R18-99 har inte helt obetydliga grundvattenmagasin påträffats (fig. 66 och 67).

Grundvattenbildningen i åsavsnittet mellan grundvattendelaren vid Råsbo och grundvattenfallet vid avtagsvägen mot Runhällen kan beräknas till drygt 50 l/s. Av denna mängd går ca 35 l/s ut i källorna vid Källbäcken. Av den resterande mängden går det mesta över grundvattenfallet ner till grundvattenmagasinet i söder, vid Skräddarbo och Stingtorpet. Grundvattennivåmätningar i detta område har visat att en mindre del också går ut i den lilla åsgrenen mot nordväst, mot samhället Runhällen. Den öppna, röda fyrkanten vid namnet Runhällen (i figur 64) är en kommunal reservvattentäkt i jordlagren och den fyllda, röda symbolen i figuren är en bergborrad brunn som f.n. utgör samhällets vattentäkt.

Till skillnad mot många andra grundvattentäkter och källor längs åsen har denna bergborrade brunn inte i någon påtaglig grad påverkats av vägsalt.

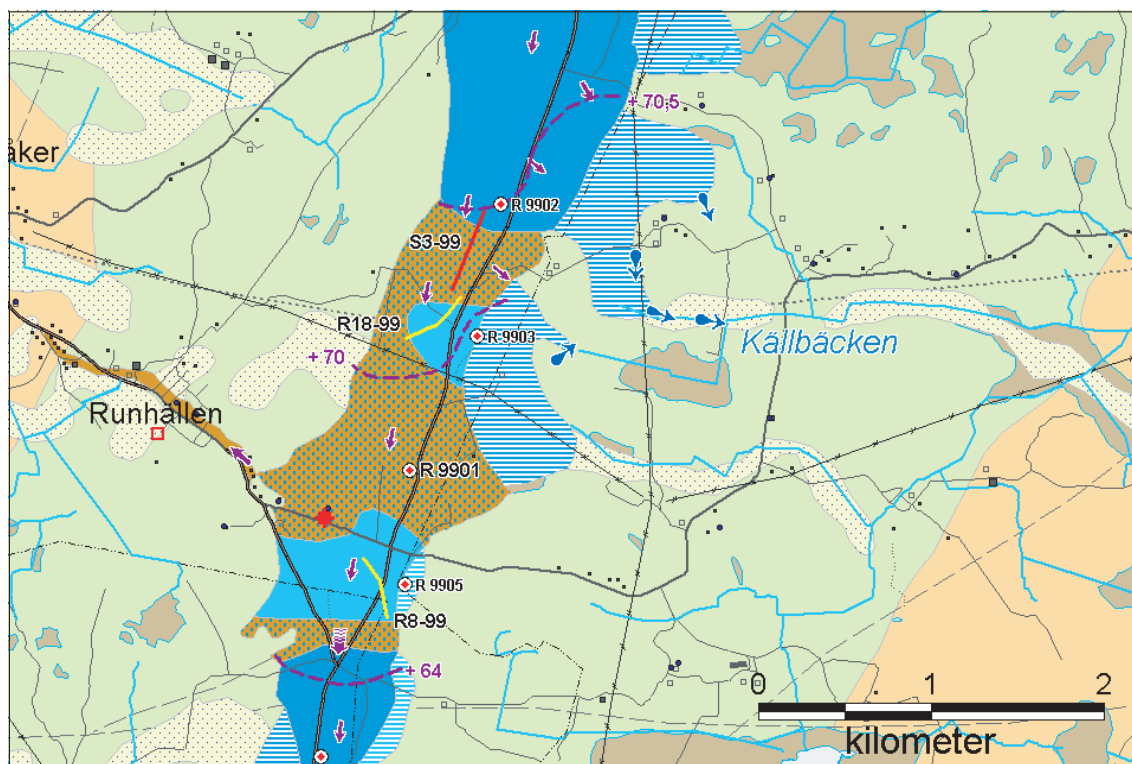


Fig. 64. Större delen av grundvattenströmmen norrifrån tvingas av området med höga berglägen vid Runhällen ut i källorna vid Källbäcken. En mindre del av flödet kan passera och tar sig vidare ner till grundvattenmagasinet vid Skräddarbo och Stingtorpet.

SSV

NNO

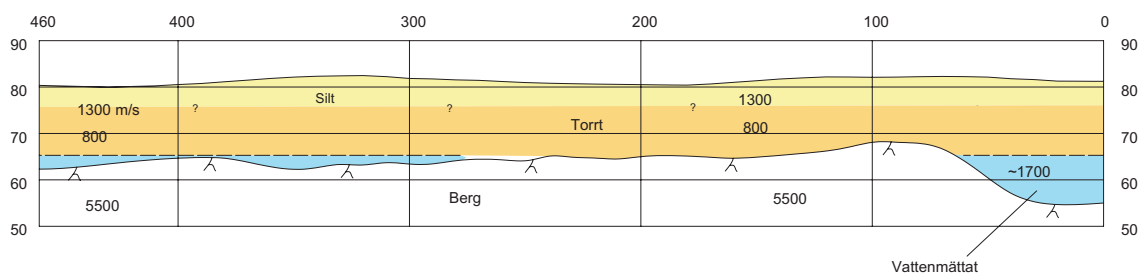


Fig. 65. Seismisk profil S3-99 från den norra delen av området med höga berglägen. Grundvattnet strömmar från höger mot vänster i bilden. Det högsta bergläget vid 100 m i profilen kan vara en knalle och en del vatten kan ta sig förbi på någon sida och vidare mot sydsydväst. Den största delen av grundvattenströmmen läcker emellertid ut mot öster till källorna vid Källbäcken.

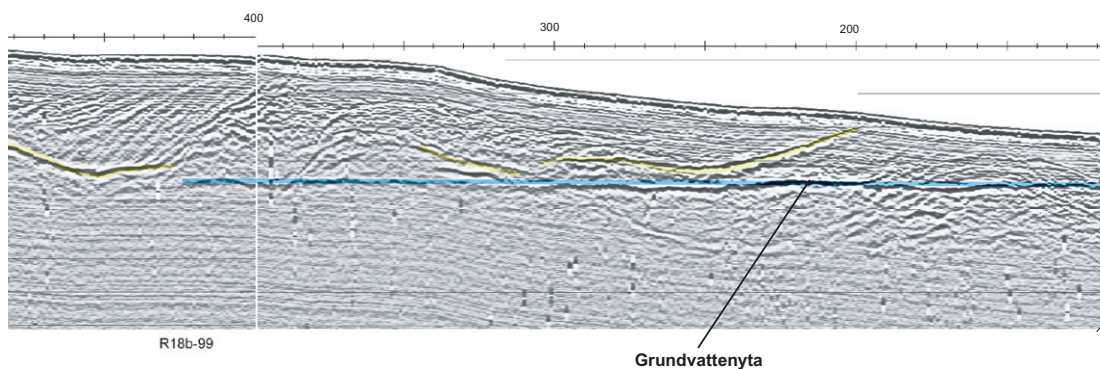


Fig. 66. På kartutsnittet i figur 64 har endast en del av georadarmätningarna i området medtagits. I detta avsnitt av mätningen R18-99 kan man tydligt se en grundvattenyta, den horisontella, blåmarkerade linjen. Det är dock inte möjligt att avgöra hur långt det är till den underliggande bergytan. Det är därför inte säkert att det går att anlägga någon brunn för större vattenuttag på detta ställe. De gulmarkerade strecken är goda radarreflektorer. De utgörs sannolikt av mycket tunna skikt av silt eller lera,

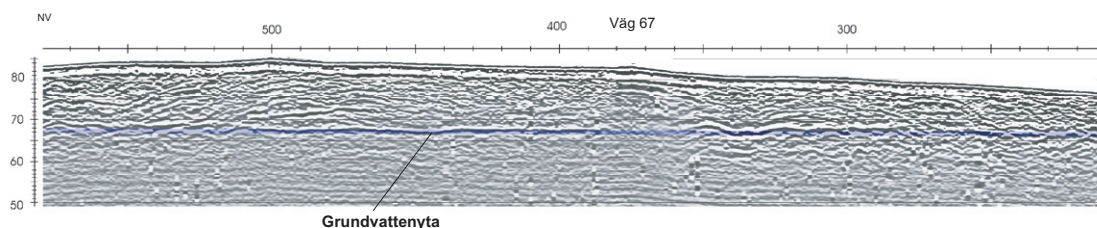


Fig. 67. Denna georadarprofil (R8-99) är uppmätt i det största av de grundvattenhållande partierna av området med höga berglägen. Inte heller här kan man anta att det är särskilt långt till underliggande bergyta (vilken ju inte kan ses i profilen), varför uttagsmöjligheterna måste bedömas vara små.

Grundvattentillgångar i magasinen vid Skräddarbo och Stingtorpet

Som nämndes i det föregående kapitlet så spiller en del grundvatten över söderut från området med höga berglägen vid Runhällen. Det sker bl.a. genom grundvattenfallet som ses överst i figur 68, vilket emellertid inte är närmare lägesbestämt och sannolikt har en ganska komplicerad flödesbild. Grundvattennivån i rör R 9904 varierar kring 63,5 m ö.h. och nivån i röret närmast norr därom ligger kring 70 m, ett grundvattenfall på drygt 6 meter. Vattenmängden som spiller över kan bedömas vara av storleksordningen 10–15 l/s. I söder begränsas detta magasin av höga berglägen. Här är det dock fråga om så höga berglägen att de bildar ett hinder för grundvattnet att ta sig förbi söderut. Här utgör de en fast grundvattendelare.

Grundvattenbildningen i området mellan grundvattenfallet i norr och grundvattendelaren i söder kan beräknas till ca 30 l/s. Tillsammans med vattnet som tillförs norrifrån kan grundvattentillgången bedömas vara drygt 40 l/s. I slutet av den torra sommaren 1999 uppmättes också det samlade grundvattenflödet från källorna i området vid Sävnmossen till ca 40 l/s.

I norra delen av Stingtorpets grustag ligger bergytan förhållandevis högt, vid borrningen R9906 på 3–4 m under grundvattenytan. Det kan inte helt uteslutas att det i området finns någon avskärande hög berggripa. Någon sådan har emellertid inte markerats på kartan. Vid borrningen R9907 däremot ligger bergytan ca 17 m under grundvattenytan. Möjligheterna att ta ut större mängder grundvatten är således betydligt bättre på det senare stället.

Georadarmätningen R4-98 visar en mycket tydlig grundvattenyta (fig. 69). Några ytterligare undersökningar har inte gjorts i detta område, men man kan av omgivande terrängformer bedöma att det även på detta ställe förekommer ett förhållandevis mäktigt grundvattenmagasin med goda uttagsmöjligheter.

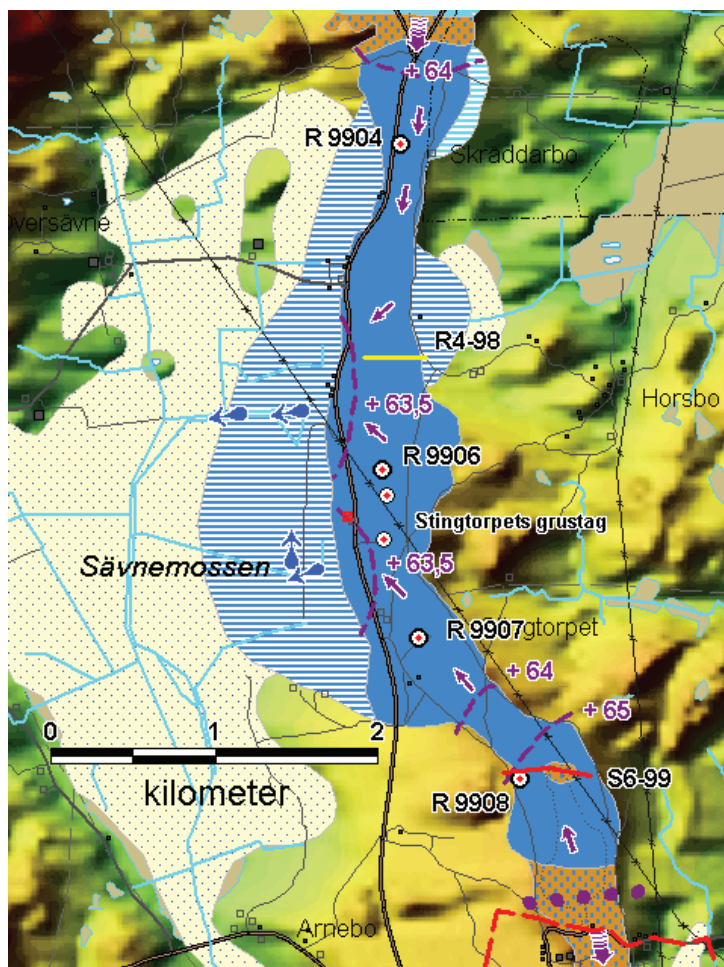


Fig. 68. Grundvattenmagasinet vid Skräddarbo–Stingtorpet avvattnas genom ett flertal källor vid Sävnmossen.

Vinterhalvåret 1963–64 genomförde konsultföretaget AIB provpumpningar alldeles vid platsen för borrhningen R9907. Man kom då fram till att den uttagbara grundvattenmängden under normalår skulle vara ca 20 l/s. Det är dock tveksamt om man genom att ta ut vatten bara på den södra sidan av de förhållandevis höga berglägena vid R9906 verkligen skulle kunna tillgodogöra sig hela magasinets potential.

Som framgår av kartutsnittet (fig. 68) så har grundvattenmagasinet vid Skräddarbo–Stingtorpet inte hydraulisk kontakt med grundvattenmagasinet längre söderut, vid Heby samhälle. Vid Heby ligger grundvattenmagasinet (grundvattenytan) betydligt lägre. Nivåskillnaden är så stor som ca 30 m.

Grundvattentillgångar vid Heby samhälle

Grundvattenmagasinet vid Heby samhälle begränsas i norr av den fasta grundvattendelaren drygt 2,5 km norr om centrum (fig. 71). Grundvattendelaren är som tidigare nämnts betingad av höga berglägen och är således fast. I det bruna området med blå prickar finns inget egentligt grundvattenmagasin. Den nederbörd som infiltrerar i området rinner av ovanpå den brant mot söder lutande bergytan (under de mäktiga sand- och gruslagren) och ner i det egentliga grundvattenmagasinet, de helblå områdena och de blå-viträndiga, där grundvattenmagasinet ligger täckt av lera.

Detta flöde har av VIAK i en utredning från 1973 beräknats till 17 l/s. Tar man fasta på detta, och gör en beräkning av grundvattenbildningen, är det möjligt att den norra grundvattendelaren egentligen ligger längre norr ut, i närheten av den seismiska profilen S6-99 (se figur 70). Förekom-

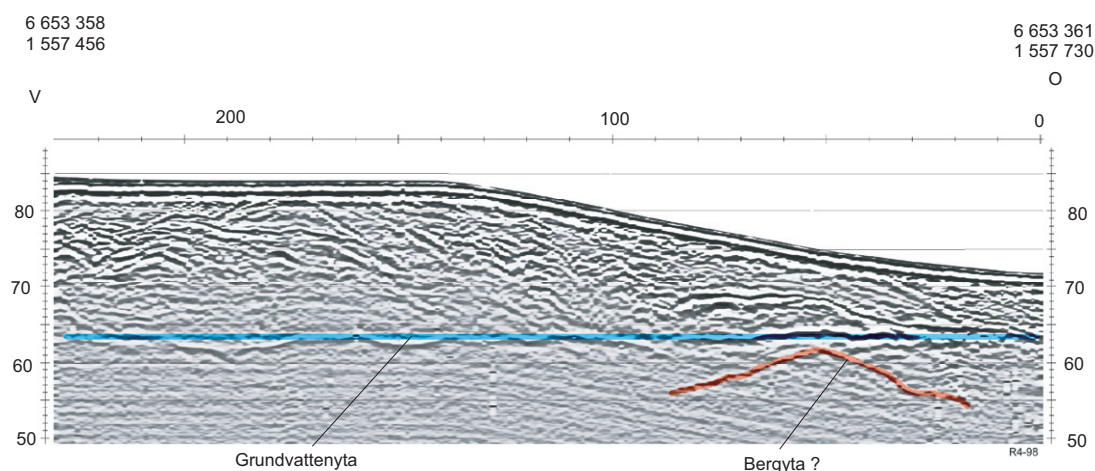


Fig. 69. Den distinkt återgivna grundvattenytan antyder att sand- och grusmaterialet är grovt och mycket genomsläppligt.

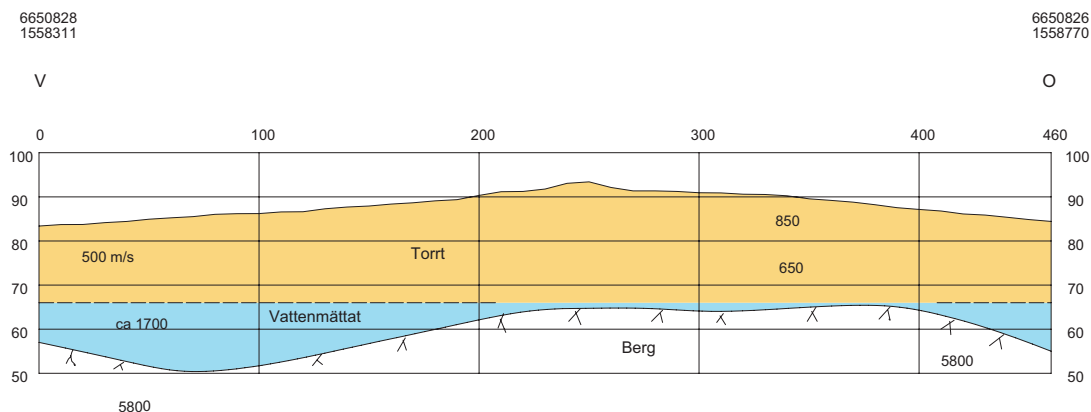


Fig. 70. Seismisk profil nära den fasta grundvattendelaren, som utgörs av höga berglägen.

sten av ett inte obetydligt grundvattenmagasin där tyder dock på att grundvattendelaren ligger söder om profilen. Frågan om grundvattendelarens faktiska läge har i första hand betydelse för var gränsen för det yttre skyddsområdet bör ligga.

Mot söder begränsas magasinet av en grundvattendelare i närheten av kyrkan. Denna grundvattendelare är emellertid rörlig och flyttas norrut vid mindre grundvattenuttag i de kommunala vattentäkterna respektive söderut vid större uttag. För närvarande tas ca 20 l/s ut ur detta grundvattenmagasin.

Grundvattendelaren vid kyrkan är helt betingad av grundvattenuttagen. Om grundvattenuttagen skulle upphöra så skulle grundvattendelaren inte längre finnas och vattnet skulle ostört flöda hela vägen från den norra grundvattendelaren ända ner till källorna vid Flosta i Enköpings kommun.

I VIAKs rapport (VIAK 1973), vilken är mycket väl underbyggd, har den uttagbara grundvattenmängden beräknats överstiga 35 l/s. Ett så stort uttag skulle sänka grundvattennivån med drygt 2 m (efter 10 år). Det skulle även innebära en förskjutning av den södra grundvattendelaren längre mot söder, sannolikt flera kilometer. 35 l/s torde vara nära gränsen för vad som är möjligt att ta ut. Ett grundvattenuttag i Heby minskar också vattenflödet i källorna vid Flosta i motsvarande grad.

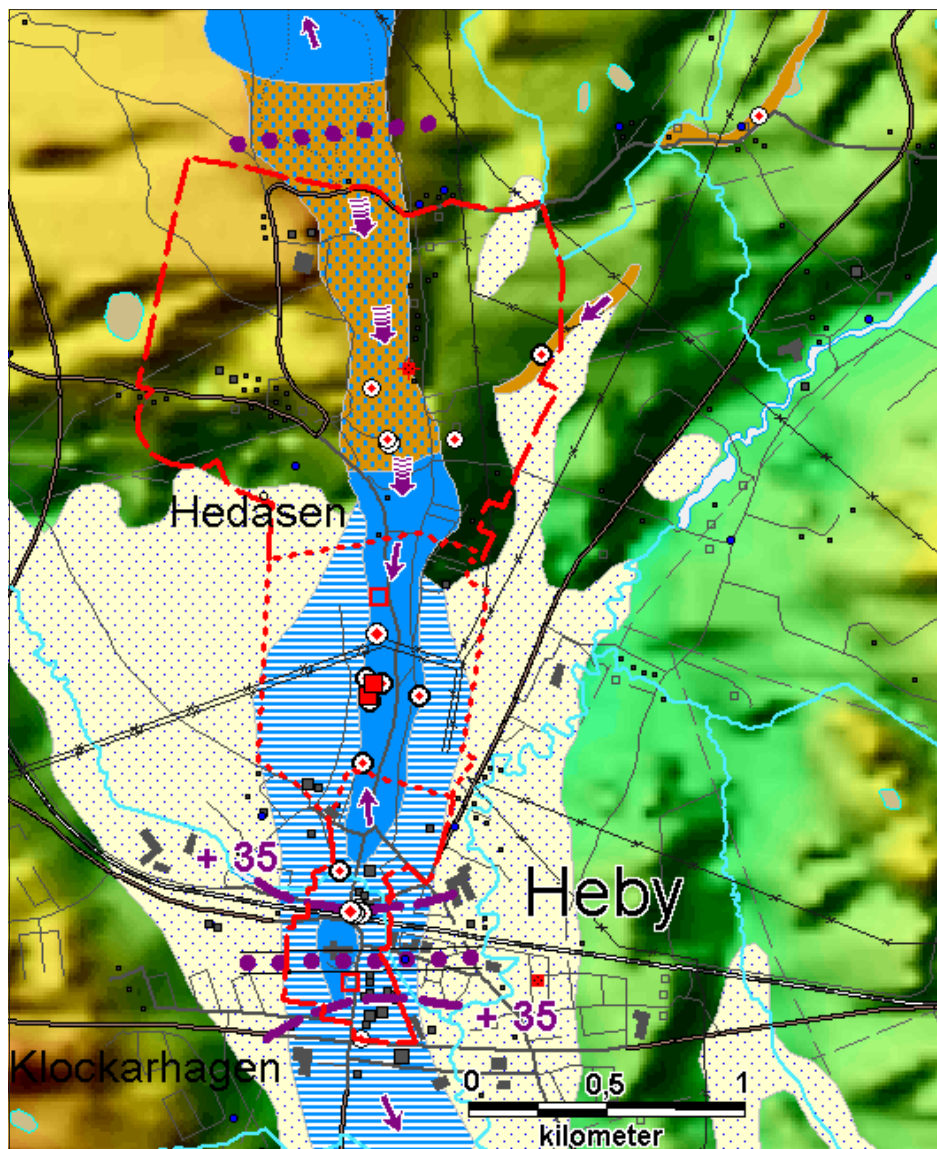


Fig. 71. De kommunala grundvattentäkterna ligger vid de fyllda, röda fyrkanterna. Långa, röda streck är gräns för yttre skyddsområde, korta är gräns för inre.

Det kan tilläggas att den betydligt mindre Huddungeåsen sannolikt ansluter till Dalkarlsåsen vid det stora grustaget nordöst om namnet Hedåsen på kartutsnittet i figur 71. Huddungeåsen syns som ett smalt, brunt, avbrutet band i figuren. Mätningar av grundvattennivåer i denna ås visar att grundvattnet där strömmar i riktning mot Dalkarlsåsen. Denna grundvattenström är mycket blygsam, mindre än 1 l/s, och det är inte helt säkert att det verkligen finns en hydraulisk kommunikation mellan åsarna.

Grundvattentillgångar i Röcklingemagasinet och Flostaåsen

Söder om Heby dyker den mäktiga Dalkarlsåsen ner i en i berggrundsytan djupt nedskuren sprickdal. Åsens sand- och gruslager ligger i botten på sprickdalen och de är mestadels helt täckta av mäktiga lerlager. Man kan säga att åsen, som norr om Heby var en tallhed, här är en jordbruksbygd.

Åsens sand- och gruslager sticker upp ovanför leran vid Ål, ca 3,5 km söder om Heby, och på ett mycket litet ställe vid Sörgården, knappt 6 km söder om Heby. Vid Sör Hårsbäck, nära kommungränsen i söder, reser sig sand- och gruslagren ur leran och bildar Flostaåsen (det sydligaste, helblå avsnittet), se figur 72.

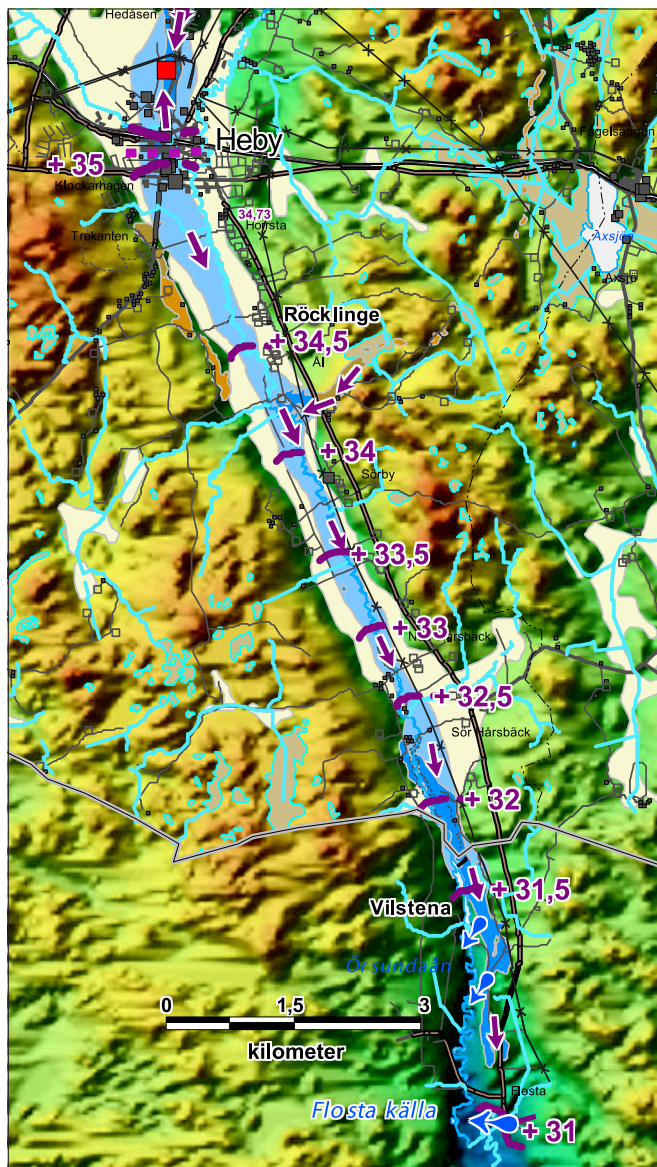


Fig. 72. I de ljusblå partierna ligger grundvattenmagasinet dolt under lera. (Av tekniska skäl kan blå-viträndning ej framställas i denna skala.) Grundvattennivåer i m ö.h..

Som framgick av föregående kapitel så hör egentligen även grundvattenmagasinet vid Heby centralort till detta magasin, som sträcker sig från grundvattendelaren 2,5 km norr om Heby centrum ända till Flosta källor 12,5 km söder därom. Detta grundvattenmagasin har således en total längd av 15 km.

Röcklingemagasinet har undersökts med seismiska mätningar och borrhningar. Beroende på lerlagrens stora mäktighet var det inte möjligt att "se" sand- och gruslagren därunder med vanlig refraktionsseismik. Därför utfördes mätningar med reflexionsseismik dels vid Horrsta och dels vid Röcklinge. Med reflexionsseismik kan man få betydligt mer information än vad man kan få med refraktionsseismik. Den är emellertid betydligt mer tids- och kostnadskrävande och har därför inte tidigare använts i sådana här sammanhang. Läget av dessa undersökningar framgår av figur 73.

Resultaten från de seismiska mätningarna längs profil S4-00 vid Horrsta framgår av figur 74. Sand- och grusavlagringarna täcks längs hela profilen av lera utom i den allra västligaste delen. Det täckande lerskiktet är mestadels ca 20 m mäktigt. Av den reflexionsseismiska bilden framgår att sand- och gruslagren är tydligt skiktade och att de har sitt största djup vid ca 225 m. På detta ställe, vid den mittersta av de tre röd-vita bormarkeringarna i profil S4-00, ligger de djupaste gruslagren på ca 60 m under markytan. De grundvattenmättade sand- och gruslagren är här ca 40 m mäktiga.

Sanden och gruset blir grövre mot djupet, där några mycket tydliga reflexer syns. Längst ner i botten, där det är som djupast har morän påträffats vid borrhning. Se även uppgifter från sonderingsborrningen S 0003 i avsnittet "Utförda borrhningar (serierna SGU 99 och 00) samt inventerade borrhningar med uppgifter på lagerföljd".

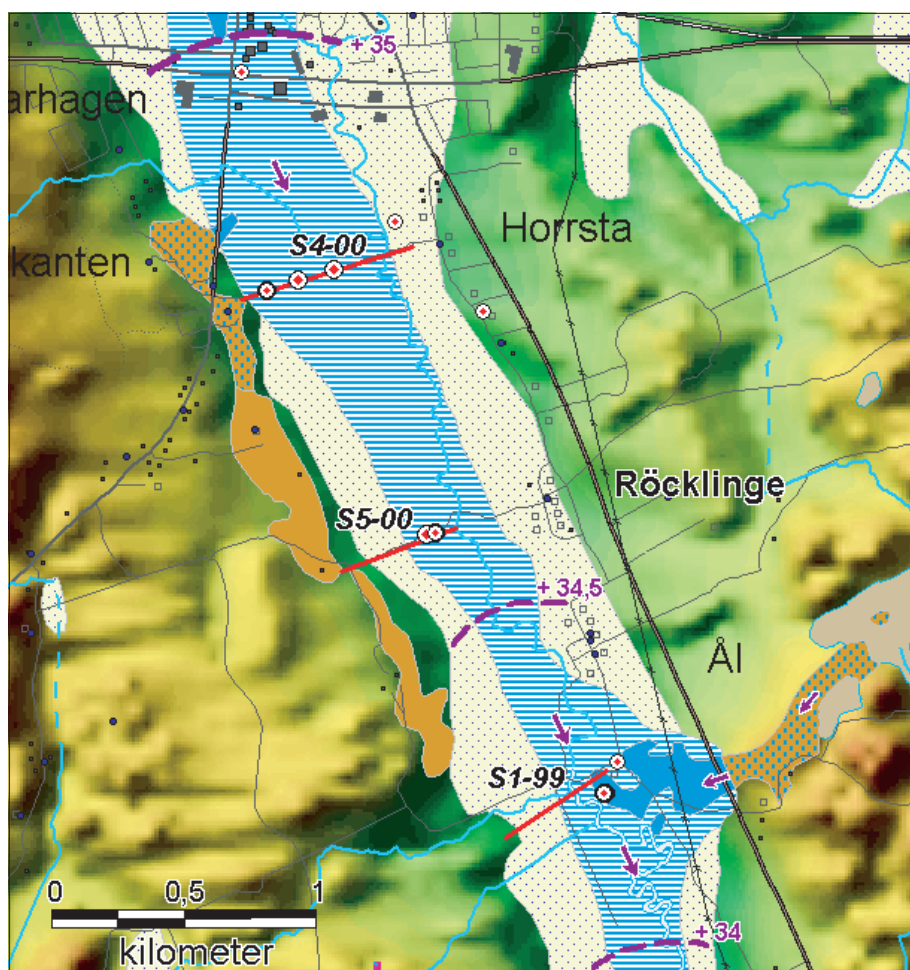


Fig. 73. Seismiska mätprofiler och borrhningar i Röcklingemagasinet.

Det lilla hacket i markytan vid 550 m i figur 74 är Örsundaån. Grundvattenytan ligger här på 34,8 m ö.h. (00-06-20), vilket är ca 6 m under åns yta. Detta är samtidigt ca 15 m över grundvattenmagasinets överyta, varför magasinet här är vad man kallar slutet.

Vd Röcklinge har seismiska reflexionsmätningar utförts i profil S5-00. Resultaten från dessa visas i figur 75. De ser något annorlunda ut jämfört med de från Horrsta. Vid Röcklinge ligger sand- och gruslagren nere i en mer markerad sänka i berggrunden, nästan som en s.k. gravsänka. Seismogrammet kan tolkas så att den branta klippväggen i öster har sin fortsättning vidare ner i berggrunden och att den skulle kunna utgöra en förkastning.

I detta område täcks grundvattenmagasinet helt av silt och lera. Det djupaste stället är vid 400 m i profilen och ligger ca 60 m väster om Örsundaån. På samma sätt som vid Horrsta ser man flera mycket tydliga reflexionsytor på djupet, där också det mest grovkorniga grusmaterialet förekommer. Grundvattenmagasinet är här drygt 50 m mäktigt – 10 m mer än vid Horrsta. I sonderingsborrningen S0001 har en 39 m mäktig packe med material varierande mellan grovsand och stenigt grus påträffats.

Även här är det fråga om ett slutet grundvattenmagasin därför att grundvattennivån, eller snarare trycknivån, ligger ovanför magasinets överyta – på 34,5 m ö.h., vilket samtidigt är ca 5 m under Örsundaåns yta.

Borrningarna vid Röcklinge är utförda vid 340 och 380 m i profilen, vilket motsvarar ca 120 resp. 80 m väster om ån. Se närmare information om resultaten från borrningarna S 0001, S 0005 och R 0008 i i avsnittet ”Utförda borrningar (serierna SGU 99 och 00) samt inventerade borrningar med uppgifter på lagerföljd”.

Läget för den seismiska profilen vid Ål framgår av figur 73. På detta ställe ansluter en mindre biås och sand- och gruslagren når upp ovanför leran. Grundvattenmagasinet är således öppet och känsligt för eventuella föroreningar, som kan komma t.ex. från det förhållandevis korta avsnittet där vägen mot Enköping skär den anslutande biåsen.

År 1964 drev VIAK ner ett 2-tums rör vid Ål. Detta står fortfarande kvar och har beteckningen Rb6404. Det når ner till 28,7 m under markytan och är tillgängligt för nivåmätningar och vattenprovtagning.

Den seismiska profilen S1-99 som utfördes vid kartläggningen av grundvattnet i Heby kommun och som framgår av figur 76 visar att grundvattenmagasinet på detta ställe har en vattenmättad

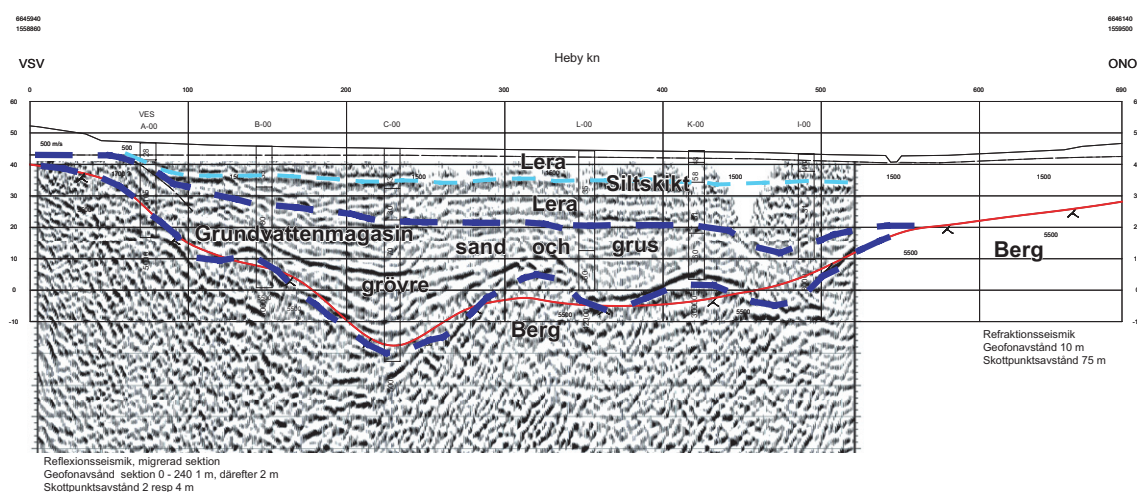


Fig. 74. Den röda linjen visar berggrundens överyta så som den registrerades av den refraktionsseismiska mätningen. Med denna mätning kunde sand- och gruslagren inte registreras trots att de är förhållandevis mäktiga. Den mörkt blåstreckade linjen omluter grundvattenmagasinet mellan leran och berget som det registrerats av den reflexionsseismiska mätningen S4-00. Den ljusblå linjen markerar ett ca 2 dm tunt siltskikt ca 10 m nere i leran. Det syns tydligt i seismiken och har också påträffats i de tre borrningarna (fig. 73).

mäktighet av ca 60 m, vilket är ovanligt mycket. Grundvattenmagasinet når faktiskt ner så djupt som till ca 25 m under havsnivån.

Intill Rb6404 utfördes en sonderingsborrning, S 0002. Dessa borrhningar har påvisat grusig sand och sandigt grus ner till drygt 44 m. Vad som finns mellan denna nivå och 60 m är för närvarande inte påvisat med borrhning. Sannolikt är det så som vid Horrsta och Röcklinge – ett ännu grövre material. Se närmare angående borresultaten i avsnittet ”Utförda borrhningar (serierna SGU 99 och 00) samt inventerade borrhningar med uppgifter på lagerföljd”.

Också på detta ställe ligger grundvattenytan i det stora magasinet under Örsundaåns yta. Här varierar nivåskillnaden mellan 5 och 6 m beroende på nederbördsförhållanden och flöden. I detta område föreligger en viss risk (möjlighet) att Örsundaåns vatten kan infiltrera ner i grundvattenma-

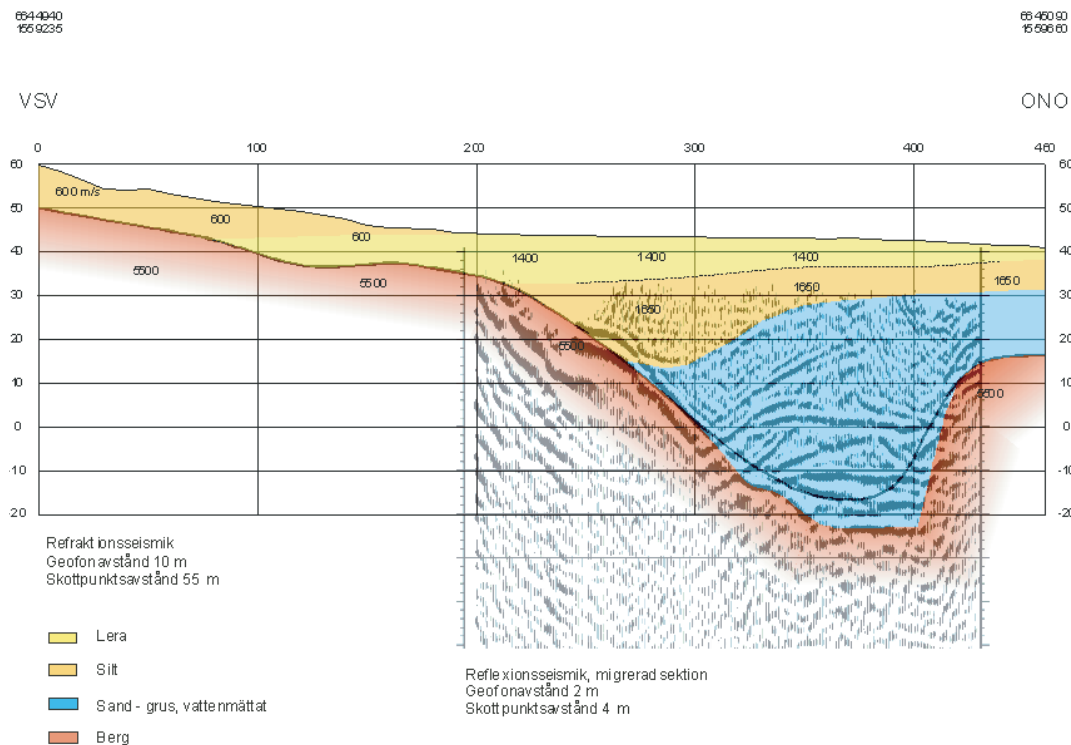


Fig. 75. Reflexionsseismisk profil X2-00 vid Röcklinge. I botten av en fördjupning i berggrunden som ser ut som en gravsänka, med en förkastning åtminstone i den östra kanten, ligger mycket tydligt skiktade, grova gruslager.

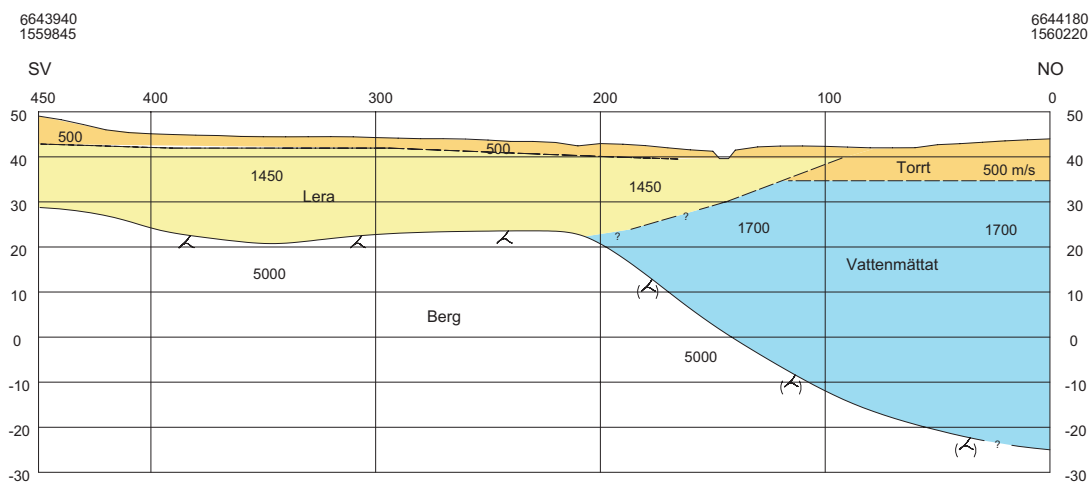


Fig. 76. Refraktionsseismisk profil S1-99 vid Ål. Här har det största grundvattenmagasinet i Heby kommun påträffats. Den vattenmättade mäktigheten är ca 60 m, vilket är bland de största som påträffats i Mellansverige.

gasinet. Åfåran skulle då i det närmaste bli torrlagd och vattnet skulle rinna vidare under leran som grundvatten ända ner till området mellan Vilstena och Flosta, där det åter skulle komma i dagen i källorna och återgå till åfåran. Även vid Sörgården, knappt 3 km söder om Ål, har en seismisk profil uppmätts. På detta ställe är grundvattenmagasinet ca 25 m mäktigt (fig. 23 och 77).

Av de på kartutsnittet i figur 72 markerade källorna är Flosta källa den absolut största. Flödet från denna källa har i äldre uppgifter angetts till 100–140 l/s. I samband med de här redovisade undersökningarna har källorna inventerats. Flödet i Flosta källa uppmättes då till ca 60 l/s. Något ytterligare flöde av större omfattning kunde inte påträffas vid Flosta trots noggrant letande. Vintern 2000–2001 brast dammen vid Flosta källa och de primära källflödena som tidigare dolts under en vattenyta blottades (fig. 24).

Den första källan som påträffats i detta grundvattenmagasin, norrifrån sett, finns något tiotal meter nedströms dammluckan vid Vilstena, på en liten ö i Örsundaån. I observationsröret Rb 7014, 250 m uppströms dammluckan, har grundvattennivån uppmätts ligga 2,7 m under dammens yta. På samtliga platser från Heby där detta förhållande kunnat mätas har grundvattenytan legat lägre än åns vattenyta. Vid t.ex. Ål ligger grundvattenytan som nämnts ca 6 m under åns yta. Med de gradienter som föreligger i grundvattenytan och i åns yta är det troligt att grundvattenytan hela vägen från Heby till dammluckan vid Vilstena ligger under åns yta. Därför kan det inte heller finnas några källor som avvattnar det stora grundvattenmagasinet uppströms dammluckan.

Nedströms dammluckan däremot har ett par större källor påträffats där det rinner ut 3–5 l/s i vardera. Utöver dessa mer koncentrerade källflöden sipprar det ut grundvatten på bred front på många ställen längs ån ner till Flosta. Det samlade flödet av allt detta är mycket svårt att bestämma, men man kan bedöma att det kan röra sig om 20, högst 30 l/s.

Flödet från källorna är naturligtvis beroende av om grundvattennivån i magasinet är högt eller lågt. Personer i trakten har berättat att flödet i källorna nedströms dammluckan kan variera mycket kraftigt, från mycket litet till flera tiotal liter per sekund, och att det plötsligt kan slå upp mer eller mindre långlivade källor med stora flöden där det tidigare inte funnits någon.

Det totala källflödet från Röcklingemagasinet och Flostaåsen kan därför antas variera ganska mycket med tiden. Ett genomsnittligt flöde kan bedömas vara ca 80–90 l/s. Detta innefattar även tillskottet på 1–3 l/s från den mindre biås, som ansluter till Röcklingemagasinet vid Ål (fig. 73).

Som ovan nämnts ingår egentligen hela avsnittet från grundvattendelaren ca 2,5 km norr om Heby centrum och till Flosta källor i detta grundvattenmagasin. Det betyder att den totala grundvattentillgången, inklusive det som tas ut ur de kommunala vattentäkterna i Heby (ca 20 l/s) är av storleksordningen 100 till 110 l/s.

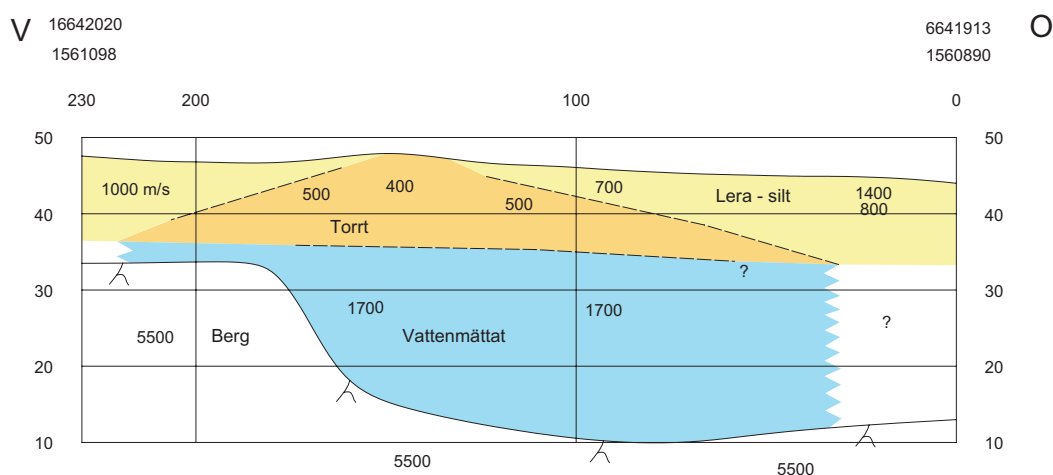


Fig. 77. Seismisk profil S2-99 över Örsundaåns dalgång vid Sörby, 5,5 km söder om Heby. Här är grundvattenmagasinet ca 25 m mäktigt. Det avgränsas i väster av en markant bergklack.

GRUNDTVATNETS KEMI

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 nedsipprande vattnet byts ut mot joner som är bundna till markpartiklar, jonbyte, och genom sönderdelning av mineral, vittring. Jonbytesprocessen är speciellt intensiv när vattnet är i kontakt med organiskt material och lerpartiklar som har stor kontaktyta. Intensiteten av vittringen är beroende av mineralens vittringsbenägenhet och kontaktytan mellan vatten och mineral. I grova jordar som grus, sand och grovkorniga moräner är vittringsintensiteten låg, medan den är hög i finkorniga jordar, som t.ex. lera och lerig morän. Vittringen ”drivs” under naturliga förutsättningar av humussyror och kolsyra som bildas genom nedbrytning av växtrester. Genom förbränningen av fossila bränslen har nederbörden tillförts svavelsyra, som bidrar till ökad sulfathalt och tillskott av vätejoner som bidrar till ökad vittring.

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

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

Grundvattnets surhet, vätejonkoncentrationen, anges som pH. Låga pH-värden kan bero på effekter av den sura nederbörden, men kan också ha naturliga orsaker. Ett ytligt grundvatten som är naturligt surt p.g.a. hög halt humussyror och/eller högt koldioxidtryck, kanske aldrig hinner neutraliseras under sin uppehållstid i det grundvattenförande lagret. Vätejoner förbrukas vid vittringen varvid pH ökar. Vatten från grävda brunnar har i allmänhet lägre pH-värde (är surare) än vatten från borrade brunnar.

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 i såväl berggrund som i jordlager.

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

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

Grundvattnets kemi i Heby kommun

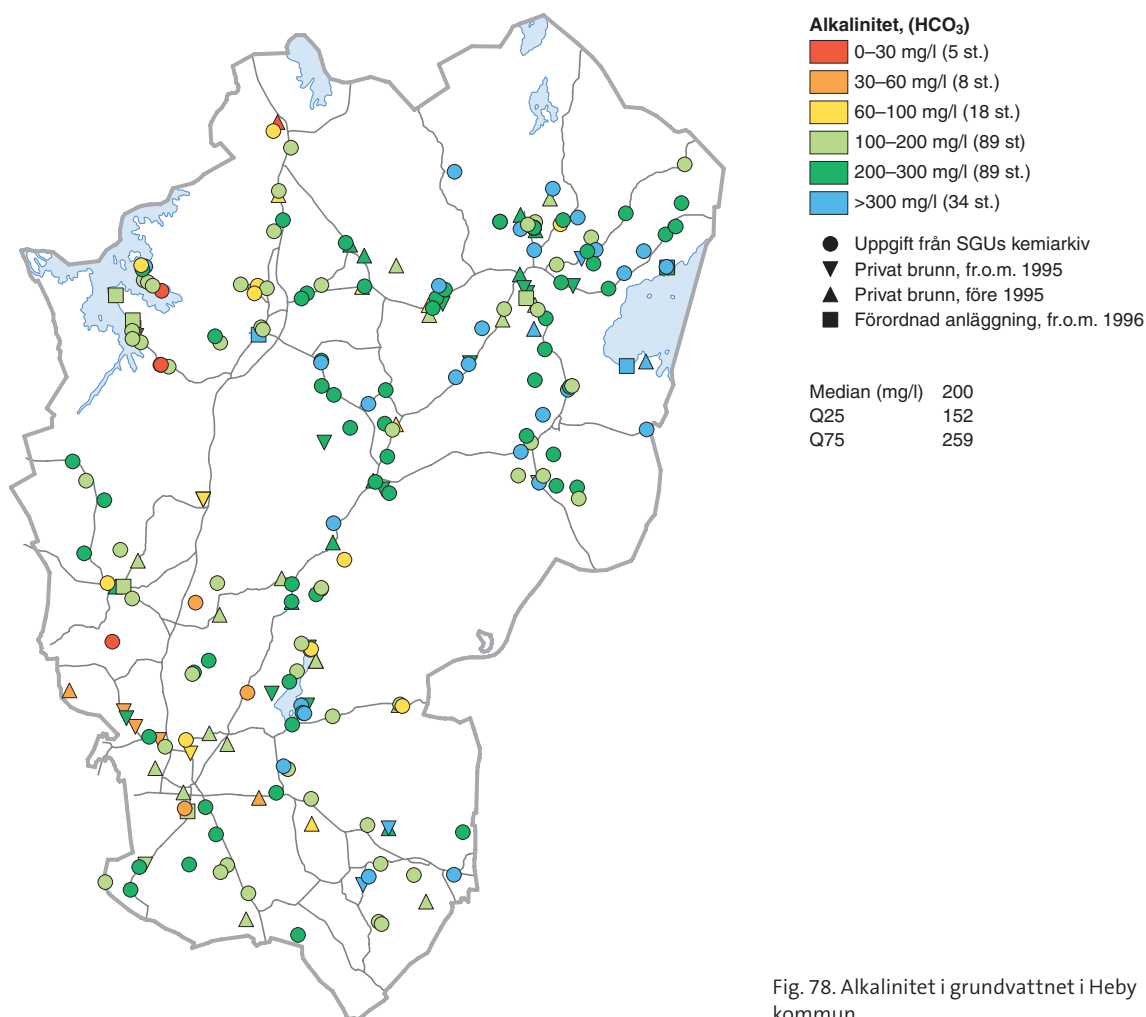
Kartorna över olika kemiska parametrar, som visas i figurerna 78–99, är sammanställda av data från arkiv på SGU och i Heby kommun. Antalet kemiska analyser som kartorna grundar sig på är något olika för olika ämnen, vilket beror på att de samlats in i olika sammanhang. På olika analysföretag finns resultat från betydligt fler analyser, men dessa är på grund av rådande bestämmelser tyvärr inte tillgängliga.

Kartorna som visas med heltäckande färg (fig. 81, 83, 86 och 93) är framställda med hjälp av linjär interpolation. Detta medför att man kan se om speciellt höga eller låga värden är koncentrerade till ett visst område. Interpoleringsmetoden tar inte hänsyn till om data är riktningberoende. I områden där brunnar saknas eller där det endast finns enstaka brunnar är kartbilderna naturligtvis mycket osäkra.

Alkalinitet

Alkaliniteten i grundvattnet är jämförelsevis hög. Den samvarierar ofta med totalhårdheten vilket framgår särskilt väl i Östervålatrakten. Låga värden uppträder företrädesvis i kommunens västra delar.

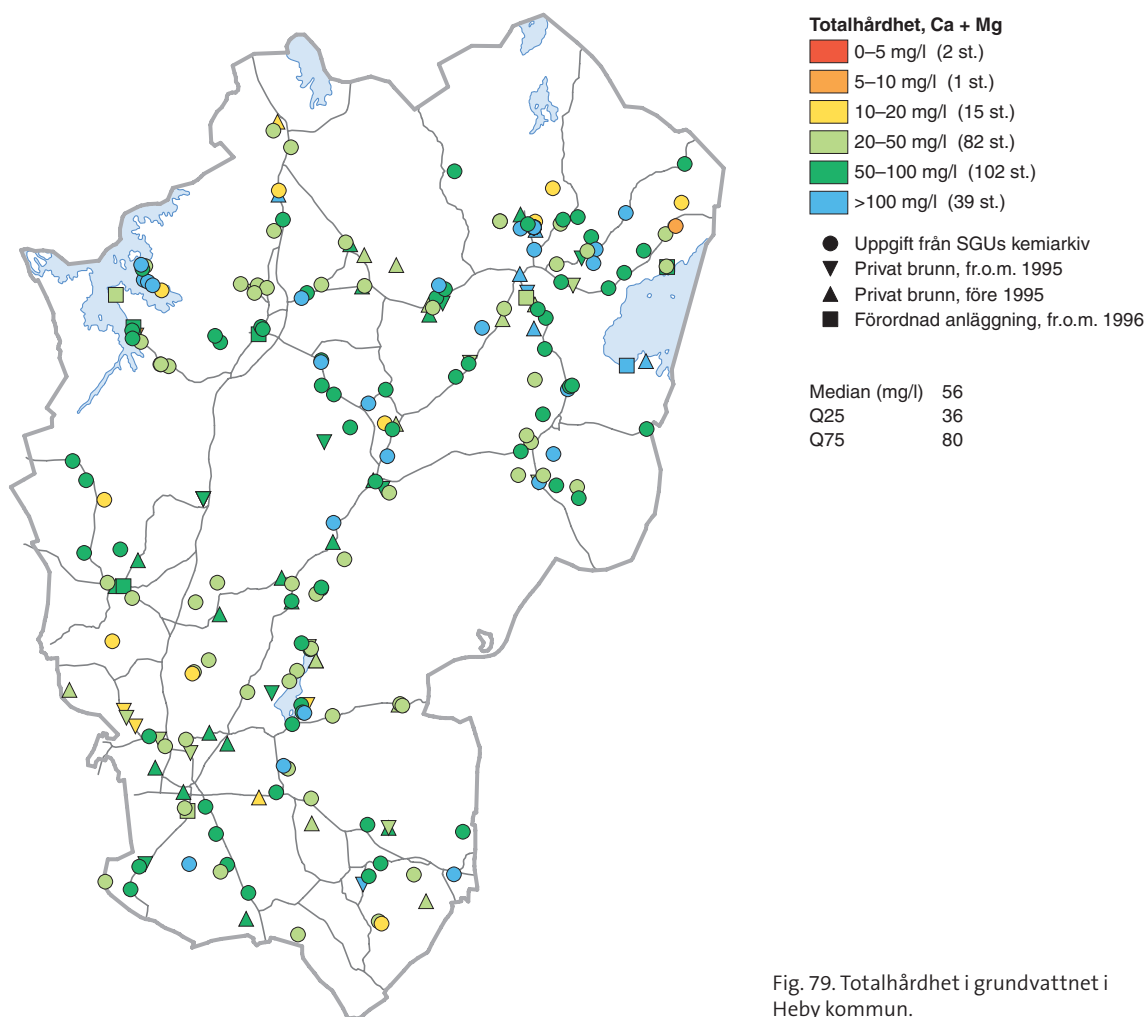
Riktvärde är 60 mg/l HCO_3 (t). Halter över 60 mg/l minskar risken för korrosionsangrepp i en distributionsanläggning. Halter lägre än 30 mg/l i ett naturligt grundvatten eller i behandlat dricksvatten ökar risken för korrosion.



Totalhårdhet

Grundvatten med "normal" totalhårdhet är vanligt i merparten av kommunen. En viss tendens till högre totalhårdhet föreligger emellertid i trakten kring Östervåla. Inflytandet av kalksten och andra förhållandevis kalkrika bergarter, kan bidra till att totalhårddheten kan vara relativt hög i vissa områden.

Gränsvärde för både A- och E-vatten är 14 dH vilket motsvarar ca 100 mg/l (t). Högre värden medför risk för utfällningar i ledningar osv., särskilt vid uppvärmning. Skador kan uppstå på textilier vid tvätt. Om ett naturligt grundvatten eller ett behandlat dricksvatten har en halt understigande 20 mg/l ökar risken för korrosionsangrepp.



Surhet

pH-värdena i grundvattnet är i allmänhet högre än i de flesta områden i Sverige. Det beror sannolikt på förekomsten av bergarter med viss vittringsbenägenhet (kalkhaltiga). Några större problem med surt brunnsvatten torde inte förekomma. Figur 81 visar interpolerade värden över hela kommunen.

Gränsvärde för A-vatten är <7,5 (t). För E-vatten finns inget gränsvärde angivet. Lågt pH kan orsaka korrosionsskador. pH>9,0 (t) kan också ge olägenheter från korrosionssynpunkt. Smakproblem och utfällningar kan också förekomma. Vatten med pH>10,5 (h) kan inte användas som dricksvatten, för livsmedelshantering eller för personlig hygien.

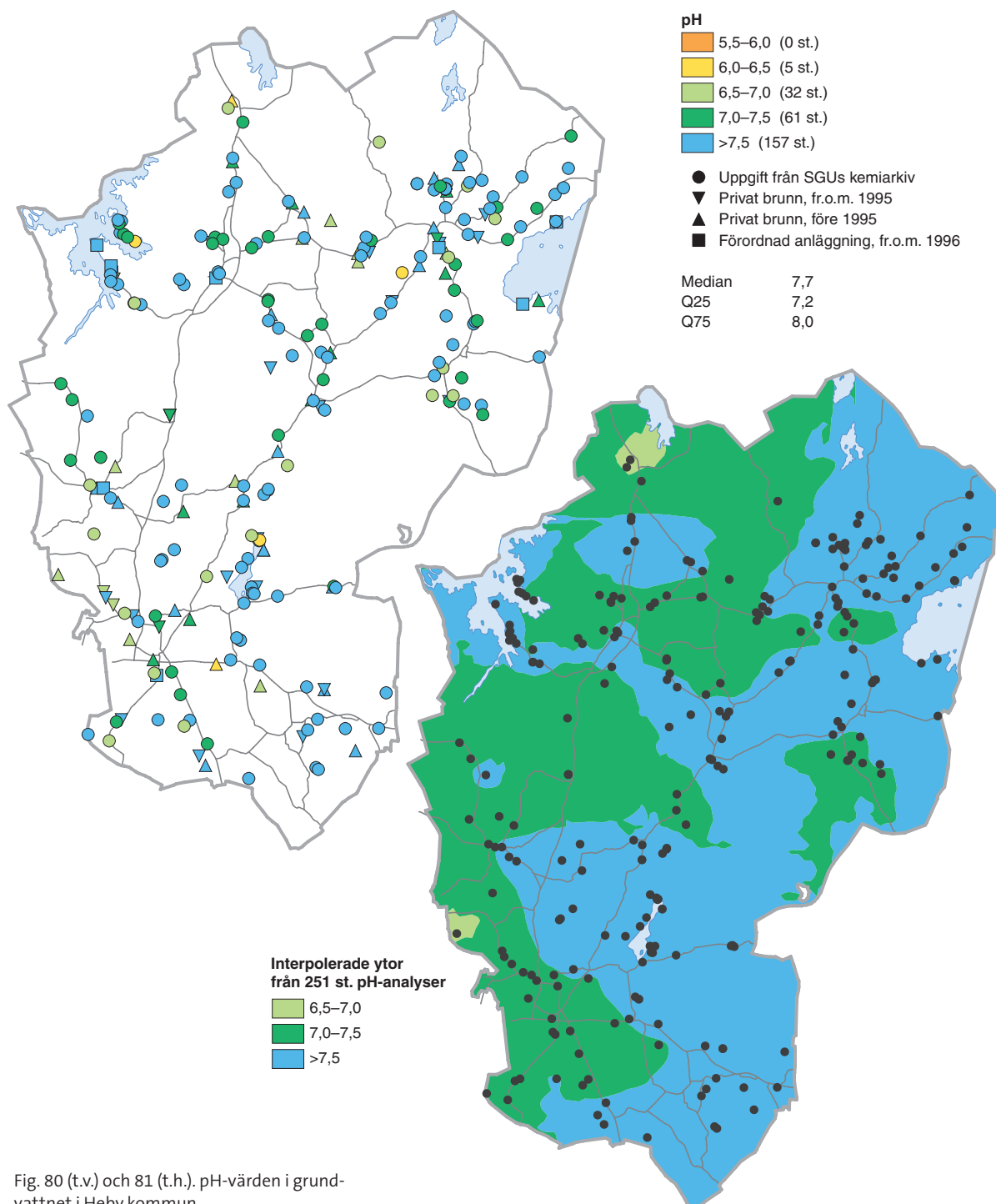


Fig. 80 (t.v.) och 81 (t.h.). pH-värden i grundvattnet i Heby kommun.

Fluorid

Fluoridhalten i brunnarna ligger mestadels på den höga sidan. Detta är inte direkt ovanligt i bergborrade brunnar i landet men några brunnar med halter över tjänlighetsgränsen 6 mg/l har inte påträffats. Figur 83 visar interpolerade värden över hela kommunen.

Fluoridhalter under 0,8 mg/l ger endast ett begränsat skydd mot karies. Som gränsvärde för både A- och E-vatten gäller 1,3 mg/l (h). Vid denna halt kan tandemaljfläckar uppstå. Vid halten 6,0 mg/l är vattnet otjänligt och bör ej användas till dryck och matlagning. Risk finns för osteofluoros (fluorinlagring i benvävnad) över denna halt. Höga fluoridhalter är vanligast i vatten från bergborrade brunnar belägna i berggrund rik på flusspat.

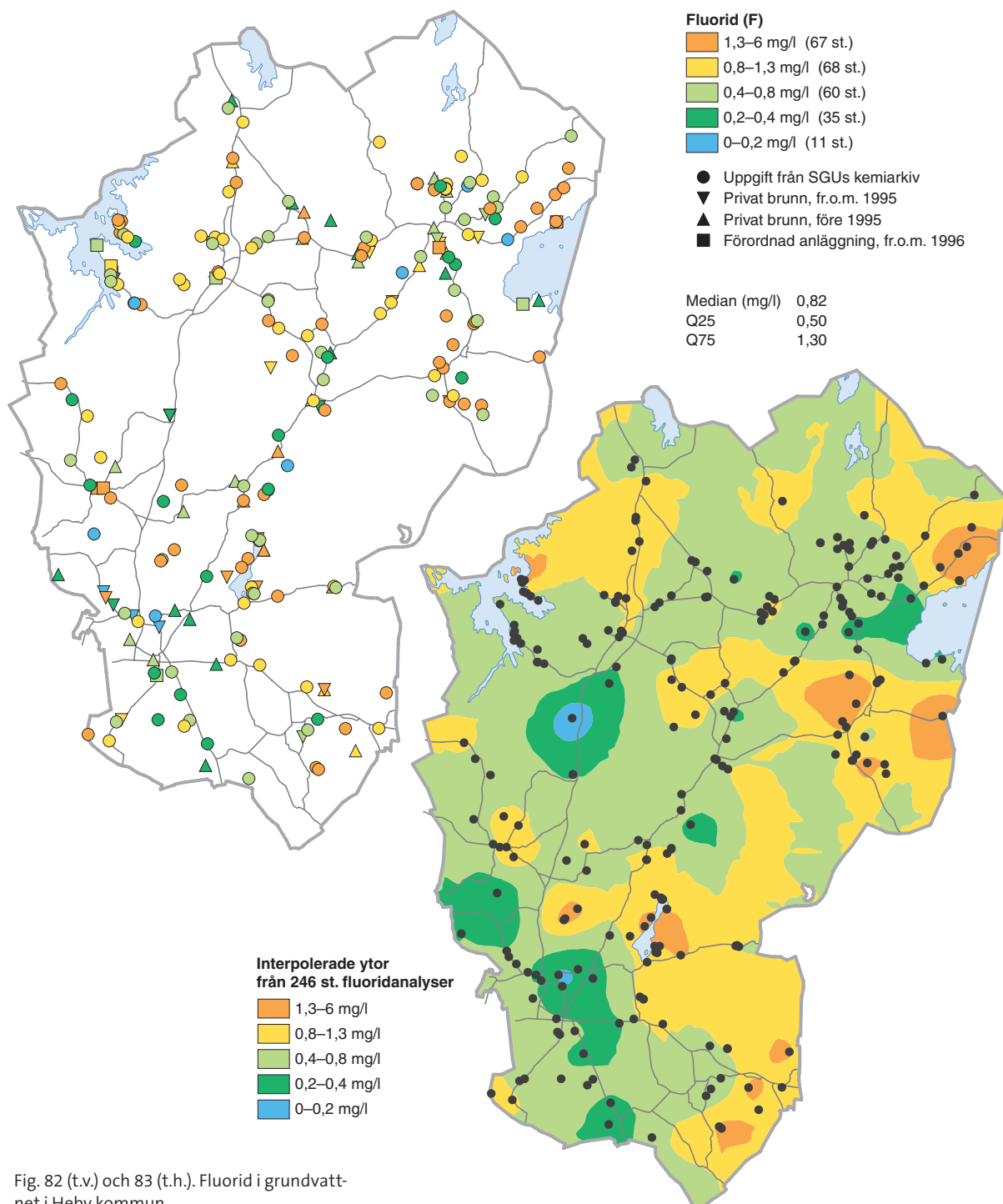


Fig. 82 (t.v.) och 83 (t.h.). Fluorid i grundvattnet i Heby kommun.

Konduktivitet

Konduktivitet är ett mått på vattnets totala salthalt. Den samvarierar vanligen med klorid, som är den jon som oftast förekommer i större mängder. Där de högsta kloridhalterna förekommer är konduktiviteten vanligtvis också hög.

Konduktiviteten anger vattnets totala ledningsförmåga. Riktvärde är 40 mS/m. Mycket höga värden är ofta förknippade med höga klorid och natriumhalter. Orsaker är vanligen påverkan av relik salt vatten alternativt påverkan av vägsalt.

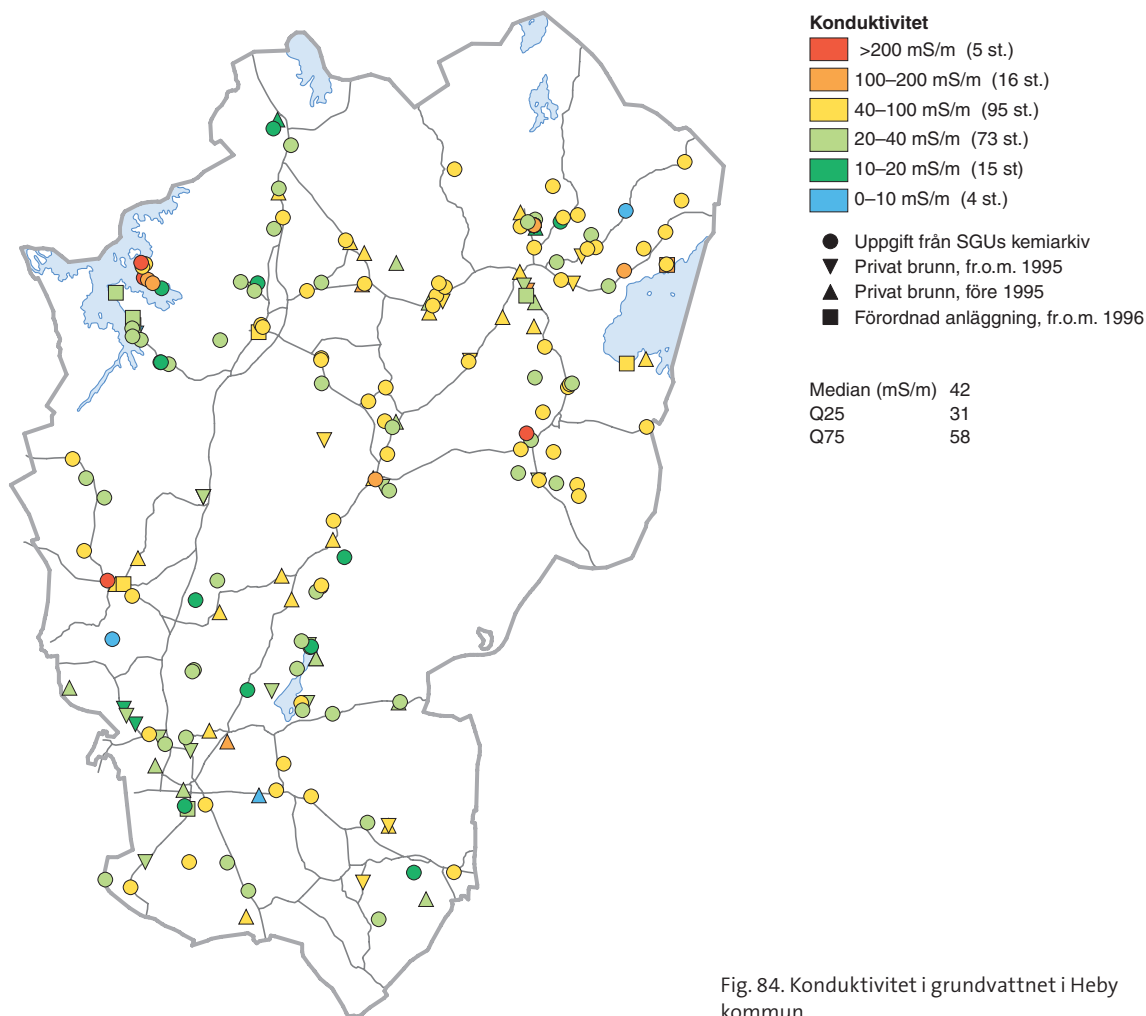


Fig. 84. Konduktivitet i grundvattnet i Heby kommun.

Klorid

Kloridhalten i grundvattnet i Heby kommun ligger på 5–10 mg/l om det inte är påverkat av några förhöjande faktorer som t.ex., vägsalt, avlopp eller liknande eller relik salt grundvatten, dvs. gammalt vatten från den tiden området låg täckt av hav, för ca 5 000 år sedan, och som nu kan finnas kvar på djupet i berggrunden. Förhöjda halter har påvisats från saltning av väg 67, se avsnittet ”Vägsalt i kommunens största grundmagasin”. Väster om Tärnsjö framträder ett område tydligt

på figur 83, vilket är påverkat av relik salt grundvatten. Där har så höga halter som 1 600 mg/l påträffats på ca 100 m djup. Figur 86 visar interpolerade värden över hela kommunen.

Två gränsvärden finns som är samma för både A- och E-vatten. Halter över 100 mg/l (t) indikerar i brunnsvatten påverkan från relik saltvatten, bildat under perioder efter den senaste istiden, då delar av nuvarande landytor var täckta av hav. Orsakas i kustnära områden även av inträngning av nutida havsvatten. Föroreningar kan ge ökad kloridhalt i grundvattnet. Halter över 100 mg/l kan påskynda korrosionsangrepp. Vid halten 300 mg/l (e, t) finns risk för smakerändringar.

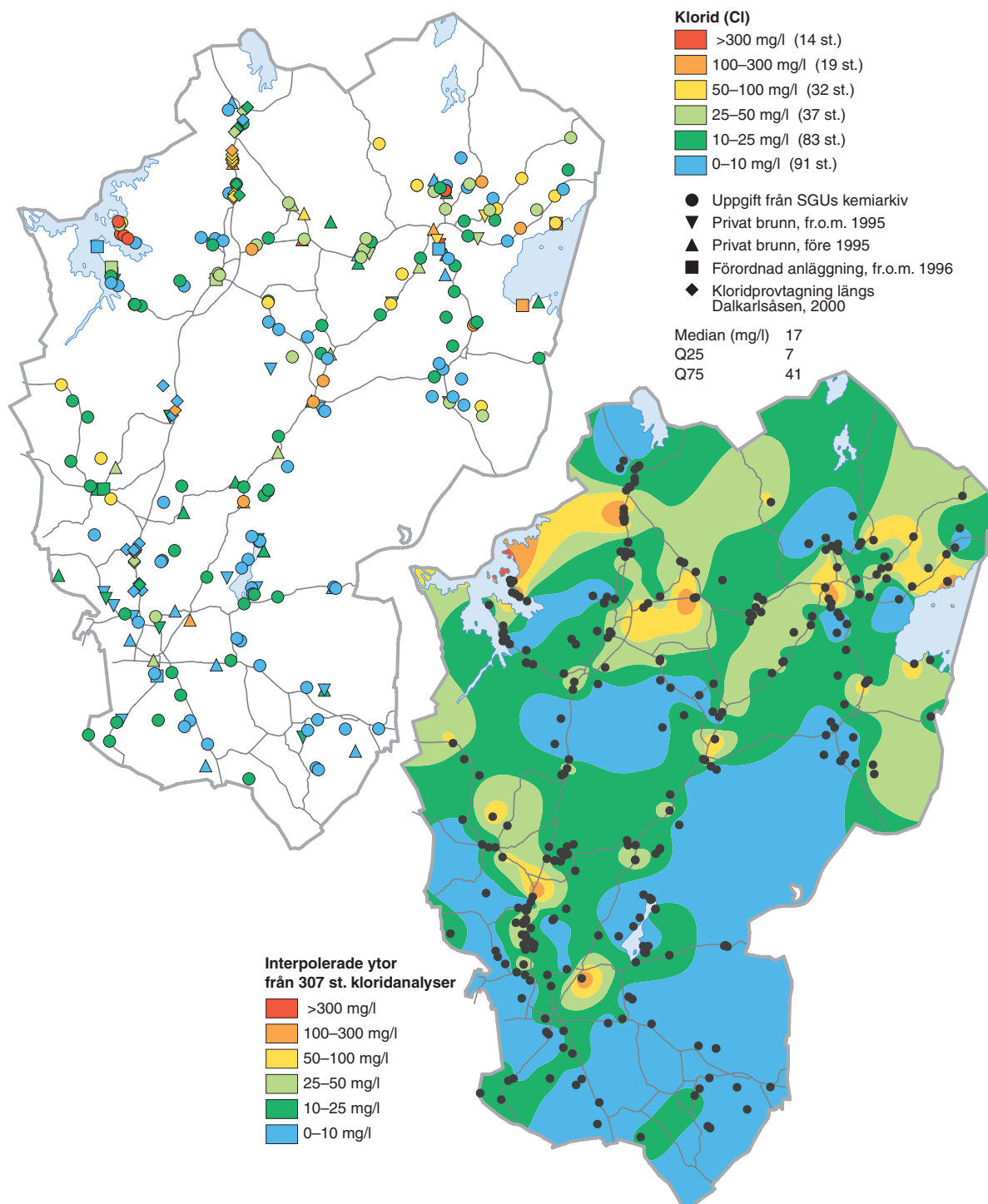
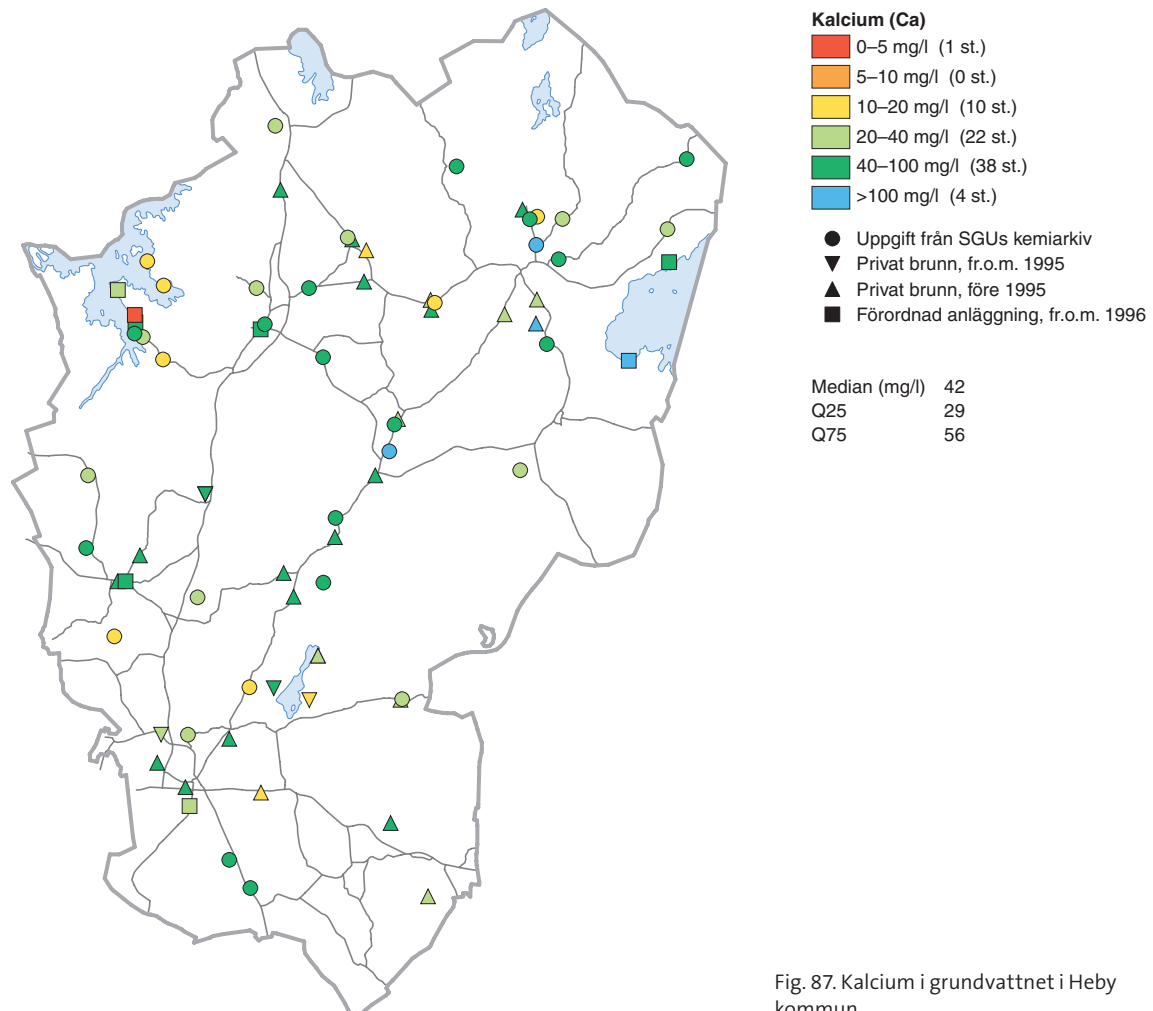


Fig. 85 (t.v.) och 86 (t.h.). Klorid i grundvattnet i Heby kommun.

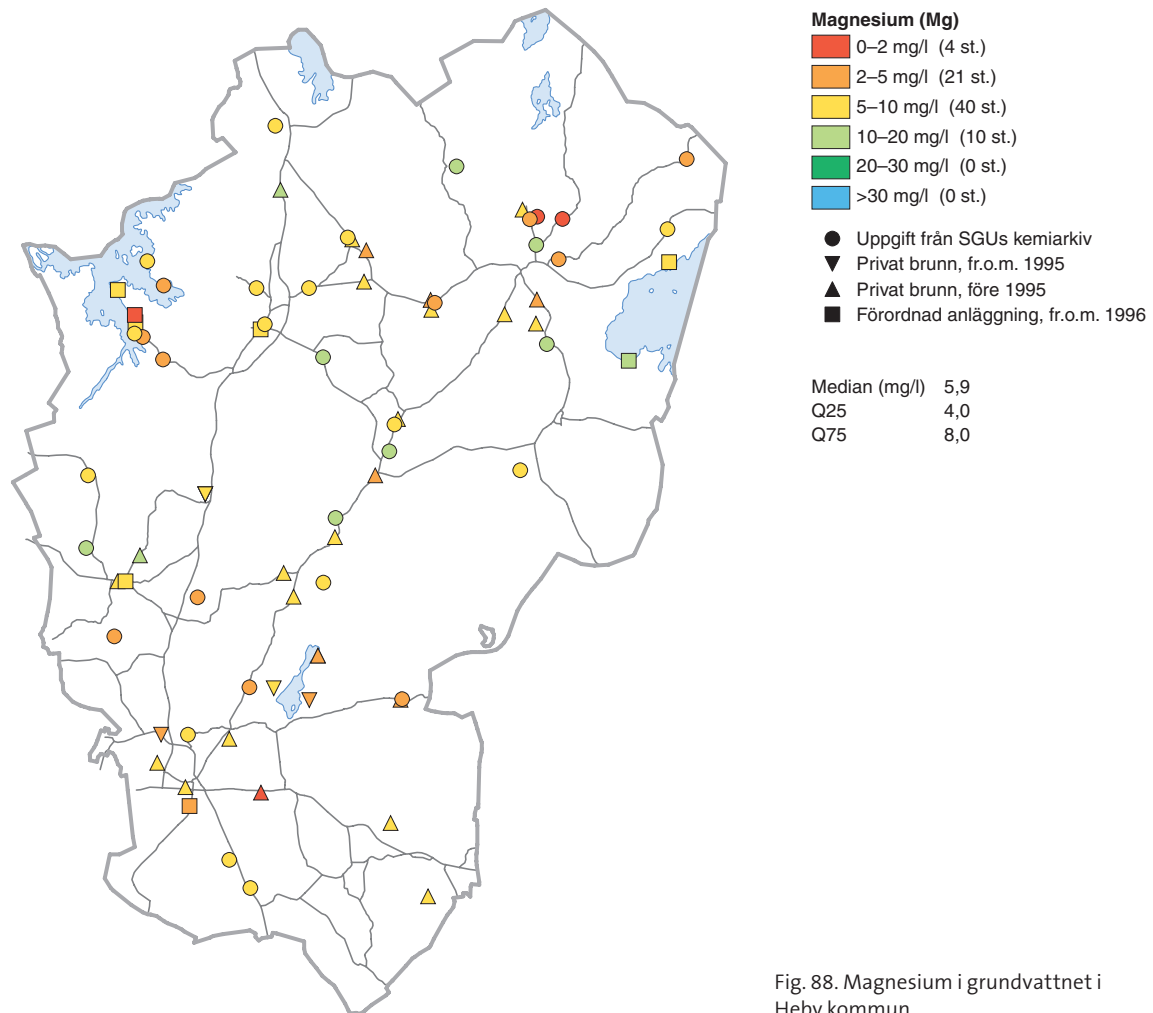
Kalcium

Se också avsnittet om totalhårdhet. Hög totalhårdhet beror i detta område på hög kalciumhalt. Kalciumhalterna ska helst vara i intervallet 20–60 mg/l. Gränsvärde för A-vatten är 100 mg/l (t). För E-vatten finns inget gränsvärde angivet. Inom det önskvärda intervallet 20–60 mg/l är korrosionsrisken minst i en distributionsanläggning. Vid halter högre än 100 mg/l finns risk för utfällningar och tvättskador.



Magnesium

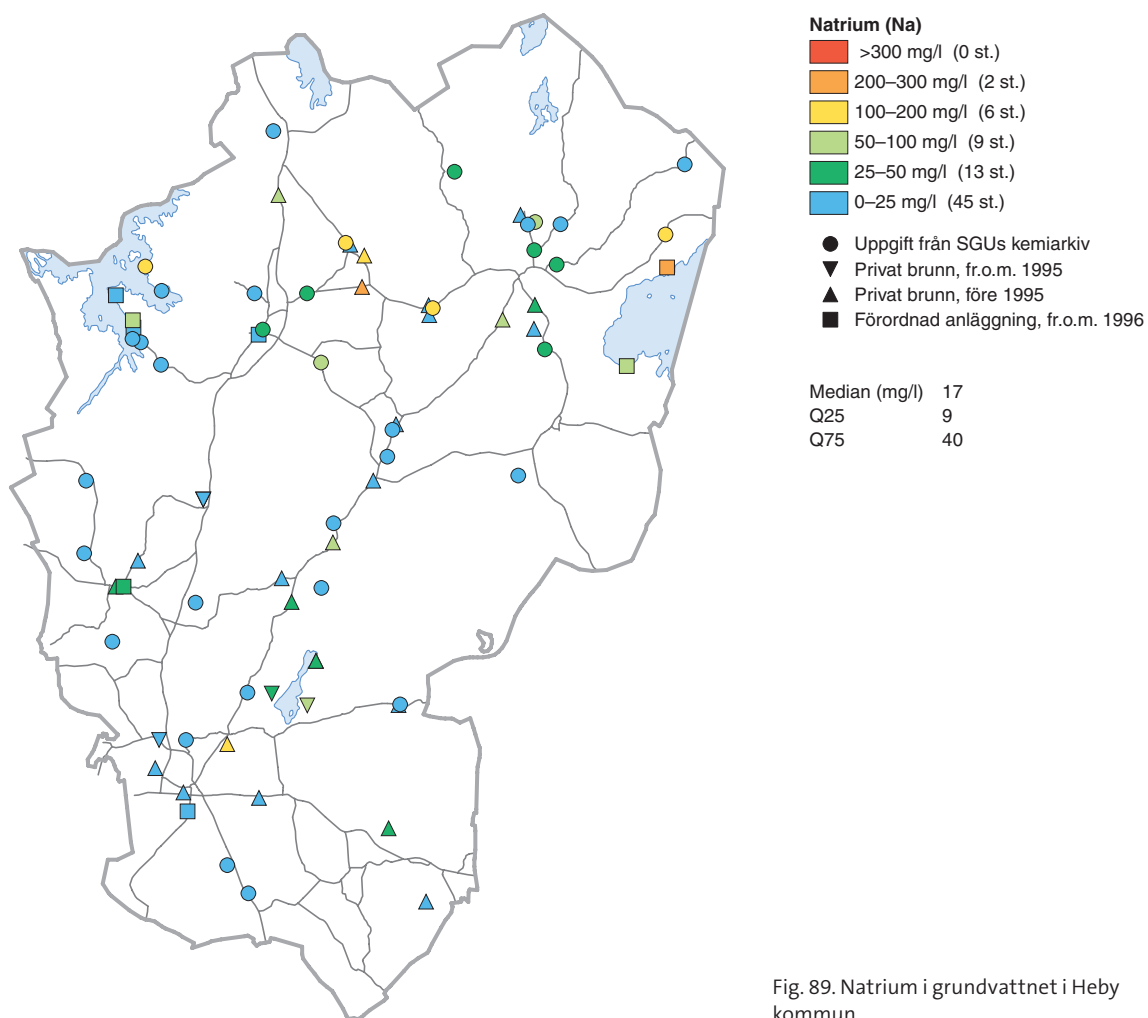
Se också avsnittet om totalhårdhet. Hög totalhårdhet beror i detta område på hög kalciumhalt. Gränsvärde för magnesiumhalten för såväl A- som E-vatten är 30 mg/l (e). Vid högre halter finns risk för smakförändringar hos vattnet.



Natrium

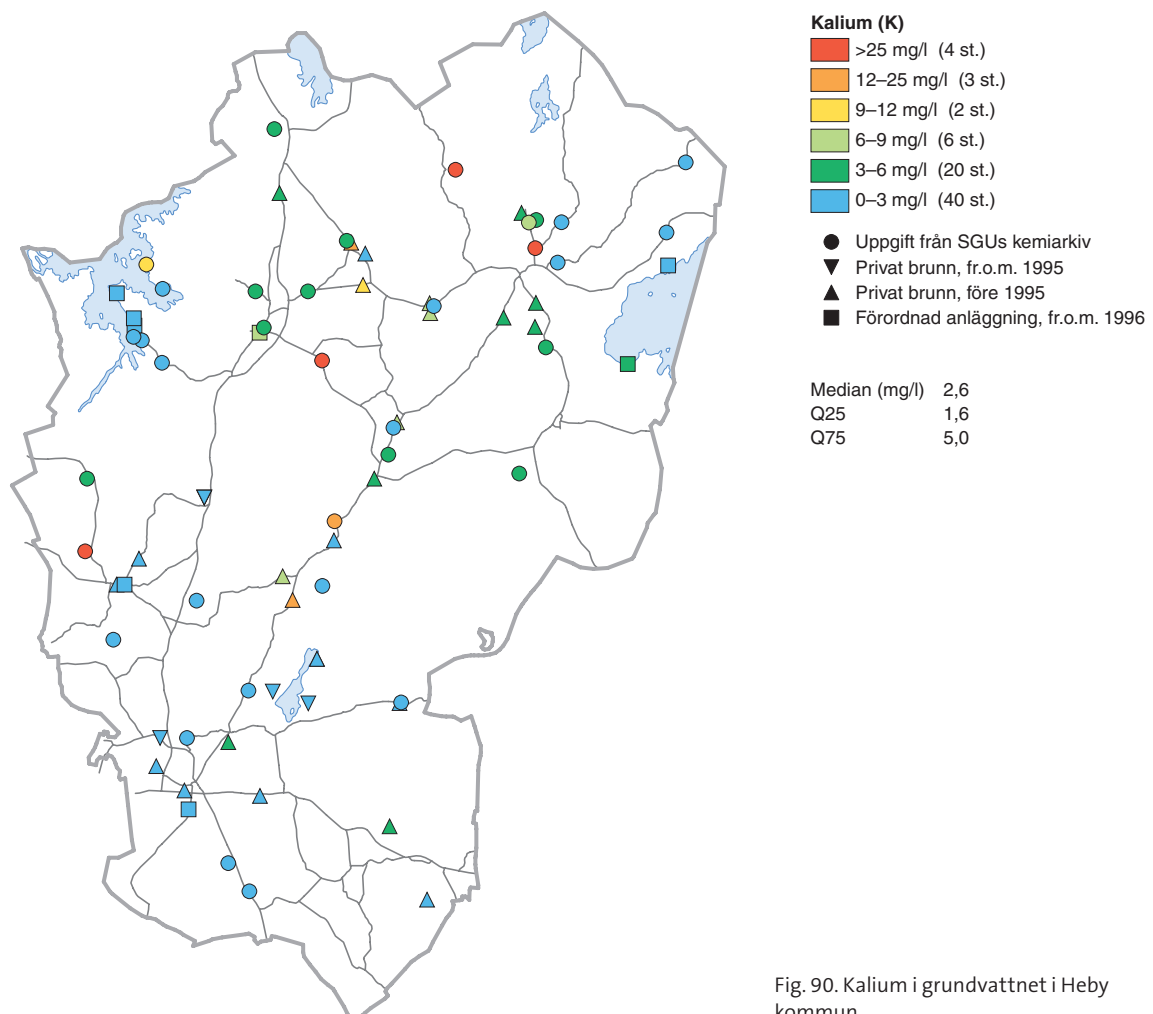
Höga halter förekommer i första hand i ett öst-västligt område mellan Tämnaaren och Dalälven och hör samman med höga kloridhalter från relik salt grundvatten i detta område. Vid provtagningen av brunnar längs väg 67 analyserades endast klorid. I annat fall hade man sannolikt även där sett höga natriumvärden.

Ett lägsta gränsvärde för både A- och E-vatten är 100 mg/l (t). Halter däröver kan indikera påverkan från relik saltvatten, kvar sedan perioder efter den senaste istiden, då delar av den nuvarande landytan var täckt av hav. Höga halter kan även bero på inträngning av nutida havsvatten. Ett högre gränsvärde är satt till 200 mg/l (e, t). Halter däröver medför risk för smakförändringar hos dricksvattnet.



Kalium

Det fåtal höga värden som framkommit kan bero på någon lokal förorening. Gränsvärde för både A- och E-vatten är 12 mg/l (t). Halter över gränsvärdet kan indikera påverkan från förorening eller också ha naturliga, geologiska orsaker.



Järn

Järnhalterna varierar mycket. Detta är en vanlig företeelse och det är svårt att identifiera områden med generellt höga eller generellt låga halter. Järnhalten kan också vara mycket olika även mellan platser på mycket små avstånd från varandra. Sålunda har vi på flera ställen uppmätt järnhalter som varierat mellan ca 0,5 och 2 mg/l, i vissa fall t.o.m. över 5 mg/l, på avstånd av bara några meter från varandra i sand- och grusavlagringar. Intressant att notera är dock att det inte vid någon av de stora källorna (Åsbo, Ulebo, Ingbo eller Flosta) förekommer några mer omfattande järnutfällningar.

Riktvärde i vattenverk är 0,05 mg/l. Ett lägsta gränsvärde för A-vatten är 0,10 mg/l (t), då risk för slambildning i en distributionsanläggning kan förekomma. Vid tappställe efter en stunds spolning finns två gränsvärdesnivåer. På den lägsta av dessa är gränsvärdet för A-vatten 0,20 mg/l (e, t) och för E-vatten 0,50 mg/l (e, t). Dessa och högre halter medför risk för utfällningar, missfärgning och smak. Tvättgods kan skadas. På den högre nivån är gränsvärdet för både A- och E-vatten 1,0 mg/l (e, t). Olägenheter är desamma som ovan angivna.

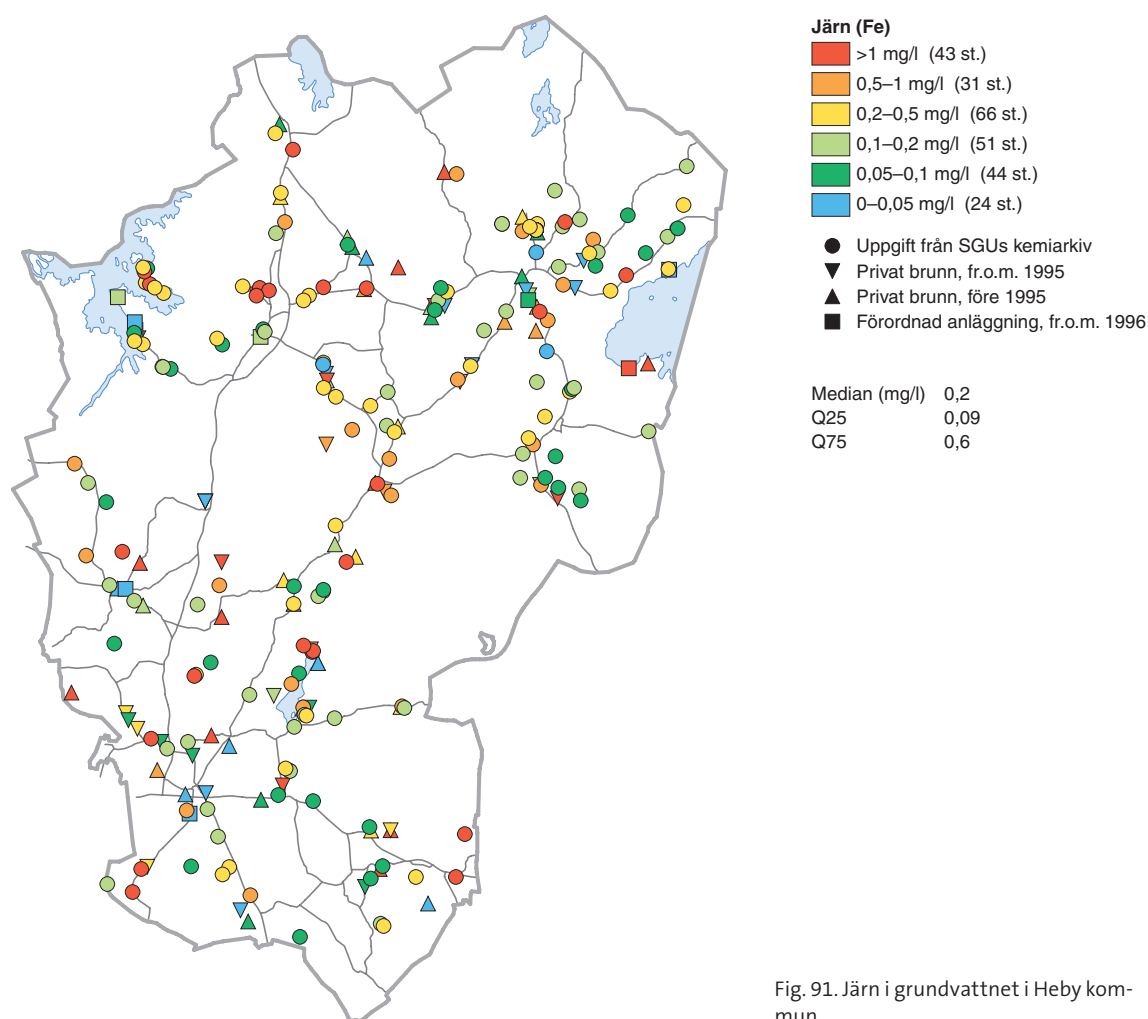


Fig. 91. Järn i grundvattnet i Heby kommun.

Sulfat

Endast ett fåtal brunnar har höga sulfathalter. Detta beror sannolikt på avsaknaden av sulfidhaltiga bergarter och sulfidhaltiga leror. Sulfathalterna är på det hela taget låga eller måttliga inom kommunen. Figur 93 visar interpolerade värden över hela kommunen.

Två gränsvärden finns som är samma för både A- och E-vatten. Vid halter över gränsvärdet 100 mg/l (t) kan korrosionsangrepp påskyndas. Överstigs gränsvärdet 200 mg/l (h, e, t) finns risk för smakerändringar. Dricksvattnet kan då också ge övergående diarré hos känsliga barn. Höga halter kan bero på frigörelse av svavel i organiska jordar eller vittring av svavelrika kismineral. Svavelnedfall bidrar till högre sulfathalter i grundvattnet.

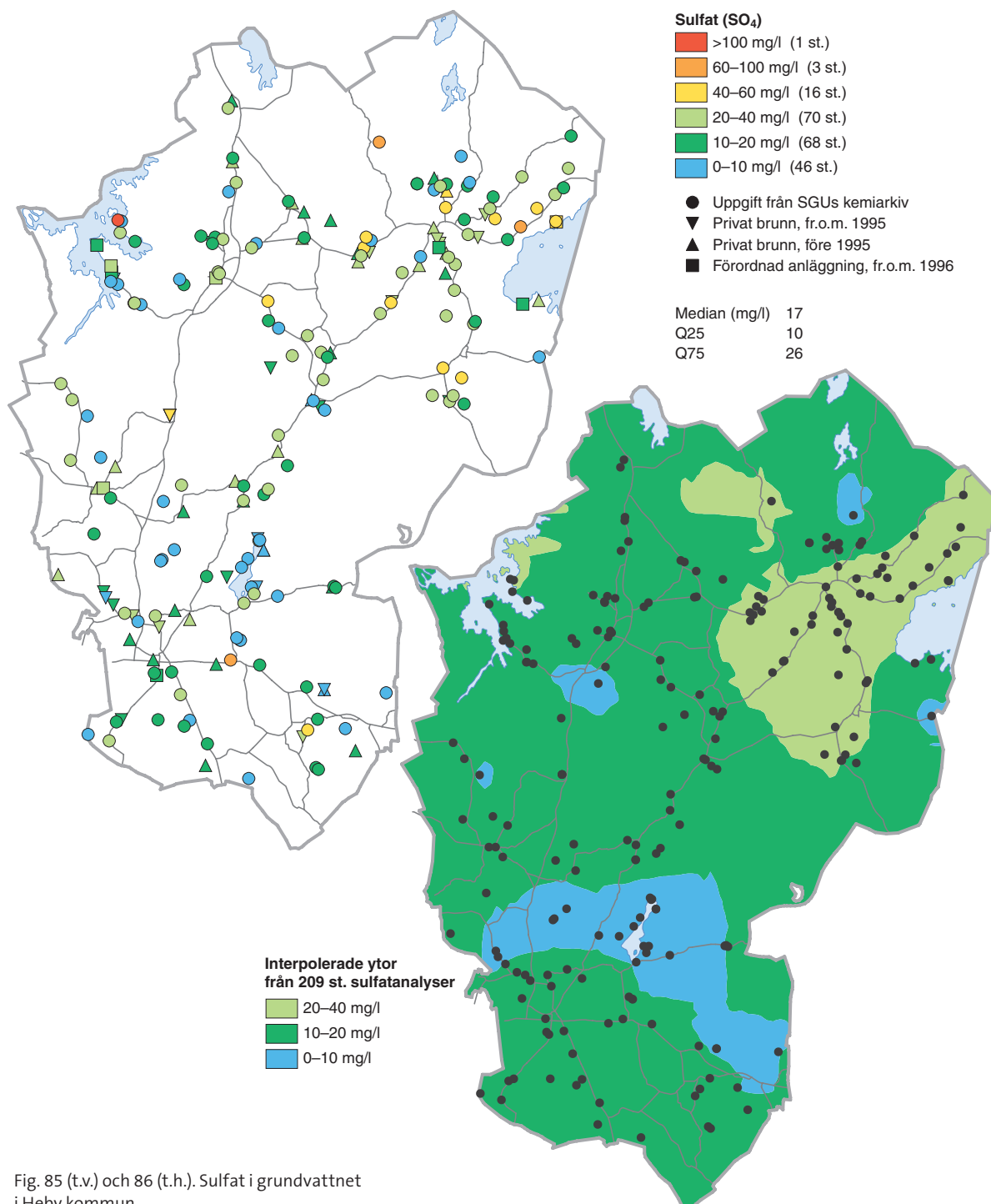
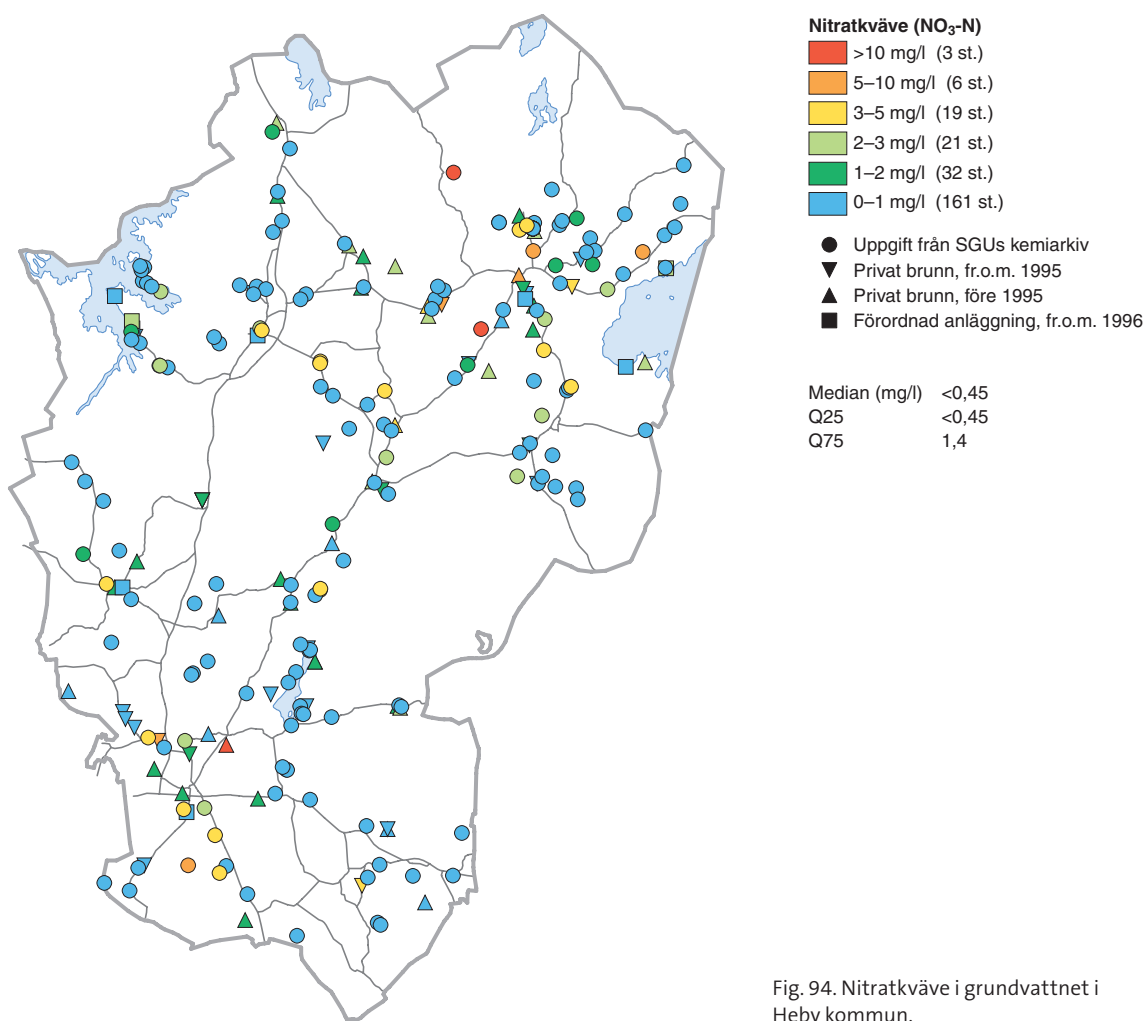


Fig. 85 (t.v.) och 86 (t.h.). Sulfat i grundvattnet i Heby kommun.

Nitrat, nitrit, ammonium och fosfat

Det djupa grundvattnet i berggrunden är oftast mindre sårbart och vattnet i bergbrunnar har vanligen lägre halter än vattnet i jordbrunnar. Höga halter brukar sammanfalla med områden som utgör jordbruksmark som gödslas. Höga halter kan emellertid orsakas av påverkan från avlopp och liknande. Endast ett fåtal brunnar i kommunen har problem med höga halter. De flesta av dessa i Östervålatrakten.

Riktvärde för nitratkväve är 1,0 mg/l. Gränsvärde för både A- och E-vatten är 5,0 mg/l (t). Halter därutöver indikerar påverkan från avlopp, gödsling och andra föroreningskällor. Det finns även ett högre gränsvärde på 10,0 mg/l (h, t). Vatten med denna eller högre halt bör ej ges till barn under ett års ålder. Risk finns för försämrade syreupptagning i blodet.



Gränsvärde för nitritkväve för både A- och E-vatten är 0,005 mg/l (t). Förekomst kan indikera påverkan från förorening men kan också ha mer eller mindre naturliga orsaker, t.ex. ammonium-oxidation i filter och ledningar. Ett hälsomässigt gränsvärde är satt vid 0,050 mg/l (h, t). Vattnet bör ej ges till barn under ett års ålder. Risk finns för försämrade syreupptagning i blodet. Vatten med halt över 0,30 mg/l (h) bör ej användas till dryck eller livsmedelshandling.

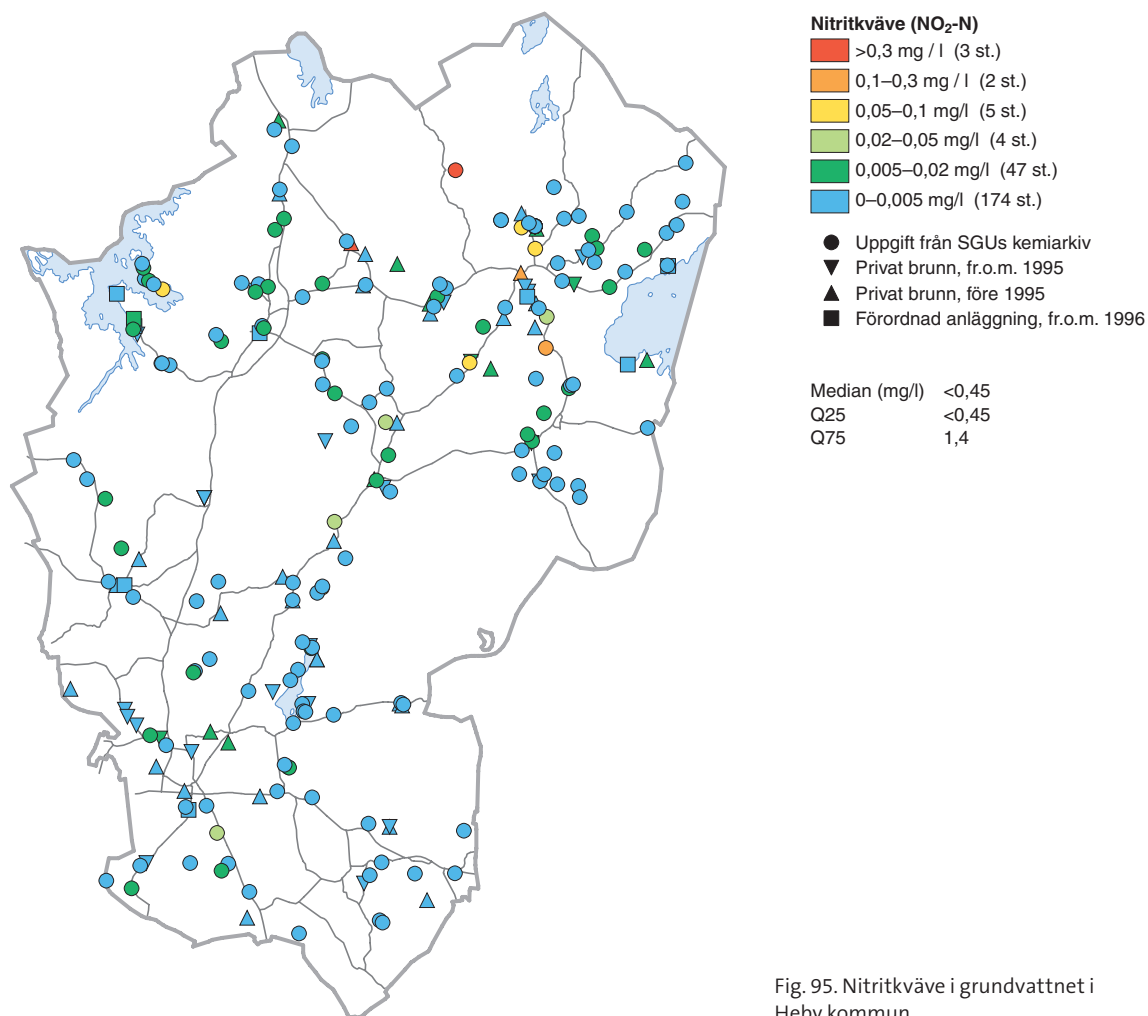


Fig. 95. Nitritkväve i grundvattnet i Heby kommun.

Riktvärde för ammonium är 0,05 mg/l. Gränsvärde för både A- och E-vatten är 0,4 mg/l (t). Denna och högre halter kan indikera påverkan från avlopp eller liknande. Höga ammoniumhalter kan även förekomma i samband med höga järn- och humushalter. Vid ett högre gränsvärde på 1,0 mg/l (h, t) finns risk för kraftig nitritbildning.

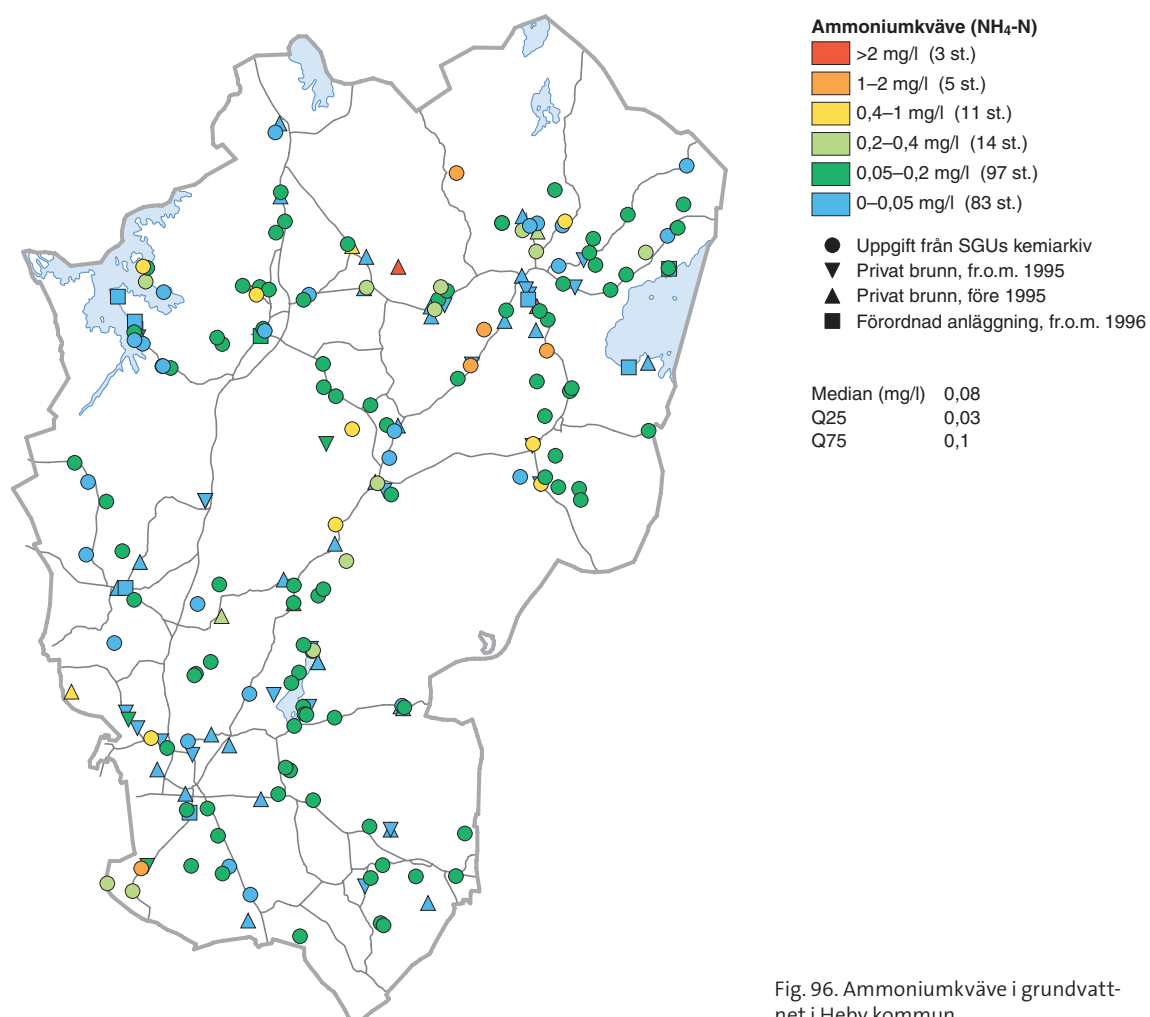


Fig. 96. Ammoniumkväve i grundvatt-
net i Heby kommun.

Gränsvärde för fosfat för A-vatten är 0,20 mg/l (t). Halter över gränsvärdet kan indikera påverkan från avlopp, gödsling och andra föroreningskällor. Höga halter kan även ha naturligt, geologiskt ursprung, genom vittring av fosformineral.

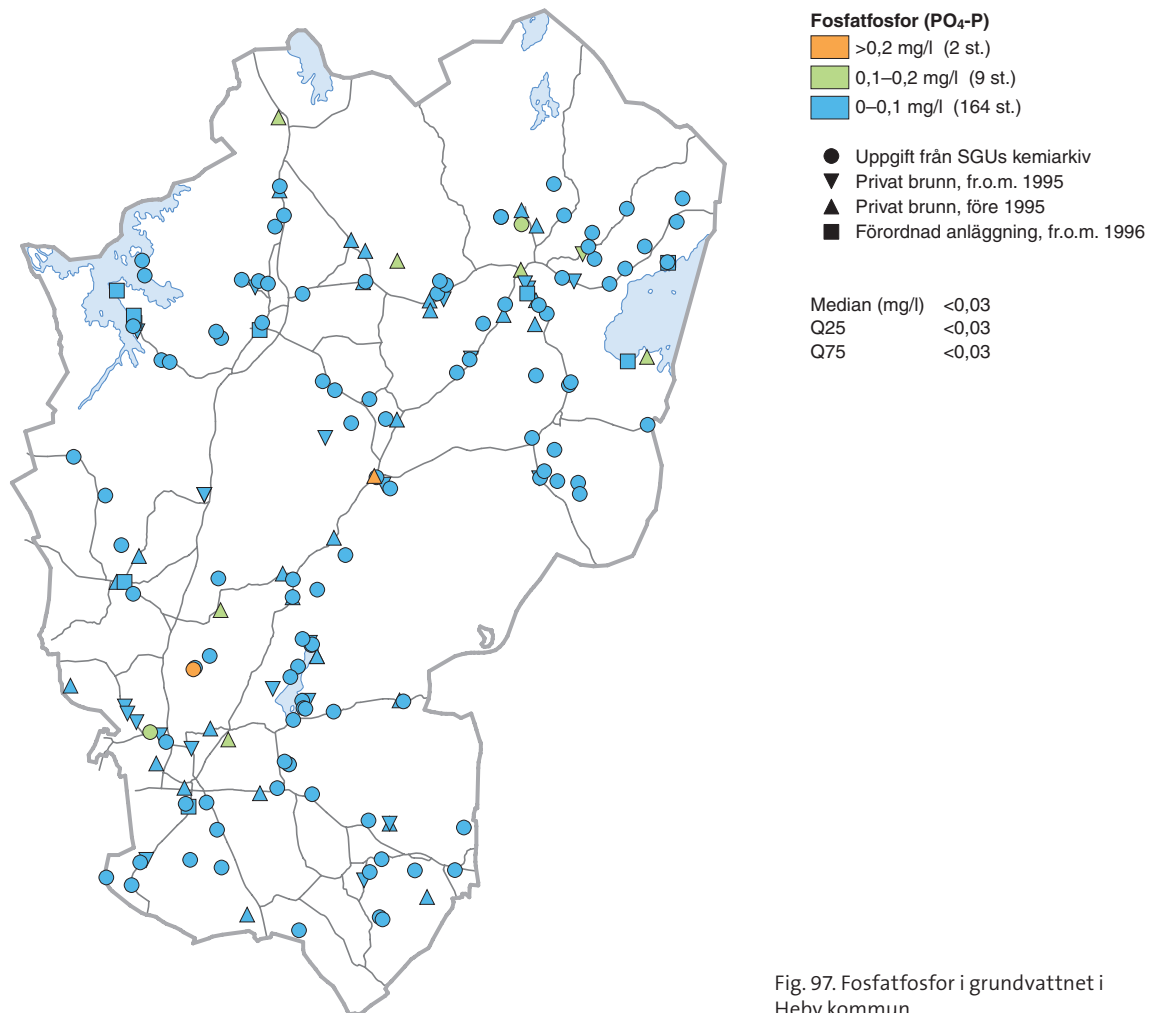


Fig. 97. Fosfatfosfor i grundvattnet i Heby kommun.

Aluminium

Riktvärde för aluminium är 0,05 mg/l för A-vatten. Gränsvärdet för att vatten ska klassas som tjänligt med anmärkning är 0,10 mg/l (t) och för E-vatten 0,50 mg/l (t). Vid höga aluminiumhalter kan slambildning uppkomma i distributionsanläggningar. Aluminiumutlösning från marken sker där grundvatten med lågt pH (<5,5) förekommer.

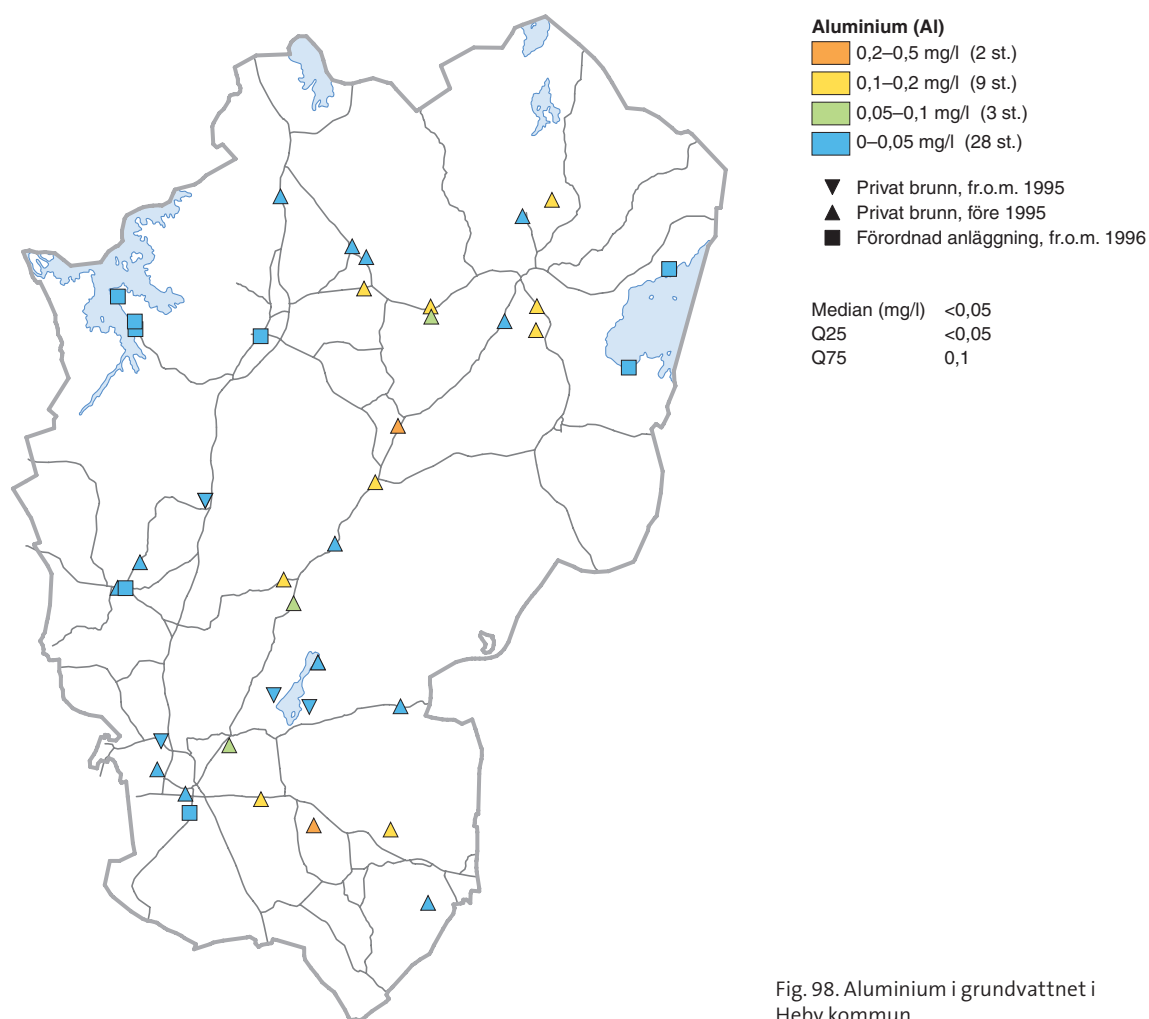
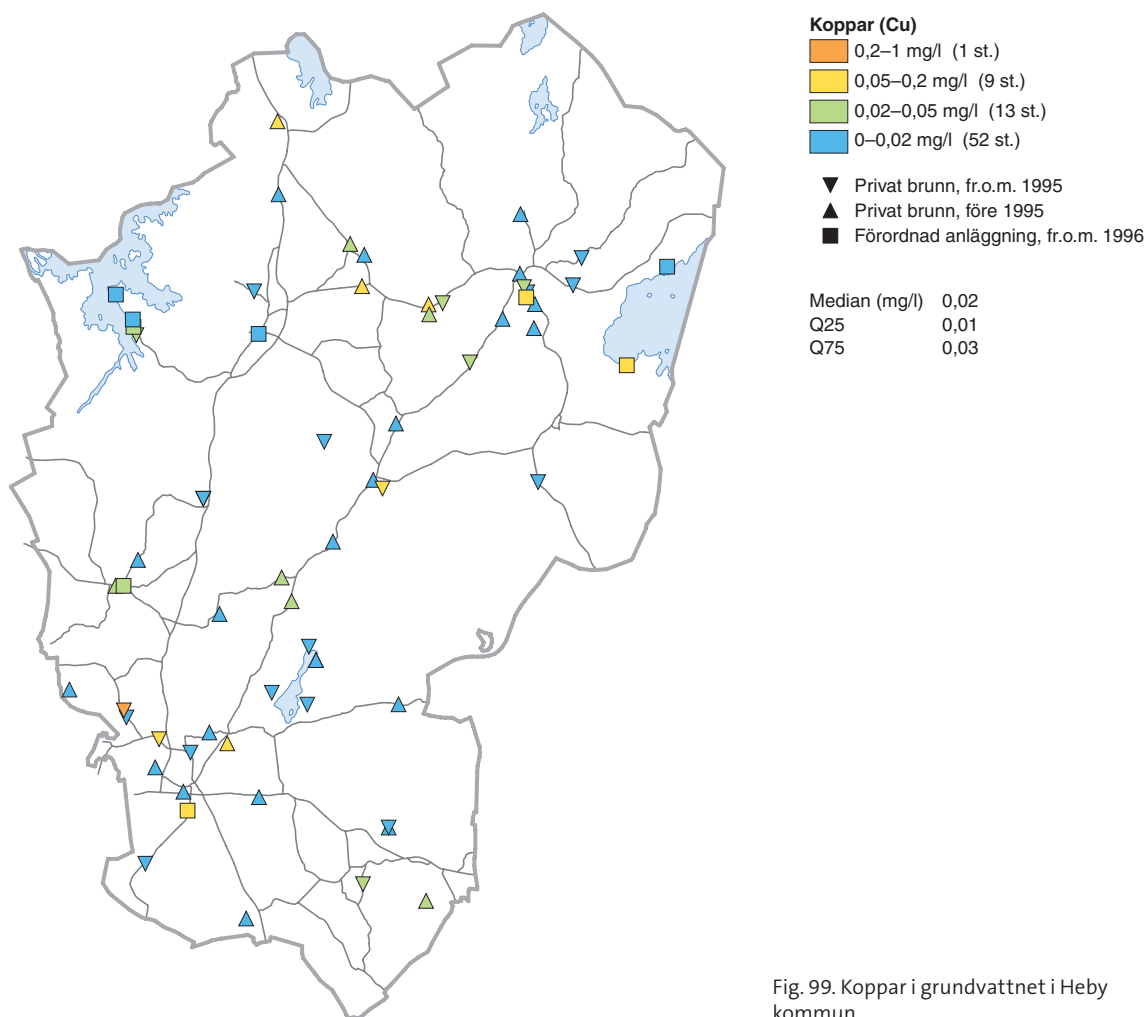


Fig. 98. Aluminium i grundvattnet i Heby kommun.

Koppar

Gränsvärde för kopparinnehåll för vattenverk, A-vatten, är 0,05 mg/l (t). Koppar kan orsaka korrosion på galvaniserade ledningar. För tappställe efter spolning är gränsvärdet 0,2 mg/l för A- och E-vatten. Högre halter kan vara orsakat av korrosion på kopparledningar. Risk råder för missfärgning av sanitetsgods och hår vid hårtvätt. För tappställe utan spolning betraktas både A- och E-vatten med värden överstigande 1,0 mg/l som tjänligt med anmärkning (e, t). Risk finns för smakförändringar. Över gränsvärdet 2,0 mg/l, som gäller för både A- och E-vatten (h, e, t), finns eventuellt risk för diarréer, särskilt hos känsliga småbarn.



Kemiska analyser på grundvattnet i källor och i observationsrör

Resultaten av de kemiska analyserna på grundvattnet i vissa källor och observationsrör redovisas i tabeller i avsnittet ”Kemiska analyser av grundvatten från källor och observationsrör”. Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten visas i avsnittet ”Dricksvatten”. Nedan följer vissa kommentarer till analysresultaten.

Variationerna i järn- och manganhalter kan vara stora, även mellan mycket närbelägna platser (så nära som några tiotal meter och mindre). Järnhalten kan även variera med djupet i ett och samma borrhål. Detta beror på redoxpotential och syreförhållanden, vilka kan variera på detta sätt. Järn och mangan går i lösning eller fällt ut. Detta kan man se tydligt t.ex. i många grustag där vissa mycket väl avgränsade lager kan vara starkt rostfärgade av järn eller svartfärgade av mangan.

Analysen på prov från rör 9904 R är från grundvattenmagasinet vid Skräddarbo. De tre proverna är tagna i samma rör under pågående neddrivning av röret. Kloridhalten visar en mycket stark ökning mot djupet. Se vidare avsnittet ”Vägsalt i kommunens största grundvattenmagasin”.

Kloridhalterna vid Röcklinge (rör 0008R), Ål (rör Rb6404) och Stengubbåsen (rör 0004R) ligger mellan 2 och 8 mg/l, vilket visar att grundvattnet på dessa ställen är opåverkat av vägsalt.

Särskilt vattenanalysen från Ulebo källa visar starkt förhöjd kloridhalt. Se avsnittet ”Vägsalt i kommunens största grundvattenmagasin” och figur 105.

SALT GRUNDVATTEN OCH MOTÅTGÄRDER

Förekomsten av salt grundvatten

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

Beträffande möjligheterna att bedöma risken för salt grundvatten i områden långt från havet, pekar nuvarande kunskaper på att salt grundvatten förekommer överallt, inte bara nära kusten och inte heller endast i områden som efter den senaste istiden varit täckta av salta hav.

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

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

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

– Harstena	50 m
– Smådalarö i Stockholms skärgård	150 m
– Utö i Stockholms skärgård	200 m

- Östra delen av Aspö i Mälaren 250 m
- Skogs-höjdområdet söder om Mariefred 1 500 m

Dessa värden får inte ses som största tillåtna borrhjup utan som relativa mått på risken att erhålla ett salt grundvatten. Detta beror på att en brunn inte måste nå ända ner till saltvattengränsen för att den ska kunna bli påverkad av det salta grundvattnet. Orsaken är att även om gränsen mellan sött och salt grundvatten ligger djupt ner, så har det salta vattnet en trycknivå som ligger avsevärt mycket högre. Detta förhållande illustreras i figurerna 100, 101 och 102.

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

Trots att hela kommunen varit täckt av havsvatten efter den senaste istiden är risken för kvarvarande salt grundvatten således mycket olika i olika delar av kommunen.

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, och dels med större och därmed effektivare hydraulisk gradient i höjdområden än i lågområden.

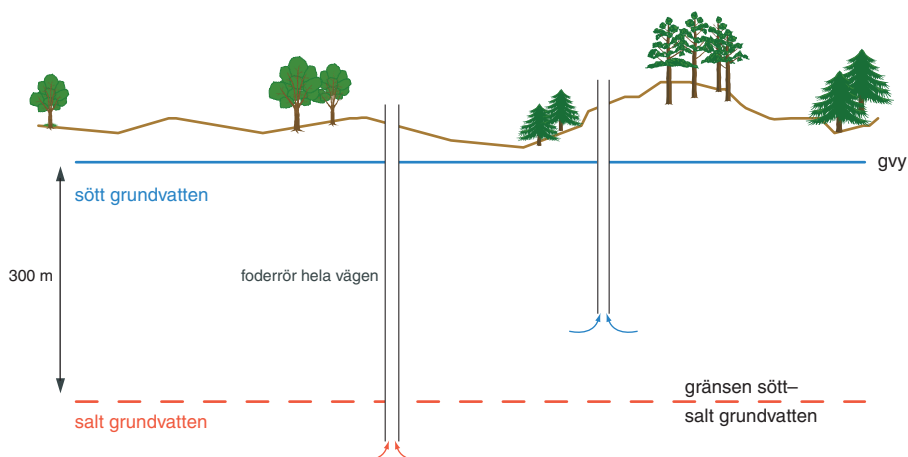


Fig. 100. Båda brunnarna utgörs av stålrör, där vattnet kommer in endast underifrån. Den högra brunnen får in sött vatten – vattennivån i brunnen blir densamma som omgivande grundvattennivå. In i den vänstra brunnen kommer bara salt grundvatten från drygt 300 m djup. Vilken vattennivå får man i den brunnen?

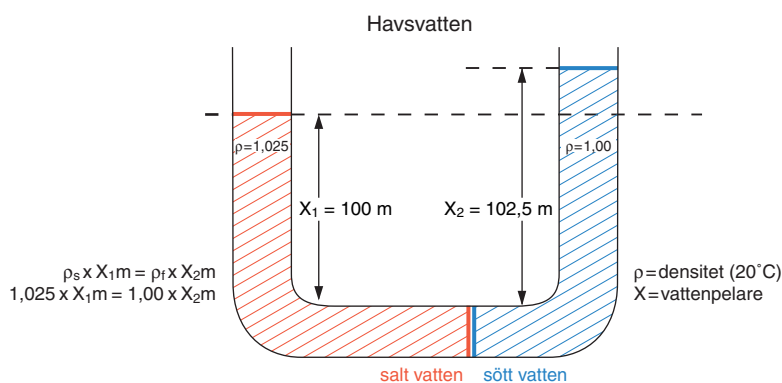


Fig. 101. Enligt principen om kommunicerande kärl balanseras en 102,5 m pelare med sött vatten av en 100 m pelare med salt vatten (3,5 %).

Man kan i stora drag likna det söta grundvattnet vid ett isberg som flyter ovanpå det salta grundvattnet. Ju mer det sticker upp, desto djupare ner ligger dess undersida. Eftersom grundvattenytan i dessa trakter vanligtvis ligger några få meter under markytan, ligger gränsen till salt grundvatten generellt sett djupare i höjdområden än i lågområden.

Salt grundvatten i Heby kommun

Översikt

Vid statistiska bearbetningar av kloridanalyser av brunnsvatten från hela landet har det visat sig att det föreligger ett visst samband mellan kloridhalt och markytans nivå i meter över havet. Ju lägre marknivån är, desto högre är risken för salt grundvatten. Detta visas i figur 103.

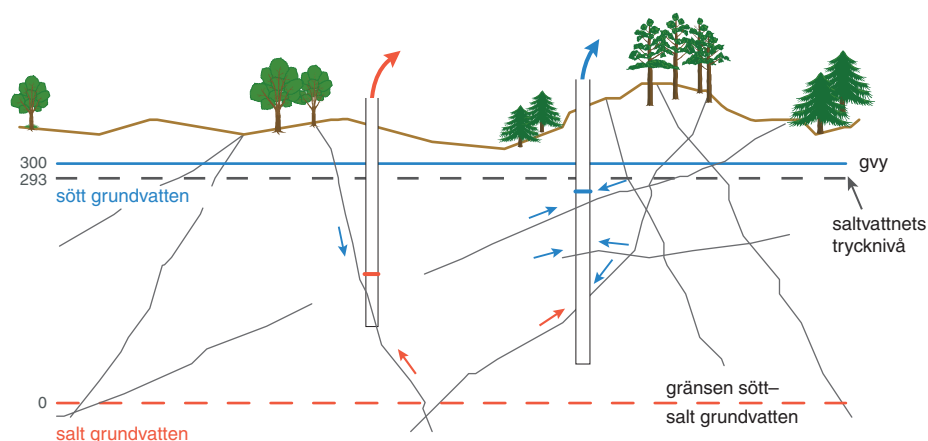


Fig. 102. Brunnen till vänster får vatten från i huvudsak en, dåligt vattenförande, spricka. Den övre delen av sprickan töms efter en tid på sitt söta vatten. Via den undre delen av sprickan trycks det salta vattnet upp utan att sänka. Brunnen ger vatten med hög salthalt. Brunnen till höger får vatten 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.

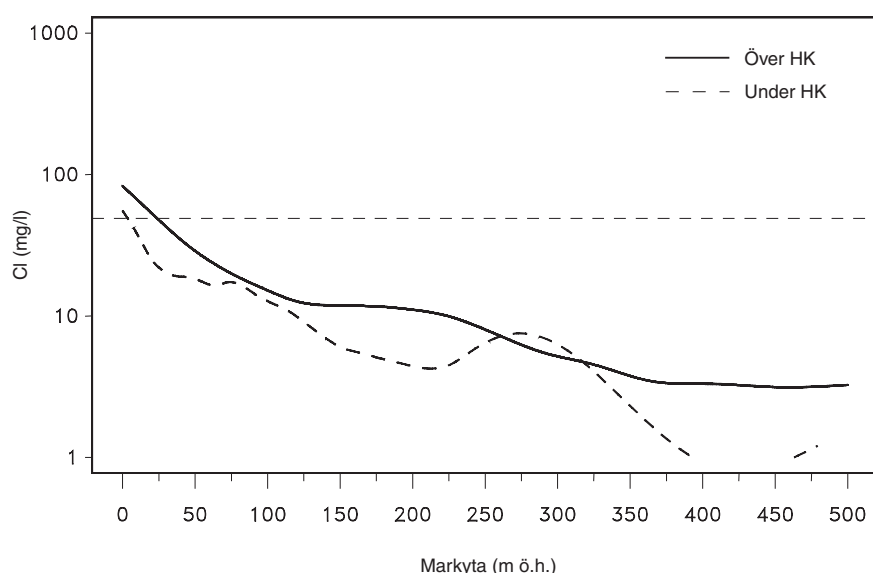


Fig. 103. Bilden visar hur kloridhalten i brunnar är beroende av markytans höjd över havet. Sammanställningen är baserad på analyser från ca 10 000 bergborrade brunnar från hela landet. Över HK – brunnar över högsta kustlinjen (dvs. brunnar från områden som inte har varit täckta av hav efter senaste istiden), Under HK – brunnar under högsta kustlinjen (brunnar från områden som har varit täckta av hav efter senaste istiden). I Heby kommun ligger alla delar under HK.

I Heby kommun förekommer salt grundvatten i huvudsak i två olika sammanhang

- i djupa brunnar i lågområden,
- i anslutning till vägar som saltas.

Förekomsten av brunnar med hög kloridhalt kan delas in i tre delområden:

1. Lågområdet Tämnares-Östervåla-Huddunge.
2. Ett mindre område intill Dalälven nordväst om Tärnsjö.
3. Åspartiet som berörs av saltningen av väg 67.

Av figur 104 framgår att många brunnar med kloridhalt över 50 mg/l förekommer inom lågområdet kring Tämnares, Östervåla och Huddunge, vilket är ett klart uttryck för relationen mellan låg marknivå och risk för salt grundvatten. I detta område har ca 30 % av brunnarna kloridhalter över 50 mg/l.

I området invid Dalälven nordväst om Tärnsjö har flera brunnar mycket höga kloridhalter – mellan 400 och 1 600 mg/l. Sannolikt förekommer här en förhållandevis begränsad och djupt liggande ficka i berggrunden med mycket salt grundvatten.

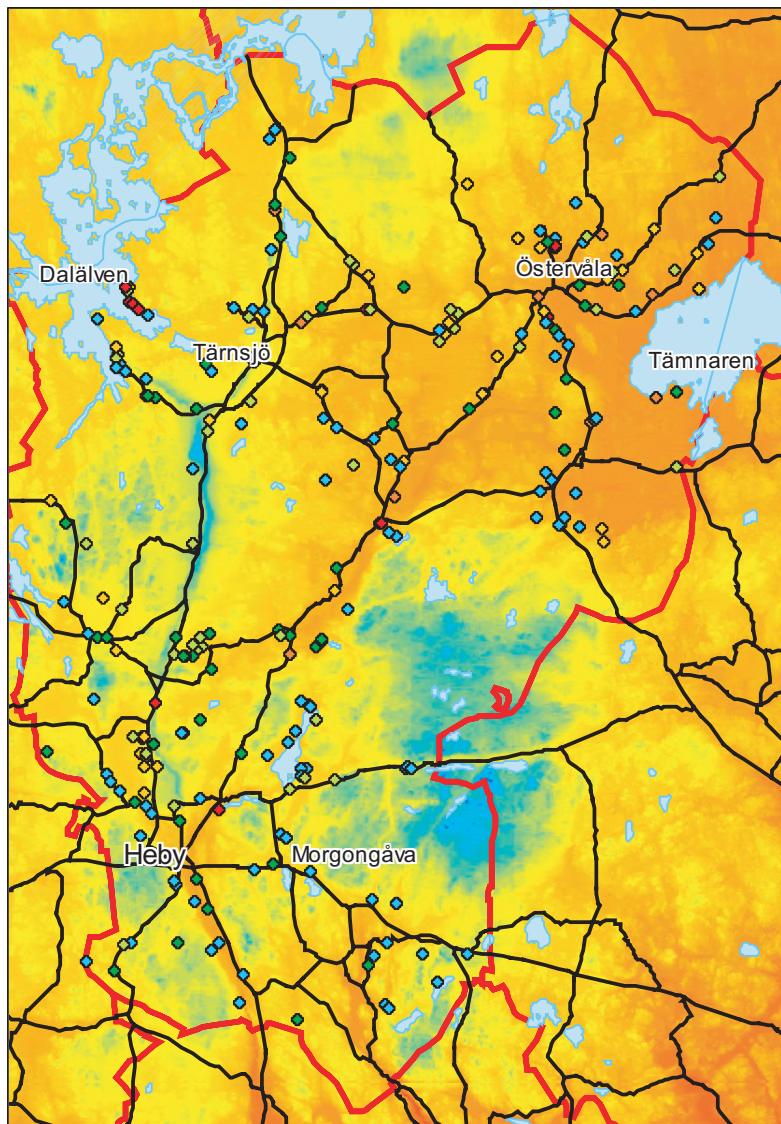


Fig. 104. Bild över marknivåer i Heby kommun. Områden med orange färg är lågområden med större risk för salt grundvatten, i första hand i djupa, bergborrade brunnar. Åsen norr om Heby framstår p.g.a. sin höjd som ett lågriskområde, men vägsaltningen har medfört att risken är stor. Blå prickar 0–10, mörkgröna 10–25, ljusgröna 25–50, gula 50–100, orange 100–300 och röda >300 mg/l Cl.

Vägsalt i kommunens största grundvattenmagasin

Sommaren 2000 genomförde kommunen en provtagning av brunnar längs åsavsnittet som berörs av väg 67. Därvid framkom att ca 40 % av brunnarna hade kloridhalter över 50 mg/l, vilket enligt Naturvårdsverkets normer klassas som en påtaglig avvikelse från normala, opåverkade värden, vilka ligger kring 5 mg/l.

Inom ramen för SGUs miljöövervakning har den kemiska statusen hos grundvattnet i två stora källor, som avvattnar den norra delen av Dalkarlsåsen, följts sedan slutet av 60-talet. I dessa källor, Ingbokällan (4 miljoner liter per dygn) och Ulebokällan (2 miljoner liter per dygn), har kloridhalterna fram till i dag stigit från 3 resp. 5 mg/l till 10 resp. 40 mg/l. Således en tre-, resp. åttafaldig ökning av salthalten på tre decennier.

Kloridhalten uppvisar en trappstegsformad stigning, se figur 105. Tidsmässigt sammanfaller trappstegen med perioder av låga och höga vattennivåer i åsens grundvattenmagasin, jämför figur 30. Detta skulle kunna tolkas så att under perioder av större påfyllningar av grundvattenmagasinet, så sker en viss utspädning av salthalten, vilket visar sig i ett avstannande av kloridhaltens ökning.

Enligt uppgift sprids 15 ton salt per vägkilometer och år. Det betyder att vägsträckan mellan Heby och Tärnsjö har mottagit ca 3 000 ton salt under den senaste tioårsperioden.

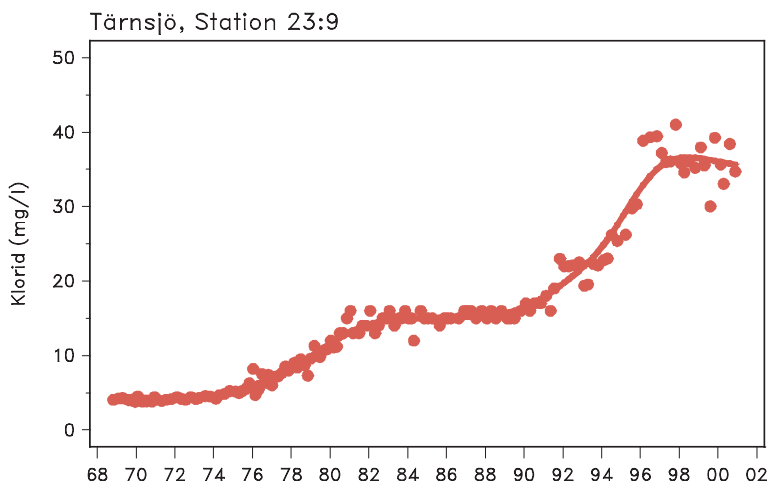


Fig. 105. I Ulebo källa, 2 km söder om Tärnsjö, har kloridhalterna stigit från ca 5 till 40 mg/l. Detta kan direkt kopplas till införandet och användningen av vägsalt på den närläggna väg 67.

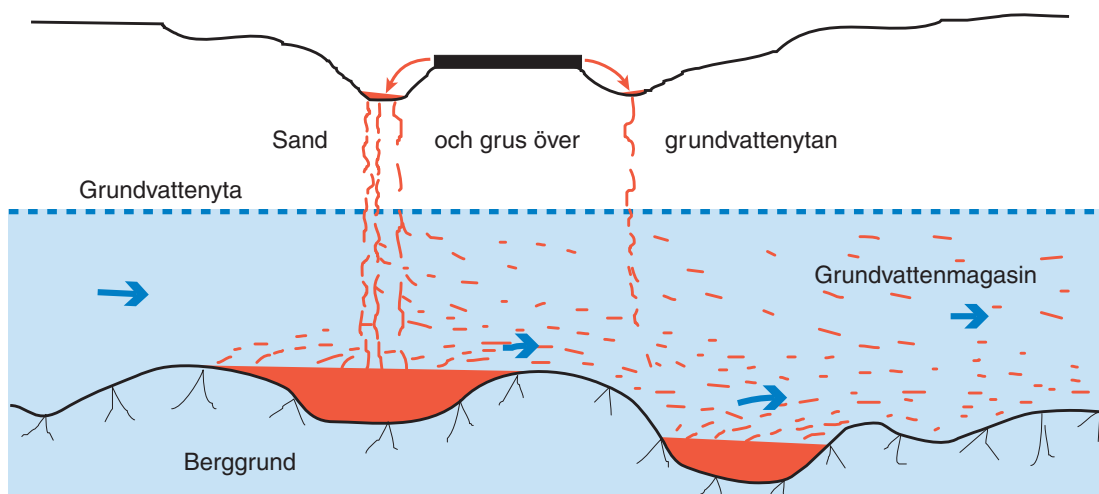


Fig. 106. Förenklad idébild över hur saltet rör sig från vägen och genom grundvattenmagasinen. Saltlaken som sprids på vägen sipprar på vissa ställen mer koncentrerat nedåt och ansamlas i grundvattenmagasinens djupare delar. Dessa ansamlingar kan fortsättningsvis avge salt till grundvattenmagasinen.

Saltet sprids i form av en saltlake, dvs. en saltmättad vattenlösning. En sådan saltlake är genom sitt saltinnehåll betydligt tyngre än sött grundvatten. Efter att den spridits på vägbanan rinner den så småningom ner i diken, där den fortsättningsvis sipprar ner genom sand- och gruslagren till grundvattenytan, se figur 106. Därifrån kan troligen saltlaken genom sin tyngd fortsätta att sippra ner genom grundvattenmagasinet och lägga sig i de djupare delarna. Vid SGUs borrhningar har det också konstaterats att salthalterna ökar mot djupet, där så höga halter som 360 mg/l Cl har påträffats, se figur 107.

Allt salt går naturligtvis inte ner till botten av åsen. Mycket blandar sig på vägen ner och följer med grundvattenströmmen genom magasinet och ut i källorna. Som inledningsvis nämdes, har salthalterna stigit i de två övervakade källorna. SGUs undersökningar har visat att kloridhalten i de övriga källorna som avvattnar åsen innehåller mellan 20 och 100 mg/l Cl. Generellt sett kan man säga att kloridhalten i grundvattnet som via källorna lämnar åsen är 30 till 40 mg/l, dvs. en generell förhöjning på 6 till 8 gånger jämfört med ursprungliga, naturliga halter.

Under arbetet med kartläggningen av grundvattentillgångarna i Heby kommun har det visat sig att alla påborrade platser på åsen längs väg 67 visar förhöjda kloridhalter. Se figur 107 som visar en nord-sydlig längdprofil genom Dalkarlsåsen från Heby i söder och 11 km norrut.

Av profilen (fig. 107) framgår att grundvattnet via en bergtröskel med ett "underjordiskt grundvattenfall" strömmar från trakterna norr om Hedensberg mot en plats strax norr om Stingtorpet. Det höga bergsläget söder om Stingtorpet utgör en grundvattendelare. Därifrån rör sig grundvattnet dels mot söder till Heby (någon kilometer), och dels mot norr till den nämnda platsen norr om Stingtorpet. På detta ställe, Sävnmossen väster om åsen, läcker grundvattnet ut genom ett större antal källor, vilka sammanlagt flödar med ca 40 liter per sekund (nästan 3,5 miljoner liter per dygn).

Som läget nu kan bedömas är nivåerna på kloridhalterna sådana att det mesta vattnet kan vara användbart för enskild vattenförsörjning, men sannolikt med viss förhöjd korrosionsrisk på ledningar, maskiner o.d. För kommunal vattenförsörjning är kloridhalterna för höga i Skräddarbomagasinet och på gränsen till för höga i Stingtorpsmagasinet. Detta beror i första hand på att vatten med en kloridhalt på 100 mg/l eller mer ger alltför kostsamma korrosionsskador på ett omfattande ledningsnät och en mängd installationer i samhället.

Med för närvarande stigande kloridhalter i Dalkarlsåsens grundvattenmagasin måste man anse att risken på sikt är överhängande att allt grundvatten kan slås ut för kommunal vattenförsörjning om inte saltningen upphör.

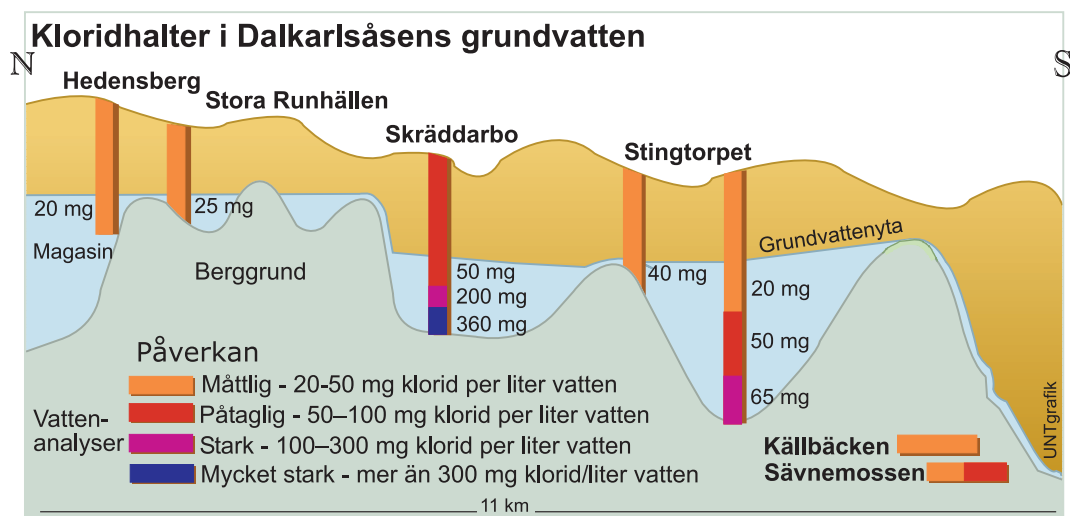


Fig. 107. Opåverkat grundvatten har kring 5 mg/l klorid. Alla påborrade platser visar förhöjda kloridvärden. Kloridhalterna stiger generellt mot djupet och på vissa ställen är de mycket höga. Bilden är framtagen av Uppsala Nya Tidning efter en skiss av Carl-Fredrik Müllern.

Det är möjligt att t.ex. tätning av diken och en breddning av vägen kan minska olycksrisker och saltpåverkan. Men då bygger man bort möjligheten att i framtiden använda Dalkarlsåsens grundvattenresurser, vilka utgör en ovanligt stor potential för försörjning med dricksvatten till betydligt större regioner än Heby kommun.

Att detta grundvattenmagasin har så stor potential beror i första hand på att möjligheterna att infiltrera mycket stora vattenmängder från den närbelägna Dalälven i bassänger på åsen och sedan ta ut vattnet i intilliggande brunnar kan bedömas som mycket gynnsamma. Sådana anläggningar kräver stora ytor. Har man redan byggt en väg där, kan dessa möjligheter helt spolieras, och grundvattentillgångar av denna storleksordning och med dessa förutsättningar finns det över huvud taget inte många av.

Dalkarlsåsens grundvatten är sannolikt ännu inte helt och hållet utslaget för kommunal vattenförsörjning, men de nu påvisade kloridhalterna utgör en varningssignal, som knappast kan bli starkare och tydligare.

Att det är vägsalt som ger upphov till de ökande kloridhalterna torde det knappast råda någon tvekan om. Detta visas tydligast av att ökningen pågår i källorna, i vilkas tillrinningsområden ingen annan verksamhet pågår som skulle kunna tänkas tillföra salt i de mängder det här handlar om. Det är självklart att tillförsel av 15 ton salt per år och kilometer ger effekter på det rakt under vägen belägna grundvattnet, eftersom den enda väg saltet kan ta, är via de genomsläppliga diken och nedåt, till grundvattenmagasinet.

Åtgärder mot salt grundvatten

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

Det är ofta bättre att borra "gradade" borrhål, dvs. med en avvikelse av 15–20 grader från vertikalkanalen och att inte borra djupare än högst 40–50 m än att borra vertikala och djupa brunnar. Har man inte fått tillräckligt med vatten på detta djup är det i allmänhet bättre att avbryta borrningen och genomföra en hydraulisk tryckbehandling av borrhålet än att borra djupare. Tryckbehandlingen innebär att vatten pressas ner i borrhålet med så högt tryck att befintliga, små sprickor kan vidgas och 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 och 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 borrhål som ger salt vatten. Detta måste då ske på ett särskilt sätt. Borrhålet måste med hjälp av bl.a. en tillräckligt lång slang gutas igen från botten och uppåt så att det blir helt tätt.

Eventuellt kan man först försöka att gjuta igen de undre delarna av brunnen och tryckbehandla de övre, i hopp om att få kontakt med närliggande sprickor med sött grundvatten.

Förutom att stor försiktighet måste iaktas vid borrning av en brunn i ett område med risk för salt grundvatten, måste man vara mycket försiktig även när man pumpar vatten ur brunnen. Ju mer man pumpar desto större blir risken för att man får in salt grundvatten i brunnen. Risken hänger i första hand ihop med hur mycket grundvattennivån sänks i brunnen. Detta kan man

mäta med ett s.k. kabelljuslod, vilket fungerar så att en lampa tänds när lodet kommer i kontakt med grundvattenytan nere i brunnen. Från pumpstart kan man följa hur mycket vattnet sjunker i brunnen allt eftersom pumpningen fortgår.

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

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

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

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

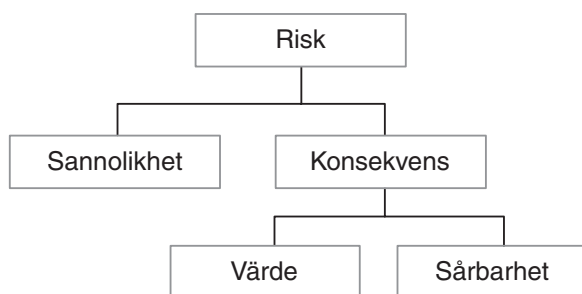


Fig. 108. Risk- och konsekvensanalys.

På samma sätt kan risken för att grundvattnet förorenas beskrivas som en sammanvägning av sannolikheten att en olyckshändelse verkligen inträffar och den konsekvens händelsen får (fig. 108).

Med utgångspunkt från grundvattenkartan över Heby kommun och dess databaser har en särskild Underlagskarta för grundvattenskydd (sårbarhetskarta) tagits fram på uppdrag av kommunen. Denna karta (och databaser) kan användas som underlag för risk- och konsekvensanalyser vid t.ex. förebyggande planering i händelse av olyckor, lokalisering av miljöfarliga verksamheter eller framtagandet av miljökonsekvensbeskrivningar (MKB).

Skydd av grundvattnet

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

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 att det medför mycket stora svårigheter att rena ett förorenat grundvatten krävs en strategi med ett starkt förebyggande skydd. Det innebär att i första hand bör inte potentiellt förorenande verksamheter tillåtas inom vattenskyddsområdet; i andra hand ska en förorening hinna upptäckas i tid och marken saneras innan föroreningen når grundvattnet; i tredje hand ska föroreningen brytas ned, fastläggas eller spädas ut till acceptabla nivåer, eller kunna tas om hand innan den hinner transporteras med grundvattnet till uttagspunkterna av grundvatten.

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

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

METODBESKRIVNINGAR

Georadar

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

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

Geologiska förutsättningar

Georadar fungerar bäst på torr mark med grovkorniga, väl sorterade jordarter. Från områden med 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. Orsak till den dåliga penetrationen i täta jordarter är bl.a. att 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

- Jorddjupsbestämning.
- Strukturer i jord och berg.
- Grundvattenytor i grövre sediment.
- Påvisa föremål i jordtäcket (block, rör, håligheter etc.).
- Spridning av föroreningar från vägar, deponier m.m.

Seismik

Grundläggande principer

Den metod som används i detta sammanhang kallas refraktionsseismik. Det är en geofysisk mätmetod som baseras på elastiska vågors utbredning i marken. Vågornas utbredningshastighet skiljer

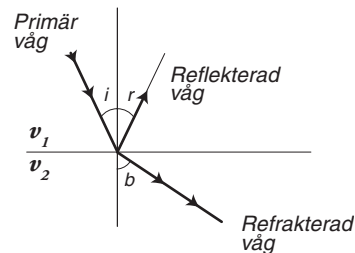
sig mellan olika jord- och bergarter vilket gör det möjligt att beräkna lagermäktigheter och bedöma vissa materialegenskaper. Vid en stöt eller detonation i marken alstras vågrörelser av flera typer (tryck-, skjuv- och ytvågor). Av dessa har tryckvågen eller P-vågen den högsta utbredningshastigheten och kan härigenom registreras och analyseras med relativt enkel apparatur. Tryckvågor i marken utbreder sig genom longitudinella partikelrörelser på samma sätt som ljudvågor i luften. Efter en explosion vid markytan vandrar vågfronten klotformigt i det översta lagret. När den träffar ett djupare liggande lager 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 refraktionen beskrivas med Snells lag som säger att

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

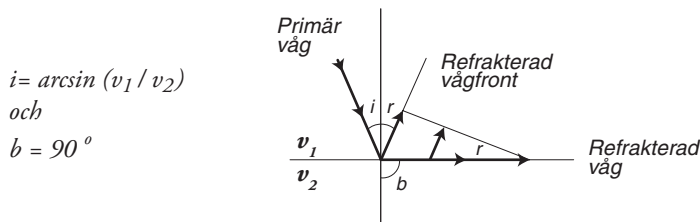
$i = r$ infallsvinkel resp. reflektionsvinkel

b brytningsvinkel

v_1, v_2 vågens utbredningshastighet i skikt 1 resp. 2



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



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

och

$$b = 90^\circ$$

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

Genom denna mekanism bryts vågor tillbaka mot markytan där tiden för deras ankomst kan registreras. Ankomsttider för refrakterade vågor står i bestämd relation till skiktmäktigheter och hastigheter i lagerföljden. Förloppet registreras med givare i marken anslutna till en seismograf. Registreringarna, som kallas seismogram, innehåller data som beskriver markens rörelse 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 (fig. 4). 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. gångtidsskurvor kan skiktens mäktigheter och hastigheter för den aktuella lagerföljden beräknas. Bergets läge kan beräknas i såväl skottpunkter som geofonpunkter, vilket ger en relativt detaljerad kontinuerlig bild av bergytan. Hastigheten i berget ger viss information om bergets kvalitet jämte läget av mer markerade svaghetszoner. Mätresultaten redovisas i profilform där lagerföljden anges som skikt med olika hastigheter, se t.ex. figur 47.

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 109. Dessa förhållandevis enkla fysikaliska förhållanden har medfört att refraktionsseismiken oftast ger goda undersökningsresultat.

Tillämpningsområden

- Jordartsbestämningar.
- Jorddjupsbestämning.
- Grundvattenmagasin – mäktighet och volym.
- Sprickzoner i berg – sprickakviferer.
- Bedömning av 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 diagrammet bestäms elektrolytens resistivitet av salthalt och temperatur och kan som jämförelse uppskattas för havsvattnet i Östersjön (0,5–1 % salthalt och 10 °C) till mellan 1 och 2 ohmm (fig. 110).

Resistiviteten för jord och berg kan beräknas relativt väl med hjälp av Archies lag, om porositeten och elektrolytens resistivitet är kända (fig. 111). Om elektrolyten utgörs av sött grundvatten så blir resistiviteten betydligt högre än för salt grundvatten. Porositeten kan variera från några hundradels procent i kristallint berg utan sprickor till flera tiotal 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 grund-

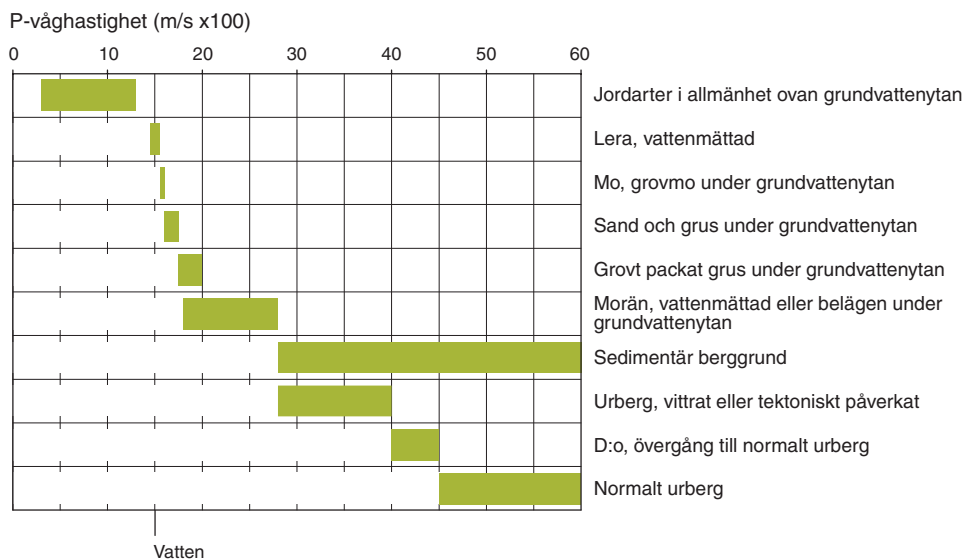


Fig. 109. Seismiska hastigheter i olika jord- och bergarter. Begreppet tektoniskt påverkat urberg avser i första hand sprickzoner, vilka vanligen är mer vattenförande än omgivande berggrund.

vatten som blir kvar på djupet. Det blir en mer eller mindre horisontell skiktning av sött och salt grundvatten.

Resistivitmätningar eller motståndsmätningar kan således användas för att skilja mellan olika berg- och jordarter på grundval av deras resistivitetsegenskaper. 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. Elektroderna består av rostfri ståltråd som körs ner i jordtäcket.

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

Om avståndet mellan strömelektroderna successivt ökas kommer den beräknade skenbara resistiviteten att gälla en allt större volym. Eftersom centrum för mätuppställningen inte flyttas innebär

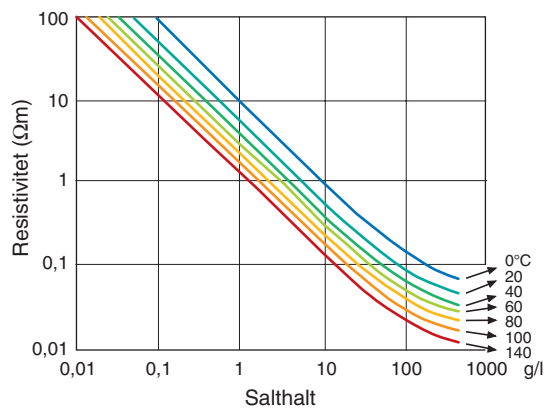


Fig. 110. Förhållandet mellan salthalt och resistivitet i vatten.

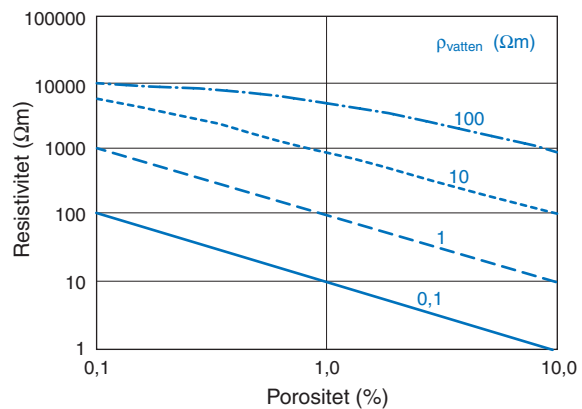


Fig. 111. Förhållandet mellan resistivitet och porositet i jord och berg.

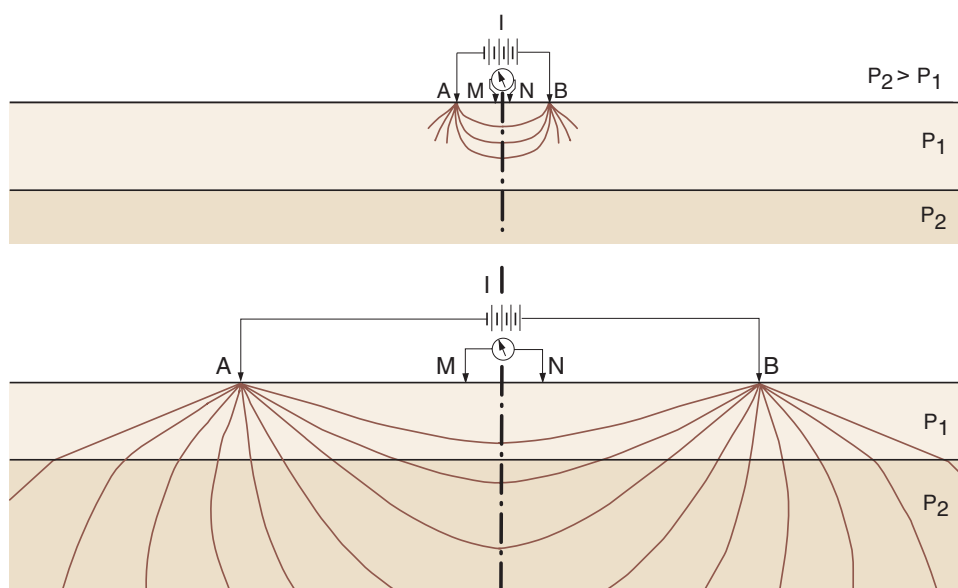


Fig. 112. Vertikala elektriska sonderingar – VES – genomförs med successivt större avstånd mellan elektroderna, varvid allt djupare liggande skikt undersöks.

detta att mätningen gradvis når allt större djup (fig. 112). Ska jordtäcket undersökas i kontrast mot berggrunden så behöver mätning ske ut till ett avstånd av minst 40 meter mellan strömelektroderna om jordtäcket är 10 m tjockt. Ska gränsen mellan sött och salt grundvatten på 1 000 m djup upptäckas måste mätning ske ut till avståndet 4 000 m mellan strömelektroderna.

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

Kriging och variogramanalys

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

Kriging bygger på att viktning sker av data från omgivande punkter. Storleken på vikterna beror på hur variogrammet (semivariogrammet) ser ut. Vikterna standardiseras så att summorna av dem blir 1 (unbiased estimation). Den interpolerade noden får då värdet från omgivande punkter multiplicerad med sin standardvikt och en summering görs. Matematiskt kan detta uttryckas:

$$\sum_{j=1,n} w_j C_{ij} + \mu = C_{i0}, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1,n} w_j = 1; \text{ där}$$

C_{ij} är covariansen mellan i och j .

0 är punkten vars värde ska beräknas

w är vikten

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

Vid variogramanalys plottar man variansen mellan mätpar mot avståndet mellan mätparen. Figur 113 visar ett exempel på ett variogram där man ser att variansen ökar med avståndet. Därefter anpassar man en analytisk variogramfunktion som används för att beräkna krigingvikterna. Efter att ha kommit fram till ett variogram som passar med sina data kan man beräkna krigingvikterna.

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

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

Finessen med kriging ligger bl.a. i att man får information om den rumsliga fördelningen på mätdata. Möjlig synergieffekt mellan mätdata beror på avståndet mellan dem och på den rumsliga

kontinuiteten. En mätning av grundvattenytan från två brunnar med 10 meters avstånd skiljer sig mindre än t.ex. sulfatkoncentrationen i samma brunnar. Faktumet att grundvattenytan har en högre rumslig kontinuitet kommer att påverka utseendet på variogrammet. Kriging tar därför hänsyn till två viktiga aspekter när man interpolerar, nämligen avstånd och den rumsliga fördelningen.

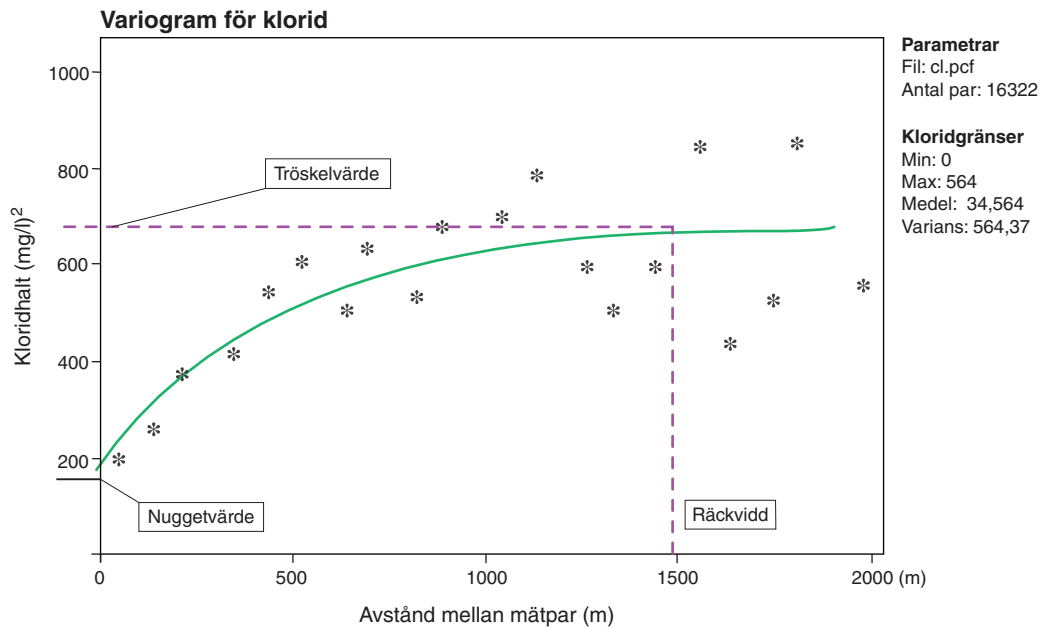


Fig. 114. Exempel på variogramanalys, här är variansen på kloridhalten plottad mot avståndet. Räckvidd – variansområde, nuggetvärde – lägsta varians.

DOKUMENTATION AV GEOFYSISKA MÄTNINGAR, BORRNINGAR, INVENTERADE BRUNNAR OCH KEMISKA ANALYSER

Förutom följande dokumentation finns geofysiska mätningar och borrhningar mer utförligt dokumenterade i databaser vid SGU.

Geofysiska mätningar

R är georadarmätningar, S är seismiska mätningar. Siffran i slutet av profilnamnet motsvarar det år mätningen utförts.

Profil	x-start	y-start	x-slut	y-slut	Plats
R2-98	6670614	1556760	6670413	1556658	Ingboåsen
R4-98	6653361	1557739	6653358	1557456	Dalkarlsåsen
R1-99	6666402	1560390	6666180	1559599	Masteråsen
R2-99	6661120	1560030	6659960	1559100	Masteråsen
R3-99	6660160	1558940	6659920	1558740	Masteråsen
R4-99	6658813	1558877	6658638	1558762	Dalkarlsåsen
R5-99	6657391	1558102	6657270	1558052	Dalkarlsåsen
R6-99	6656480	1558422	6665308	1558118	Dalkarlsåsen
R7-99	6655046	1557783	6654932	1557742	Dalkarlsåsen
R8-99	6655170	1558167	6655805	1557899	Dalkarlsåsen
R9-99	6654964	1557798	6655046	1557608	Dalkarlsåsen
R10-99	6655900	1558030	6656490	1558020	Dalkarlsåsen
R11-99	6658701	1558937	6658494	1558983	Dalkarlsåsen
R12-99	6658017	1558776	6657730	1558532	Dalkarlsåsen
R13-99					Ej användbar
R14-99					Ej användbar
R15-99	6657367	1558398	6657339	1558491	Dalkarlsåsen
R16-99	6650827	1558298	6650853	1558579	Dalkarlsåsen
R17-99	6650974	1558186	6651399	1558155	Dalkarlsåsen
R18-99	6657337	1558487	6657016	1557966	Dalkarlsåsen
R19-99	6657016	1557966	6657458	1558069	Dalkarlsåsen
R20-99					Ej användbar
R21-99	6651997	1557564	6652673	1557525	Dalkarlsåsen
R1-00	6669041	1560330	6668750	1560780	Stengubbåsen
R2-00	6667890	1560220	6667920	1559560	Masteråsen
R3-00	6669560	1561270	6669210	1561910	Stengubbåsen
R4-00	6668600	1559200	6669110	1559200	Stengubbåsen
R5-00	6668950	1558500	6669450	1558975	Ingboåsen
R6-00	6668950	1558500	6668870	1560280	Stengubbåsen
R7-00	6668020	1560180	6669100	1559200	Stengubbåsen
R8-00	6669305	1560930	6668887	1561180	Stengubbåsen
R9-00	6667380	1560020	6667350	1559660	Masteråsen
R10-00	6668770	1560755	6668900	1560860	Masteråsen
R11-00	6668900	1560860	6669120	1560360	Stengubbåsen
R12-00	6668230	1560140	6668800	1560740	Stengubbåsen
R13,14-00	6668220	1560285	6667805	1560087	Rövarstenen
S1-71	6670492	1556801	6670151	1557234	Ingboåsen
S2-71	6669208	15157943	66670028	1558172	Ingboåsen
S3-71	6669383	1561586	6670536	1562396	Tärnsjöåsen
S4-71	6669316	1562286	6669995	1561523	Stengubbåsen
S5-71	6666610	1560074	6666630	1559071	Masteråsen
S1-77	6667905	1559235	6667941	1559806	Masteråsen

Profil	x-start	y-start	x-slut	y-slut	Plats
S2-77	6665799	1559346	6665798	1560038	Masteråsen
S3-77	6662398	1560129	6663615	1560594	Masteråsen
S1-99	6644180	1560220	6643940	1559845	Ål
S2-99	6641913	1560890	6642020	1561098	Sörgården
S3-99	6657761	1558576	6657334	1558404	Dalkarlsåsen, Ulvgrytet
S4-99	6656297	1558121	6656078	1558054	Dalkarlsåsen
S5-99	6657415	1558660	6657208	1558552	Dalkarlsåsen
S6-99	6650828	1558311	6650826	1558770	Dalkarlsåsen
S7-99	6649239	1558931	6648862	1558931	Dalkarlsåsen
S1-00	6669080	1560520	6668820	1560725	Stengubbåsen
S2-00	6668270	1559250	6668590	1559850	Stengubbåsen
S3-00	6668015	1560130	6667790	1560070	Rövarstenen
S4-00	6645940	1558860	6646140	1559500	Horrsta
S5-00	6644940	1559235	6645090	1559660	Röcklinge
S6-00	6649179	1559456	6649225	1559487	Huddungeåsen
S7-00	6668700	1559500	6668880	1559660	Stengubbåsen
S8-00	6668650	1559210	6668850	1559320	Stengubbåsen

Utförda borrningar (serierna SGU 99 och 00) samt inventerade borrningar med uppgifter på lagerföljd

R och Rb är 2-tums- eller 1-tumsrör som står kvar i marken och i vilka grundvattennivån går att mäta och där vattenprov kan tas (gäller i första hand 2-tumsrören). S är sondering enbart med kontroll av jordlagerföljden och där borrhålet kollapsar efter borrningen. Rök är nivån på rörets överkant, varifrån grundvattennivån (Gvy) mäts. De flesta grundvattennivåerna är uppmätta i juni 2000. Alla nivåer är angivna i höjdsystemet RH 00.

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Dalkarlsåsen	R 9901	6656310	1558150	81,53	<71,53	0 8 10	8 10	mellansand grovsand block	SGU
Dalkarlsåsen	R 9902	6657840	1558680	80,83	70,39	0 3 13	3 13	finsand mellansand kan fördjupas	SGU
Dalkarlsåsen	R 9903	6657080	1558540	73,79	70,00	0 2 6	2 6	finsand mellansand kan fördjupas	SGU
Dalkarlsåsen	R 9904	6654660	1557640	70,93	63,40	0 3 4 5 6 10 11 13	3 4 5 6 10 11 13	mellansand lerig sand sandigt lera lerig sand fingrus grovsand sandigt grus trol. berg	SGU
Dalkarlsåsen	R 9905	6655650	1558125	77,35	70,16	0 6,9 8,9 11,5 13,65	6,9 8,9 11,5 13,65	finsand lera mellansand sandigt grus trol. berg	SGU
Dalkarlsåsen	R 9906	6652680	1557530	64,98	63,51	0 2 3 3,5	2 3 3,5	sandigt grus fingrus fingrus block eller berg	SGU

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Dalkarlsåsen	R 9907	6651650	1557750	70,52	63,56	0	4	mellansand	SGU
						4	6	fingrus	
						6	13	grus	
						13	14	sandigt grus	
						14	17	grov sand	
						17	21	sandigt grus	
						21	22	fingrus	
Dalkarlsåsen	R 9908	6650800	1558370	83,99	65,06	22		trol. berg	SGU
						0	18,6	mellansand	
						18,6	21,6	sandigt grus	
Masteråsen	R 9909	6660950	1559950	79,35	70,80	21,6		kan ej fördjupas	SGU
						0	3	finsand	
						3	5	mellansand	
						5	7	finsand	
						7	14	mellansand	
						14	16	finsand	
Masteråsen	R 9910	6660066	1559190	84,92	70,73	16	18	mellansand	SGU
						18		kan fördjupas	
						0	11	finsand	
						11	16	mellansand	
Heby	S 9901	66489	1558960			16	20	finsand	SGU
						20		kan fördjupas	
						0	6,2	grusig sand	
Stengubbåsen	R 0001	6668330	1560290	77,97	65,79	6,2		trol. berg	SGU
						0	16	mellansand	
Stengubbåsen	R 0002	6668345	1560290	78,25	65,70	16		trol. berg	SGU
						0	11	mellansand	
						11	15	grov sand	
						15	16,3	mellansand	
Stengubbåsen	R 0003	6667840	1560190	77,82	68,85	16,35		trol. berg	SGU
						0	2	finsand	
						2	5	grov silt	
						5	8	finsand	
						8	9	grov sand	
						9	11	mellansand	
Stengubbåsen	R 0004	6668850	1559625	77,62	65,60	11	12,7	finsand	SGU
						12,7		trol. berg	
						0	2	finsand	
						2	9	grov silt	
						9	13	mellansand	
						13	15	sandigt grus	
Stengubbåsen	R 0005	6668760	1559280	76,17	65,57	15	16	grusig sand	SGU
						16	19	sandigt grus	
						19		kan fördjupas	
						0	0,5		
						0,5	2	lera	
Huddungeåsen	R 0006	6649270	1559516	61,46	54,62	2	6	grov silt	SGU
						6	13,5	mellansand	
						13,5		kan fördjupas	
						0	2,5	lera	
Röcklingemagasinet	R 0007	6645975	1558951	48,25	34,83	2,5	7,5	grusig sand	SGU
						7,5		trol. berg	
						0	9,4	lera	
						9,4	9,6	finsand	
						9,6	10,5	lera	
						10,5	14	mellansand	
						14	15	grusig sand	
						15		kan fördjupas	

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Röcklingemagasinet	R 0008	6645070	1559581	44,84	34,68	0	12	lera	SGU
						12	14	finsand	
						14	25	mellansand	
						25	27	grovsand	
						27	33	grusig grovsand	
						33	35	grovsand	
Röcklingemagasinet	S 0001	6645070	1559581			35		kan fördjupas	SGU
						0	4,5	lera	
						4,5	4,6	finsand	
						4,6	12,1	lera	
						12,1	24,5	mellansand	
						24,5	42	grovsand	
						42	48,5	sandigt grus	
						48,5	55,7	grovsand	
						55,7	60	sandigt grus	
						60	63,5	stenigt grus	
Röcklingemagasinet	S 0002	6644100	1560218			63,5		block eller berg	SGU
						0	5	grusig sand	
						5	9	mellansand	
						9	22	grusig grovsand	
						22	31,5	grovsand	
						31,5	44,4	grusig grovsand	
Röcklingemagasinet	S 0003	6646015	1559071			44,4		kan fördjupas	SGU
						0	10	lera	
						10	10,2	finsand	
						10,2	21	lera	
						21	29	mellansand	
						29	39,1	grovsand	
						39,1	44,4	sandigt grus	
						44,4	48	stenigt grus	
Röcklingemagasinet	S 0004	6646055	1559206			48	59	grusig grovsand	SGU
						59	60,2	morän	
						0	10,7	lera	
						10,7	10,9	finsand	
						10,9	25,6	lera	
						25,6	26,9	finsand	
						26,9	38	mellansand	
Röcklingemagasinet	S 0005	6645065	1559548			38	40,6	sandigt grus	SGU
						40,6		block eller berg	
						0	15,3	lera	
						15,3	31,2	mellansand	
						31,2	31,8	finsand	
						31,8	33,8	sandigt grus	
						33,8	38,5	grovsand	
						38,5	45	sandigt grus	
						45	48,7	grovsand	
						48,7	56,8	sandigt grus	
Östa	Rb 7801	6673740	1555160	58,23	55,66	56,8	58,85	grovsand	VIAK
						58,9	62,3	grus	
						62,3	63,7	grovsand	
						63,7		trol. berg	
						0	1,5	fyllning	
						1,5	3	siltig sand	
						3	10,9	sand	
						10,9		block eller berg	

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Tärnsjö	Rb 7801	6673210	1563220	64,25	58,63	0	4,5	grusig sand	VIAK
						4,5	6	sandigt grus	
						6	12	grusig sand	
						12	13,5	sandigt grus	
						13,5	15	grus	
						15	16,4	sandigt grus	
Tärnsjö	Rb 7802	6672209	1562875	65,50	58,58	16,4		block eller berg	VIAK
						0	6	grusig sand	
						6	9	grus	
						9	13	grovgrus	
Tärnsjö	Rb 7803	6672480	1563240	60,66		13		block eller berg	
						0	11	grusig sand	
Tärnsjö	Rb 7804	6671775	1563004			11		kan fördjupas	
Tärnsjö	Rb 7805	6671645	1562778			0	5	sandigt grus	VIAK
Tärnsjö	Rb 7806	6671164	1562530			0	7	grus	VIAK
Tärnsjö	Rb 7806	6671164	1562530			0	6,5	grusig sand	VIAK
Tärnsjö	Rb 7901	6672620	1563220	60,81	58,05	0	4,2	sand	VIAK
						4,2		block eller berg	
Tärnsjö	Rb 7902	6672297	1563074	63,92		0	2	lera	VIAK
						2	6	silt	
						6	8,2	grusig sand	
						8,2		block eller berg	
Tärnsjö	Rb7903	6672605	1562995	63,05	58,17	0	3	grusig grovsand	VIAK
						3	5	sand	
						5	12	grusig grovsand	
						12	16,5	sand	
						16,5	19,5	grusig sand	
						19,5	21	sand	
Tärnsjö	Rb 7904 P	6672579	1563290			21		kan fördjupas	VIAK
						0	4,5	sandigt grus	
						4,5	7,5	sandigt grus	
						7,5	9	mellansand	
Tärnsjö	Rb 7905 P	6672480	1563240	61,36	58,06	9	10,5	sand	VIAK
						0	2	blockig silt	
						2	6	grus	
						6	7,7	sand	
Tärnsjö	Rb 7906 P	6672455	1562858	66,91		7,7		block eller berg	VIAK
						0	4	grusig sand	
						4	10	siltig sand	
						10	15	grusig sand	
Tärnsjö	Rb 7907 P	6672570	1562980	63,25	58,18	0	4	grusig sand	VIAK
						4	9	sandigt grus	
						9	10	grusig sand	
						10	11	sand	
						11	12	grusig grovsand	
						12	16	sandigt grus	
						16	17	trol. mkt grovt	
Tärnsjö	Rb 7909	6673257	1562897	69,06		17	18	grusig grovsand	VIAK
						0	5,3	grusig sand	
						5,3	13,5	silt	
						13,5	14,5	sandig silt	
						14,5	17,5	grusig sand	
						17,5	19	sand	
Tärnsjö	Rb 7910	6675410	1562980	60,89		19		block eller berg	VIAK
						0	6	sandigt grus	
						6	10	grusig sand	
Tärnsjö	Rb 7911	6674205	1563005			10	12	sandigt grus	VIAK
						0	2,2	grusig sand	
						2,2		block	

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Tärnsjö	Rb 7912	6674270	1562980	67,24	59,53	0	7,5	silt	VIAC
						7,5	14,4	sandig finsand	
						14,4		block eller berg	
Tärnsjö	Rb 7913	6677430	1563740	64,10		0	13,5	grusig sand	VIAC
						13,5	14,3	sandigt grus	
						14,3		berg	
Tärnsjö	Rb 8001	6672660	1562980	62,34	58,16	0	5,3	grusig sand	VIAC
						5,3	6,3	sandigt grus	
						6,3		kan fördjupas	
Tärnsjö	Rb 8002	6672838	1563006	63,56		0	0,7	fyllning	VIAC
						0,7	1,2	grusig sand	
						1,2	1,4	bark	
						1,4	2,2	grusig sand	
						2,2	2,6	torv	
						2,6	7,6	grusig sand	
						7,6		kan fördjupas	
Tärnsjö	Rb 8003	6672833	1563060	62,91		0	2,2	grusig sand	VIAC
						2,2	2,4	trärester	
						3,2	3,8	grusig sand	
						3,8		kan fördjupas	
Tärnsjö	Rb 8004	6672718	1562988	60,77		0	0,8		VIAC
						0,8	1,3		
						1,3	2,3		
						2,3	3	silt	
						3	5	sand	
						5		kan fördjupas	
Tärnsjö	Rb 8005 vid unoX-macken	6672115	1562895	71,62	65,26	0	1	sand	VIAC
						1	6,5	silt	
						6,5		kan fördjupas	
Heby	Rb 7201	6648100	1558880	51,76	34,93	0	2,5	siltig sand	VIAC
						2,5	14	sand	
						14	26,4	sandigt grus	
						26,4	29	sand	
						29	30,9	sandigt grus	
						30,9		block eller berg	
Heby	Rb 7301	6648012	1558888	50,50		0	12	grusig sand	VIAC
						12	16	sandigt grus	
						16	22	grusig sand	
						22	30	sandigt grus	
						30	32,5	grusig sand	
						32,5		block eller berg	
Heby	Rb 7302	6647792	1558867	52,97		0	15	grusig sand	VIAC
						15	18	sandigt grus	
						18	21,8	sandigt grus	
						21,8		block eller berg	
Heby	Rb 7303	6648255	1558915			0	15	sand	VIAC
						15	21	sandigt grus	
Heby	Rb 7304	6647400	1558780	50,65	34,93	0	1		VIAC
						1	9	lera	
						9	11,5	silt	
						11,5	18	grusig sand	
						18	25,8	sandigt grus	
						25,8		kan fördjupas	
Heby	Rb 7305	6648030	1559070	58,91	35,04	0	2		VIAC
						2	15	siltig sand	
						15	27,1	grusig sand	
						27,1	28,1		
						28,1		berg/block	

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Heby	Rb 9902	6648080	1558937	51,36	35,39	0	8	grusig sand	VBB- VIAK
						8	10	sandigt fingrus	
						10	25,7	grusig sand	
						25,7		block eller berg	
Heby	F1 uttags- brunn	6647258	1558855			0	11	lera	
						11	15	lerig sand	
						15	24	sand-grus	
Heby	F2 uttags- brunn	6647245	1558856			0	15	lera	
						15	19	lerig sand	
						19	33	sand-grus	
Heby	I3 infiltra- tionsbrunn	6647247	1558835			0	7,5	lera	
						7,5	13	lerig sand	
						13	21	sand-grus	
Heby	I4 infiltra- tionsbrunn	6647250	1558820			0	8	lera	
						8	12	sand-grus	
Röcklingemagasinet * 70-06-26	Rb 6403	6642850	1560600	43,84	34,92*	0	7	lera	VIAK
						7	10	siltig lera	
						10	12,5	siltig sand	
						12,5	16	sand	
						16	16,9	sandigt grus	
						16,9		block eller berg	
Röcklingemagasinet	Rb 6404	6644100	1560215	43,86	34,29	0	10,5	sandigt grus	VIAK
						10,5	28,7	grusig sand	
						28,7		kan fördjupas	
Flostaåsen * 70-06-26	Rb 6609	6636760	1562510	36,86	31,90*	0	1,2	lerig silt	VIAK
						1,2	8,2	grusig sand	
						8,2		kan fördjupas	
Flostaåsen	Rb 7011	6635865	1562835	36,49	31,31	0	0,2	mylla	VIAK
						0,2	9,8	lera	
						9,8	13	siltig sand	
						13	14,7	sand	
						14,7	34	grusig sand	
						34	37	grus	
						37	39,7	grusig sand	
Flostaåsen	Vilstena	6637580	1562800	51,53	31,40	0	4	lera	
						4	5	grovsilt	
						5	7	lera	
						7	10	finsand	
Flostaåsen * 70-06-26	Rb 7013	6637800	1562450	41,12	31,97*	0	0,2	mylla	VIAK
						0,2	7,4	lera	
						7,4	10	siltig sand	
						10	15,5	grusig sand	
						15,5	34,9	sand	
Flostaåsen	Rb 7014	6638260	1562430	39,54	31,48	0	0,2	mylla	VIAK
						0,2	8,5	lera	
						8,5	21	sandigt grus	
						21	28,9	stenigt grus	
						28,9		kan fördjupas	
Flostaåsen	Rb 7015	6638030	1562780			0	0,2	mylla	VIAK
						0,2	1,5	lerig silt	
						1,5	3	silt	
						3	9,2	sand	
Flostaåsen * 70-06-26	Rb 7016	6640205	1561880	42,91	33,41*	0	0,2	trol. berg	VIAK
						0,2	10,5	mylla	
						10,5	17,8	lera	
						17,8		siltig sand	
								block eller berg	

Obsplats	Obsnamn	x	y	Rök	Gvy	Från	Till	Jordart	Utf.org
Malmeråsen 5 km Ö Harbo	Rb 7502	6665330	1582100			0	1	lera	VIAK
						1	2,5	siltig lera	
						2,5	2,8	sandig silt	
						2,8	11	grovsand	
						11	11,5	morän	
Malmeråsen	Rb 7503	6665130	1582120			0	0,5	lera	VIAK
						0,5	10	grusig sand	
						10	11,5	sand	
						11,5	12,3	morän	
Malmeråsen	Rb 7504	6664900	1582065			0	2,5	grusig sand	VIAK
						2,5	5,7	sandigt grus	
						5,7		block eller berg	
Malmeråsen	Rb 7505	6664800	1581930			0	0,5	lera	VIAK
						0,5	5,5	sand	

Inventerade och avvägda brunnar och observationsrör

Överkant är brunns- eller röröverkant varifrån grundvattennivån (grundvattenytan) mäts. Spets är 2-tumsrör vars nedersta meter har öppen perforering. De flesta grundvattennivåer är uppmätta i juni 2000. Alla nivåer är angivna i höjdsystemet RH 00.

Id	Obs.namn	x	y	Obs.typ	Överkant	Gv.nivå
BAP1999120703	Fallet	6673860	1562900	grävd	65,83	59,43
BAP1999120705	Fallet	6674730	1562910	borrad	65,88	58,49
BAP1999120707	Edsjö	6673670	1562900	grävd	67,29	59,29
BAP1999120709	Skärsjö	6676620	1563570	grävd	69,80	59,35
BAP1999120710	Skärsjö	6676980	1563890	grävd	62,64	59,11
BAP1999121301	Torrbacka	6679350	1563400	borrad	61,25	56,53
BAP1999121302	Skärsjö	6678770	1563420	grävd	62,32	57,10
BAP1999121306	Isaks	6682980	1564250	grävd	59,53	52,36
BAP1999121312	Bro, Kerstinbo	6680700	1563850	grävd	60,86	56,08
BAP2000112401	Runhällen	6556300	1557215	grävd	75,11	69,37
BAP2000112402	Runhällen	6556520	1557060	grävd	73,78	68,77
BAP2000112403	Runhällen	6557040	1556020	grävd	70,44	66,71
BAP2000112404	Runhällen	6556520	1556690	grävd	70,18	68,42
BAP2000112405	Skärsjöåsen	6675566	1562974	grävd	60,49	58,56
SGU 23002	Stengubbåsen	6669050	1560365	spets	69,79	65,20
SGU 23003	Masteråsen	6665730	1559590	spets	86,12	71,35
SGU 23004	Stengubbåsen	6667920	1559325	spets	85,72	68,87
SGU 23018	Tärnsjöåsen	6670440	1562500	spets	68,87	63,95
SGU 23019	Tärnsjöåsen	6669750	1562110	spets	67,23	64,09
SGU 23020	Masteråsen	6662400	1559820	spets	81,11	70,86
SGU 23021	Masteråsen	6662390	1559820	spets	81,11	78,81
SGU 23022	Masteråsen	6664150	1559900	spets	85,06	72,00
SGU 23024	Masteråsen	6666400	1560220	spets	82,10	69,82
SGU 23025	Masteråsen	6666395	1560220	spets	82,06	69,84
SGU 23027	Stengubbåsen	6669360	1561940	spets	68,00	63,07
SGU 23029	Stengubbåsen	6668710	1560070	spets	80,99	65,56
SGU 23030	Stengubbåsen	6668225	1559870	spets	92,76	<67,63
SGU 23031	Masteråsen	6666220	1559640	spets	103,53	70,83

Id	Obs.namn	x	y	Obs.typ	Överkant	Gv.nivå
EEK1999090701	Flosta	6635750	1562685	källa	28,89	28,45
EEK1999090704	Ådalen	6636470	1562250	spets	32,04	31,16
EEK1999091601	Vilstena	6637580	1562800	borrad	51,53	31,40
EEK1999091619	Åls gård	6644220	1560260	borrad	44,86	34,39
EEK1999091622	Horrsta 3:3	6645900	1559760	borrad	54,37	38,12
EEK1999091630	Rb 8202	6646790	1558860	spets	48,23	34,90
EEK1999110801	Stingtorpet	6652250	1557540	grävd	67,20	63,50
EEK1999110802	Stingtorpet	6652520	1557560	grävd	66,16	63,54
EEK1999110803	Henrikssons	6648960	1558955	borrad	57,30	50,64
EEK1999110804	Henrikssons	6649150	1558900	borrad	56,81	54,94
EEK2000112003	Sör Starfors	6648960	1559200	grävd	67,24	64,43
EEK2000112007	Norr Starfors	6650140	1560300	borrad	60,77	56,10
EEK2000112008	Norr Starfors	6650900	1561015	borrad	63,93	57,82
EEK2000112112	Ingbo	6668660	1558510	grävd	71,55	65,62
EEK2000112113	Ingbo	6668860	1558430	grävd	71,77	65,49

Kemiska analyser av grundvatten från källor och observationsrör

		Rör 9904R Skräddarbo 8–9 m x 665466 y 155764	Rör 9904R Skräddarbo 10–11 m x 665466 y 155764	Rör 9904R Skräddarbo 12–13 m x 665466 y 155764
		1999-09-16	1999-09-16	1999-09-16
COD (Mn)	mg/l	29	25	2,1
Konduktivitet 25 gr	mS/m	31	77	120
pH		7,9	8,9	7,9
Alkalinitet	mg/l	91	83	81
Kolsyra agg CO ₂	mg/l	<1	<1	<1
Hårdhet tot, Ca+Mg	mg/l	44	89	170
Hårdhet gr tot	gr dH	6,1	12	24
Ca	mg/l	35	75	141
Mg	mg/l	5,2	8,5	19
Na	mg/l	18	65	58
K	mg/l	1,4	3,0	4,2
Fe	mg/l	0,02	<0,01	<0,01
Mn	mg/l	<0,01	0,01	0,01
Al	mg/l	0,06	0,04	0,07
Cu	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Zn	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄ -N	mg/l	0,16	0,028	0,012
NO ₂ -N	mg/l	0,054	0,005	0,006
NO ₃ -N	mg/l	0,40	1,0	2,2
PO ₄ -P	mg/l	0,098	0,039	0,026
F	mg/l	0,33	0,27	0,22
Cl	mg/l	45	190	330
SO ₄	mg/l	14	15	19

		Rör 0004R Stengubbåsen 18–19 m x 666885 y 155962	Rör Rb6404 Ål 30 m x 664410 y 156021	Rör 0008R Röcklinge 26–27 m x 664507 y 155958
Datum		2000-06-13	2000-06-20	2000-06-15
COD (Mn)	mg/l	<1	<1,0	<1,0
Konduktivitet 25 gr	mS/m	16,7	42	24,9
pH		7,8	8,3	8,1
Alkalinitet	mg/l	65	200	110
Kolsyra agg CO ₂	mg/l	-	-	-
Hårdhet tot, Ca+Mg	mg/l	28	71	44
Hårdhet gr tot	gr dH	3,9	9,8	6,1
Ca	mg/l	25	55	34
Mg	mg/l	2,0	9,5	5,8
Na	mg/l	3,2	13	4,9
K	mg/l	1,5	2,2	2,1
Fe	mg/l	0,14	0,12	0,23
Mn	mg/l	<0,02	0,01	0,03
Al	mg/l	0,13	<0,05	0,15
Cu	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Zn	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄ -N	mg/l	<0,010	0,016	<0,01
NO ₂ -N	mg/l	0,004	0,003	0,002
NO ₃ -N	mg/l	<1,0	<1,0	<1,0
PO ₄ -P	mg/l	<0,002	<0,002	<0,002
F	mg/l	0,13	0,15	<0,10
Cl	mg/l	5	8	2
SO ₄	mg/l	6	14	12

		Källa Ulebo x 6669260 y 1562320	Källa Ingbo x 6670380 y 1557215
Datum		2000-08-09	2000-08-09
TOC	mg/l	0,7	1,4
Konduktivitet 25 gr	mS/m	26,8	15,1
pH		7,73	7,24
Alkalinitet	mg/l	66,8	54,66
Kolsyra agg CO ₂	mg/l	-	-
Hårdhet tot, Ca+Mg	mg/l	-	-
Hårdhet gr tot	gr dH	-	-
Ca	mg/l	30,78	19,77
Mg	mg/l	2,76	2,44
Na	mg/l	14,26	4,23
K	mg/l	1,49	1,25
Fe	mg/l	-	0,06
Mn	mg/l	-	0,003
Al	mg/l	-	5,8
Cu	mg/l	-	1,1
Zn	mg/l	-	1,7
NH ₄ -N	mg/l	0,006	0,016
NO ₂ -N	mg/l	-	-
NO ₃ -N	mg/l	0,23	0,18
PO ₄ -P	mg/l	0,002	0,001
F	mg/l	0,32	0,33
Cl	mg/l	38,41	8,34
SO ₄	mg/l	9,27	10,33

Georadar- och seismiska profiler tolkade med avseende på grundvattenförhållanden

Alla nivåangivelser är i m ö.h. och höjdsystem RH00. I georadarprofiler (se avsnittet om grundvattentillgångar) som inte är avvägda anges djup i meter från markytan. I georadarprofilerna representerar blå streck grundvattenytan, röda streck bergytan och gula streck lerskikt. I övrigt framgår på många ställen hur sand- och gruslagren är skiktade, hur de lutar etc.

I de seismiska profilerna har färgsättningen följande betydelse:

Blå färg	huvudsakligen sand och grus under grundvattenytan (vattenmättat) dvs. grundvattenmagasinet. Tunnare skikt av lera och silt kan förekomma i lagerserien. Grundvatten i användbara mängder kan påträffas även i underliggande berggrund. De största grundvattentillgångarna torde emellertid föreligga i de blåmarkerade avsnitten.
Ljusbrun färg	huvudsakligen sand och grus ovanför grundvattenytan (torrt). Tunnare skikt av lera och silt kan förekomma i lagerserien.
Gul färg	lera och silt. Tunnare skikt av sand och grus kan förekomma i lagerserien.
Utan färg	urberg, underst i lagerserien.

Siffrorna som t.ex. 500, 1 650 och 5 000 (m/s) inne i färgfälten syftar på den uppmätta hastighet som ljudet har i respektive skikt, och som ligger till grund för tolkningarna. Se kapitlet ”Metodbeskrivningar”, i första hand figur 109, för tolkningen av de seismiska mätningarna.

LITTERATUR OCH GRUNDTVATTENKARTOR

Allmän litteratur

- Aastrup, M., 1994: Grundvattenövervakning inom PMK. Rapport från verksamheten 1994. *Statens naturvårdsverk. Rapport 4128*.
- Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995: Grundvattnets kemi i Sverige. *Statens naturvårdsverk. Rapport 4415*.
- Agerstrand, T., 1973: Vattenmiljön. I P. Brink, T. Cewé, E. Olerud, C. Ramel, H. Sjörs & M. Falkenmark (red.) *Praktisk geohydrologi. Praktisk miljökunskap*. Natur och Kultur, Stockholm, 53–80.
- Andersson, A.C., Andersson, O. & Gustafsson, G., 1984: Bunnar: undersökning – dimensionering – borrhning – drift. *Byggforskningsrådet R 42:1984*.
- Andersson, S., Eriksson, A. & Åbyhammar, T., 1980: Utvinning av värme ur bergborrhade bunnar. Förstudie. *Byggforskningsrådet R 142:1980*.
- Aneblom, T. & Persson, G., 1979: Studies of the variations in water content in the unsaturated zone of an esker. *Nordic Hydrology 10*, 1–6.
- Annadotter, H., 1993: Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt en litteraturstudie. *VA-forsks rapportserie 1993-03*.
- Bengtsson, M.-L., 1996: Hydrogeologisk sårbarhetsklassificering som verktyg i kommunal planering. Med exempel från Lerums kommun. *Chalmers tekniska högskola, Geologiska institutionen Publ. A81*.
- Berggren, M., 1998: Hydraulic conductivity in Swedish bedrock estimated by means of geostatistics. *Kungl. tekniska högskolan Thesis Report Series 1998:9*.
- Bergman, G., 1972: *Bestämning av infiltrationskoefficienter för bergytor och perkolationsbanor i jordlager*. Stockholms universitet. Kvartärgeologiska institutionen. Även Styrelsen för teknisk utveckling 69-519/U386.
- Bergman, S., Delin, H., Kübler, L., Ripa, M. & Söderman, J., 2001: Projekt Svealand. Kartbladen 12H Söderfors SV, SO. I H. Delin (red.): Regional berggrundsgelogisk undersökning – sammanfattning av pågående undersökningar 2000. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 105*.

- 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*.
- Carlsson, A. & Olsson, T., 1977: Hydraulic properties of Swedish crystalline rocks. *The Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N.S. 7*.
- Carlsson, L., 1970: Metoder för praktisk bestämning av grundvattnets strömningshastighet. *Chalmers tekniska högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Serie B 70:1*. Göteborg.
- Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977: Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrocks. *Nordic Hydrology 8*, 103–116.
- Carlsson, L. & Gustafsson, G., 1984: Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. *Byggforskningsrådet R41:1984*.
- Coordinating committee for hydrology in nordic countries (COHYNO), 1984: *Nordic Glossary of Hydrology*. I. Johansson (red.). Almqvist & Wiksell International, Stockholm.
- De Geer, J., 1970: Några hydrogeologiska synpunkter på jordtäckets akviferer främst åsarnas. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm.
- Dressie, Z., 1987: Recharge and soil water studies using different models and methods. *Uppsala universitet. Naturgeografiska institutionen. Avdelningen för Hydrologi. Report Series A, Nos 2 and 39*.
- Engqvist, P., Olsson, T. & Svensson, T., 1978: Pumping and recovery tests in wells sunk in till. *Nordic Hydrological Conference and Second Nordic IHP meeting, Hanasaari Cultural Centre, July 31 – August 3, 1978, Papers of workshops. Helsinki*.
- Erdmann, E., 1865: Kartbladet Lindsbro. *Sveriges geologiska undersökning Aa 14*.
- Ericsson, B. & Grånäs, K., 1985: Jordartskartan 12H Söderfors NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 74*.
- Ericsson, B. & Lidén, E., 1987: Jordartskartan 12H Söderfors NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 87*.
- Eriksson, A., 1981: Energibrunnar. *Sveriges geologiska undersökning. Information från brunnarsarkivet 1/81*.
- Fabricius, C., 1996: Vägsaltpåverkade enskilda grundvattentäkter – en pilotstudie i Mellansverige. *Kungl. Tekniska högskolan. Institutionen för Anläggning och Miljö, Avd. för Mark och Vattenresurser. Examensarbetsserie 1996:2*.
- Flentzberg, A., 1909: Offerkällor och trefaldighetskällor. *Fataburen*, 65–84, 141–149.
- Fredén, C. (red.), 1994: *Berg och jord*. Andra upplagan. Sveriges Nationalatlas.
- Frycklund, C., 1998: *Artificial recharge of groundwater for public water supply. Potential and limitations in boreal conditions*. Kungl. Tekniska högskolan, Dissertation, Div. of Land and Water Resources.
- 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.
- Grånäs, K., 1989: Jordartskartan 12H Söderfors SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 104*.
- Gustafsson, G., 1974: A method of calculating the hydraulic properties of esker aquifers. *Nordic Hydrologic Conference, Aalborg 1974*, 525–543.
- Gustafsson, G., 1976: A method of calculating the hydraulic properties of leaky esker-aquifer systems. Nord. Hydrol. Conf. Reykjavik 1976, s. IV 47–64. Även i: *Nordic Hydrology 8*, 1977, 65–82.

- Gustafsson, G., 1978: Studies of the hydrogeology of subaqueous eskers. *Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet, Geologiska institutionen Publ. A26*.
- Gustafsson, 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.
- Hummel, D., 1865: Kartbladet Skattmansö. *Sveriges geologiska undersökning Aa 15*.
- 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. *Kungl. Tekniska högskolan. Institutionen för kulturteknik. Meddelande TRITA-KUT 1045*.
- Johansson, P.-O., 1987: Spring discharge and aquifer characteristics in a sandy till area in southeastern Sweden. *Nordic Hydrology 18*, 203–220.
- Knutsson, G., 1979: Hydrogeologisk översiktskartering av Sverige. *Vannet i Norden Nr 1*.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1993: *Grundvatten, teori och tillämpning*. AB Svensk Byggtjänst, Solna.
- Knutz, Å., Svensson, T., Lindmark, P., Rosén, B., Eriksson, A. & Landin, O., 1995: Yt- och grundvat-
tenskydd. *Vägverket Publikation 1995:1*.
- 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).
- Lindberg, J. & Olofsson, B., 1997: *Risk för salt grundvatten – en studie med hjälp av GIS över delar av Norrtälje kommun*. Kungl. Tekniska högskolan. Institutionen för Anläggning och Miljö, Avd. för Mark och Vattenresurser.
- Lindén, A., Melin, O. & Mellander, H., 1983: *Områden med anomal radioaktiv värmeproduktion i södra och mellersta Sverige*. Energiforskningsnämnden. Långsiktig energitillförsselforskning.
- Lindman, E.-K. & Mattson, E., 1982: *Försurningens inverkan på korrosionen i vattenledningar av koppar*. Korrosionsinstitutet. Stockholm.
- Länsstyrelsen i Västmanlands län, 1975: *Tätorternas vattenförsörjning. 1975 nr 6*.
- Länsstyrelsen i Västmanlands län, 1985: *Naturvårdsplan för Västmanlands län. 1985 nr 19*.
- Maxe, L. (red.), 1995: Effects of acidification on groundwater in Sweden. *Swedish Environmental Protection Agency. Report 4388*.
- Maxe, L., 1998: Bedömning av grundvattnets sårbarhet – utvecklingsmöjligheter. *Naturvårdsverket. Rapport 4852*.
- Maxe, L., 1999: *Assessing Groundwater Vulnerability – the Acidification Case*. Kungl. Tekniska högskolan. Institutionen för Anläggning och Miljö, Avd. för Mark och Vattenresurser.
- Müllern, C.-F., 1980: Airborne geophysical measurements used for hydrogeological mapping. 6:e *Nordiska Hydrologiska Konferensen. Uppsala Universitet, Naturgeografiska Institutionen. Rapport Nr 53*.
- Müllern, C.-F., 1999: Starkt ökade salthalter i Dalkarlsåsen. *Sveriges geologiska undersökning, Grundvatten 2/99*.
- Müllern, C.-F., 2001: Salt grundvatten och saltavskiljarbrunnar. *Sveriges geologiska undersökning, Grundvatten 1/01*.
- Müllern, C.-F., 2002: Beskrivning till kartan över grundvattentillgångar i Nynäshamns kommun. *Sveriges geologiska undersökning An 12*.
- Naturvårdsverket, 1991: Grundvattentäkter: skyddsområden – skyddsföreskrifter. *Allmänna råd 90:15*.
- Naturvårdsverket, 1999: Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Grundvatten. *Rapport 4915*.

- Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The National Groundwater Network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 48*.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1979: *Vårt vatten – tillgång, utnyttjande*. LTs förlag, Stockholm.
- Nordic Hydrological Programme, 1994: Salt groundwater in the Nordic countries. *NHP Report 35*.
- Nordqvist, R., 1982: *Försurning*. Uppsala universitet. Kvartärgeologiska avdelningen.
- Olofsson, B. & Ericsson, L.O., 1985: Miljöförändringar vid värmeutvinning ur berg och grundvatten. *Byggforskningsrådet R 149*.
- Persson, G., 1992: Groundwater protection and vulnerability maps in Sweden. *Memore Descrittive della Carta Geologica d'Italia Vol. XLII*.
- Pousette, J., 1988: Groundwater Documentation in Sweden. *WHO Water Quality Bulletin, vol. 13, no. 4*, Canada Centre for Inland Waters, October 1988.
- Pousette, J., 1989: The Swedish hydrogeological county maps. *Memoires of the International Symposium on Hydrogeological Maps as Tools for Economic and Social Development*. Hannover, Federal Republic of Germany, 1989.
- Pousette, J., 1994: Shallow Groundwater in Sweden—a Vulnerable Resource. *Water Down Under '94, Preprints of Papers*, IEAust, Barton, Australia.
- Programmet för övervakning av miljökvalitet (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 University*, 260 s.
- Rudqvist, D., 1997: *Hydrogeologisk studie av kloridförening i Uppsalaåsen vid Segersjövattentäkten, Botkyrka kommun*. Uppsala universitet. Institutionen för geovetenskap, Avdelningen för kvartärgeologi och hydrogeologi.
- 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.
- Sandegren, R. & Asklund, B., 1948: Kartbladet Söderfors. *Sveriges geologiska undersökning Aa 190*.
- Saxena, R. & Dressie, Z., 1983: Estimation of groundwater recharge and moisture movement in sandy formations by tracing natural 0-18 and injected tritium profiles in the unsaturated zone. *I: Isotope hydrology (Proc. Symp. Vienna, 1983), IAEA, Vienna*, 139–150.
- Statens livsmedelsverk, 1993: Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten. *SLV Författningssamling 1993:35*.
- 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*.
- Svantesson, S.-I., 1999: Jordartskartan 11H Enköping NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 131*.
- 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*.
- Tekniska nomenklaturcentralen, 1984: Geologisk ordlista. *TNC 77*.
- UNESCO, 1983: *International legend for hydrogeological maps*. UNESCO, Paris.
- Wikner, T., Söderholm, H., Müllern, C.-F. & Engqvist, P., 1979: Hydrogeologiska kartan över Västmanlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ah 2*.
- Winqvist, G., 1953: Groundwater in Swedish Eskers. *Kungl. tekniska högskolans handlingar 61*.

Ej tryckta utredningar

1950	Redogörelse för grundvattenundersökning för Vittinge stationssamhälle, Vittinge kommun.	AIB
1951	Förslag till vattenförsörjnings- och avloppsanläggningar för bebyggelseområdet vid Huddunge kyrka i Huddunge kommun.	AIB
1958	Redogörelse för vissa rödrivningar i lösa jordlager för vattentäkt till Harbo byggnadsplaneområde samt inventering av befintliga, bergborrade brunnar.	Orrje & Co.
1959	Redogörelse över utförd grundvattenundersökning i Harbonäs, Östervåla kommun.	LBF
1962	Redogörelse för ny grundvattenundersökning för Vittinge samhälle i Vittinge kommun.	AIB
1963	Redogörelse för grundvattenundersökning för Morgongova samhälle i Vittinge kommun.	AIB
1964	Grundvattenundersökning i Dalkarlsåsen för Vittinge och Västerlövsta kommuner.	AIB
1965	Redogörelse över grundvattenundersökning i Dalkarlsåsen vid Heby.	AIB
1967	Preliminärt utlåtande angående kommunal grundvattentäkt i Östervåla, Västmanlands län.	SGU
1967	Redogörelse för grundvattenundersökningar avseende vattenförsörjning inom planerad fritidsbebyggelse på del av fastigheterna Nordsjö 2:10 och 8:1 inom Västerlövsta kommun.	VIK
1967	Redogörelse för grundvattenundersökningar för vattenförsörjningen inom Ådalens samhälle, Fjärdhundra kommun.	VIK
1968	Slutrapport angående kommunal vattentäkt i Östervåla.	SGU
1969	Översiktlig grundvattenundersökning för planerad fritidsbebyggelse vid Östa – Östaholm, Nora kommun, Västmanlands län.	SGU
1969	Sammanfattning av analysresultat från provpumpning vid "Ettinga Nya".	Vattentest AB
1970	Redogörelse för geohydrologiska undersökningar av Enköpingsåsen för vattenförsörjningen i Fjärdhundra och Enköping.	VIK
1972	Teknisk beskrivning avseende Heby kommuns vattentäkt i Tärsjö.	A. Andersson ingenjörbyrå
1972	Teknisk beskrivning till ansökan om legalisering av vattentäkt inom fastigheten Ettinga 3:21, Östervåla samhälle.	Kommunaltekniska ingenjörbyrå i Västerås
1972	Teknisk beskrivning till ansökan om legalisering av vattentäkt inom fastigheten Hov 4198, Östervåla samhälle.	Kommunaltekniska ingenjörbyrå i Västerås
1972	PM angående vattenförsörjningens ordnande inom Heby området.	AIB

1973	Heby kommun. Redogörelse för geohydrologiska undersökningar i Dalkarlsåsen för vattenförsörjningen i Hebyregionen.	VIAK
1974	Heby kommun, vattenförsörjning. Geotekniska synpunkter på ökat vattenuttag.	VIAK
1975	Heby kommun, Harbo, rekognoserande grundvattenundersökningar.	VIAK
1978	Heby kommun, Tärnsjö. Rekognoscerande geohydrologisk undersökning.	VIAK
1978	Stiftelsen för naturskydd och friluftsliv i Västmanlands län, Östa. Heby kommun. Program för utförande av rörbrunn.	VIAK
1978	Rapport över seismisk undersökning på Enköpingsåsen, kartbladen 12H Söderfors SV 3b och 3c.	SGU
1979	Stiftelsen för naturskydd och friluftsliv i Västmanlands län, Östa. Heby kommun. Stegprovpumpning av rörbrunn nr 2 samt redovisning av provtagningsrör (Rb 7901) vid avloppsinfiltrationsanläggningen.	VIAK
1979	Del av utredning angående Tärnsjö, Heby kommun.	VIAK
1979	Heby kommun, Tärnsjö vattenförsörjning. PM nr 2 beträffande pågående projektering (grundvattenutredning).	VIAK
1979	Heby kommun, Tärnsjö och Östervåla vattenförsörjning. PM nr 4 beträffande pågående projektering.	VIAK
1979	Heby kommun, Tärnsjö. Ändring av tidigare förslag ”Planerade anläggningar för ny vattentäkt”.	VIAK
1979	Yttrande. Anläggande av ny vattentäkt i Tärnsjö, Heby kommun.	Naturvårdsenheten, Länsstyrelsen i Västmanlands län
1980	Heby kommun, Tärnsjö och Östervåla vattenförsörjning. PM nr 5 beträffande pågående projektering.	VIAK
1983	Heby kommun. Tärnsjö – Östervåla vattenförsörjning. Utvärdering av grundvattentillgången i Tärnsjö.	VIAK
1984	Heby kommun. Värmepumpar socialkontor, skolor o.s.v. samt Kommunhus	VIAK
1996	Storstockholms framtida vattenförsörjning	Stockholm Vatten, Norrvatten, VBB Viak, KTH, J&W
1997	Påverkan på grundvattenförhållandena genom brytning av bergmaterial vid Björnhällarna, Harbo-Eklunda 1:1, Heby kommun.	SGU
1997	Heby kommun. Heby, Morgongåva. Vittinge. Översiktlig undersökning rörande reservvattentäkt för Heby.	GVT Grundvattenteknik
1999	Heby kommun. Heby vattentäkt. Br 2, stegprovpumpning och relation.	SWECO VBB VIAK

SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel

- Nr 17. Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand–bentonitskikt. 1980.
- Nr 21. Groundwater-level fluctuations as a measure of the effective porosity and groundwater recharge. 1980.
- Nr 27. Intruded and relict groundwater of marine origin. SWIM -81. 1981.
- Nr 30. Radon–geological aspects of an environmental problem. 1982.
- Nr 37. Geokemisk kartering. 1984.
- Nr 39. Salt grundvatten i Sverige. 1985.
- Nr 42. Geokemisk kartering. Bäcktorv. 1985.
- Nr 43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
- Nr 44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
- Nr 57. Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
- Nr 75. Biogeokemiska kartan 8–10 G–J och 11–12 H–J. Tungmetaller (Pb, Au, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se, U, V, W, Zn) i bäckvattenväxter. 1993.
- Nr 86. Miljögeologi. Kartor för samhällsplanerare och miljövårdare. Exempel från Mittnordenområdet. 1996.
- Nr 87. 14th Salt Water Intrusion Meeting, Malmö, SWIM -96. 1996.
- Nr 99. Grundvattnets tillstånd i Sverige. Årsskrift från miljöövervakningen 1999.
- Nr 101. Betydelsen av de geokemiska och mineralogiska förhållandena för grundvattnets kemiska sammansättning i morän och sorterade sediment i norra Värmland. 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. Norrköping NV
8. Eskilstuna NO
9. Linköping NO
10. Östergötlands sedimentära berggrund (skala 1:100 000)
11. Eskilstuna NV
12. Norrköping NO
13. Malmö NV
14. Helsingborg SV
15. Höganäs NO/Helsingborg NV

SGU serie Ah

Grundvattenkartor, län, i skala 1:250 000.

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
11. Linköping (endast karta)
12. Nynäshamn
13. Bollnäs
14. Höganäs

SGU serie K

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

44. Umeå
49. Västerås-Hallstahammar
50. Kristinehamn
62. Örkelljunga
63. Mölndal
69. Sigtuna (karta)

- 78. Ekerö
- 82. Halmstad
- 83. Köping
- 88. Eskilstuna–Kungsör (karta)
- 89. Helsingborg (karta)
- 90. Båstad (karta)
- 91. Heby
- 92. Botkyrka
- 93. Salem
- 102. Kävlinge (karta)
- 103. Staffanstorps, Lomma Burlöv (karta)
- 104. Landskrona (karta)
- 108. Uddevalla
- 109. Göteborg (karta)
- 110. Enköping (karta)
- 116. Lund (karta)
- 117. Malmö (karta)

Dessutom finns följande kartdatabaser tillgängliga:

Alingsås	Laholm	Vårgårda
Haninge	Lerum	Åstorp
Håbo	Norrtälje	Ängelholm
Härryda	Partille	Örebro
Klippan	Stockholm	
Kumla	Södertälje	

