

Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Brattforsheden

Carl-Fredrik Müllern



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7158-871-5

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: Utloppet från Alstern, en källsjö, varifrån flödet i genomsnitt är ca 800 l/s. Foto: C.-F. Müllern.

FÖRORD

Kartläggningen av Brattforshedens grundvattentillgångar ingår i SGUs arbeten med miljömålet ”Grundvatten av god kvalitet”. Den omfattar stråket med isälvsavlagringar från den egentliga Brattforsheden – deltaavlagringarna mellan sjön Mången och Brattfors samhälle – till Grässjöns sydände. Föreliggande karta är i första hand avsedd att användas som underlag i samband med beslut om skydd av landets viktigaste grundvattentillgångar. Den kan även komma till användning i den kommunala verksamheten och i andra grundvattenrelaterade sammanhang.

Tidigare har grundvattentillgångarna inom det avsnitt som faller inom Karlstads kommun undersökts och redovisats med karta och beskrivning (Aneblom 2001).

Kartan över grundvattenförekomster i Brattforsheden är digitalt framställd. Informationen är lagrad i databas och har en noggrannhet som huvudsakligen är avsedd att passa en framställning i skala 1:50 000. Framställningar av analoga kartor över hela eller delar av kartdatabasen kan göras i såväl större som mindre skala, vilket emellertid kräver insikt i att bl.a. noggrannheten inte alltid överensstämmer med den förändrade kartskalan.

Bedömningarna av grundvattentillgångarna har grundats på de hydrogeologiska fältarbeten som utfördes 2003 och 2004, innefattande geofysiska mätningar med georadar, seismik och geoelektrik samt sonderingsborrningar och drivning av observationsrör.

En av de viktigare utgångspunkterna för arbetena har varit den hydrogeologiska översiktskartan över Värmlands län i skala 1:250 000 (Aneblom m.fl. 1998), vilken huvudsakligen är en syntes av äldre grundvattenundersökningar och utredningar samt besiktningar i fält.

De detaljerade undersökningar som nu utförts för kartläggningen av grundvattentillgångarna i Brattforsheden har givetvis lett till ökade insikter om grundvattenförhållandena, varför denna karta i flera avseenden skiljer sig från motsvarande delar av länskartan. Det gäller i första hand uttagsmöjligheterna i olika avsnitt, källor m.m. Arbetena med den nya kartan har inneburit en avsevärt säkrare kvantifiering av grundvattentillgångarna i de olika delmagasinen genom bl.a. de geofysiska mätningarna och borrhningarna.

Curt Fredén, som skrivit avsnittet om Brattforshedens och Rådadalens kvartärgeologi, medverkade också vid arbetena med den större borrhmaskinen vid Alsterns sydände. Textbidrag har i övrigt lämnats av Bo Wållberg (metodbeskrivningar – georadar och seismik), Leif Eriksson (metodbeskrivning – elektriska motståndsmätningar) och Magnus Åsman (metodbeskrivningar – kriging).

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

Vid kartläggningen har de geofysiska arbetena letts av Bo Wållberg och borrhningarna av Roger Smedberg. I fältarbetena medverkade Barbro Aastrup, Eva Elsmark Müllern, Sune Rurling, John-Erik Larsson, Björn Johansson, Linda Ahlström och Emil Gunnarsson.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	3
SAMMANFATTNING	6
Utförda arbeten	6
Grundvattentillgångar	6
Inledning	7
Brattforshedens och södra Rådadalens kvartärgeologi	9
Inlandsisens avsmältning och högsta kustlinjen	10
Terrängformer	10
Terrängformer som är präglade av inlandsisens avsmältning	10
Former som bildats av strandprocesser	11
Former som bildats av vinden	12
Former som bildats av rinnande vatten	12
Jordarterna inom området	12
Brattforshedens och södra Rådadalens utveckling	13
Grundvattentillgångar	15
Allmänna förutsättningar	15
Naturresursen grundvatten	15
Vattnets kretslopp	16
Grundvattnet i och intill en grusås	17
Grundvattenbildning	17
Tidsmässiga variationer i grundvattennivå	18
Årstidsvariationer	19
Dricksvatten	21
Inducerad infiltration	21
Konstgjort grundvatten	21
Teckenförklaring till kartutsnittet i denna beskrivning	25
Grundvattenförhållanden i södra delen av Brattforsheden	26
Geofysiska mätningar och borrhningar	28
Georadarmätningar	28
Seismiska mätningar och borrhningar	34
Grundvattnets strömningsriktningar och källor	43
Grundvattenförhållanden i norra delen av Brattforsheden	52
Geofysiska mätningar och borrhningar	52
Georadarmätningar	52
Seismiska mätningar och borrhningar	52
Grundvattnets strömningsriktningar och källor	57

Grundvattenförhållanden i Mohedsmagasinet, Rådadal	59
Geofysiska mätningar och borrhningar	59
Georadarmätningar	59
Seismiska mätningar och borrhningar	63
Grundvattnets strömningsriktningar och källor	65
Brattforshedens och Mohedsmagasinet grundvattentillgångar	67
GRUNDVATNETS SÅRBARHET	70
Grundvattenpåverkan	70
Konsekvens- och riskanalys	70
Skydd av grundvattnet	70
Metodbeskrivningar	72
Georadar	72
Geologiska förutsättningar	72
Tillämpningsområden	72
Seismik	72
Grundläggande principer	72
Mätförfarande	73
Geologiska förutsättningar	73
Tillämpningsområden	74
Elektriska motståndsmätningar	74
Kriging och variogramanalys	77
Databasstruktur	78
Litteratur och grundvattenkartor	79
Referenser	79
Allmän litteratur	79
SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel	81
Grundvattenkartor	81
SGU serie Ag, grundvattenkartor i skala 1:50 000	81
SGU serie Ah, grundvattenkartor, län, i skala 1:250 000	81
SGU serie An	82
SGU serie K	82

SAMMANFATTNING

Utförda arbeten

En principbild av hur det kan se ut på djupet i en sand- och grusavlagring visas i figur 1. 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 grusförekomsterna. Höga berglägen innebär små eller inga grundvattenmagasin. Höga berglägen kan också innebära grundvattendelare. Låga berglägen medger stora grundvattenmagasin.

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

Arbetet har haft sin utgångspunkt i SGUs jordarts- och berggrundskartor, i första hand jordartskartan 1:1D Munkfors SO (Fredén 2001), grundvattenkartan över Värmlands län (Aneblom m.fl. 1998), kartan över grundvattentillgångar i Karlstads kommun (Aneblom 2001) samt den kvartärgeologiska kartan över Brattforsheden (Hörner 1927).

Arbetet har sammanfattningsvis bestått av följande moment:

- Genomgång av äldre utredningar, kart- och arkivmaterial.
- Inventering av 69 brunnar och äldre observationsrör.
- Inventering av kända källor samt uppletande av ytterligare källor.
- Georadmätningar i 58 profiler med en sammanlagd längd av 102 km.
- Seismiska mätningar i 10 profiler med en sammanlagd längd av 3 340 m.
- Sonderingsborrningar på 12 platser med en sammanlagd längd av 441 m och drivning av observationsrör på 10 platser med en sammanlagd längd av 254 m.
- Höjdbestämmning av observationsrör, georadar- och seismiska profiler.
- Provtagning av grundvattnet i observationsrör och i källor, 8 fysikalisk-kemiska analyser.
- Inlagring i databaser av:
 - brunnnsdata,
 - georadar- och seismiska data,
 - borrhingsdata, även vissa äldre,
 - grundvattennivådata och
 - kemidata.
- Upprättande av kartdatabaser över:
 - grundvattentillgångar i jordlagren,
 - grundvattnets strömningsriktningar,
 - källor och
 - borrhingspunkter och geofysiska mättingsprofiler.
- Sammanställning av dessa databaser med Lantmäteriets digitala topografiska karta (T5) till en karta över Brattforshedens grundvattentillgångar.

Grundvattentillgångar

Brattforshedens grundvattentillgångar är ovanligt stora. Brattforsheden rymmer tre grundvattenmagasin åtskilda av i huvudsak rörliga grundvattendelare:

1. Alstermagasinet med en grundvattentillgång av storleksordningen 800 l/s.
2. Lungälvsmagasinet med en grundvattentillgång av storleksordningen 130 l/s.
3. Flygplatsmagasinet med en grundvattentillgång av storleksordningen 100 l/s.

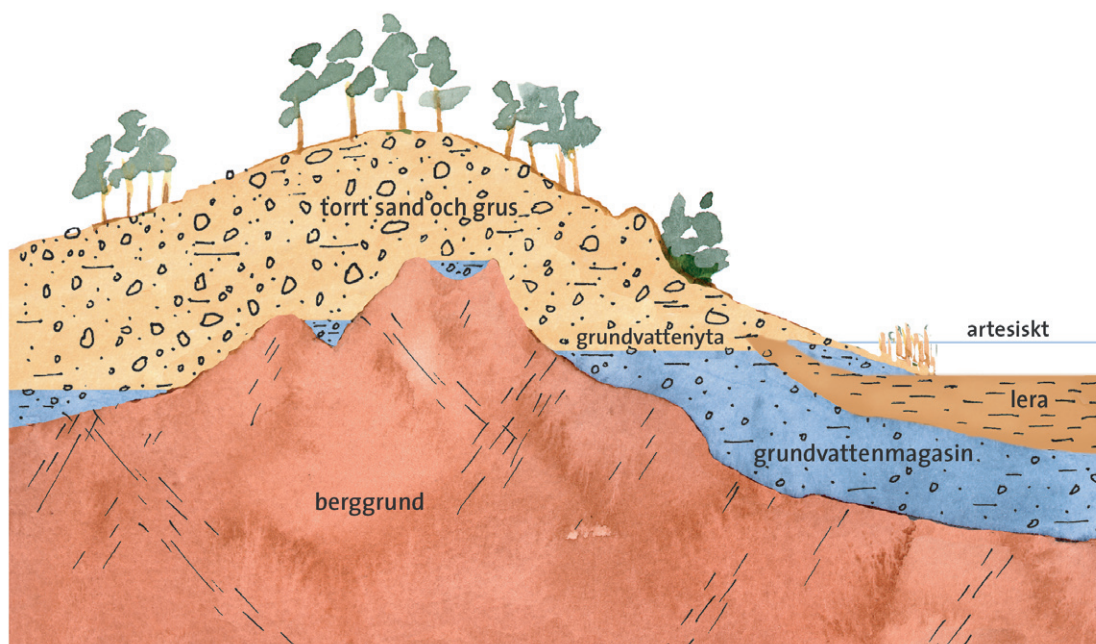


Fig. 1. Principbild av höga och låga berglägen – stora och små grundvattenmagasin i en grusavlagring. Lägg märke till hållkaren, de små grundvattensamlingarna, där bergläget är som högst.
Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Brattforshedens sammanlagda grundvattentillgångar är alltså av storleksordningen 1 000 l/s.

Kornstorleksfördelningen i Brattforshedens avlagringar är sådan att de på många håll är för finkorniga för större uttag, men tillräckligt grova och genomsläppliga lager förekommer på flera ställen.

Vid Ångsågen i sydligaste änden av Alstern har den största akvifermäktigheten, 140 m, med de mest grovkorniga och vattenförande lagren påträffats. Detta är det största kända jorddjupet och även den största kända mäktigheten på något grundvattenmagasin i Värmland. Grovkorniga och starkt vattenförande lager har också påvisats på ett par ställen längs Alsterns östra strand.

Alstern omges helt av Alstermagasinet, som avvattas via sjön och dess utlopp vid Paradishyttan. Sjön är på det hela taget en källa, varifrån isälvsavlagringarnas grundvatten rinner ut med i genomsnitt 800 l/s. Den är därmed en av landets största källor.

Norr om Alstermagasinet följer Mohedsmagasinet. Detta grundvattenmagasin ligger i den sydligaste delen av Rådadalen, en i urberggrunden mycket skarpt utpräglad dalgång med förlängning mycket långt såväl norrut som söderut.

Också Mohedsmagasinet är stort med närmare 140 m mäktiga, vattenmättade lager söder om Grässjön. Hittills har emellertid endast avlagringar som är alltför finkorniga för större grundvattenuttag påträffats i detta grundvattenmagasin. Trots den stora mäktigheten och en grundvattenbildning av storleksordningen 500 l/s bedöms grundvattentillgången i Mohedsmagasinet därför endast vara av klassen 25–125 l/s, beroende på de begränsade uttagsmöjligheterna.

INLEDNING

Undersökningsområdet är beläget ett par mil väster om Filipstad. De undersökningar som redovisas i denna beskrivning omfattar den egentliga Brattforsheden och isälvsavlagringarnas fortsättning mot norr, in i Rådadalen fram till Grässjön.

Med Brattforshedens grundvattentillgångar avses grundvattnet i den egentliga Brattforsheden och i isälvsavlagringarna fram till grundvattendelaren norr om Alstern. Från grundvattensynpunkt kan Brattforsheden indelas i tre grundvattenmagasin åtskilda av grundvattendelare: Alstermagasinet, Lungälvmagasinet och Flygplatsmagasinen (figur 2).

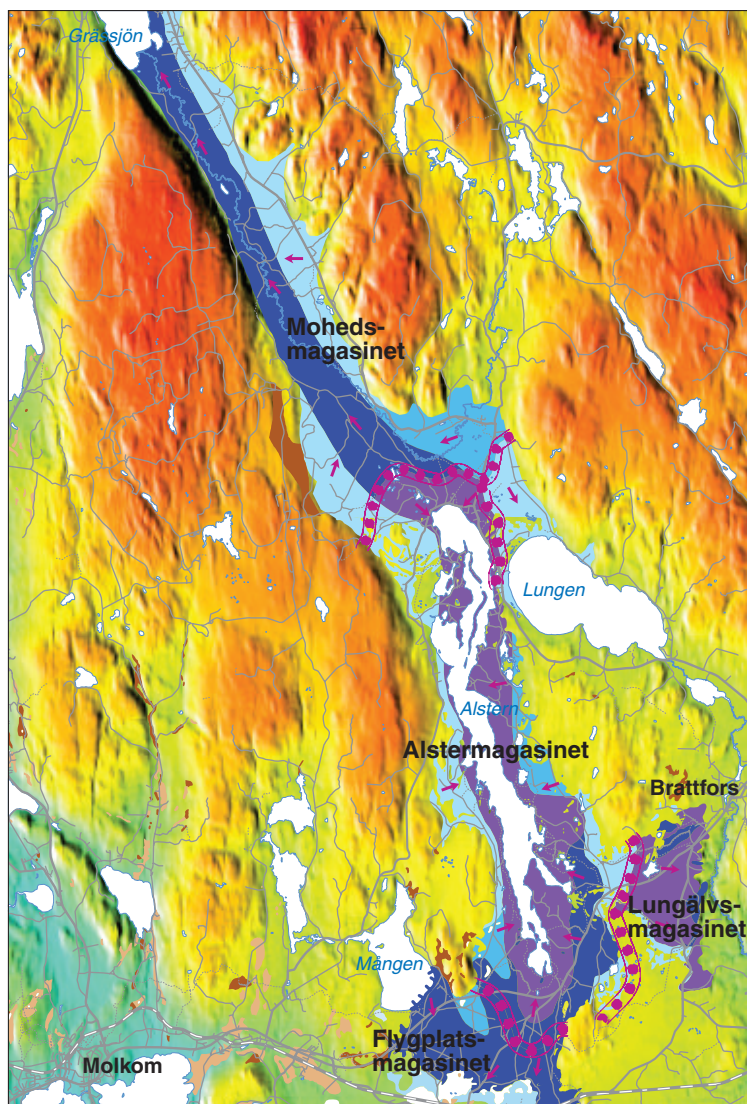


Fig. 2. Den egentliga Brattfors-heden är isälsavlagringarna – deltabildningarna – mellan Mången och Brattfors samhälle. Det undersökta området sträcker sig från järnvägen i söder till Grässjön i norr. Mellan Alstern och Grässjön ligger isälsavlagringarna i den skarpt markerade Rådadalen. Isälsavlagringar i blå nyanser mot bakgrund av höjdreliëfkarta framställd från Lantmäteriets höjddatabas.

Mohedsmagasinet avser grundvattentillgångarna i isälsavlagringarna mellan grundvattendelaren norr om Alstern och Grässjön.

Isälsavlagringarna är till sin huvuddel lokaliserade i en mycket markant sprickdal, som löper i en nordnordvästlig till nord-sydlig riktning, se figur 2. Denna sprickdal sträcker sig långt norrut och söderut. Den är en del av den s.k. Protoginzonen, en av de mer dominerande spricktektoniska strukturerna i Sveriges berggrund, och som sträcker sig från Norge in i nordligaste Värmland och söderut genom Skåne.

I de södra delarna av sprickdalen, kring Alsterns sydände, är isälsavlagringarna i sina övre delar utbildade som deltan. Dessa är avsatta vid högsta kustlinjen och är s.k. HK-deltan, med mycket jämna överytor på nivåer mellan 180 och 175 m ö.h. Ovanpå isälsavlagringarna förekommer dyner på många håll, särskilt strax norr om Alstern (figur 3). Jordarterna beskrivs närmare i nästa kapitel.

Från isälvsedimenten flödar förhållandevis mycket grundvatten i form av ett flertal källor, särskilt i den sydöstra och den södra kanten av Brattforsheden samt mer diffust vid Alsterns stränder. Källorna i sydöst har eroderat de mäktiga, sandiga-siltiga sedimenten och mejslat ut ett flertal branta och smala raviner, de 15–25 m djupa, natursköna Lungälsravinerne.

Brattforshedens isälsavlagringar har vid tidigare undersökningar visat sig vara förhållandevis finkorniga, huvudsakligen sand-silt, och inte vattengivande i någon högre grad (VIAK 1971, Aneblom 2001).

De här redovisade undersökningarna har bl.a. inriktats mot att påvisa vilka möjligheter som



Fig. 3. Georadarmätning längs en dyn, Stortjärnsmanen ca 1 km nordväst om Alsterns nordände. Mätningmomentet sker med bilburen utrustning med en hastighet av ca 10 km per timme. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

egentligen finns för större grundvattenuttag mot bakgrund av de tidigare förhållandevis sparsamma undersökningsresultaten, grundvattenbildningens teoretiska storlek och de rikliga källflödena. Svårigheten har legat i att hitta avlagringar som är tillräckligt vattengenomsläppliga för att medge större grundvattenuttag ur enskilda brunnar.

BRATTFORSHEDENS OCH SÖDRA RÅDADALENS KVARTÄRGEOLOGI

Värmlands topografi präglas till en viss del av långsträckta markanta dalar i sprickzoner i ungefär nord-sydlig sträckning. Den längsta dalen ligger i en sprickzon som sträcker sig från nordligaste delen av landskapet till Ölmeviken vid Väneren och vidare ned till Skåne. Klarälven har sitt lopp i den norra delen av dalen ned till Edebäck, där älven viker av mot väster till en parallell dalgång. I sprickdalens fortsättning från Edebäck mot söder, Rådadalen, finns de långsträckta sjöarna Rådasjön, Lidsjön och Grässjön samt Brattforsheden. I en östlig sidosprickdal finns Svartåns övre lopp, sjön Lungen och Lungälven.

Söder om Brattforsheden vidtar Vänerens kustland och i detta har sprickdalen en låg relief och täcks i stor utsträckning av sediment.

Brattforsheden ligger vid övergången mellan det flacka kustlandet och den högre liggande terrängen. Såväl Brattforsheden som Rådadalen begränsas i öster och väster av bergområden som når högre än 300 m ö.h. Mellan Brattforsheden och Lungälvsdalen finns bergområden som når drygt 200 m ö.h.

Brattforsheden är namnet på den sydligaste delen av en sammanhängande isälvavlagring som fortsätter norrut i Rådadalen. Brattforsheden och Rådadalen åtskiljs av en smal vattendelare mellan Svartåns och Lungälvens dräneringsområden. Svartåns vatten rinner mot norr och mynnar vid Råda i Klarälven. Lungälvens vatten når Väneren via Letälven och Gullspångsälven.

Inlandsisens avsmältning och högsta kustlinjen

Jordens yngsta period, kvartärtiden, kännetecknas av nedisningar och mellanliggande isfria skeden. Terrängformerna är till stor del präglade av den senaste inlandsisen och dess avsmältning. Den senaste inlandsisen nådde sin maximala utsträckning för ca 22 000 år sedan. Då inträffade en markant klimatförändring och isen började smälta bort – en process som var avslutad drygt 12 000 år senare. Mellersta Värmland blev isfritt för ca 11 000 år sedan.

Den tunga inlandsisen tryckte ned jordskorpan minst 800 m i förhållande till nuläget. När inlandsisen smälte strävade jordytan efter att återta sitt ursprungliga läge – landet höjde sig. Under isavsmältningsskedet intogs stora delar av den nedpressade jordskorpan av havet. De idag högst belägna strandmärkena kallas högsta kustlinjen, HK. Nivåer för högsta kustlinjen är baserade på bl.a. deltatyor. HK ligger olika högt i skilda delar av landet beroende på hur mycket jordskorpan varit nedtryckt och vid vilken tidpunkt området blev isfritt. HK-nivån anger det relativa landhöjningsbeloppet sedan ett område frilades från inlandsisen.

Nivåerna för högsta kustlinjen på Brattforsheden och i Rådadalen varierar mellan 180 m ö.h. på deltatytorna i söder och 190 m ö.h. på terrassytorna vid Grässjön. Under den tid det tog för isälvs-sedimenten att bygga upp Brattforsheden hann landet höja sig några meter. De stora plåtarnas ytor utgör således minimivärden för högsta kustlinjen. En annan faktor att klarlägga vid bestämningen av högsta kustlinjens nivå är huruvida terrasserna längs moränslutningarna avsatts i havsyttnivå eller vid en tillfällig dämning längs slutningen och således visar för högt värde.

Terrängformer

Rådadalen och Brattforsheden har en mångfald av former som bildats under olika förhållanden. Huvuddelen av terrängformerna är präglade av inlandsisen och dess avsmältning. Genom landhöjningens och klimatets påverkan har en viss omdaning av terrängformerna senare skett efter inlandsisens avsmältning. Strandprocesser, vinden och det rinnande vattnet har eroderat landskapet och byggt nya landformer. Strandbildningar och dyner döljer till viss del isälvsavlagringens småformer. Ytterligare information kan erhållas från beskrivningen till jordartskartan 1:10 000 Munkfors SO (Fredén 2001).

Terrängformer som är präglade av inlandsisens avsmältning

En ås (rullstensås) är en långsträckt ryggformad isälvsavlagring som bildats av smältvatten i en istunnel. Centralt i Brattforshedens avlagringar ligger den långsträckta sjön Alstern (se figur 4), som kan betraktas som en stor åsgrav med en markant ås i mitten. Åsens krön bildar långsträckta öar i både den norra och södra delen. Isälvsstråk med korta åsar förekommer även på båda sidor av sjön.

Huvudåsen syns i söder som en långsträckt udde och två smala öar. I norra delen av Alstern bildar åschrönet långsträckta öar. Åsens utsträckning under vattenytan mellan öarna i söder och norr är inte känd. Alstern har på denna sträcka sitt största vattendjup, 64 m (Beskow & Rasmusson 1963). Avståndet mellan öarna i norr och i söder är ca 7 km. På båda sidor om Alstern längs denna sträcka finns korta åsar och åsformationer. Dessa upphör när huvudåsen åter påträffas i norr. Den centrala åsen synes upphöra i den norra delen av sjön utan kontakt med vattendelarområdet.

På båda sidor om den centrala åsen förekommer åsgravar, långsträckta svackor. På västra sidan av södra Alstern finns åsformationer med flacka åsgravar.

Ett delta är en utbredd isälvsavlagring som byggs upp till en sjö- eller havsyta. Ett isälvsdelta bildas vanligen där inlandsisens kant låg stilla under en längre tid. Orsakerna till stilleståndet kan vara flera. Det kan t.ex. vara klimatiskt betingat. En annan orsak är vattendjupet i relation till isens tjocklek. Där isavsmältning skett i havet har utöver ytavsmältning även en frontal avsmältning – kalvning – ägt rum. Under omläggningen från frontal- och ytavsmältning till enbart ytavsmältning kan isfrontens reträtt tillfälligt upphöra och stora volymer av isälvsediment ansamlas vid isälvarnas mynnningar. De största deltana i landet är topografiskt betingade och förekommer framför allt vid högsta kustlinjen,



Fig. 4. I den södra delen av Alstern har isälvsedimenten en hög brant mot den djupa sjön. Bilden är tagen på den västra sidan, 3 km söder om Sandviken nära Alsterns största djup, 64 m. Foto: Curt Fredén.

HK. Sådana avlagringar kallas för HK-deltan. Ytans nivå utgör ett minivärde för den landhöjning som ägt rum sedan deltat bildades.

Den stora isälvsavlagringen Brattforsheden är ett HK-delta som består av tre deltan, vilka åtskiljs från varandra av flacka dalar, som utgjort flodarmar. Dessa täcks till viss del av yngre sediment. Den största deltaytan är belägen sydväst om Alstern. De övriga två deltaytorna finns sydöst om Alstern och sydväst om Brattfors. De båda deltaytorna vid Alstern når 180 m ö.h. Brattfordsdeltats nivå är några meter lägre. Små deltaytor finns på båda sidor om södra delen av Alstern.

Under isavsmältningen kunde lossbrutna stora isblock inbäddas i eller omgärdas av sediment. När dessa döda isrester smält bildades stora gropar som kallas dödisgropar eller åsgropar. Dalgångens största dödisgropar upptas av de långsträckta och djupa sjöarna Rådasjön, maximalt djup 76 m, Lidsjön och Grässjön, 43 m, och Alstern, 64 m (Beskow & Rasmusson 1963). En del av dödisgroparna är torra, i andra finns små tjärnar eller torvmarker. Många dödisgropar inom ett begränsat område kallas kittelfält.

Kames eller kamelandskap kallas ett kuperat landskap som huvudsakligen består av isälvsediment. De mer eller mindre sammanhängande svackorna och groparna markerar avsmältning av ett uppsprucket parti av avsnörd is.

Områden med kittelfält, liksom små kameområden, finns på såväl västra som östra sidan av Alstern. Samtliga bildningar är bäst utbildade på östra sidan. Båda företeelserna tyder på avsmältande dödis. I samma område finns i Alstern en ö med oregelbunden form.

Terrass är en isälvsavlagring som bildats av smältvatten mellan isen och en isfri dalsida. Långsträckta terrasser förekommer på båda sidor av Rådadalen.

Former som bildats av strandprocesser

Vid landhöjningen utsattes jordlagren för vågornas påverkan med en mer eller mindre genomgripande omlagring som följde. Havsvågorna bildade sandstränder och strandvallar.

Rådadalen och Lungälvsdalen utgjorde smala havsvikar under isavsmältningsförloppet. Lungälvsdalen var bredast och djupast. Havsvågorna bearbetade sanden och byggde upp en revel mellan Alstern och Lungen samt små strandvallar norr om Lungen. Svallsedimenten utjämnade även små topografiska ojämnheter.

Former som bildats av vinden

Vindavlagringar indelas i flygsand och flygmo. För att flygsand ska eroderas och transporteras av vinden krävs bl.a. öppna ytor med sand av lämplig kornstorlek och vind av tillräcklig styrka. Flygsand består av finsand och mellansand i varierande mängder, främst de grövre finsandkornen och de finare mellansandkornen. Sandpartiklarna "flyger" inte iväg i verklig bemärkelse utan rullar och hoppar fram över markytan. Vinden åstadkommer på detta sätt en sorteringsprocess. Dynor är en transportform av flygsand.

Flygmo utgörs av finsand–grovsilt och till skillnad från flygsanden transporteras flygmopartiklarna upp i luften och sedimenterar på angränsande höjder. Flygmon kan av vinden transporteras närmare 100 m upp i luften. När flygmon avsätts på fuktigt underlag binds den och bildar således inga egna ytförmer. Den utbreder sig som tunna ytlager på morän utanför områdena med flygsand.

Flygsand finns inom stora delar av Brattforsheden och dess närmsta omgivning. Såväl stora som små dynor förekommer. De till formerna och utbredningen största dynområdena finns vid norra och nordöstra delen av Alstern samt vid Steglen och Geijersdalmossarna. På den sydligaste delen av Brattforsheden förekommer s.k. kantdynor längs platakanten.

Former som bildats av rinnande vatten

Det rinnande vattnets erosionsformer är bl.a. raviner och nipor. Raviner bildas genom ytvattenerosion, grundvattenläckage eller samverkan mellan ytvatten- och grundvattenflöden i flytbenägna jordarter, vanligen silt och jordarter med hög silthalt. En ravin är ofta 5–20 m djup, V-formad och har branta sidor. Ravinerna har skarpa knäckar och grenar vanligen ut sig. Längden varierar från något hundratal meter till drygt en kilometer. Ravinbildning är en pågående process. En nipa är en 5–20 m brant slänt i sand eller silt. Den har bildats genom erosion av ett vattendrag.

Lungälvens ravinsystem har utbildats i de stora siltavlagringar som utgör Brattforshedens östra distala sediment. I takt med landhöjningen eroderade Lungälven sig nedåt i sedimenten och sidoraviner utvecklades. Processen började så snart sedimentplattan höjts ur havet. Ravinerna är vanligen 15–25 m djupa och finns på nivåer mellan 175 och 130 m ö.h. (nuvarande älvbotten). Ravinerna på östra sidan har i första hand uppstått genom ytvavrinning från moränhöjderna i öster. De västra ravinerna, som är längst och djupast, har små tillrinningsområden för ytvatten, och de har bildats genom grundvattenläckage. I de djupa ravinerna förekommer grundvattenutströmning även idag. De största ravinerna, Djupa dalen och Kampdalen, är 20–25 m djupa och 1200 m resp. 700 m långa. Längs Lungälven förekommer 10–20 m höga nipor.

Terrasserna i Rådadalen är genomskurna av raviner som är 10–20 m djupa. I dalgångens mitt har Svartån ett meandrande lopp. Vid högvattensituationer sker erosion och omfattande sedimenttransport till mynningen i Grässjön äger rum. Nipor förekommer längs Svartån i södra delen av Rådadalen.

Vattendelarområdet mellan Alstern och Svartån utgörs av en drygt 500 m bred landremsa tvärs över dalgången. Svartåns övre lopp ligger i en bidal till Rådadalen och ansluter till denna i en spetsig vinkel. Landremsan består av yngre jordarter på isälvsand. I den västra delen förekommer 5–10 m höga dynor. Den östra delen är flack med låga dynor och utbredda torvmarker. Denna del ger intryck av ett tidigare mynningsområde för Svartån.

Jordarterna inom området

Inom området finns få skärningar. Ytjordarten motsvarar vanligen inte sammansättningen på den underliggande jordarten. Isälvsavlagringar som byggts upp till en vattenyta har vanligen någon meter

av sand eller grus på toppen. Detta lager har avsatts när vattendjupet varit ringa, ett förhållande som står i omvänd proportion till strömstyrkan.

Jordartskartläggning av området har tidigare skett vid olika tillfällen (Hörner 1927, Lundqvist 1958, Fredén 2001).

Isälvsgrus förekommer på krönet av Alsteråsen, på åsformer väster om Alstern samt på terrasserna väster och öster om södra Alstern. I en grusgrop i en kort ås söder om Västerrud har tidigare material tagits för skogsbanan Lindfors-Bosjöns järnväg. Grus har även brutits på en av öarna i norra Alstern.

Sand dominerar större delen av Brattforsheden. Gropar i den sydvästra delen av Brattforsheden visar drygt 20 m av homogen sand.

Silt och lerig silt förekommer vid Västerrud, öster om Lungen och i Lungälvens dalgång. En lagerföljd i en ca 20 m djup ravinbildning i den högst belägna terrassen på västra dalsidan av Rådadalens har dokumenterats (Fredén & Furuholm 1977). Överst i lagerföljden ligger 1–2 m sand. Den underlagras av skikt av silt och finsand. Lerig silt förekommer i ett lager ca 18 m under ytan.

Ett lerlager har konstaterats på ett par meters djup i Brattforshedens sydsluttning norr om Fageråsen. Lerlagret sträcker sig drygt 100 m in i avlagringen och har på sluttningen gett upphov till ett litet grundvattenläckage med källtorv.

Flygsand förekommer inom stora delar av Brattforsheden och dess närmsta omgivning. Flygmo har relativt stor utbredning på angränsande höjder, i synnerhet nordväst om Alstern.

Brattforshedens och södra Rådadalens utveckling

Hypotesen om Brattforshedens och Rådadalens utveckling bygger på resultaten av borrhningar och geofysiska undersökningar i föreliggande rapport om områdets grundvattentillgångar och på information från tidigare arbeten som utförts i området (Fredén 2001, Lundqvist 2002). En regional bild med högsta kustlinjen och bl.a. Klarälvsdalen, Rådadalens och Brattforsheden visas i figur 5.

Inlandsisens avsmältning vid fronten stannade upp av topografiska skäl. I Rådadalens rann smältvatten i en eller flera mäktiga isälvar under isen. De förde med sig stora mängder av grus, sand och finkorniga partiklar. Deltan bildades vid isälvarnas mynning. Brattforsheden byggdes på mot söder och väster och ytbädden kom att överlagras tidigare avsatta lerlager på den södra sluttningen. Allteftersom isen smälte tunnades den ut. Isfronten flyttades successivt mot norr. I de smala delarna av dalgången snördes stora issjok av och bildade dödisgropar. En viss dränering av smältvatten skedde längs dalsidorna.

Området kan ha utvecklats på följande sätt:

1. Ett delta med flodarmar bildas av tre subglaciala isälvar. Istäcket tunnades ut.
2. Lateral dränering. Ett stort dödisparti i mellersta delen av Alstern dämmer den subglaciala älven. Lungälvsdalen var en havsvik.
3. Dödisbildningar sker på sidorna av mellersta Alstern. Storöns var möjligen en åsansvällning betingad av tillfälligt stillestånd av isfronten.
4. Norr om Sandviken vidgar sig dalen. En ås bildas i mitten av Alstern. Sedimentation sker av silt vid Västerrud och öster om Lungen samt i Lungälvsdalen.
5. Iskanten når Rådadalens. Troligen fanns en istunga i mitten av dalen och lateralterrasser bildas. Huvuddelen av utströmmande vatten strömmar mot Lungälvsdalen. Flodarmarna på Brattforsdeltat fylls till viss del av svallsand. Torrlagda sandytor utsätts för vindens angrepp.
6. Grässjön och Rådasjön var stora dödisgropar, dvs. fyllda av is. Breda sund väster om Rådasjön öppnas. Vattenmassorna föredrar den breda Klarälvsdalen istället för den smala och delvis isdämda Rådadalens.
7. Svartåns mynning ligger norr om Lungen. Havet ansamlar sand och en revel byggs ut mellan Alstern och Lungen.
8. Svartåns förhållandevis lilla vattenföring, som är säsonganpassad, förmår inte bryta igenom havsstranden norr om Lungen utan tvingas norrut. Dynbildning sker på sandytorna. Tidvis sker trans-

porten av flygsand på fruset underlag. Uppkomsten av dynerna på öarna i södra Alstern och en dyn på morän söder om Lungen kan inte förklaras på annat sätt. Även de stora dynerna på det smala landområdet mellan Alstern och Lungen torde ha haft en liknande utbildning. Ravinbildning börjar längs Svartån och Lungälven.

9. Dynerna erövrar blottlagt land på vattendelaren och följer den genom landhöjningen vikande stranden i Geijersdalsbukten. Dynerna överlagrar äldre former.

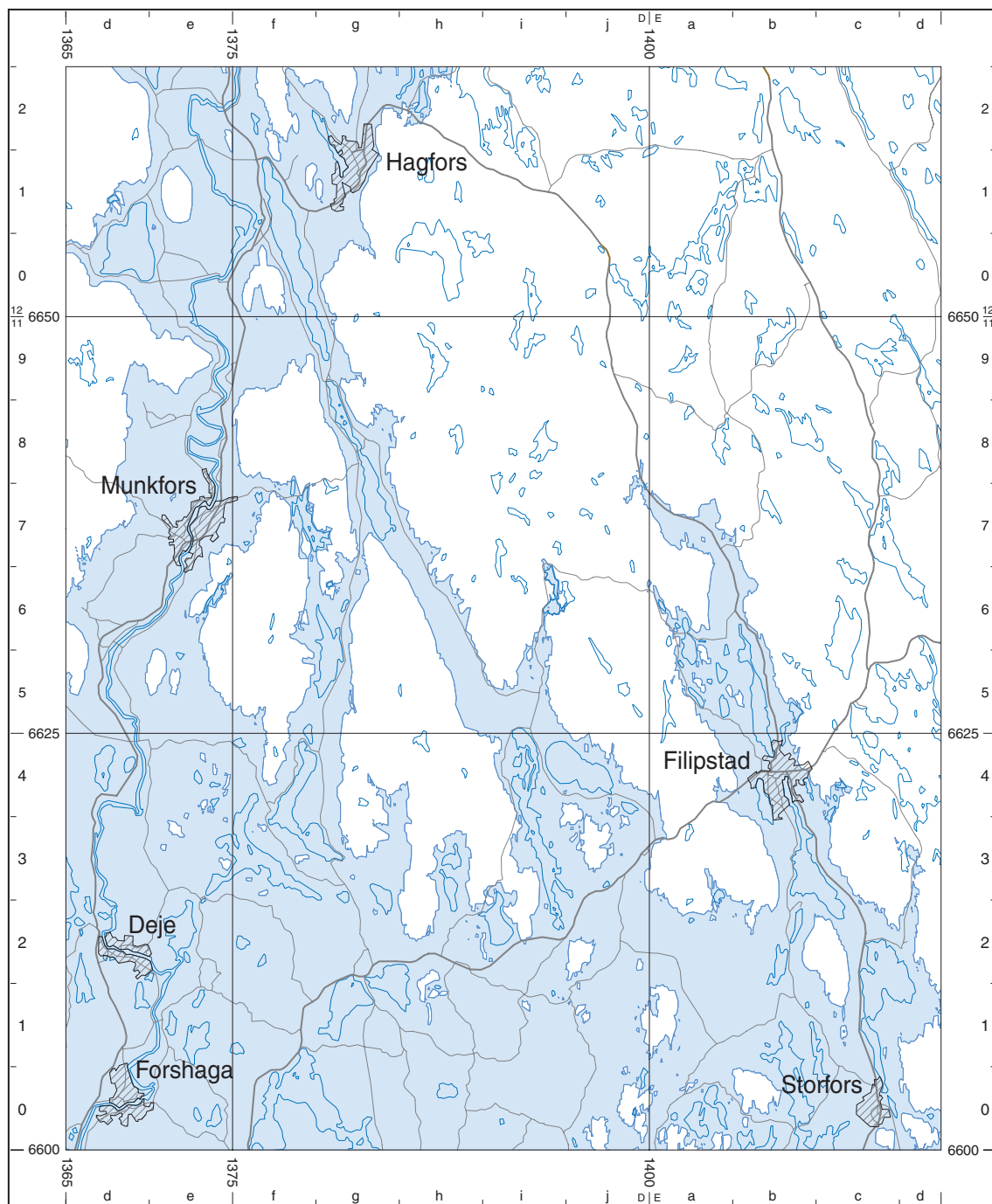


Fig. 5. Högsta kustlinjen (HK) i området kring Brattforsheden. Utdrag ur SGUs HK-databas.

GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

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.

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 från mindre än en timme till flera år. I sand och grus och i stora sprickor i berg sker transporten snabbare än i finkorniga jordarter och småsprickigt berg.

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

Grundvattnet har över lag en god beskaffenhet. Vanligen har det en låg, jämn temperatur, är fritt från organiska föroreningar och innehåller ämnen som lösts ut ur marken och som är nyttiga för människor, djur och växter. Från borrhäls 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.

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

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

Grundvatten har många användningsområden. Några sådana är:

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

Vattnets kretslopp

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

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

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

Från vattenytorna i sjöar och hav avdunstar vatten som tillsammans med vattenångan från markavdunstning och växternas transpiration bildar moln. Ur molnen faller nederbörd, och på så sätt fullbordas vattnets kretslopp, se figur 6.

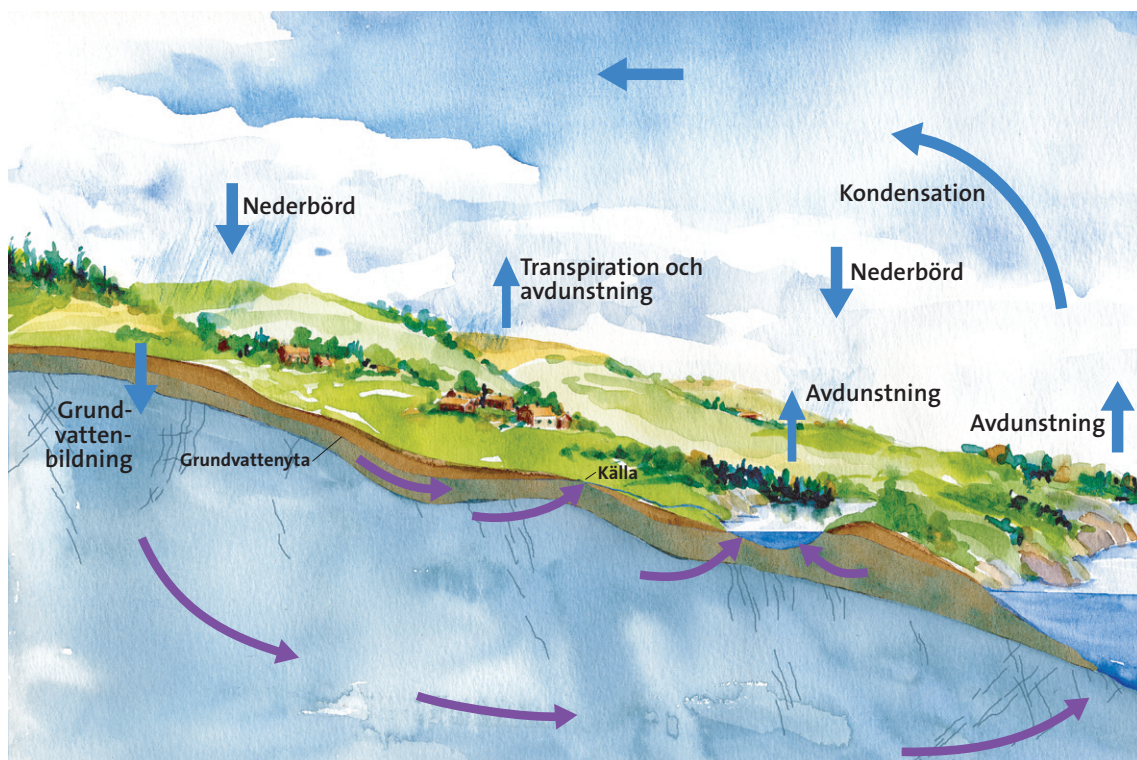


Fig. 6. Vattnets kretslopp. Grundvattnet rinner ut huvudsakligen i botten av bäckar, åar och sjöar samt i källor. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Grundvattnet i och intill en grusås

Figur 7 visar en dalgång med en isälvsavlagring – rullstensås – med sand, grus och block. Det är i åsarna som de största grundvattentillgångarna finns. Till höger i bilden finns också ett berg- och moränområde. Utanför åsarna finns de viktigaste grundvattentillgångarna i allmänhet i berggrunden. Terrängen i bilden ligger under högsta kustlinjen, dvs. landet har någon gång efter den senaste nedisningen varit täckt av hav. På bilden ligger grundvattnets tryckyta i åsen högre än i dalgången. Det gör att vatten kan läcka ut vid åsfoten och att brunnar i lerområdet kan vara själv rinnande, artesiska. I andra delar av isälvsavlagringen och dess närmaste omgivning kan tryckytan ligga lägre, och då strömmar vatten in mot åsen, den dränerar sin omgivning. Vattentransporten sker sedan vidare i åsens längdriktning.

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.

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.

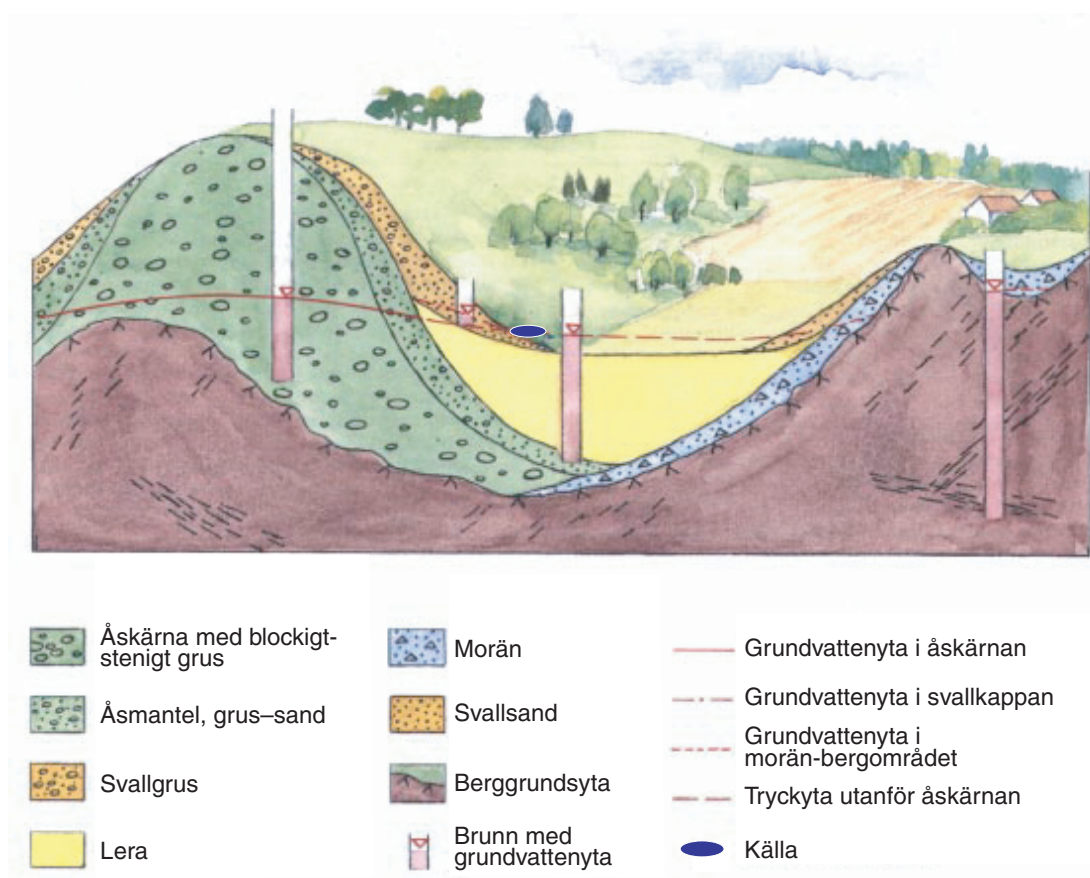


Fig. 7. Principbild på hur grundvattnet uppträder i och intill en grusås. Illustration: Elisabet Carlson.

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

Tidsmässiga variationer i grundvattennivå

I figurerna nedan redovisas information från en av stationerna i SGUs grundvattennät (Nordberg & Persson 1974, Brattforsheden, station 19:9) samt beräknad effektiv nederbörd (nederbörd minus avdunstning) enligt SMHI för området som motsvarar kartbladet 11D Munkfors SO. Stationen är belägen söder om Mången och där mäts grundvattnets nivåvariationer i Brattforshedens isälvsavlagringar.

Figurerna 8 och 9 visar månadsmedelvärden för effektiv nederbörd för perioden 1961–1990 samt grundvattennivåns månadsvisa min-, medel- och maxvärden för perioden 1976–1997. Grundvattennivån är normalt låg i mars som resultat av låg grundvattenbildning under vintern när nederbörden faller som snö. Den är också låg under september–oktober, efter sommaren när avdunstningen varit stor och när växtligheten tagit mycket vatten. Stor effektiv nederbörd under mars–april återspeglas i årets högsta nivåer i maj.

I figurerna 10 och 11 redovisas uppmätt grundvattennivå respektive grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet. De lägsta nivåerna uppmättes under 1976, 1978–79, 1989–90 och 1996. Det var grundvattenunderskott från vintern 1971–72 fram till höstregnen 1979, och ett överskott från början av 1997 till slutet av 2002.

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

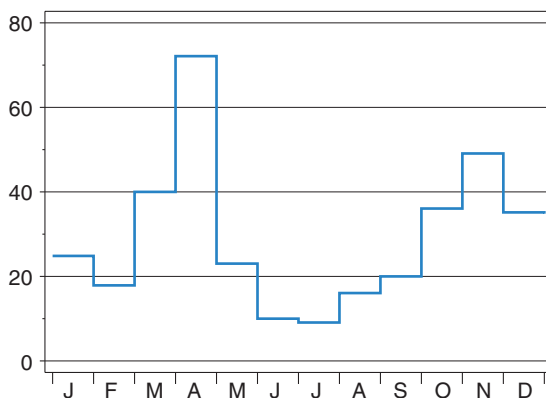


Fig. 8. Effektiv nederbörd (mm/mån.) 30-års medelvärde.

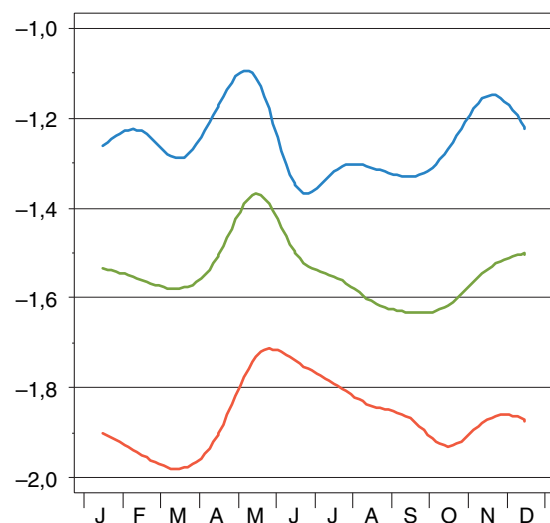


Fig. 9. Grundvattennivåns månadsmedelvärden, meter under markytan. Blå linje – högsta nivå, grön linje – medelnivå, röd linje – lägsta nivå.

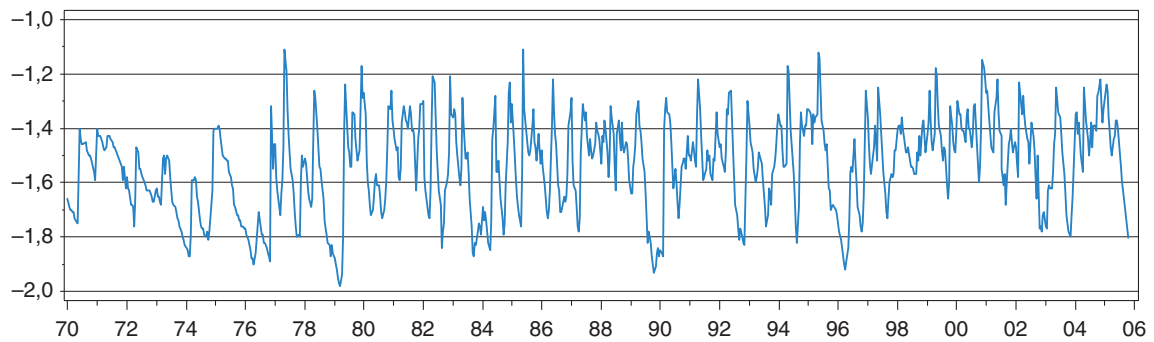


Fig. 10. Grundvattnets nivåvariation 1970–2006.

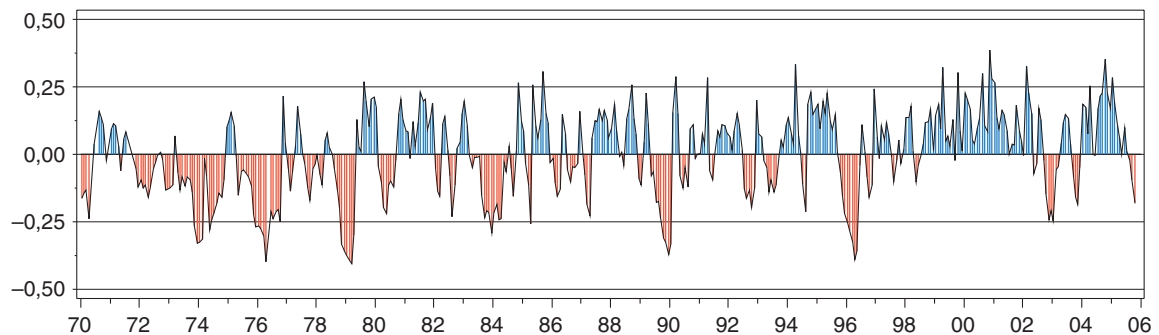


Fig. 11. Grundvattennivåernas avvikelser från månadsmedelvärde i meter, 1970–2006.

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 delar av landet. I figur 12 har fyra av SGUs mätstationer (Nordberg & Persson 1974) valts ut som exempel på de fyra huvudmönster som finns i Sverige. Höjdskalorna är ungefärliga och visar endast storleken på variationerna.

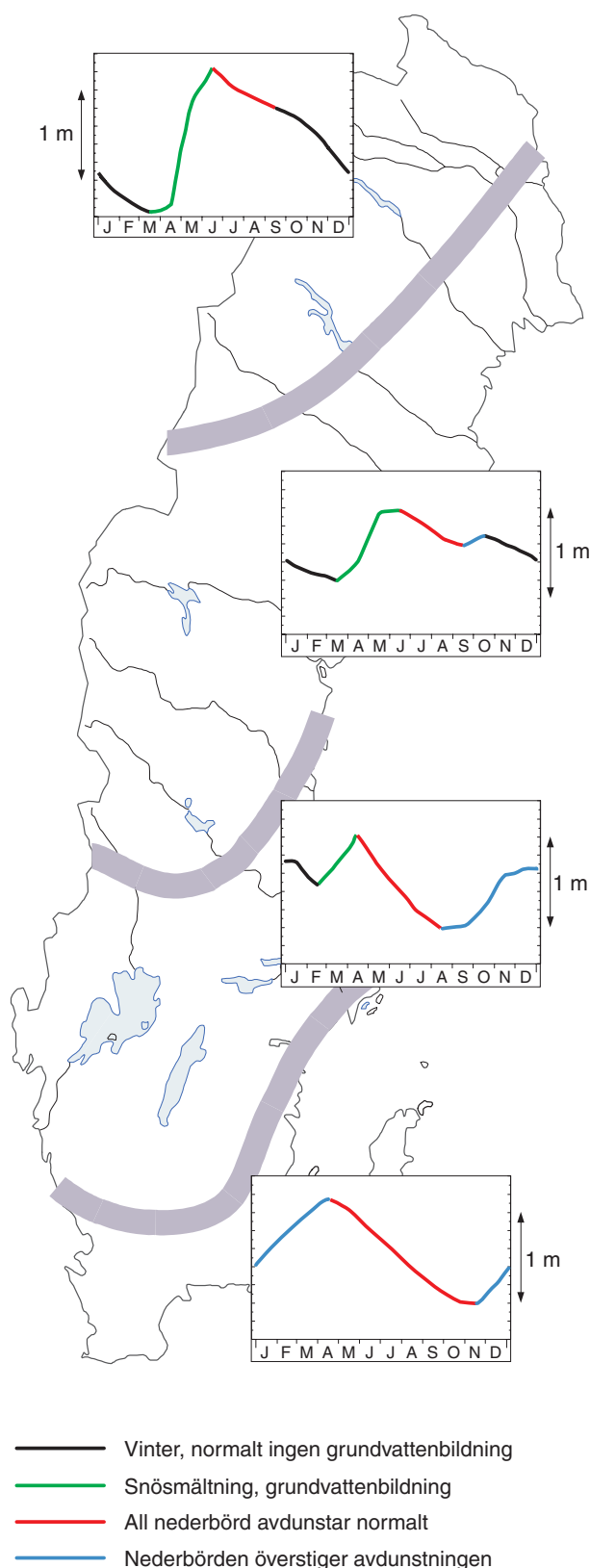


Fig. 12. Grundvattenregimer i Sverige.

Arjeplog

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

Sveg

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

Dricksvatten

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

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

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

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

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

Inducerad infiltration

En brunn som anläggs i en sand- och grusavlagring, t.ex. en grusås intill en sjö (eller annat ytvatten), kan tillgodogöra sig ett ofta mycket betydande vattentillskott från sjön genom s.k. inducerad infiltration. Sådan uppstår om pumpningen i brunnen sänker av grundvattenytan intill sjön så att sjövattnet infiltrerar genom sjöbotten och in i åsen (om inte sjöbotten utgörs av tätande lera). Infiltrationen kan ske på större eller mindre avstånd från stranden och på flera olika ställen, se figur 13.

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.

Konstgjort grundvatten

Det är inte ovanligt att den naturliga nybildningen av grundvatten i ett område är mindre än den vattenmängd man vill ta ut för t.ex. kommunal vattenförsörjning.

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

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

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

Parameter	Enhet	Livsmedelsverket (2001): Gränsvärde Tjänligt med an- märkning	Livsmedelsverket (2001): Gränsvärde Otjänligt	Socialstyrelsen (2003): Riktvärde Tjänligt med an- märkning	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 platina/l	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 (per- manganatindex)	mg/l O ₂	4,0			
pH (vätejonkoncentra- tionen)		<7,5 >9,0	10,5	<6,5	10,5 (h)
Polycykliska aroma- tiska kolväten (PAH)	µg/l		0,10		0,1 (h)
Smak		Svag	Tydlig eller mycket stark	Tydlig (e)	Tydlig (h) Mycket stark (e)
Sulfat	mg/l SO ₄	100		100 (t)	250 (h, e, t)
Turbiditet	FNU, NTU	0,5/1,5*		3	

Enligt Livsmedelsverket (2001): Gränsvärden gäller för prov från dricksvatten hos användaren och förpackat dricksvatten om inget annat anges. * = utgående dricksvatten resp. dricksvatten hos användaren och förpackat dricksvatten, ** = utgående dricksvatten.

Enligt Socialstyrelsen (2003): (h) = hälsomässig grund för anmärkning, (e) = estetisk grund för anmärkning, (t) = teknisk grund för anmärkning.

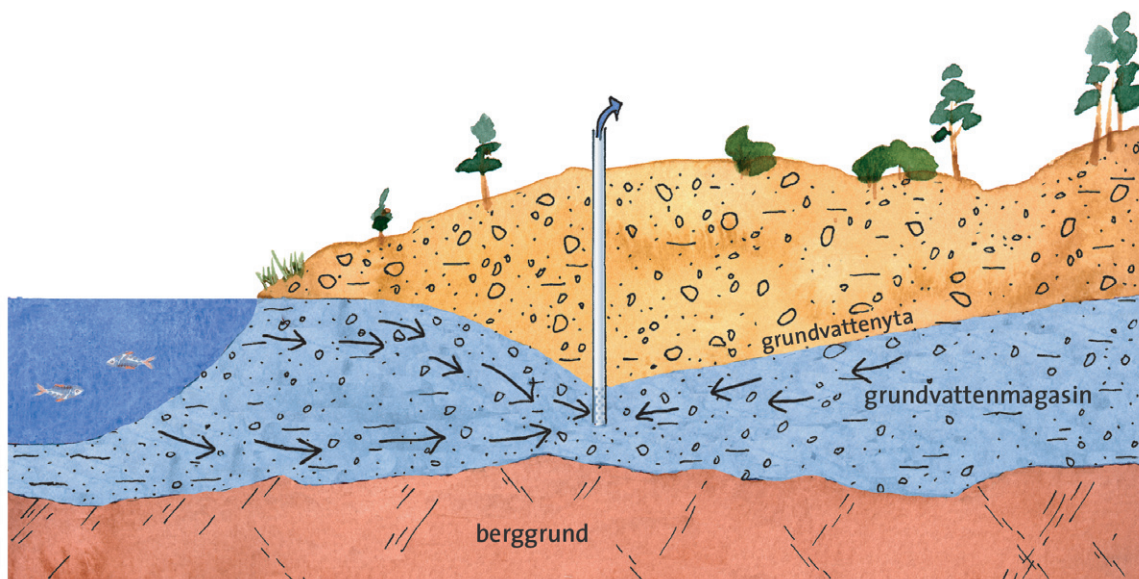


Fig. 13. Principbild på inducerad infiltration. Genom pumpning i brunnen sänks grundvattenytan under sjöns nivå. Därigenom kan sjövattnet infiltrera genom sjöbotten. Vid passagen genom sand- och gruslagren renas sjövattnet. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

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

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

Naturligt grundvatten med ursprungligen höga halter av järn, mangan eller humus kan ofta förbättras genom att det luftas i vattenkaskaden i infiltrationsbassängen. En sådan anläggning kan se ut som figur 14 visar, med den skillnaden att råvattnet kommer från en grundvattenbrunn i stället för från en sjö.

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

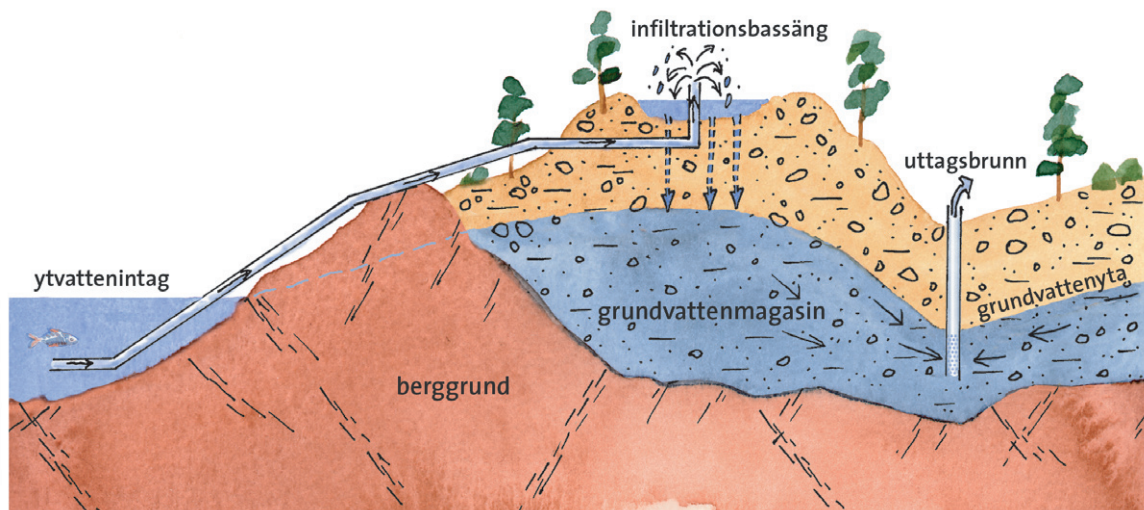


Fig. 14. Principbild på konstgjord grundvattenbildning. Sjövattnen leds till infiltrationsbassänger i en sand- och grusavlagring där den naturliga grundvattenbildningen inte är tillräcklig. Det är i första hand vid passagen genom den omättade zonen som vattnet renas. Illustration: Anna Jonson, ArtAnna.

Teckenförklaring till kartutsnittet i denna beskrivning

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I JORDLAGREN

Sand och grus, huvudsakligen isälvsavlagringar

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

Sand- och gruslager under finkorniga sediment

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

ORGANISKA JORDARTER

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

BEDÖMDA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I BERGGRUNDEN

Urberg

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

ÖVRIGA BETECKNINGAR

	Källa registrerad vid SGU med ett flöde av >1 l/s
	Grundvattnets huvudrörelseriktning i jordlager
	Sonderingsborrning
	Borrning med kvartstående rör
	Rörlig grundvattendelare
	Strandlinje med förutsättningar för inducerad infiltration
	Spricka eller sprickzon
	Seismisk undersökning

Fig. 15. Teckenförklaring.

GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I SÖDRA DELEN AV BRATTFORSHEDEN

Vid tidigare borrhningar i området har man inte träffat på mäktiga, grovkorniga lager. Sedimenten har främst utgjorts av sand, finsand och silt.

Resultaten av VIAKs borrhningar mellan Brattfors och Alstern (se figur 16) för samhället Brattfors vattenförsörjning (VIAK 1971) var följande:

R7101

0–4 m	mjälilig mo (silt)
4–7	morän
7	block eller berg

R7102

0–1,5 m	moig (siltig) sand
1,5–5	mo (silt)
5–12,1	mjälilig mo
12,1–12,5	mo
12,5	block eller berg

R7103

0–16,5 m	grovmö (finsand)
16,5–23	grovmöig sand
23–32,9	sand
32,9	block eller berg

R7104

0–22,5 m	sand
22,5–41,3	grovmö
41,3	block eller berg

R7105

0–0,3 m	mjälilig (silt)
0,3–4,5	grovmö
4,5–8	mo
8–10	mjälilig mo
10–12,3	morän
12,3	block eller berg

I avsnitten med sand i R7103 och R7104 var vattengenomsläppligheten god.

Resultaten av SGUs borrhningar 1997 (Aneblom 2001), i sydligaste delen av Brattforsheden (figur 16), var som följer:

R9703

0–5 m	finsand
5–6	frikationsjord ospec.
6–28,6	finsand

0-5 m	finsand
5-15	mellansand
15-16	finsand

0-15 m finsand

0-19 m finsand

För de övriga markerade, äldre borrhunkterna saknas specificerade lagerföljder.

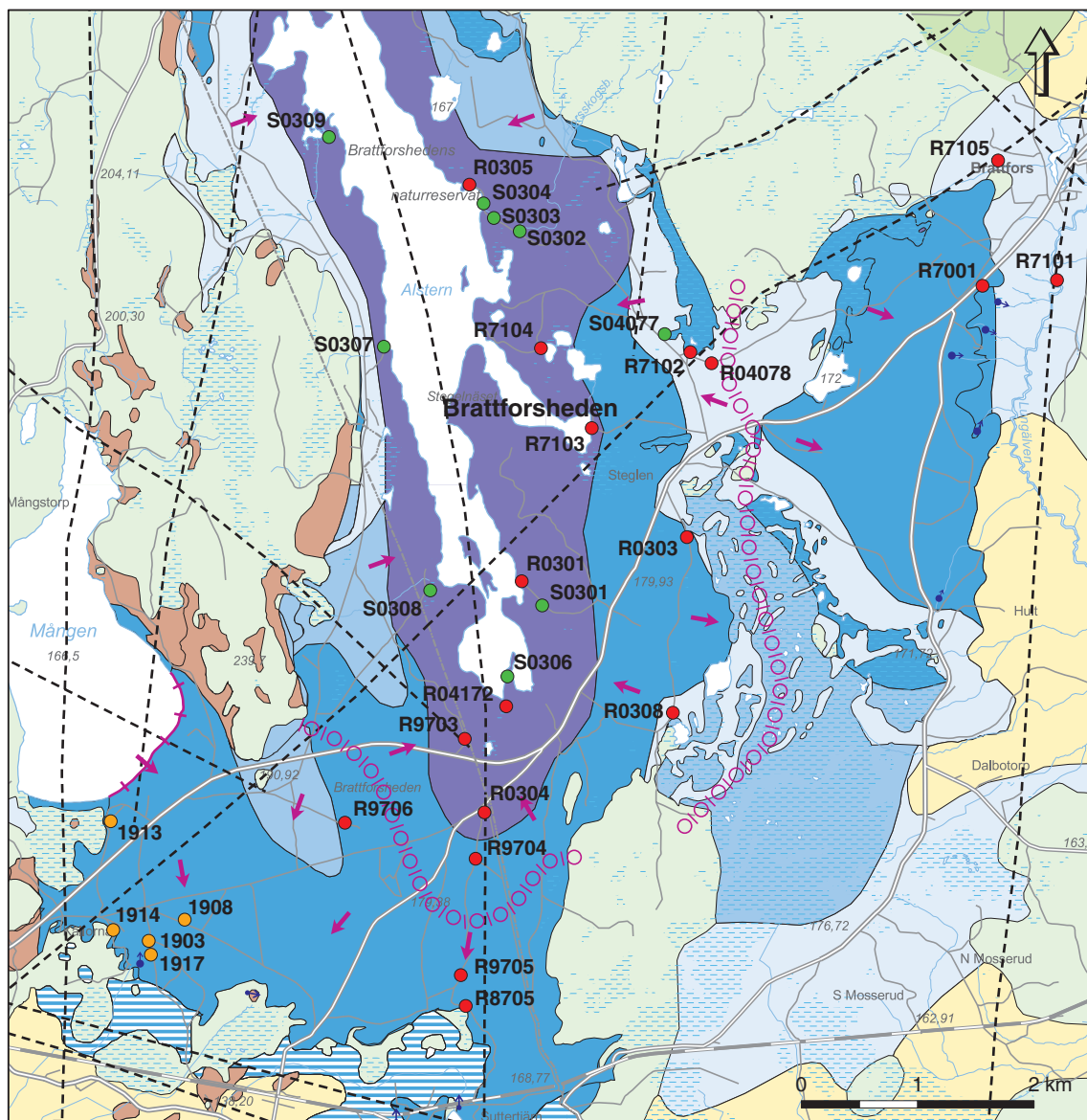


Fig. 16. Borrpunkter i observationsrör (R) samt sonderingsborrningar (S) i södra delen av undersökningsområdet. Du gula prickarna längst i sydväst är borrhningarna som tillhör SGUs grundvattennät, där grundvattennivåer mäts regelbundet.

Geofysiska mätningar och borrhningar

Georadarmätningar

Förhållandevis omfattande mätningar med georadar har utförts i området. Se närmare om mätförfaranden i kapitlet Metodbeskrivningar samt i figur 3.

Brattforsheden har visat sig vara mycket lämpad för georadarmätningar, i första hand beroende på de många osaltade skogsbilvägarna. Vägsalt, såväl mot is och snö (NaCl) som mot damm (CaCl₂), hindrar radarvågorna. Områden med kornstorlekar mellansand–silt tillåter också radarmätningarna att urskilja fler strukturer på djupet än vad områden med sandig–grusig lagerföljd gör.

Totalt har 102 km georadarmätningar utförts på Brattforsheden. Det är därför inte möjligt att visa alla profiler och mätresultat i denna beskrivning. Samtliga georadarprofiler finns emellertid tillgängliga i digital form i databaserna som tillhör kartan över Brattforshedens grundvattentillgångar. Man kan också på en dator se betydligt mer i de digitala profilerna än vad man kan i utskrifter. Utskrifterna är kompromisser mellan detaljer och översikt. Kartutsnittet (figur 17) visar lägena för georadarmätningarna och för de seismiska mätningar som utförts i södra delen av Brattforsheden.

Exempel på deltastrukturer, som de kan se ut i en georadarmätning, visas i figur 18. Figur 19 är ett foto av sådana strukturer i ett sandtag i södra kanten av Brattforsheden. På båda bilderna kan man se de s.k. forset beds (lutande framåt i vattenströmmens riktning, avsatta i framkanten av deltat) och topset beds (nästan horisontella, avsatta på deltats överyta). Figur 20 visar den mycket jämna deltaytan i sydvästra delen av Brattforsheden.

I figurerna 21 a–c, som visar utsnitt av georadarprofilen R 275-03, kan man följa hur berggrundsytan och grundvattenytan höjer sig från stranden av Alstern mot sydväst. Vid stranden är jordlagren för mäktiga för att man säkert ska kunna urskilja bergytan. Mot sydväst höjer sig berggrunden och jordlager och grundvattenmagasinet tunnar ut.

I det avsnitt där georadarprofilerna R 277-03 till R 283-03 är uppmätta, på västra sidan om Alstern, ligger berggrundsytan på många ställen högt, utan eller med obetydligt grundvattenmagasin. Detta avsnitt har bedömts ligga i en låg kapacitetsklass, 1–5 l/s. Om det vore praktiskt möjligt skulle alla större eller mindre avsnitt utan grundvattenmagasin urskiljas och åsättas den lägsta kapacitetsklassen, <1 l/s, och markeras med brun färg.

Figur 22 visar hur bergytan höjer sig från Alsterns strand (vid 725 m i profilen) mot väster, varvid grundvattenmagasinet snabbt tunnar ut. Figur 23 visar ett exempel på hur en högt liggande bergyta håller upp ett mycket begränsat tråg med grundvatten (hållkar).

En väl synlig grundvattenyta, oregelbundna strukturer mot djupet och avsaknad av reflexer från en bergyta brukar indikera ett mer grovkornigt sediment (sand–grus), stort jorddjup och goda uttagsmöjligheter. Exempel på detta visas i figur 24, ett avsnitt av profilen R 286-03 från östra sidan av Alstern.

De första 900 m i profilen R 289-03 (figur 25 a) visar förhållanden liknande de i R 286-03 och med en grundvattenyta kring 160 m ö.h. Därefter är profilen något mer svårtolkad fram till 1300 m. Efter 1300 m (figur 25 b) visar profilen tydliga reflexer av olika sedimentstrukturer, även mot djupet. Detta indikerar finkornigare sediment av typen finsand och silt. Grundvattenytan syns här på 170–172 m ö.h.

Ett utsnitt av radarprofilen R 291-03, uppmätt i området mellan Alstern och källorna vid Lungälvravinerna i östligaste delen av Brattforsheden, visar tydliga reflexer från bergytan och från grundvattenytan (figur 26). Man kan se att berggrunden når så högt att den nästan når grundvattenytan. En väsentlig fråga i detta sammanhang har varit varifrån allt vatten kommer som rinner ut i de nämnda källorna. Detta berörs längre fram.

Georadarmätningarna, utnyttjade som exemplen ovan visat, har varit en viktig grund för fastställande av grundvattennivåer (på någon meter när), särskilt där nivåkillnaderna varit stora i olika, varandra närliggande avsnitt av Brattforsheden. De har även varit värdefulla vid bedömningar av uttagsmöjligheterna – kapacitetsklasserna.

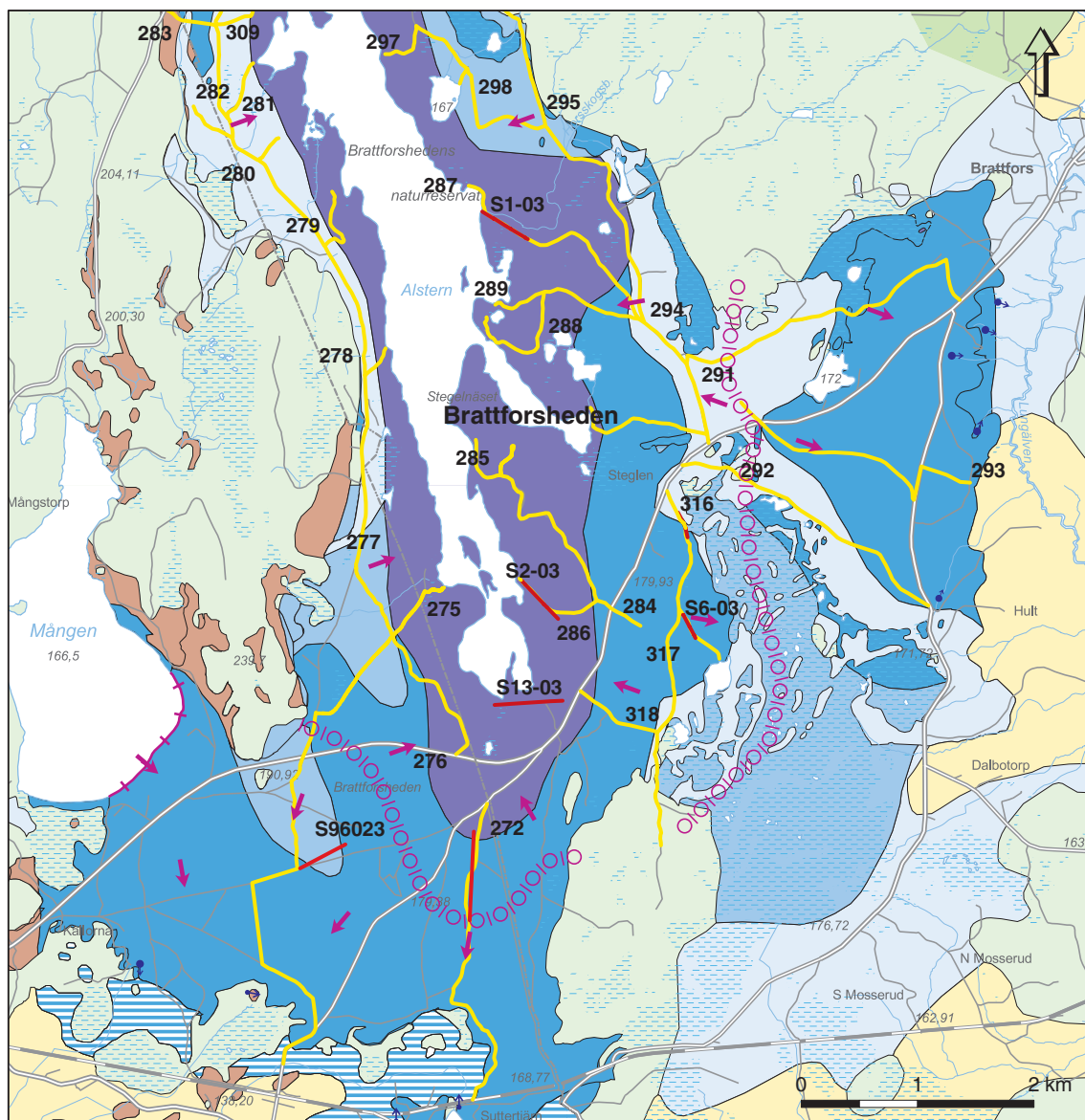


Fig. 17. Geofysiska mätningar i södra delen av Brattforsheden. Gula linjer är georadarprofiler. Av utrymmes- skäl är nummerbeteckningarna för dessa förkortade till löpnummer. Den fullständiga beteckningen för t.ex. 293 är R 293-03. Röda linjer är seismiska profiler. Löpnumren är placerade i början av profilerna.

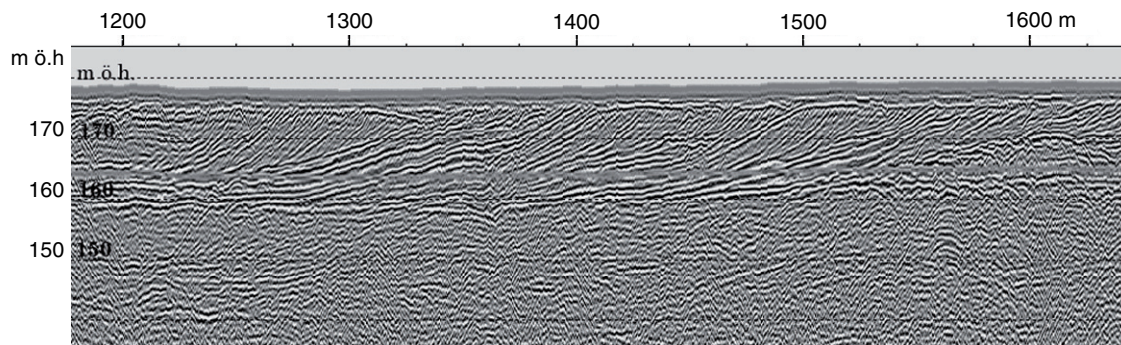


Fig. 18. Georadarprofilen R 273-03, nära Brattfors flygplats, visar i den övre halvan av detta utsnitt tydliga deltastrukturer – s.k. topset (överst, horisontella), forset (lutande i sedimentationsriktningen) och bottomset beds (horisontella, bottenlager). Grundvattenytan i området ligger nära de sistnämnda lagrens nivå, varför denna indikation är något komplex. Jämför med figur 19.



Fig. 19. Deltastrukturer i ett sandtag i sydligaste delen av Brattforsheden, mellan borrhningarna 1903 och 1914. Jämför med figur 18. Foto: Sune Rurling.



Fig. 20. Där isälvsavlagringarna utgörs av deltabildningar är markytan mycket jämn. Sydvästra delen av Brattförsheden. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

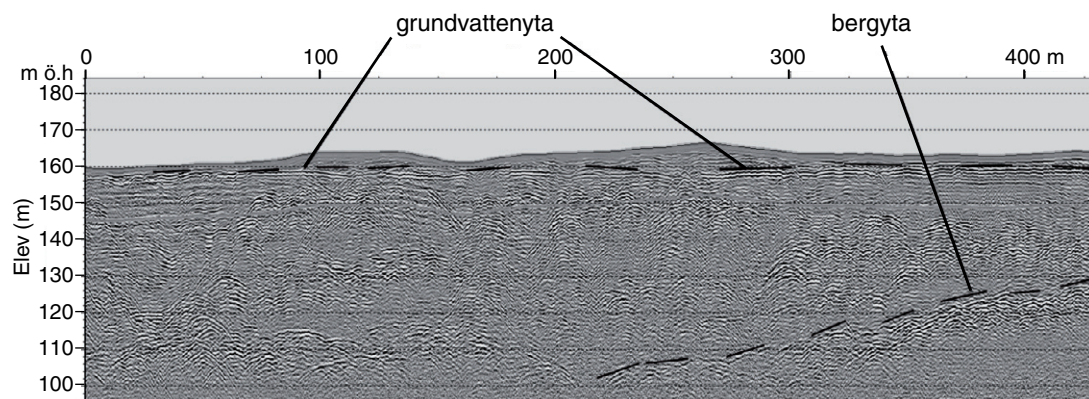


Fig. 21 a. Georadarprofil R 275-03. Grundvattenytan ligger något under 160 m ö.h. – i nivå med Alstern, vars strand ligger vid 0 m i profilen.

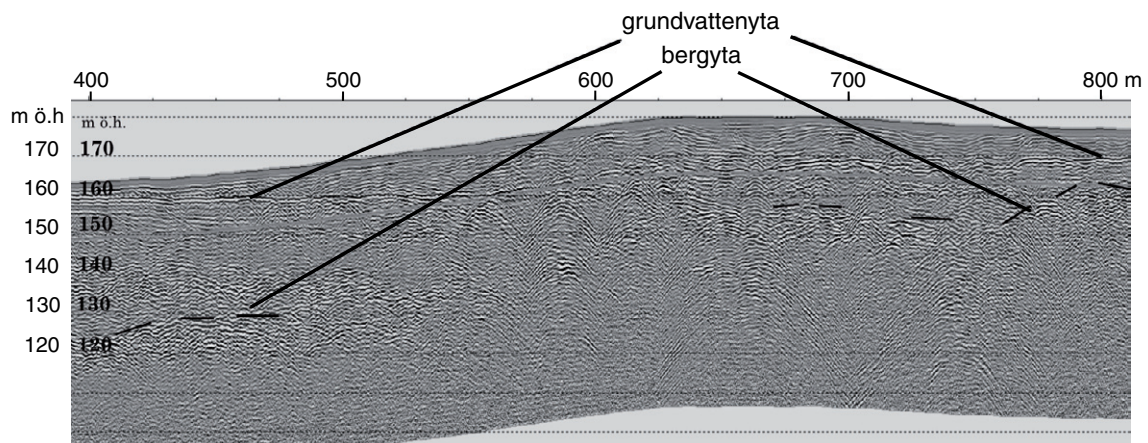


Fig. 21 b. Forts. av R 275-03. Grundvattenytan ligger kvar kring 160 m till ungefär 550 m i profilen. Radarreflexen är ganska tydlig, och det ser ut som att man kan följa hur grundvattenytan stiger nästan 10 m till ungefär 170 m ö.h. på en sträcka av ca 150 m.

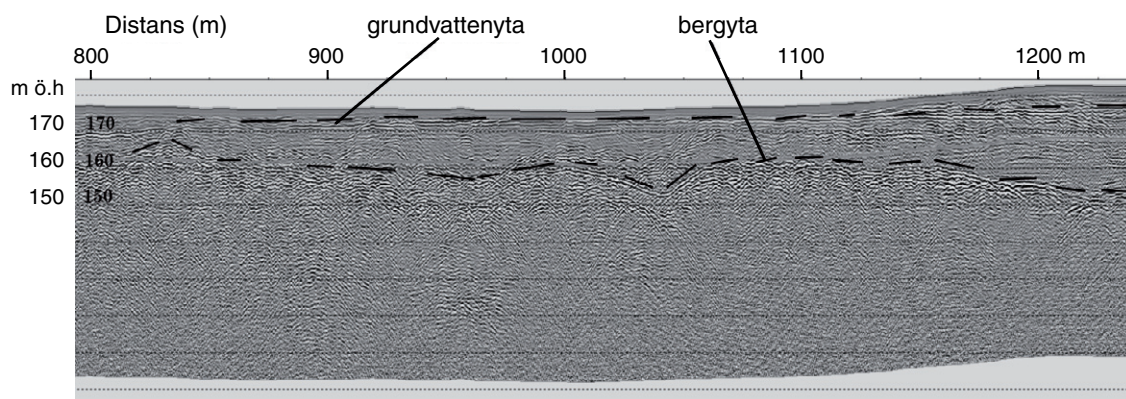


Fig. 21 c. Forts. av R 275-03. Från ca 800 m ligger nu bergytan kring 160 m ö.h. Grundvattenytan stiger sakta från ca 170 till knappt 180 m ö.h. Den ganska markanta bergtröskeln omkring 800 m med ett fortsättningsvis betydligt tunnare grundvattenmagasin är skälet till grundvattenkartans klassgräns på detta ställe, se figur 17. Liknande förhållanden – och bedömningar – finns på flera ställen i undersökningsområdet.

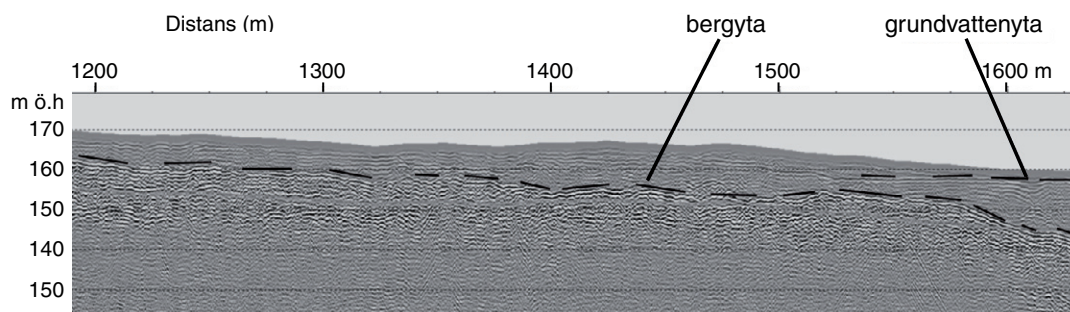


Fig. 22. R 281-03. Längs Alsterns västra strand ligger bergytan mestadels högt. Grundvattenmagasinet är därför litet eller saknas helt. Alsterns strand ligger vid profilens slut.

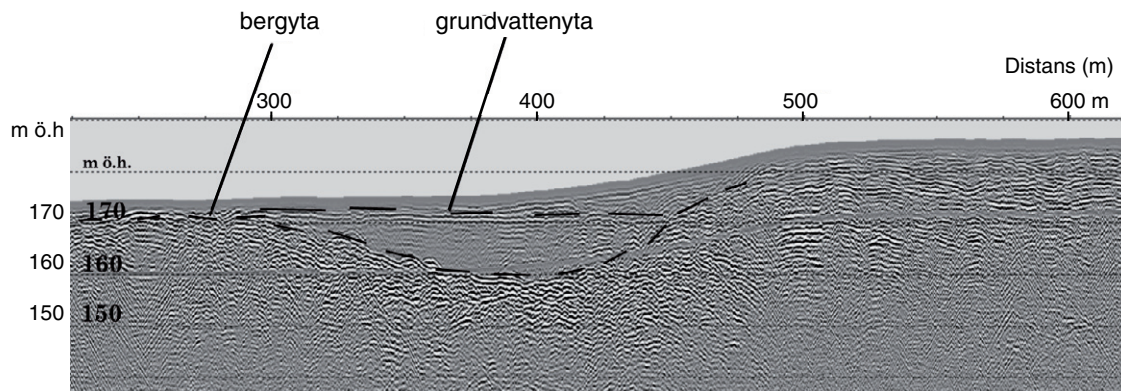


Fig. 23. R 279-03. Där bergytan ligger högt förekommer isolerade tråg med grundvatten – hällkar.

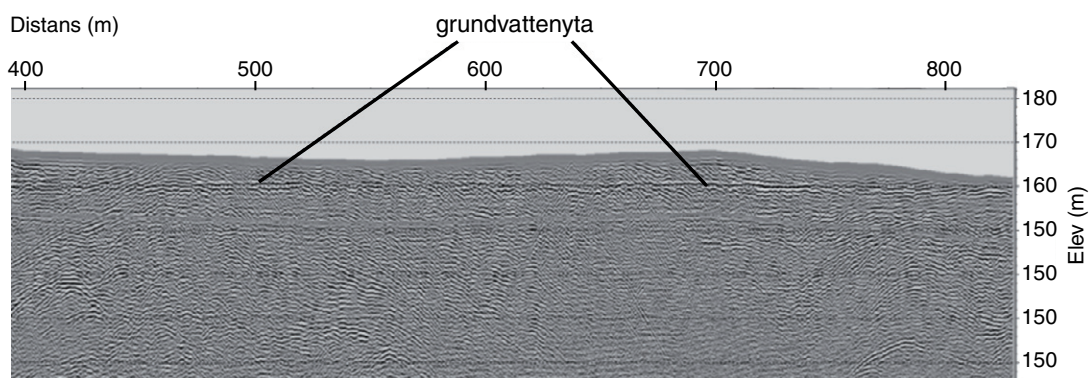


Fig. 24. R 286-03, östra sidan av Alstern. Georadarprofiler som visar en tydlig grundvattenyta, oregelbundna strukturer och avsaknad av grunda bergreflexer tyder på ett grovt och vattengenomsläppligt sediment med goda möjligheter till större grundvattenuttag.

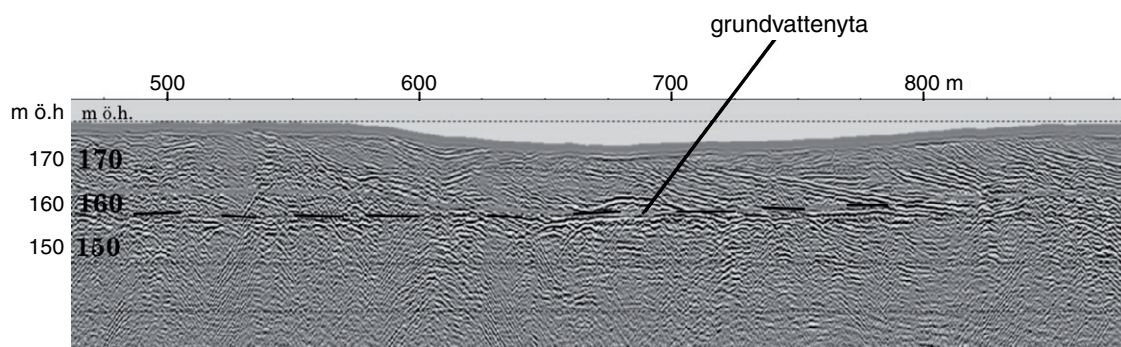


Fig. 25 a. R 289-03. I denna georadarprofil kan grundvattenytan följas, där den ligger nära Alsterns nivå kring 160 m ö.h., från stranden till 800 m österut. Uttagsmöjligheterna bedöms i detta avsnitt vara bra.

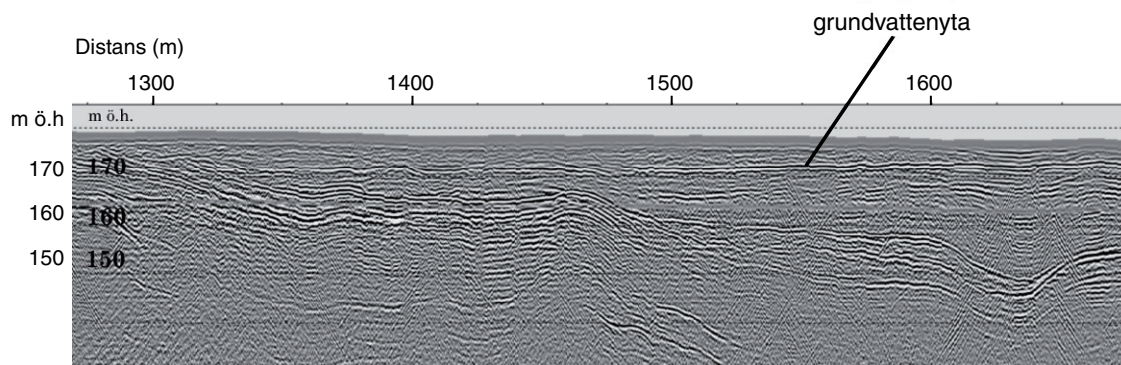


Fig. 25 b. Forts. av R 289-03. Från 1 325 m kan en grundvattenyta åter ses, nu mer än 10 m högre än i figur 25 a, på drygt 170 m ö.h. En tydlig skiktning syns här i sedimenten, vilket tyder på ett finkornigare material än i figur 25 a. I detta avsnitt bedöms uttagsmöjligheterna vara sämre

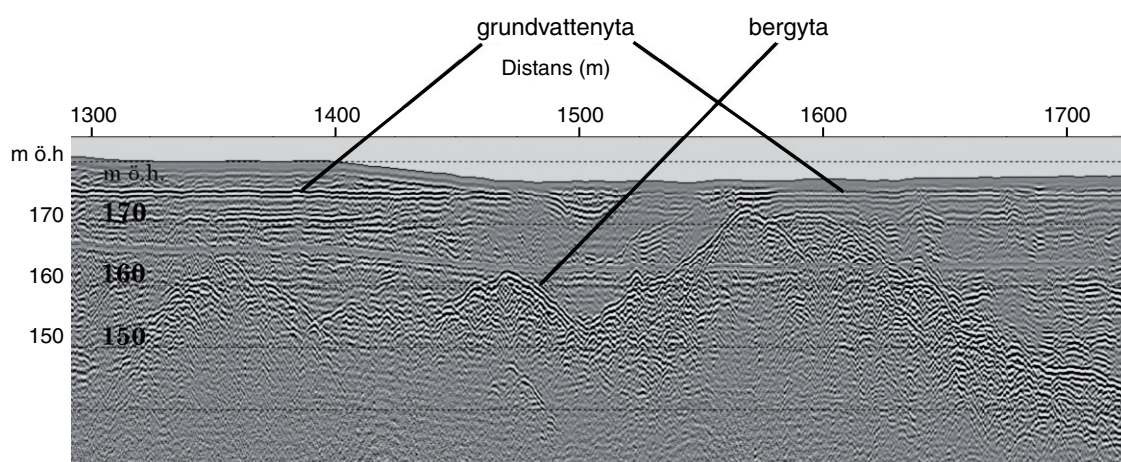


Fig. 26. R 291-03, mellan Alstern och Lungälvsvrinernas källor. Om en del av vattnet till källorna kan komma från Alstern beror på om det finns en fullständig grundvattendelare i området eller ej. Vid 1 575 m når bergytan så högt att den nästan bildar en grundvattendelare.

Seismiska mätningar och borrhningar

Georadarmätningar, som snabbt täcker stora delar av ett undersökningsområde, används, förutom som ovan nämnts, i rekognoscerande syfte för att bestämma var de mycket mer tidskrävande seismiska mätningarna ska sättas in. Georadarprofiler av den typ som åskådliggörs i figurerna 21c, 23 och 25b har styrt bort vidare undersökningar, medan profiler med den karaktär som visas i figurerna 24 och 25a har påkallat fortsatta undersökningar i syfte att hitta de bästa uttagsmöjligheterna.

Styrkan med de seismiska mätningarna är att de ger en säkrare bild av jordarterna, ingående kornstorlekar o.d. De ger alltid en relativt säker information om grundvattenytans läge samt om jorddjupen, dvs. bergytans läge och därmed grundvattenmagasinets mäktighet. De ger däremot inte information om lagringsstrukturer och liknande.

De seismiska profilerna S 1-03, S 2-03 och S 13-03 har utförts för att söka bästa uttagsmöjligheter och profilerna S 5-03 och S 6-03 som ett led i att undersöka grundvattendelaren mot öster. Figur 17 visar de seismiska profilernas lägen.

Profil S 1-03 (figur 27) är mätt från stranden av viken, som kallas Tobakshålet, mot sydöst. Den visar en grundvattenyta, som ligger på Alsterns nivå. Den seismiska hastigheten på 1 700 m/s tyder på att materialet i jordlagren består av sand och grus med hög genomsläpplighet för vatten. Profilen visar

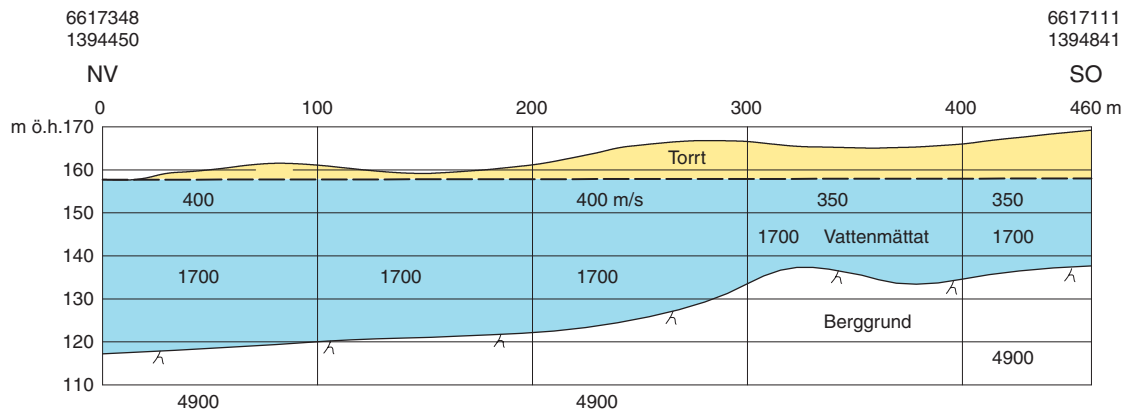


Fig. 27. Denna seismiska profil, S1-03, är uppmätt från stranden av Alstern där grundvattenmagasinet är upp till 40 m mäktigt. Den seismiska hastigheten 1 700 m/s tyder på ett relativt grovt och genomsläppligt material. Borrningarna (figur 16) visade att grova jordarter – sand och grus – är mest förekommande i början av profilen.

också ett grundvattenmagasin, som är 20 m mäktigt i sydost och 40 m mäktigt närmast sjön. Tre sonderingsborrningar och ett observationsrör har utförts här med följande resultat:

S0302

0–24,5 m	sand
24,5–25,5	grovsand
25,5–28,5	sand
28,5–31,3	grovsand
31,3–34	grusig, stenig sand
34–35	morän

S0303

0–12 m	mellansand
12–33	grovsand
33–35,5	grusig, stenig sand
35,5–38	morän

S0304

0–11 m	sand
11–13	grusig, stenig sand
13–27,8	grovsand
27,8–30,5	grusig, stenig sand
30,5–32	morän

R0305

0–15 m	grovsand
15–18	grusig grovsand
18–19	grovsand
19–21	grusig grovsand
21–30	grusig grovsand, sonderat
30–30,8	morän, sonderat

Borrpunkternas lägen framgår av figur 16.

Borrningarna visar jordarter med mycket hög vattengenomsläpplighet och som tilltar i mäktighet närmast sjön. Figur 28 visar när rikligt med klart och rent vatten tas upp ur R0305, vid viken Tobaks-hålet. Kemiska analyser av vattnet i R0305 framgår av tabell 2.

Profil S2-03 (figur 29) är mätt från stranden av Sketviken mot sydöst. Även denna profil visar en grundvattenyta i nivå med Alsterns, utom i slutet, där den ligger något högre. De seismiska hastigheterna är i de övre delarna av den vattenmättade zonen (grundvattenmagasinet) 1500 till 1600 m/s, vilket tyder på en förhållandevis finkornig jordart, finsand–sand. I de undre delarna är hastigheten den som är vanlig i vattenmättade sandiga och grusiga avlagringar. Grundvattenmagasinet är här drygt 80 m som mäktigast.

En sonderingsborrning och drivning av ett observationsrör har utförts vid profil S2-03 med följande resultat:

S0301

0–24 m	sand
24–51,6	grovsand

kan fortsätta

R0301

0–3 m	mellansand
3–10	finsand/mellansand
10–25	mellansand
25–26	mellansand/grovsand
26–43	grovsand
43–51,6	grovsand, sonderat

I borrningen R0301 var vattengenomsläppligheten mycket hög från 26 m och nedåt. Figur 30 visar när mycket vatten tas upp från 35 m djup. Kemiska analyser av vattnet i R0301 framgår av tabell 2.

Den seismiska profilen S13-03 (figur 31) är uppmätt vid Ångsågen i södra änden av Alstern. Jorddjupet är här som mest 140 m, och grundvattenmagasinet nästan lika mäktigt. Detta är det största kända jorddjupet och även den största kända mäktigheten på något grundvattenmagasin i Värmland.

Profilen S13-03 visar, liksom S2-03, ett finkornigare sediment i den övre delen. På nivåer djupare än 20 m mättes hastigheter som tyder på sand och grus. Med dessa mycket stora jorddjup är det inte möjligt för seismiken att urskilja andra hastighetsskillnader längre ner i lagerföljden än den som gäller berggrunden. Det kan alltså förekomma både finkornigare och grovkornigare jordlager under nivån 130 m ö.h. Det är vanligt i sådana sammanhang att de grövsta lagren ligger i botten.

Hastigheterna i den underliggande berggrunden, där de kunnat bestämmas, är 3000 m/s. Detta är förhållandevis låga hastigheter för att vara urberg. Den seismiska profilen tyder på att berggrunden är starkt uppsprucken från 0 m till åtminstone 475 m, vilket alltså är i överensstämmelse med att detta är en stor och utpräglad sprickdal.

Vid Ångsågen har två borrningar utförts. En sonderingsborrning, R0306, gjordes på den markanta udden. Kullen mellan 200 och 300 m i profil S13-03 är förlängningen mot söder av udden. Udden har uppfattats som en s.k. feeding esker, matarås, till deltaavlagringarna som utgör sydligaste delen av Brattförsheden, vilket var orsaken till valet av denna borrplats.

Den andra borrningen, R04172, gjordes vid 110 m i den seismiska profilen. Den utfördes med större bormaskin och större borrdimension (först 165 mm diameter och längre ner 115 mm), än som har använts vid övriga borrningar (50 mm), i hopp om att kunna borra igenom hela lagerföljden, ner till berggrunden. Den ordinarie bormaskinen kan borra ner till drygt 50 meters djup.



Fig. 28. Från borrningen av R0305, vid Tobakshålet. Sand- och gruslagren var starkt vattenförande med hög genomsläpplighet. Vattnet klarnade mestadels mycket fort, vilket tyder på mycket litet inslag av silt- och lerpartiklar i grundvattenmagasinet. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

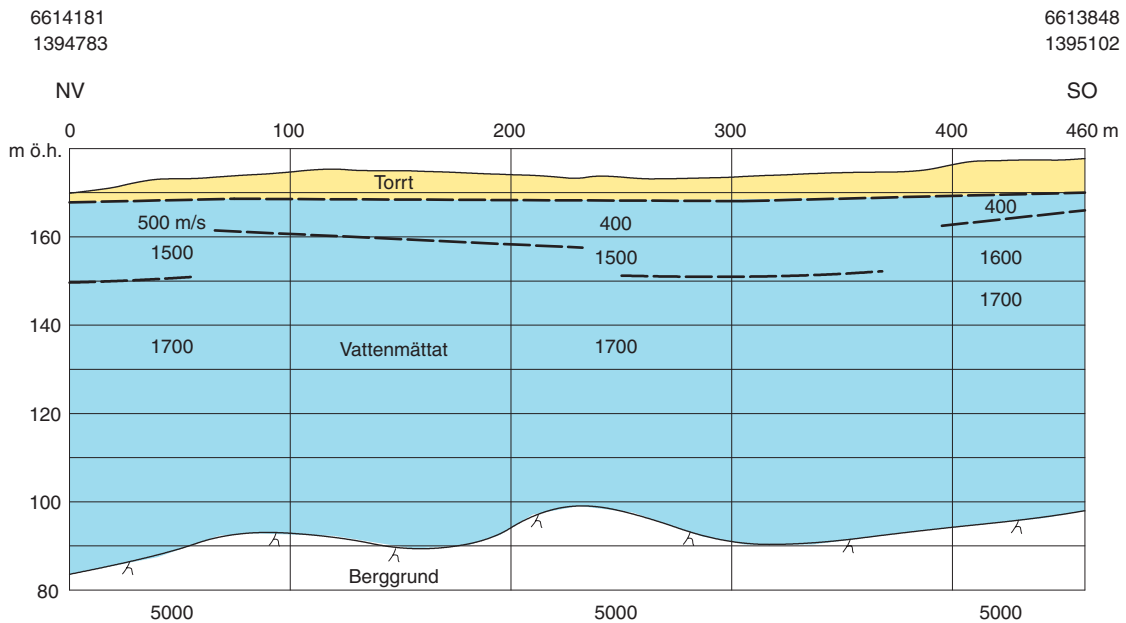


Fig. 29. Profilen S2-03 är mätt från stranden vid Sketviken. Grundvattenmagasinet är här mycket mäktigt – mellan 70 och 80 m. Den seismiska hastigheten, 1 500 m/s, i de övre lagren tyder på att dessa är av det fin-kornigare slaget (finsand–silt). Därunder har hastigheten 1 700 m/s uppmätts vilket tyder på grövre material. Borrningarna S0301 och R0301 har utförts i slutet respektive början av profilen.



Fig. 30. Vid borrhningen R 0301, i början av den seismiska profilen S 2-03, påträffades grövre, starkt vattenförande lager fr.o.m. 25 m till 51,6 m, i detta fall bormaskinens begränsningsdjup. De understa ca 30 m av grundvattenmagasinet är således av okänd karaktär. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

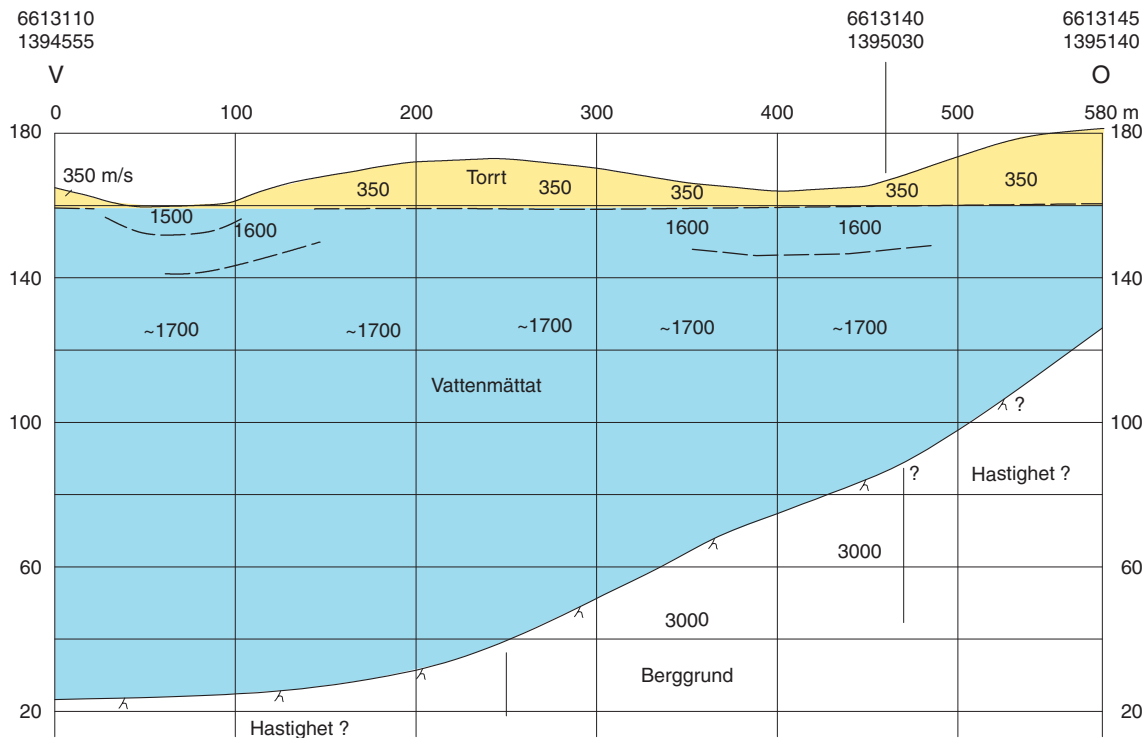


Fig. 31. Seismisk profil, S 13-03, uppmätt vid Ångsågen i södra änden av Alstern. Grundvattenmagasinet är här närmare 140 m mäktigt – bland de största i landet. Den seismiska hastigheten på djupet i magasinet låter sig inte säkert bestämmas. Ett försök att med kraftigare bormaskin undersöka hela lagerföljden ner till berg nådde endast 75 m. Nästan halva lagerföljden är därför okänd. Mellan 12 och 39 m påträffades mycket vatten.

Resultaten av borrhningarna var som följer:

S0306

0–15 m	mellansand/grovsand
15–17	stenig grovsand
17–51,6	grovsand

R04172

0–6 m	mellansandig silt
6–9	siltig mellansand
9–12	grusig, sandig silt
12–15	grusig, siltig grovsand
15–21	stenigt grus
21–30	sandigt, stenigt grus
30–33	siltigt, stenigt grus
33–36	siltig, grusig sand
36–39	grusig, siltig sand
39–42	sandig silt
42–51	finsandig silt
51–54	mellansandig silt
54–57	finsandig silt
57–60	mellansandig silt
60–63	siltig mellansand
63–72	mellansandig silt
72–75	grovsandig silt
Svårborrat, borrhningen avbruten.	

Vid borrhningen av R04172 erhöles mycket vatten mellan 12 och 39 m, särskilt mycket mellan 15 m och 33 m (se figur 32).

Tyvärr kunde inte heller den större bormaskinen ta sig igenom hela lagerföljden. Därför är den undre halvan av lagerföljden fortfarande okänd. Det är emellertid inte ovanligt att de grövsta fraktionerna förekommer längst ner i isälvsavlagringarna. Det är därför ganska troligt att ytterligare mycket bra uttagsmöjligheter kan föreligga på större djup.

Övriga borrhningar, som utförts i södra delen av Brattforsheden i syfte att hitta bra platser för större grundvattenuttag, är de längs Alsterns västra strand. Resultaten av dessa borrhningar var:

S0307

0–12,5 m	mellansand/grovsand
12,5–15,5	stenig, grusig sand
15,5–16	morän

S0308

0–7 m	stenig sand
7–16	grovsand
16–17,5	stenig grovsand
17,5–25	grovsand
25–27,7	stenig, grusig sand
Stopp mot block eller berg.	

S0309

0–12 m	grusig, stenig sand
12–20	grovsand
20–25,5	mellansand/grovsand
25,5–31	grusig, stenig sand (morän?)
31–32	morän

Borrningarna bekräftar intrycken från radarmätningarna av genomsläppliga jordarter och måttliga jorddjup närmast västra stranden av Alstern.

Figur 33 ger en översikt över lägen för geofysiska mätningar och borrhningar i södra delen av Brattforsheden.



Fig. 32. Från borrhningen av R04172 vid 110 m i den seismiska profilen S13-03, vid Ångsågen. Mellan 12 m och 39 m påträffades sand och grus. Vattenföringen var ovanligt stor mellan 15 m och 33 m, där lagren var övervägande grusiga. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

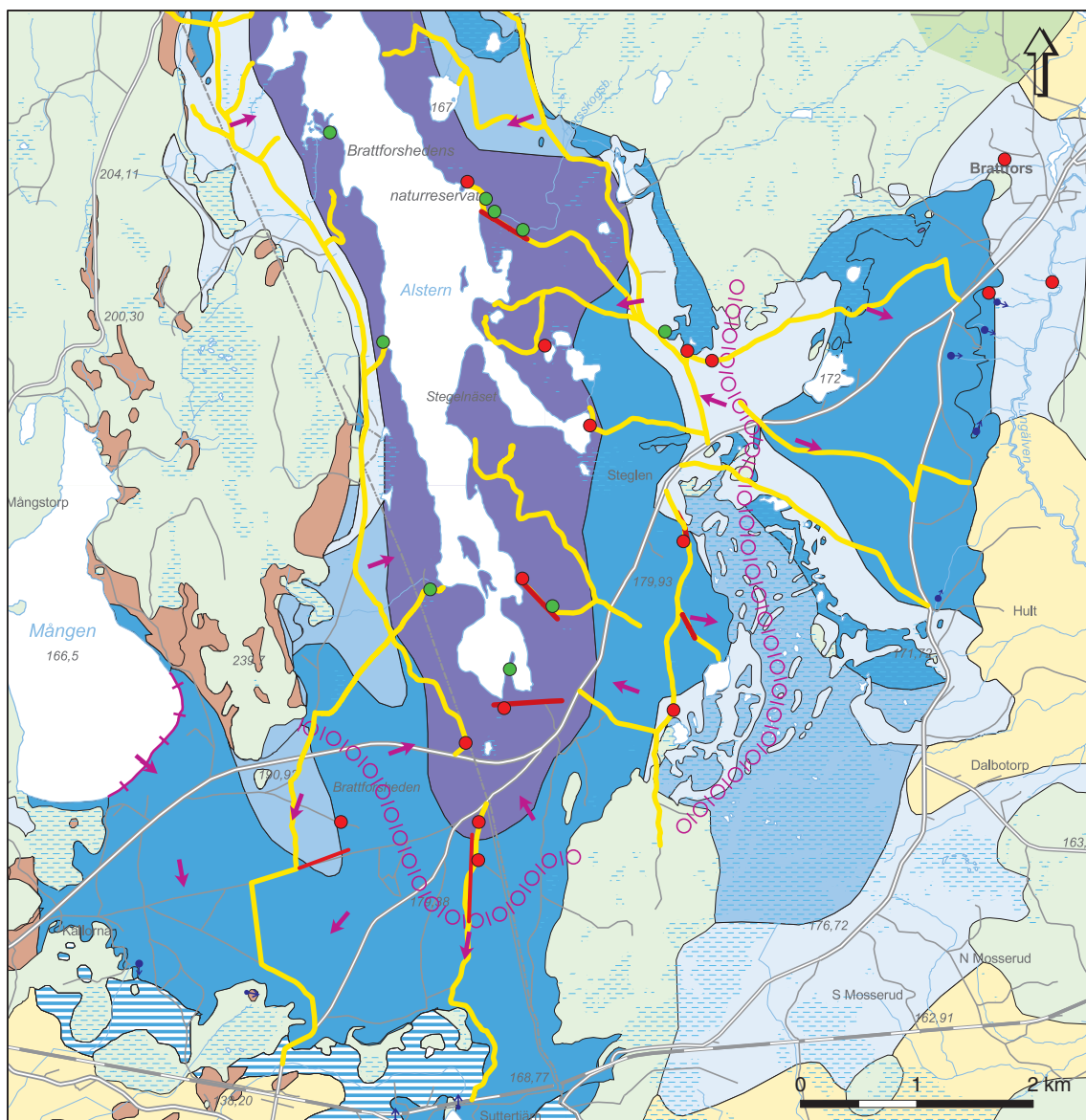


Fig. 33. Översikt av seismiska profiler (röda), georadarprofiler (gula) och borrhningar i södra delen av Brattforsheden.

Tabell 2. Kemiska vattenanalyser från borrhningar och källor.
Analysen från borrhningar

Sketviken		Sketviken		Tobakshålet		Tobakshålet	
Rör 0301, 26–27 m		Rör 0301, 42–43 m		Rör 0305, 8–9 m		Rör 0305, 20–21 m	
COD-Mn mg/l	<1,0	COD-Mn mg/l	<1,0	COD-Mn mg/l	<1,0	COD-Mn mg/l	<1,0
pH	7,2	pH	7,3	pH	7,0	pH	7,0
HCO ₃ mg/l	11,0	HCO ₃ mg/l	14,0	HCO ₃ mg/l	8,4	HCO ₃ mg/l	9,9
Ca mg/l	3,6	Ca mg/l	4,1	Ca mg/l	3,0	Ca mg/l	3,4
Mg mg/l	1,2	Mg mg/l	1,2	Mg mg/l	1,3	Mg mg/l	0,8
Na mg/l	2,9	Na mg/l	3,1	Na mg/l	2,4	Na mg/l	2,6
K mg/l	<2	K mg/l	<2	K mg/l	<2	K mg/l	<2
Fe mg/l	1,8	Fe mg/l	1,1	Fe mg/l	1,1	Fe mg/l	0,3
Mn mg/l	0,11	Mn mg/l	0,05	Mn mg/l	0,11	Mn mg/l	<0,02
Cu mg/l	<0,01	Cu mg/l	<0,01	Cu mg/l	<0,01	Cu mg/l	<0,01
NH ₄ -N mg/l	0,080	NH ₄ -N mg/l	0,010	NH ₄ -N mg/l	0,020	NH ₄ -N mg/l	<0,010
NO ₂ -N mg/l	0,022	NO ₂ -N mg/l	0,022	NO ₂ -N mg/l	0,039	NO ₂ -N mg/l	0,004
NO ₃ -N mg/l	<0,10	NO ₃ -N mg/l	<0,10	NO ₃ -N mg/l	<0,10	NO ₃ -N mg/l	<0,10
PO ₄ -P mg/l	0,023	PO ₄ -P mg/l	0,016	PO ₄ -P mg/l	0,041	PO ₄ -P mg/l	0,003
F mg/l	<0,10	F mg/l	<0,10	F mg/l	<0,10	F mg/l	<0,10
Cl mg/l	<2,0	Cl mg/l	2,1	Cl mg/l	<2,0	Cl mg/l	<2,0
SO ₄ mg/l	4,0	SO ₄ mg/l	3,6	SO ₄ mg/l	4,6	SO ₄ mg/l	4,3
Hårdhet tyska grader	0,78	Hårdhet tyska grader	0,84	Hårdhet tyska grader	0,71	Hårdhet tyska grader	0,66
Konduktivitet mS/m	3,71	Konduktivitet mS/m	4,19	Konduktivitet mS/m	3,42	Konduktivitet mS/m	3,62

Kemiska analyser från källor

Skäftdalskällan		Källan 1,5 km VSV Brattfors flp.		Djupa dalen		Alstern	
COD-Mn mg/l	14	COD-Mn mg/l	<0,100	COD-Mn mg/l	3,5	COD-Mn mg/l	3,300
Temp	5,5	Temp	5,5	Temp	5,5	Temp	<
pH	6,5	pH	7	pH	6	pH	6,900
HCO ₃ mg/l	4,400	HCO ₃ mg/l	11	HCO ₃ mg/l	3,9	HCO ₃ mg/l	8,5
Ca mg/l	2,300	Ca mg/l	4,700	Ca mg/l	3,2	Ca mg/l	3
Mg mg/l	0,700	Mg mg/l	1,600	Mg mg/l	0,7	Mg mg/l	1
Na mg/l	2,100	Na mg/l	4,900	Na mg/l	4,5	Na mg/l	2,5
K mg/l	<2	K mg/l	<2	K mg/l	<2	K mg/l	<2
Fe mg/l	0,700	Fe mg/l	0,240	Fe mg/l	0,690	Fe mg/l	<0,050
Mn mg/l	<0,020	Mn mg/l	<0,020	Mn mg/l	0,020	Mn mg/l	<0,020
Cu mg/l	<0,010	Cu mg/l	<0,010	Cu mg/l	<0,010	Cu mg/l	<0,010
NH ₄ -N mg/l	<0,010	NH ₄ -N mg/l	<0,010	NH ₄ -N mg/l	<0,010	NH ₄ -N mg/l	0,010
NH ₄ mg/l	<0,020	NH ₄ mg/l	<0,020	NH ₄ mg/l	<0,020	NH ₄ mg/l	<0,020
NO ₂ -N mg/l	<0,001	NO ₂ -N mg/l	<0,001	NO ₂ -N mg/l	<0,001	NO ₂ -N mg/l	<0,001
NO ₂ mg/l	<0,020	NO ₂ mg/l	<0,020	NO ₂ mg/l	<0,020	NO ₂ mg/l	<0,020
NO ₃ -N mg/l	<0,100	NO ₃ -N mg/l	<0,100	NO ₃ -N mg/l	<0,100	NO ₃ -N mg/l	<0,100
NO ₃ mg/l	<0,5	NO ₃ mg/l	<0,5	NO ₃ mg/l	<0,5	NO ₃ mg/l	<0,5
PO ₄ -P mg/l	<0,002	PO ₄ -P mg/l	<0,002	PO ₄ -P mg/l	<0,002	PO ₄ -P mg/l	<0,002
PO ₄ mg/l	<0,006	PO ₄ mg/l	<0,006	PO ₄ mg/l	<0,006	PO ₄ mg/l	<0,006
F mg/l	<0,100	F mg/l	<0,100	F mg/l	<0,100	F mg/l	<0,100
Cl mg/l	<2	Cl mg/l	7,5	Cl mg/l	6,9	Cl mg/l	2,400
SO ₄ mg/l	<2	SO ₄ mg/l	2,600	SO ₄ mg/l	2,9	SO ₄ mg/l	<2
Hårdhet tyska grader	0,48	Hårdhet tyska grader	1	Hårdhet tyska grader	0,61	Hårdhet tyska grader	0,65
Konduktivitet mS/m	2,54	Konduktivitet mS/m	5,96	Konduktivitet mS/m	4,76	Konduktivitet mS/m	3,4

Grundvattnets strömningsriktningar och källor

Söder om Mången ligger grundvattenytan i Brattforshedens avlagringar lägre än sjöns yta. Där sker en naturlig inducering av sjövattnet, som strömmar in i och igenom sandlagren och efter 1,5–2 km åter kommer ut i ett flertal källor i sydligaste kanten av Brattforsheden (Nordberg & Persson 1979). Detta flöde kan följas i grundvattenrören i form av successivt sjunkande grundvattennivåer från sjön till källorna (figur 34). På grundvattenkartorna är i regel bara de källor redovisade som har en kapacitet av mer än 3 l/s.

I den östligaste delen av Brattforsheden finns avsevärt fler och större källflöden. Medan det sammanlagda källflödet, inklusive det från de mindre, omarkerade källorna i söder (figur 34), kan bedömas vara av storleksordningen 30–40 l/s, har det sammanlagda flödet från källorna i öster, i Lungälvsvrinerna, uppmätts till mer än 130 l/s. Mätningarna gjordes i september 2003 i bäckarna där de når Lungälven.

Källorna börjar som små rännilar och blir till bäckar, som växer till sig genom tillskott av grundvatten från ravinernas branta sidor hela vägen ner till utloppen i Lungälven. Detta illustreras av figurerna 35 a–c. Det är också dessa källflöden, som har skapat och fortfarande utformar ravinerna.

Storleken på det område som kan bilda grundvatten till källorna i söder är ca 7 km², och till källorna i öster ca 8 km², dvs. de är ungefär likvärdiga. Dessutom får källorna i söder ett tillskott från sjön Mången. Ändå är källflödet i öster ungefär fyra gånger så stort som det i söder. En stor del av arbetet lades därför ner på att undersöka om det finns någon hydraulisk förbindelse också mellan Alstern och Lungälvsvrinernas källor.

Det naturliga läget för en grundvattendelare i området mellan Alstern och Lungälvsvrinernas källor skulle kunna vara ytvattendelaren. Denna är huvudsakligen betingad av en höjdrygg av håll och morän mellan Gräshöjden och Västra höjden (figur 36). Denna höjdrygg är dock nästan helt dold av Stegelmossen-Geijersdalsmossen och av isälvsavlagringar. Se jordartskartan 11D Munkfors SO (Fredén 2001).

Undersökningarna inriktades på att kontrollera om det på något ställe ändå finns en passage för grundvattenflöde från Alstern till källorna. I anslutning till vattendelaren gjordes förutom georadarmätningar två seismiska profiler och fyra borrhningar (figur 36). Av flera skäl (mer komplicerade mätförfaranden och stor risk för markskador m.m.) har denna typ av undersökningar inte kunnat göras ute på mossarna.

Georadarmätningarna i figur 36 (profilerna R 291-03, R 292-03 och R 293-03) visade alla höga berglägen vid vattendelaren, och även höga grundvattennivåer. R 291-03 visade höga berglägen på flera ställen längs profilen. Figurerna 37 och 26 visar exempel på detta i radarprofilerna. Trots de höga berglägena står grundvattenytan i de visade exemplen ändå något högre. Grundvattendelaren är således rörlig. Den ligger i profil R 293-03 på ca 170 m ö.h. och i profil R 291-03 på ca 175 m ö.h., mycket högre än Alsterns nivå som är 158 m ö.h.

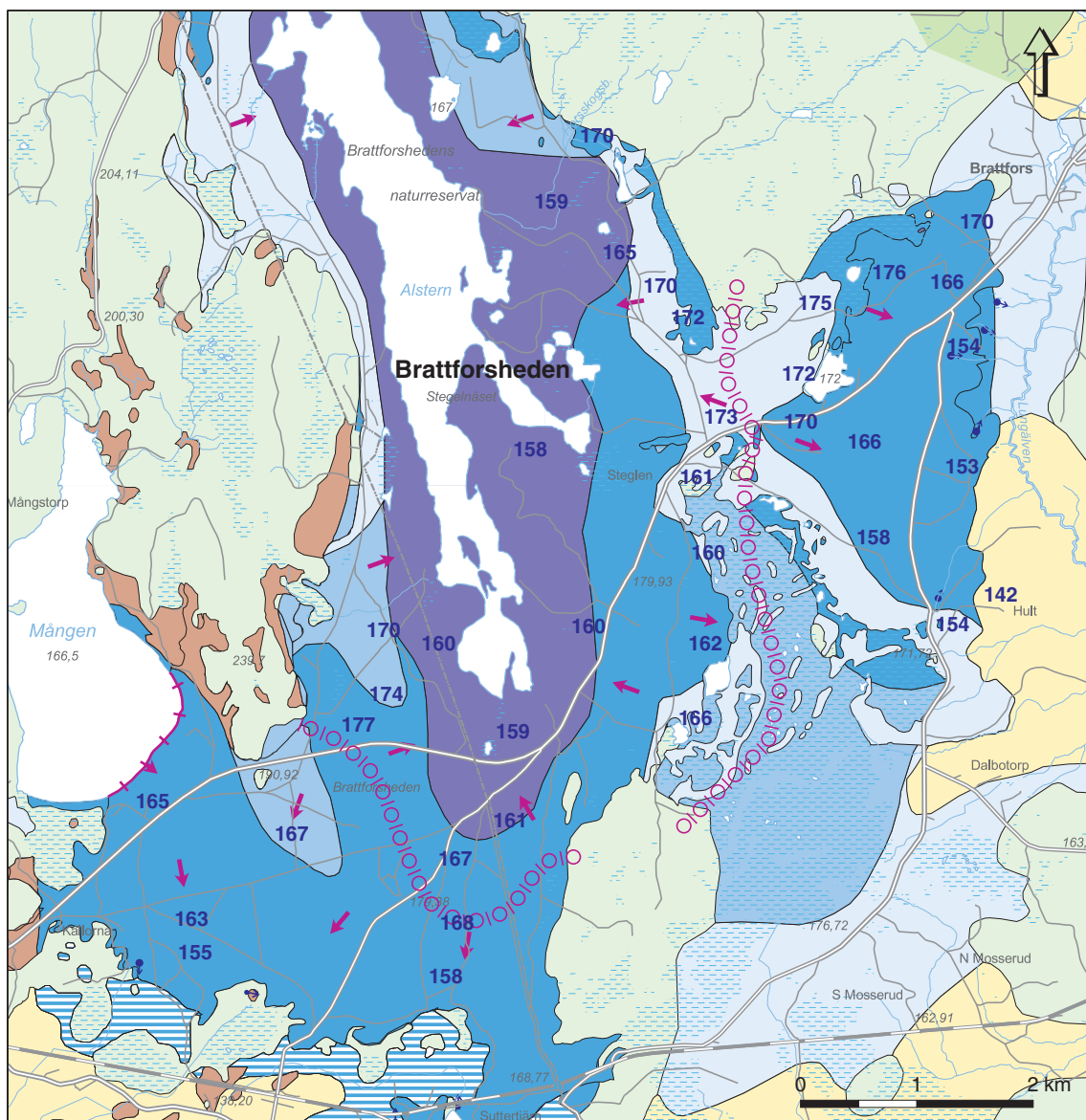


Fig. 34. Uppmätta grundvattennivåer (mörkblå siffror), grundvattnets strömningsriktningar och grundvattendelare. Lägg märke till grundvattenströmmen från sjön Mången och till Källorna i söder. En viktig fråga i detta arbete har varit att undersöka den östra grundvattendelarens karaktär – om den är fullständigt avskärande, eller om vatten från Alstern kan tillföras de stora källflödena vid Lungälven.



Fig. 35 a. Källorna i Lungälvsvrinerna börjar som små rännilar vilka snabbt växer till bäckar. Denna och följande två bilder är från den sydligaste källan vid Lungälven, figur 34. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 35 b. Tillskottet av grundvatten från ravinernas sidor är ställvis starkt järnhaltigt. Järnutfällning på bred front, ca 200 m från Djupa dalens början. Ravinbotten med källvattnet rinnande från vänster till höger längst ner i bild. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 35 c. Vid Djupa dalens mynning i Lungälven har flödet vuxit till sig. Det uppmättes i september 2003 till ca 80 l/s. Källvattnet rinner från bildens nedre, högra hörn ut i den solbelysta Lungälven. Det sammanlagda flödet i Lungälvsravinerna uppmättes vid detta tillfälle till mer än 130 l/s. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

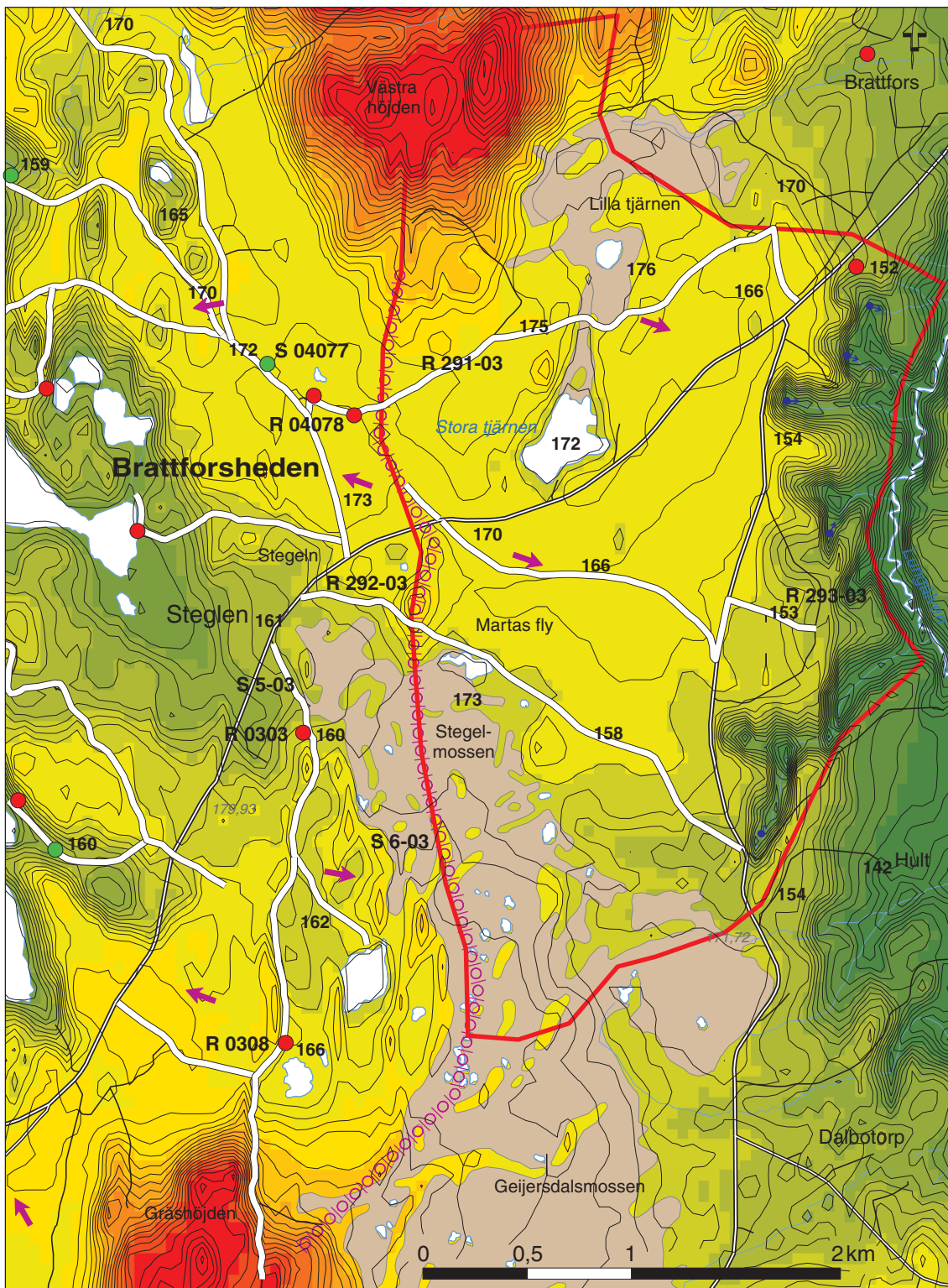


Fig. 36. Grundvattendelarområdet mellan Lungälven och Alstern. Grundvattennivåer i svarta siffror från observationsrör (noggrannhet ca 5 cm), seismiska profiler och georadarprofiler (noggrannhet någon meter). Röd heldragen linje – tillrinningsområde till källorna i Lungälvsvrinerna. Höjdreliefkarta framställd från Lantmäteriets höjddatabas bildar bakgrund. Löpnnumren är placerade i början av radarprofilerna.

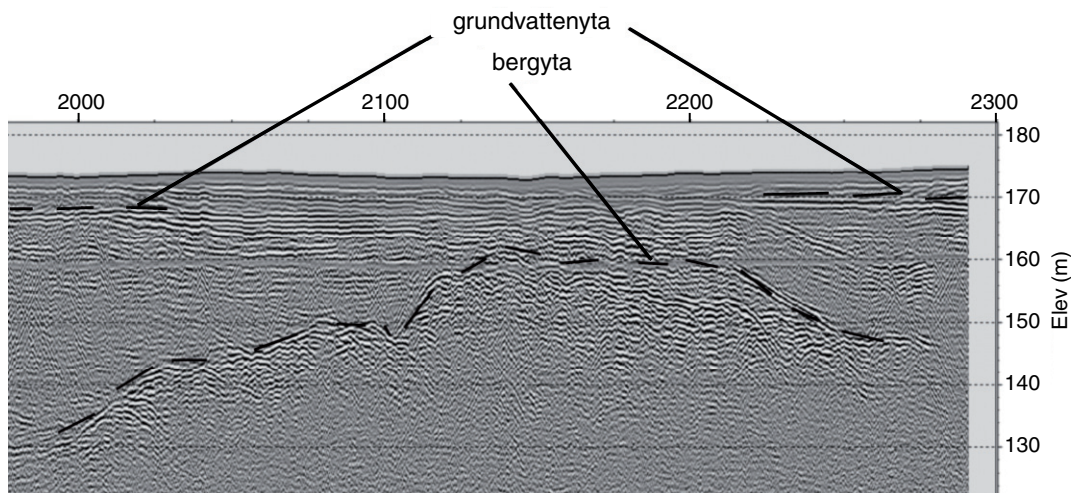


Fig. 37. Georadarprofil R 293-03 visar i detta avsnitt ett högt bergläge som nästan når upp till grundvattenytan vid 170 m ö.h.

I de seismiska profilerna S 5-03 (figur 38) och S 6-03 (figur 39) ligger grundvattenytan inte lika mycket högre, men i alla fall högre än Alstern.

Vid borrhningarna nära vattendelaren var lagerföljden:

R 0303

0–28,2 m mellansand
28,2–30,8 grusig, stenig sand
30,8–33 morän
entumsrör, sonderad lagerföljd

R 0308

0–3,5 m sand
3,5–26,2 mellansand
26,2–28,9 stenig, grusig sand
kan fortsätta

S 04077

0–35 m finsand/mellansand
35–27 morän

R 04078

0–8 m finsand/mellansand
8–23 finsand/silt
23–23,7 morän

Båda borrhningarna vid södra delen av vattendelaren påträffade genomsläppliga lager på djupet. Grundvattenytan i R 0303 ställde in sig på 160,23 m ö.h. och i R 0308 uppmättes nivån 165,95 m ö.h.

I borrhningarna vid norra delen av vattendelaren påträffades ingen grov jordart. I R 04078 uppmättes grundvattenytans nivå till 172,86 m ö.h.

Vid vattendelaren har ingen grundvattennivå påträffats som har varit lägre än Alsterns yta. Inte heller i någon annan geofysisk mätning eller vid någon borrhning har någon grundvattennivå lägre än Alsterns påträffats mellan sjön och vattendelaren.

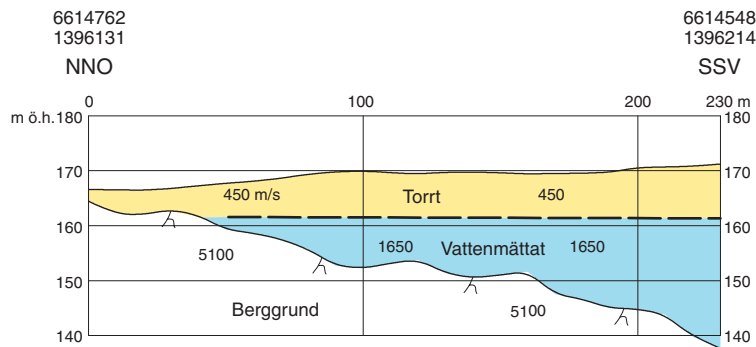


Fig. 38. I den seismiska profilen S 5-03 når berggrunden över grundvattenytan och nästan upp till markytan. Den seismiska hastigheten i grundvattenmagasinet är 1 650 m/s, vilket tyder på ett material med finsand-silt och dålig vattengenomsläpplighet. Grundvattenytan ligger här på 160,23 m ö.h. (uppmätt i det intilliggande observationsröret), endast 2 m över Alsterns nivå. Detta medger ingen grundvattenströmning från Alstern till Lungälvsvrinernas källor, men vid dessa undersökningar är detta det ställe som kommer närmast en sådan möjlighet.

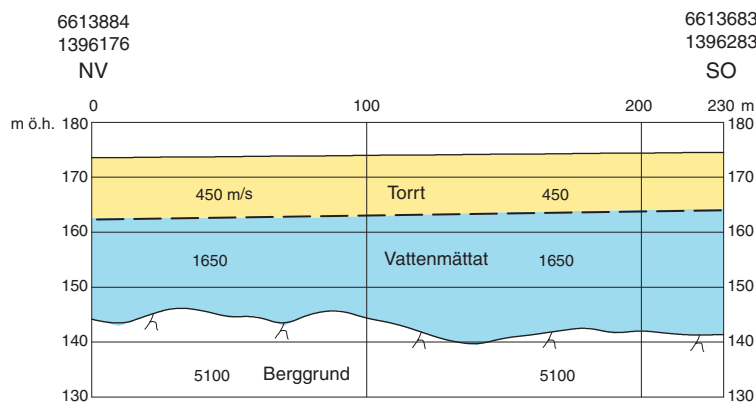


Fig. 39. Den seismiska profilen S 6-03 visar relativt mäktigt grundvattenmagasin men med dålig genomsläpplighet (finsand-silt). Grundvattenytan, ligger här kring 162 m ö.h.

Nivåerna kring 170 m ö.h. söder om Västra höjden representerar antingen ett övre grundvattenmagasin (men något undre i detta område har inte påträffats) eller ett magasin med betydligt lägre hydraulisk konduktivitet som kanske hålls uppe av bergklackar. Stora och Lilla tjärnens vattenytor, se figur 36, som ligger på 172 resp. 176 m ö.h., är uppenbarligen avsnitt av grundvattenytan i detta högre grundvattenmagasin.

Av höjddatabasens nivåer och tillgängliga kartor att döma har åtminstone Stora tjärnen inte något ytligt avlopp. Vattenomsättningen sker huvudsakligen genom grundvattnets nivåförändringar och flöde. Beträffande den mycket grunda sjön Martas fly kan det förhålla sig på samma sätt, se figur 40.

Källornas nivåer är svåra att precisera eftersom grundvattnet dels kommer ut punktformigt, dels sipprar fram från stora ytor (figur 35b). De bedöms emellertid börja på nivåer mellan 150 och 155 m ö.h. I ett observationsrör vid den nordligaste källan i figur 36 har nivån 151,90 m ö.h. uppmätts. Denna källa utgör vattentäkt för Brattfors samhälle.

Mellan källorna och grundvattendelaren kan en grundvattenyta ses i georadarprofilen R 292-03 på ca 158 m ö.h. (figur 41). Den kan ses sluta tvärt mot en bergkant vid 1 675 m i profilen. Grundvattenflödet i detta område går i princip från nordväst mot sydost, samma riktning som profilen är uppmätt i. Därför kan det möjligen vara så att det sker ett grundvattenflöde från vänster i bild, över bergklacken vid 1 625 m, som når nästan 170 m ö.h., ner i grundvattenmagasinet till höger och vidare till källorna.

Egentligen ”börjar” således grundvattenytan vid bergkanten. Grundvattenfallet kanske inte sker just här, men där bergklacken är något lägre. Detta kan illustrera hur ett högre beläget grundvattenmagasin hålls uppe av bergklackar.

Ytvattendelaren och grundvattendelaren sammanfaller här i stort sett, men grundvattendelaren är rörlig och den kanske t.o.m. kan ligga något väster om den uppmätta nivån 173 m ö.h.

Följande sammanfattning kan göras beträffande grundvattensituationen i området mellan Alstern och Lungälven:

Tillrinningsområdet kan beräknas till ungefär 8 km² (figur 36). Årsmedelnederbörden vid SMHIs närmaste nederbördsstation, Sutterhöjden, är 764 mm. Med en bedömd infiltrationsfaktor på 0,5 blir grundvattenbildningen i källornas tillrinningsområde ca 95 l/s.

Skillnaden mellan uppmätt flöde från källorna, mer än 130 l/s, och beräknad grundvattenbildning är minst 35 l/s, vilket är förhållandevis mycket. Frånsett möjliga fel i beräkningarna kan skillnaden tänkas bero på:

- Att källflödena varierar med tiden och att de uppmättes vid ett tillfälle med hög vattenföring. Av figur 10 framgår dock att de inte bör kunna variera särskilt mycket eftersom grundvattennivån i området vanligtvis varierar endast omkring en halv meter.
- Att tillrinningsområdet är större, i så fall med större utbredning mot Geijersdalsmossen. Då krävs emellertid ett tillskott på ca 3 km² med normal grundvattenbildning. Grundvattenbildningen under en mosse är emellertid betydligt mindre än normalt, varför ett tillräckligt stort tillrinningsområde är svårt att identifiera.
- Att det från Alstern trots allt förekommer ett grundvattenflöde, som ännu inte kunnat påvisas.

Frågan om det förekommer en grundvattenström från Alstern till Lungälvsravinerna kan därför inte anses vara besvarad. Då emellertid grundvattennivåerna, där de kunnat uppmätas, inte medger en sådan hydraulisk förbindelse, måste en sammanhängande grundvattendelare mellan Västra höjden och Gräshöjden anses förekomma så som figur 36 visar.

Grundvattendelaren söder om Alstern är i sin helhet rörlig och kan skifta läge beroende på torrperioder och perioder av grundvattenbildning.



Fig. 40. Martas fly, en liten och mycket grund sjö. Nivån enligt höjddatabasen är 173 m ö.h. vilket är något högt för att vara i nivå med grundvattenytan. Torksprickorna i förgrunden tyder dock på att botten inte är tät, varför sjöytan mycket väl kan representera grundvattenytan på detta ställe. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

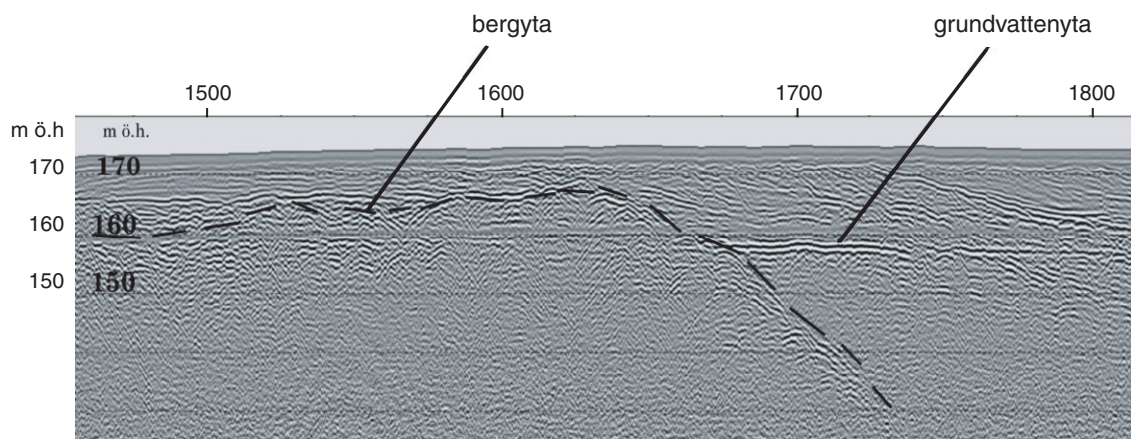


Fig. 41. Georadarprofil R 292-03. I grundvattendelarområdet finns ett antal hållar och moränkullar som når högre än isälvavlagringarna, se jordartskartan (Fredén 2002). Georadmätningarna har påvisat flera platser med höga berglägen alldeles under markytan. De förhållandevis stora skillnaderna i grundvattennivå inom detta begränsade område, se figur 36, pekar mot att det är de höga och oregelbundna berglägena som håller upp grundvattenytorna i mer eller mindre isolerade, hållkarliknande bassänger. Denna radarbild visar grundvattenytan på en nivå nära eller under 160 m ö.h. alldeles utanför dessa bassänger. Det är en nivå som ger en för isälvsmaterial normal grundvattengradient fortsättningsvis fram till källorna.

GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I NORRA DELEN AV BRATTFORSHEDEN

Geofysiska mätningar och borrhningar

Georadarmätningar

Kartutsnittet i figur 42 visar var georadarmätningar, seismiska mätningar och borrhningar har utförts i den norra delen av Brattförsheden.

Georadarprofilen R 296-03 (figur 43) visar att de vattenförande sand- och gruslagren tilltar kraftigt i mäktighet redan på ett avstånd av 500 till 600 m från stranden. Som framgår av figur 43 ligger grundvattenytan mycket flackt och obetydligt över Alsterns nivå till ett avstånd av ca 700 m från stranden. Detta tyder på ett grundvattenmagasin med stor mäktighet och hög genomsläpplighet. På liknande sätt är förhållandena norrut till strax söder om Paradishyttan.

I figur 44, som är ett utsnitt ur R 300-03, kan man vid ungefär 525 m i profilen se hur berggrunden stiger till 12–15 m under markytan för att åter bli lägre längs profilen.

I områdena norr om Paradishyttan, mellan Alstern och Lungen samt i området närmast norr om Alstern, utgörs åtminstone de övre partierna av isälvsavlagringarna av förhållandevis finkorniga och väl skiktade sediment. Figur 45 är ett utsnitt ur profilen R 303-03 som visar skiktningen på ett mycket tydligt sätt. De två strukturerna vid 1 000 och 1 100 m är troligtvis spår efter dödisgropar som har fyllts med yngre sediment. Markytan är här så gott som plan. Av gropar, som ursprungligen varit flera tiotal meter djupa, syns ingenting.

Med endast ett enda tvärsnitt är det svårt att veta dimensionerna på strukturerna. Den vid 1 100 m är dock högst 25–30 m bred och kanske 40–50 m djup. Radarn har sannolikt inte sett ända ner till botten, men djupskalan blir allt osäkrare med djupet (ofta något överdrivet djup).

Georadarprofilen R 306-03 (figur 46) är uppmätt från Alsterns norra strand mot norr. Figuren visar hur de övre, finkorniga och välskiktade sedimenten tunnar ut och tar slut vid 1 100–1 200 m. Här har också en seismisk profil och en borrhning utförts för att utreda förhållandena kring en förmodad grundvattendelare.

Figur 47 visar ett utsnitt från georadarmätningen R 321-03 längs krönet på den dyn, Stortjärnsmanen, som visas på fotot i figur 3. Dynen är omkring 15 m mäktig och grundvattenytan, som i detta avsnitt når upp i dynen, avtecknar sig tydligt. Mellan 300 och 400 m (i sydväst) står den högt uppe i dynen, vid 600 m (i nordost) ligger grundvattenytan nära dynens bas.

Seismiska mätningar och borrhningar

Tre seismiska profiler har utförts i den norra delen av Brattförsheden så som framgår av kartutsnittet i figur 42.

Den seismiska profilen S 3-03 visas i figur 48. Grundvattenmagasinet är ca 30 m mäktigt i början av profilen, närmast Alsterns strand. Mot sydost höjer sig berggrundsytan sakta, och magasinets mäktighet avtar i motsvarande grad till ca 15 m. Samtidigt har markytan höjt sig nästa lika mycket som berggrunden. Att grundvattenytan trots detta ligger kvar på nästan samma nivå som vid sjöstranden indikerar ett sandigt och grusigt sediment i grundvattenmagasinet med hög genomsläpplighet. Den flacka grundvattenytan i området visade sig ju också i georadarprofilerna, t.ex. figur 43.

Av figur 49 framgår att i den seismiska profilen S 4-03 är grundvattenmagasinet omkring 60 m mäktigt. De översta ca 20 meterna har en seismisk hastighet av 1 600 m/s vilket indikerar en kornstorlek åt det mer finkorniga hållet (mellansand–finsand).

Sonderingsborrningen S 0305 utfördes nära 200 m i profilen och gav följande resultat:

S 0305

0–51,6 m mellansand/grovsand, homogen, löst lagrad
kan fortsätta

Sannolikt har den lösa lagringen givit den relativt låga seismiska hastigheten. Vid borrhningen påträffades inget grus.

Som tidigare nämnts utfördes seismiska mätningar och borrhning för att utreda läget och karaktären av en förmodad grundvattendelare mellan Alstern och Svartån – mellan grundvattenmagasinen i Brattforshedens och i Rådadalens isälvsavlagringar.

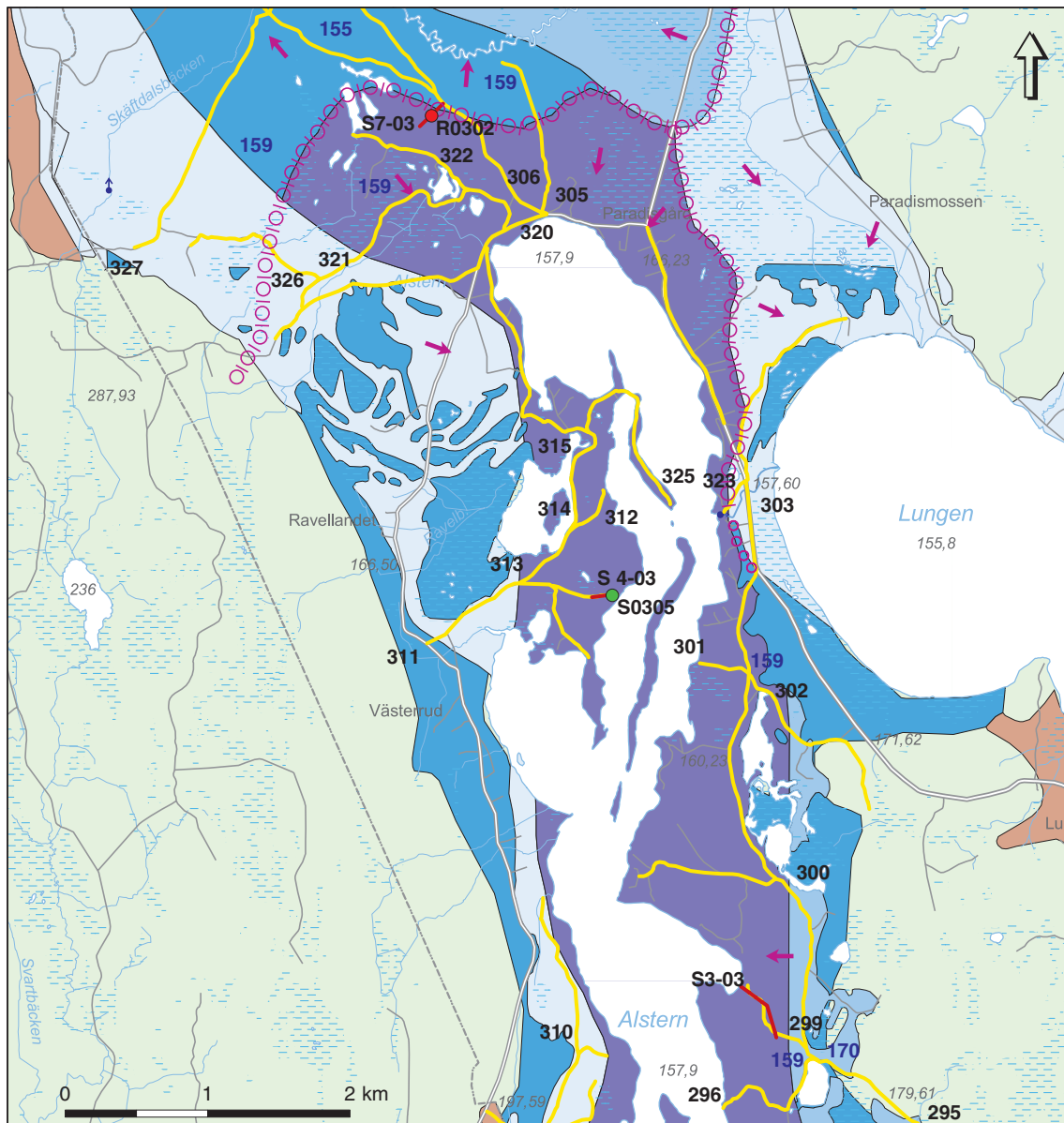


Fig. 42. Geofysiska mätningar och borrhningar i den norra delen av Brattforsheden. Gula linjer är georadar-profiler. Röda linjer är seismiska profiler. Röda punkter är observationsrör och sonderingsborrhningar. Blå siffror är uppmätta grundvattennivåer. Vid Paradishytan ligger utloppet från Brattforshedens centrala grundvattenmagasin, Alsternmagasinet. Löpnumren är placerade i början av radarprofilerna.

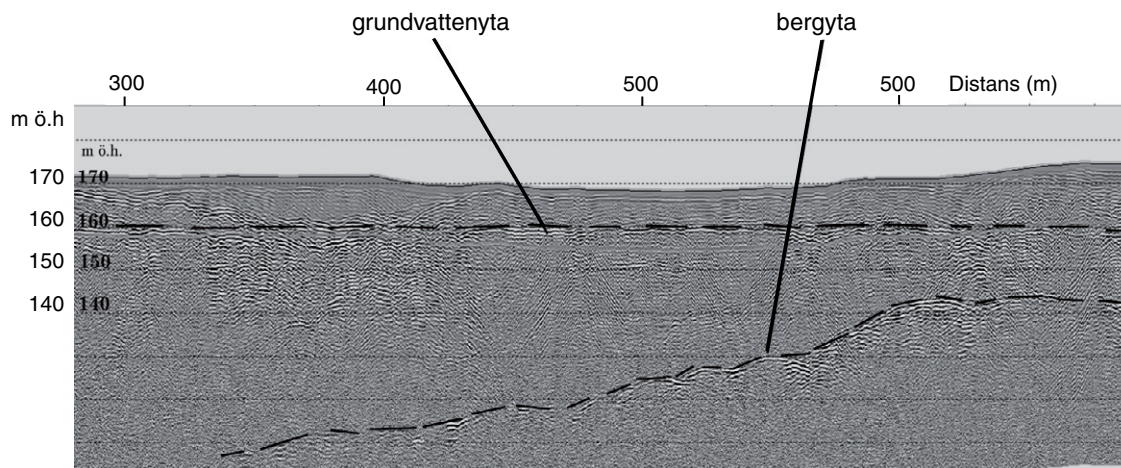


Fig. 43. Utsnitt ur georadarprofil R 296-03. Profilen är uppmätt från stranden av Alstern. Grundvattenytan ligger kvar nära sjöns nivå till ett avstånd av 700 m från stranden, något som tyder på hög vattengenomsläpplighet och bra uttagsmöjligheter för grundvatten. Grundvattenmagasinet blir allt mäktigare närmare Alstern.

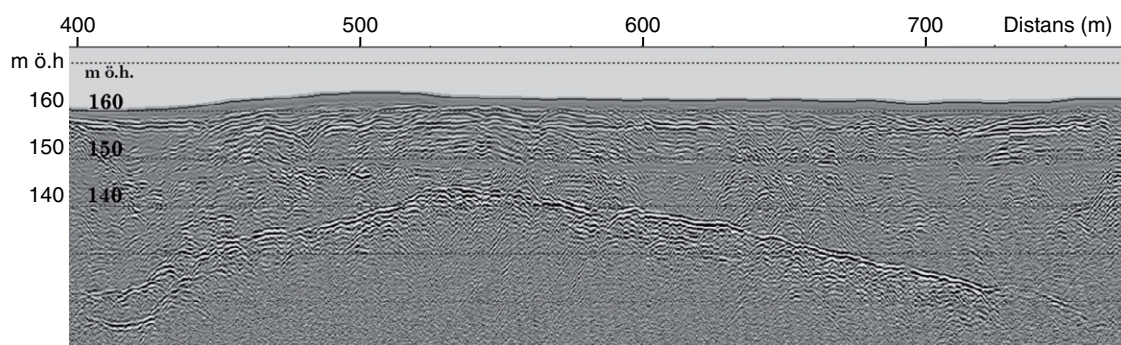


Fig. 44. Utsnitt ur georadarprofil R 300-03. Profilen, som är uppmätt i östligaste kanten av Alstermagasinet, visar hur berggrunden höjer sig till en högsta nivå mellan 525 och 550 m och sedan sjunker undan igen. Grundvattenytan, som inte framträder särskilt tydligt, ligger strax under markytan.

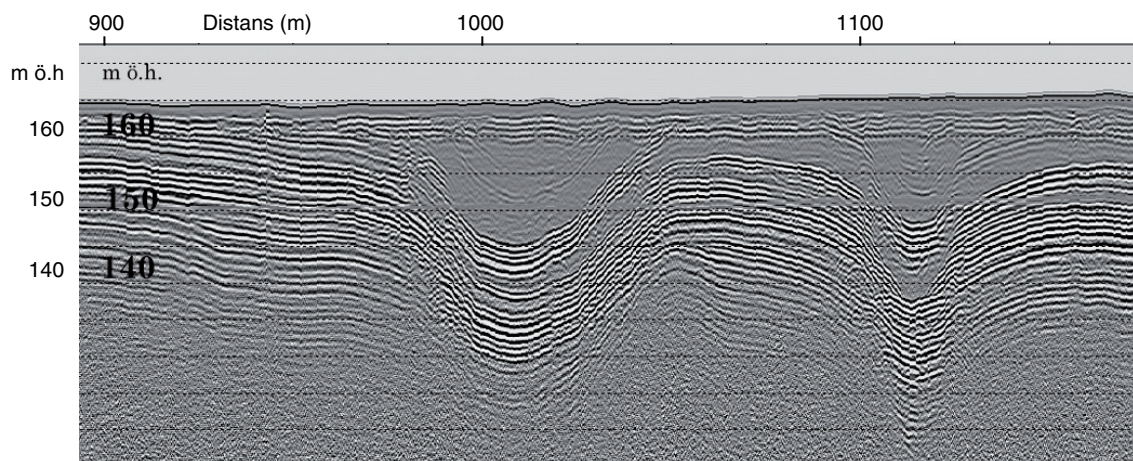


Fig. 45. Utsnitt ur georadarprofil R 303-03. Den mycket tydliga skiktningen tyder på finkorniga lager – mestadels silt. Strukturerna vid 1 000 och 1 100 m har sannolikt bildats genom att isblock begravts av sediment under den nivå som ses på bilden. Med tiden har isen smält undan, varvid överliggande, ursprungligen horisontella lager efter hand sjunkit ner. Därpå har den uppkomna gropen, dödisgropen, fyllts med mindre väl skiktade sediment. Slutligen har alltsammans täckts av horisontella, väl skiktade sediment. Den högra strukturen är högst 25–30 m bred och kanske 40–50 m djup.

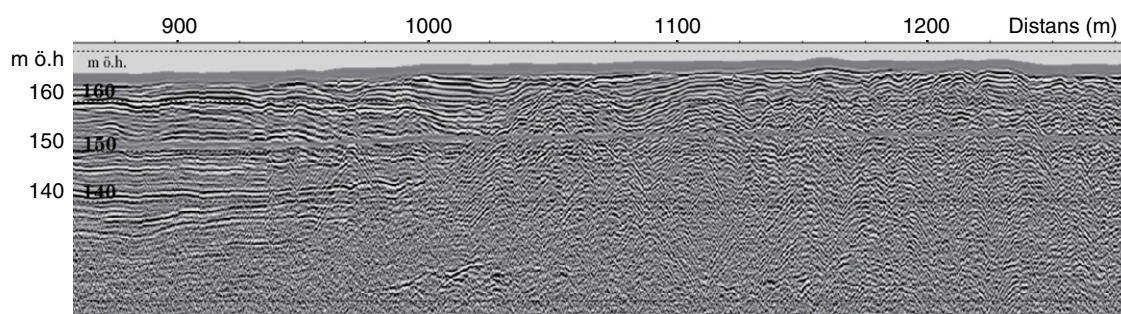


Fig. 46. Utsnitt ur georadarprofil R 306-03. De finkorniga sedimenten kring Alsterns norra strand övergår vid 1 100–1 200 m till något grövre. Den rörliga grundvattendelaren ligger i området 800–1 200 m i profilen, men grundvattenytan kan knappast urskiljas. En osäker berggrundsytta skymtar på djupet vid 1 000 m.

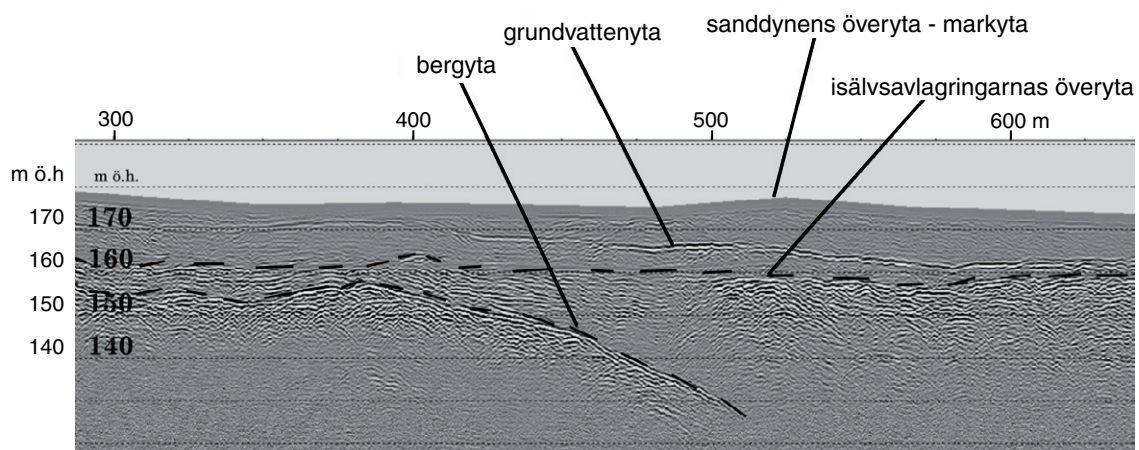


Fig. 47. Utsnitt ur georadarprofil R 321-03. Profilen är uppmätt längs krönet på en sanddyn, från sydväst in mot Alstermagasinets centrala delar. Grundvattenmagasinet är till en början tunt, men vid 500 m stupar berggrundsytan brant ner, och grundvattenmagasinet tilltar snabbt i mäktighet. Grundvattenytan ligger en bit upp i dynen och syns delvis tydligt. Fotografiet i figur 3 är taget på detta ställe.

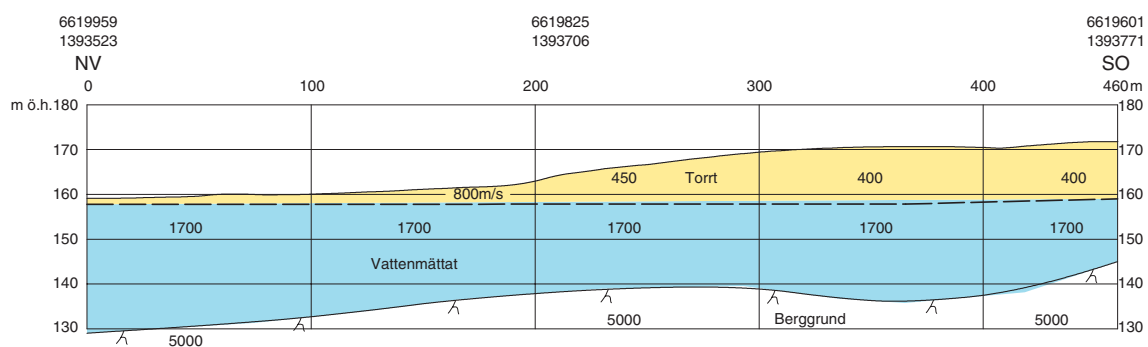


Fig. 48. I den seismiska profilen S 3-02 har såväl berggrundsytan som markytan höjer sig mot sydost. Grundvattenytan ligger dock kvar nära Alsterns nivå. Detta förhållande, och den seismiska hastigheten 1 700 m/s i grundvattenmagasinet, tyder på vattengenomsläppliga lager med bra uttagsmöjligheter.

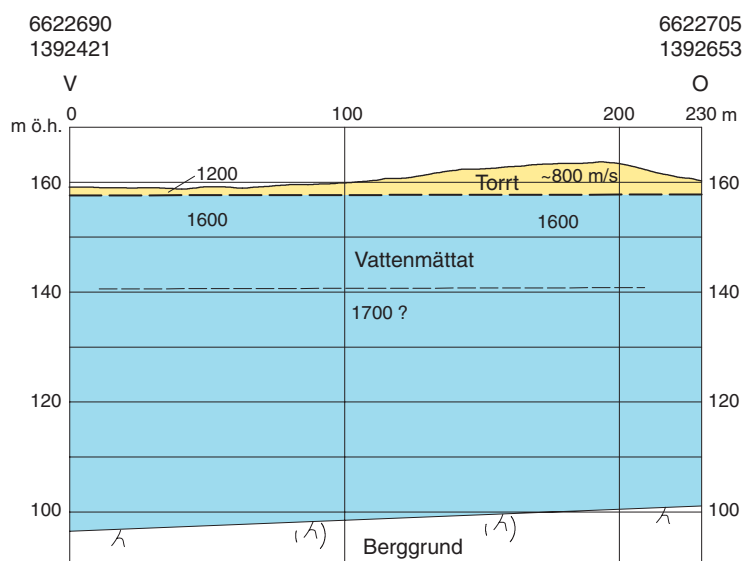


Fig. 49. I profil S 4-03 är grundvattenmagasinet 60 meter mäktigt. Seismiken antyder, med hastighetsangivelserna 1 600 och 1 700 m/s, att de övre lagren är finare än de undre. Vid den efterföljande sonderingsborrningen (S 0305) kunde ingen större skillnad i lagren märkas. Hastighetskillnaden kan möjligen bero på att de övre lagren är lösare lagrade än de undre.

Med ledning av en del relativt svaga indikationer på grundvattennivåer i georadarmätningarna i området valdes platsen för undersökningarna drygt 1 km nordväst om Alsterns norra strand (figur 42).

Den seismiska profilen S 7-03 (figur 50) visar en relativt högt belägen berggrundsytta, men med ett grundvattenmagasin som ändå som minst är ca 15 m mäktigt. Den seismiska hastigheten är 1700 m/s och indikerar ett sandigt–grusigt sediment, jämför figur 46. Profilen visar också en sjunkande bergyta mot sydväst, varför sprickdalens djupaste partier och därmed största sedimentmäktigheter (grundvattentillgångar) bör ligga i den riktningen.

Vid ungefär 170 m i profilen och 70 m mot sydost, vid foten av dynen, borrades entumsröret R 0302. (Nära 1100 m i georadarprofilen i figur 46.) Lagerföljden var:

R 0302

0–6 m	finsand
6–13	mellansand/grovsand
13–16	grovsand
16–21,9	grusig, stenig sand
stopp mot troligt berg	

Grundvattenytan uppmättes till 158,55 m ö.h. samtidigt som Alsterns nivå var 158,01 m ö.h. (2004-09-16).

En grundvattendelare av rörlig karaktär (inte betingad av en avskärande bergtröskel) och med en så liten höjddifferens, ungefär en halv meter, har i själva verket ett mer diffust och svårbestämt läge än vad kartbilden antyder. Grundvattendelarens läge kan antagligen skifta flera hundra meter i sidled, beroende på nederbörd, snösmältning, Alsterns nivå m.m. Man kan därför inte helt utesluta att det tidvis kan spilla över något från Brattforshedens grundvattenmagasin till Rådadalens och vice versa.

Grundvattnets strömningsriktningar och källor

Runt hela Alstern strömmar grundvattnet in i sjön. I och med att isälvsavlagringarna är förhållandevis homogena och praktiskt taget saknar lerinlagringar koncentreras inte grundvattenflödet till några utpräglade utflödespunkter. Man kan dock på många håll se, särskilt under vissa förhållanden vintertid eftersom vattnet inte är fruset intill stranden, att grundvattnet med ett långsamt flöde strömmar ut i strandkanten. Det långsamma och utbredda flödet återspeglar den mycket flacka grundvattengradienten runt sjön.

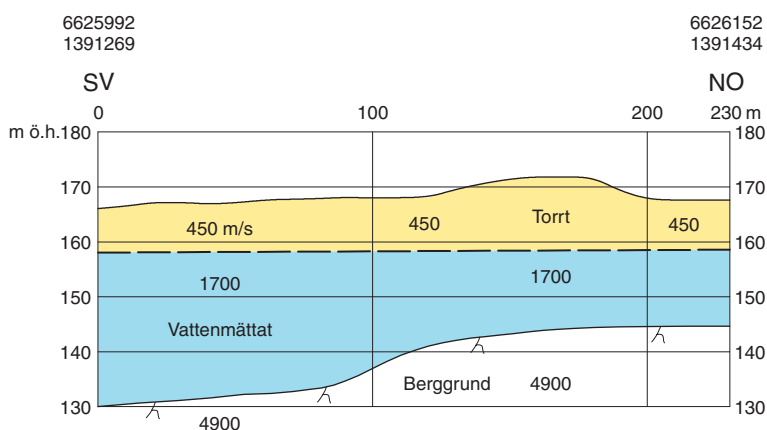


Fig. 50. Berggrundsytan sjunker mot sydväst. Grundvattenmagasinet har sannolikt sin mäktigaste del mellan denna profil och punkten 500 m i georadarprofilen R 321-03 (figur 47). I närheten av denna profil utfördes borrningen R 0302, som visade 16 m sandigt–grusigt material under 6 m finsand.

De till synes obetydliga men talrika grundvattenflödena i strandkanterna utgör, tillsammans med minst lika talrika grundvattenflöden från isälvsavlagringarna till sjön under vattnet genom sjöbotten, ett mycket stort sammanlagt grundvattenflöde.

Uddeholmsbolaget har beräknat att i genomsnitt kan 831 l/s tappas från Alstern för utvinning av vattenkraft under ett normalår (Uddeholms AB 1937). Det är det flöde som går ut i Alsterns utlopp vid Paradishyttan. Huvuddelen av vattnet utgörs av grundvatten som bildats innanför grundvattendelarna och innefattar ett visst tillskott av vatten som strömmar till, huvudsakligen som grundvatten, från höjdområdena närmast Alstern (figur 2). En annan del av vattnet har sitt ursprung i nederbörd som fallit direkt på sjöns yta.

I slutet av oktober 2004 gjordes en kontroll av ytvattentillrinningen till Alstern. Endast en något så när stor bäck kunde konstateras – den vid nordligaste delen av sjön. Det sammanlaga flödet i samtliga bäckar kunde uppskattas till högst 20 l/s. Flödena i bäckarna varierar givetvis ganska mycket, men vid denna tid på året är de kanske inte alltför långt från genomsnittsflödet. Flödet i utloppet vid Paradishyttan minskat med ytvattentillrinningen är således av storleksordningen 800 l/s.

Den organisation i Sverige, som intresserar sig speciellt för källor, ger följande definition av källa: Ett distinkt utflöde av grundvatten ur jord eller berg och den vattensamling med avrinning, som ofta förekommer vid ett sådant utflöde (Källakademin 2006). Detta är just vad Alstern med sitt utlopp är, fast dimensionerna är ovanligt stora – en källa som flödar med ca 800 l/s. Den är därmed en av Sveriges största källor, se fotografierna i figurerna 51 och 52.



Fig. 51. Utloppet från Alstern, vid Paradishyttan – källflödet från Alsternmagasinet. Här rinner i genomsnitt 800 l/s vilket gör att detta är en av Sveriges största källor. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 52. Utloppet från Alstern, vid Paradishyttan – källflödet från Alstermagasinet, vy nedströms. Bilden är tagen från bron vid dammluckorna i figur 51. Till vänster ses rester från hyttiden av anläggningar för utvinning av vattenkraft. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN I MOHEDSMAGASINET, RÅDADALEN

Geofysiska mätningar och borrhningar

Lägena för de geofysiska mätningarna och borrhningarna i södra delen av Mohedsmagasinet framgår av figur 53. För den norra delen av Mohedsmagasinet visas de i figur 54.

Georadarmätningar

De georadarmätningar som utförts i Rådadalens mellan grundvattendelaren norr om Alstern och Gräs-sjöns södra ände har inte visat lika mycket av grundvattenytans läge som georadarmätningarna på Brattforsheden har gjort, och i ännu mindre utsträckning av den underliggande berggrundsytans läge.

På figur 55, som är ett utsnitt av georadarmätningen i den västra kanten av Rådadalens, syns en tydlig berggrundsytan överlagrad av väl skiktade, finkorniga sediment. På liknande sätt har de övriga georadarmätningarna visat sådana sediment längs dalens kanter. Däremot har de inte påvisat någon tydlig berggrundsytan, vilket bl.a. kan bero på att berggrundsytan på de flesta ställen faller undan ganska snabbt, något som också de branta dalsidorna tyder på, se figur 2.

Grundvattenytan har kunnat ses endast i några få, korta avsnitt. Exempel framgår av figurerna 56 och 57. Avsaknaden av en tydlig grundvattenytan i de flesta georadarmätningarna tyder på att det i Mohedsmagasinet förekommer förhållandevis mycket finkorniga sediment (finsand-silt), åtminstone i de övre delarna av avlagringarna, vilka kan nås med georadarn (max. 30–40 m djupt).

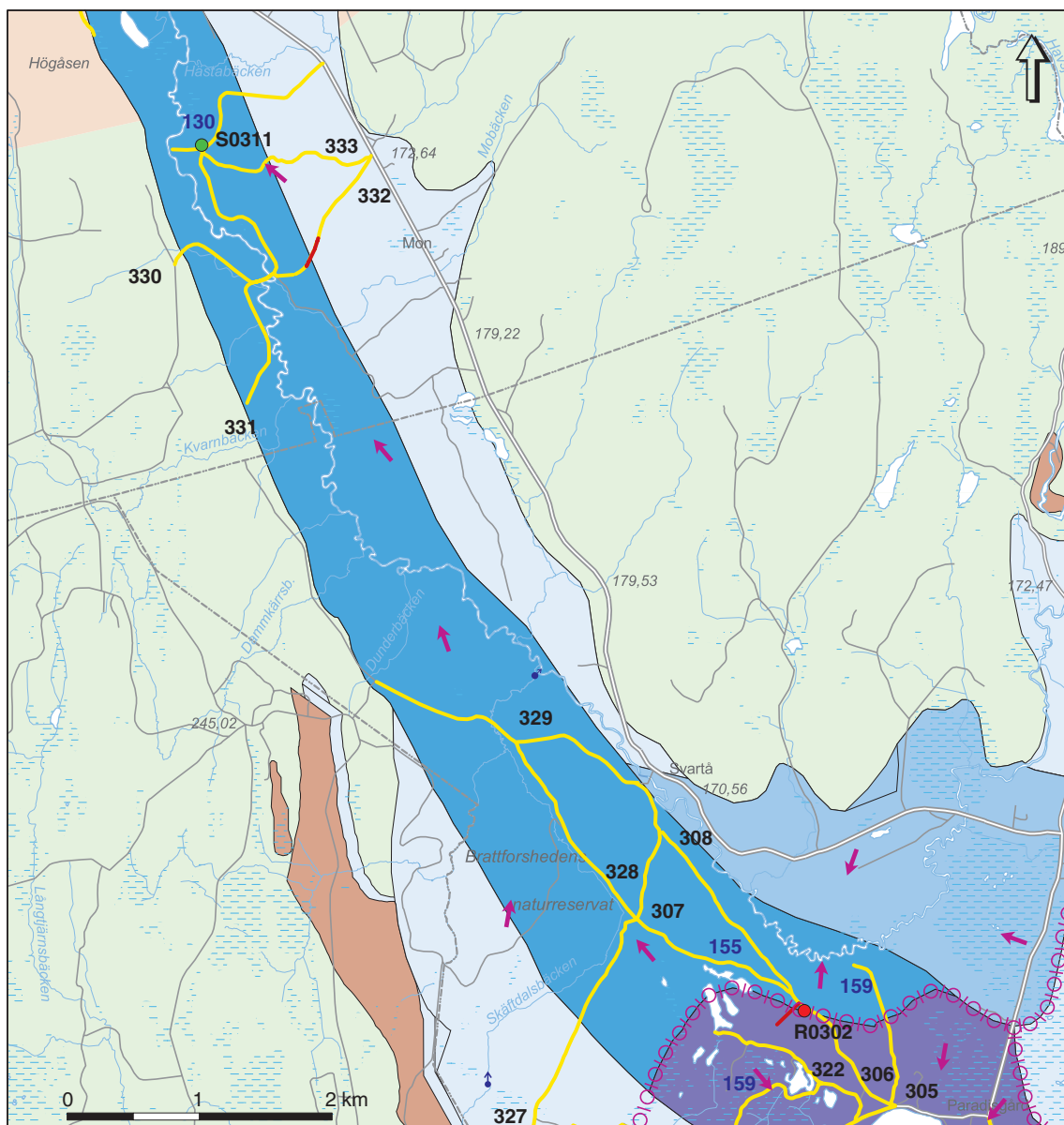


Fig. 53. Lägen av geofysiska mätningar och borrningar i södra delen av Mohedsmagasinet, i Rådadalen. Blå siffror är uppmätta grundvattennivåer. Löpnumren är placerade i början av radarprofilerna.

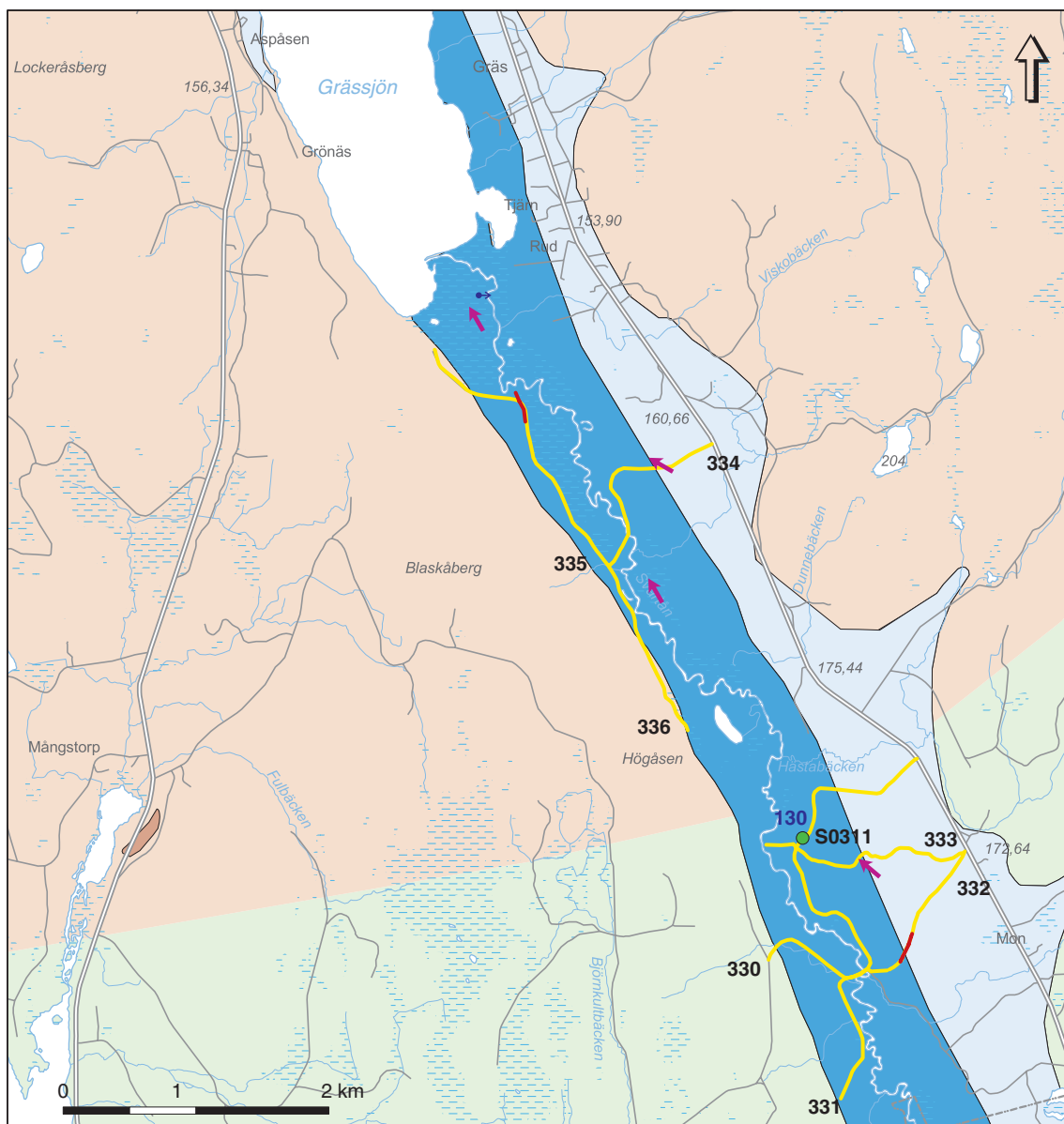


Fig. 54. Lägen av geofysiska mätningar och borrhningar i norra delen av Mohedsmagasinet, i Rådadalen. Blå siffror är uppmätt grundvattennivå. Löpnumren är placerade i början av georadarprofilerna.

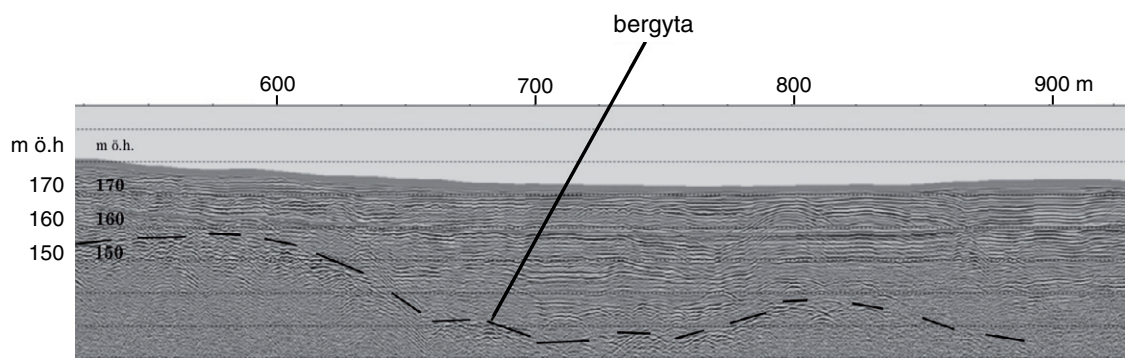


Fig. 55. Utsnitt ur georadarprofil R 327-03. Här är grundvattenmagasinet relativt tunt fram till drygt 900 m. De tydliga skiktstrukturerna tyder på finkornigare sediment. Så ser radarbilderna ut, särskilt längs Mohedsmagasinet kanter.

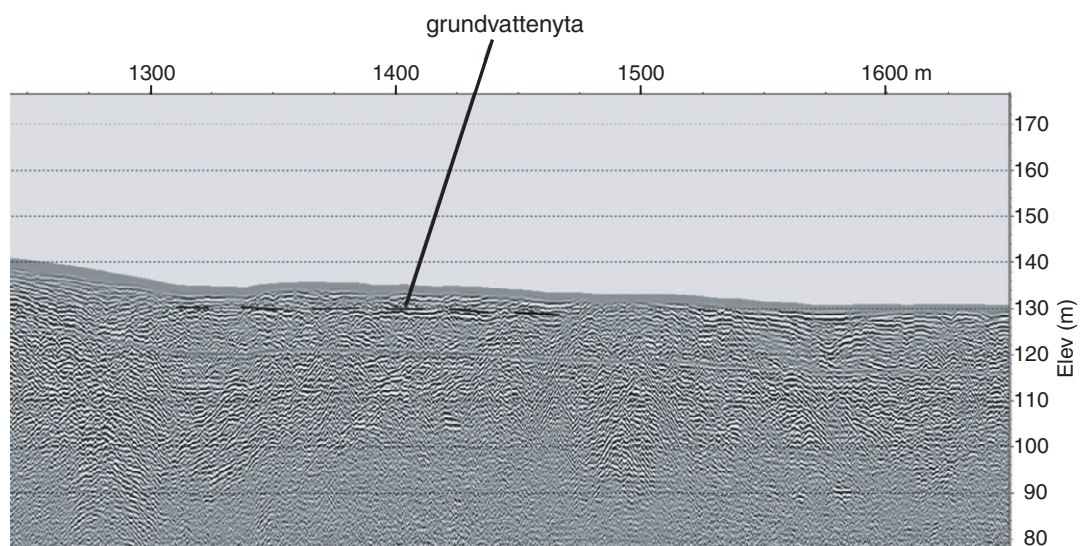


Fig. 56. Utsnitt ur georadarprofil R 333-03. Grundvattenytan framträder här på en relativt kort sträcka. Den har inte kunnat ses på många ställen i georadarprofilerna i Mohedsmagasinet, något som tyder på att åtminstone de övre lagren i detta grundvattenmagasin mestadels är relativt finkorniga.

Seismiska mätningar och borrhningar

Längs ungefär samma sträckning som georadarprofilen R 335-03 (figur 57) har en seismisk profil utförts, S 9-03 (figur 58). Seismiken S 9-03 visar att jorrdjupet här är mycket stort – närmare 140 m, varav 130 m är vattenmättat. Den seismiska hastigheten, 1 600 m/s, gäller de övre lagren och pekar mot att dessa är finkorniga. Om grövre material såsom sand och grus med en högre seismisk hastighet förekommer på djupet går inte att avgöra med denna teknik. Det är emellertid mycket vanligt att grövre sediment förekommer i den undre delen av isälvsavlagringar.

Man kan lägga märke till att berggrundsytans botten ligger ca 10 m under havsnivån samtidigt som den högsta intilliggande bergstoppen Högåsen (figur 54) når mer än 345 m över havet. Rådadalén är här en mycket djupt och skarpt nedskuren dalgång.

Vid 1 370 m i georadarprofilen (figur 57) motsvarande 150 m i den seismiska profilen (figur 58) har en sonderingsborrning utförts med följande resultat:

S 0310

0–10 m	mellansand
10–20	mellansand/finsand
20–29	mellansand
29–35	finsand/silt
kan fortsätta, men svårborrat p.g.a. finkornighet	

Den tydliga ytan i botten av georadarprofilen (figur 57) får efter borrhningen tolkas som överytan av det siltiga lagret, som i borrhningen börjar vid 29 m.

Måktigheten av jordlagren (grundvattenmagasinet) är således ungefär densamma som vid Ångsågen (figur 31) och tyvärr har det inte heller här varit möjligt att undersöka hela lagerföljden p.g.a. alltför stora kostnader för en så djup borrhning.

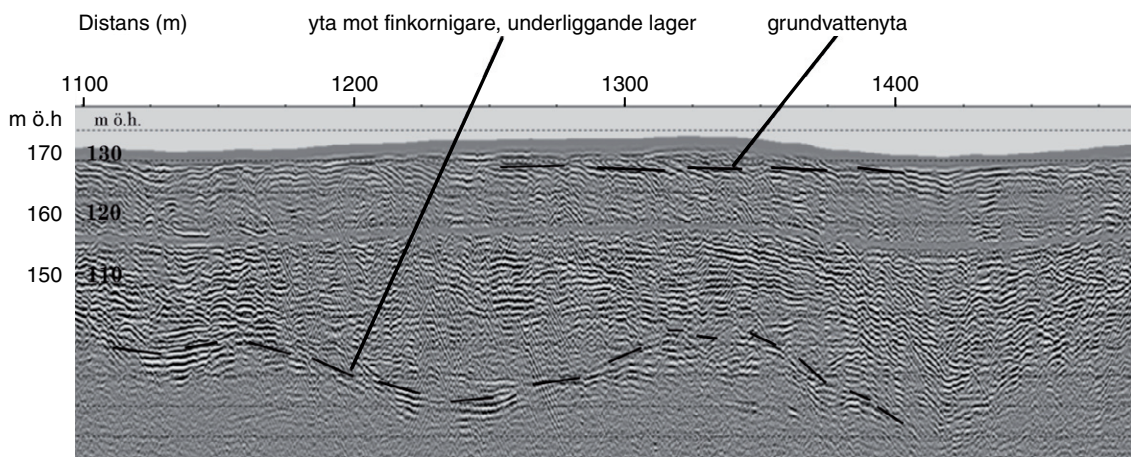


Fig. 57. Utsnitt ur georadarprofil R 335-03. I denna profil kan grundvattenytan ses mellan 1 250 och 1 400 m. Den förhållandevis tydliga reflexen under nivån 110 m ö.h. skulle kunna tolkas som en bergyta. Den seismiska profilen S 9-03, som uppmätts i nästan samma läge som detta radarutsnitt, har emellertid visat att berget ligger betydligt längre ner (figur 58). Borrhningen S 0310 har visat att den tydliga reflexen ligger vid övergången från mellansand till finsand–silt.

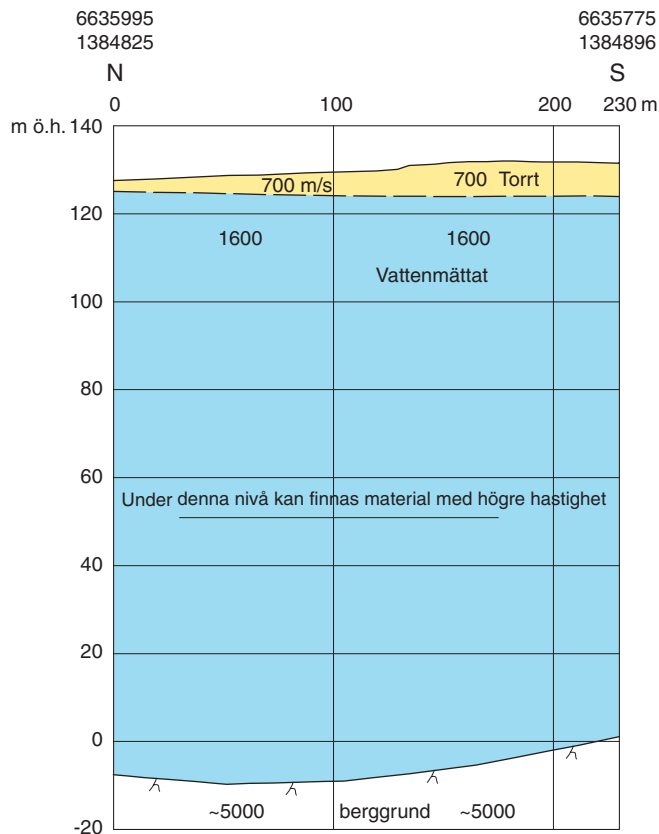


Fig. 58. Profil S9-03. Grundvattenmagasinet är här drygt 130 m mäktigt, nästan lika mäktigt som vid Ångsågen, i södra änden av Alstern. Den seismiska hastigheten 1 600 m/s pekar mot en förhållandevis finkornig jordart, åtminstone i de övre delarna. Vid 150 m i profilen genomborrades 29 m huvudsakligen mellansand, därefter 6 m finsand-silt (S 0310). Detta är vad som för närvarande är känt om denna mäktiga lagerföljd.

Den seismiska profilen S8-03 (figur 59) som utfördes i östra kanten av Mohedsmagasinet, visar en mot dalens centrum starkt sluttande berggrundsyta. Den seismiska hastigheten i grundvattenmagasinet (1 700 m/s) pekar på grövre kornstorlekar än i de övre delarna av S9-03 (figur 58).

I jämförelse med förhållandena i S9-03 ser jordlagrens och grundvattenmagasinet mäktigheter ganska blygsamma ut, men ett 45 m mäktigt grundvattenmagasin och 50–60 m mäktiga jordlager är i vanliga isälvsavlagringar mycket stora mäktigheter.

Sonderingsborrningen S0311, som borrades vid en av de få indikationerna på en grundvattenyta i georadarprofilerna från Mohedsmagasinet (figur 56), gav följande resultat:

S0311

0–24 m mellansand

24–30 mellansand/finsand

30–35 finsand/silt

kan fortsätta, men svårborrat p.g.a. finkornighet

Lagerföljden är mycket lik den i S0310 med ett översta lager av mellansand, där grundvattenytan kan ses i georadarprofilerna, och ett finkornigt, svårborrat lager, som börjar på ca 30 m djup. Hur mäktigt det finkorniga lagret är, och vad som följer under det, vet vi inte mycket om. Men vi vet att det finns ytterligare ca 100 m mäktiga isälvsavlagringar, som normalt sett bör innehålla grovkorniga partier med hög vattengenomsläpplighet.

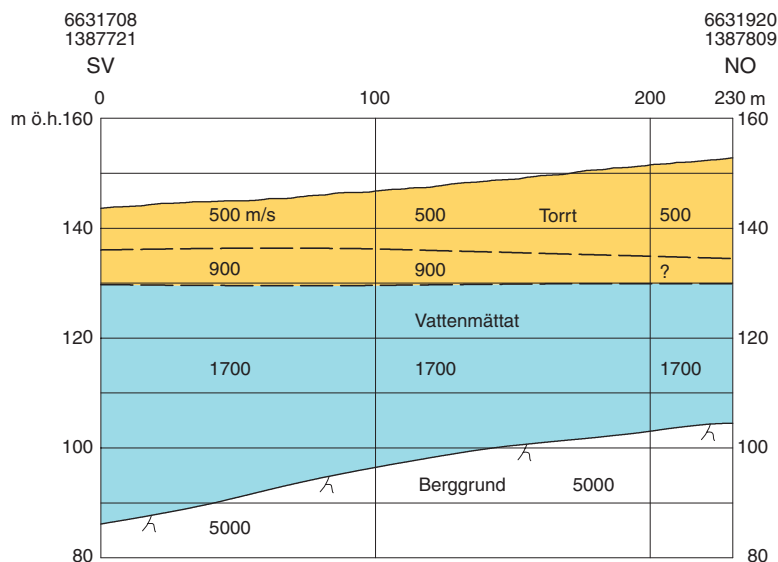


Fig. 59. Denna profil, S8-03, visar högre seismisk hastighet i grundvattenmagasinet (1700 m/s) vilket antyder att sedimenten består av sand och grus med bättre uttagsmöjligheter än i den seismiska profilen S9-03. Grundvattenmagasinet är drygt 40 m mäktigt i sydväst, vilket bara det är en stor mäktighet för ett grundvattenmagasin. Dessutom tilltar mäktigheten säkerligen ytterligare åt detta håll. Bortsett från vad som kan dölja sig på djupet vid t.ex. S9-03, är detta den plats som med nuvarande kunskap får bedömas ha bäst förutsättningar för stora grundvattenuttag i Mohedsmagasinet.

Grundvattnets strömningsriktningar och källor

Avvattningen av Mohedsmagasinet sker dels som en grundvattenström i de centrala delarna av magasinet mot nordnordväst till Grässjön, dels som en strömning mot ytvattendragen för vidare transport till Grässjön.

Ytvattendragen förekommer till stora delar i raviner. Skäftdalsbäckens ravin i södra delen av Mohedsmagasinet (figur 53) är utbildad på samma sätt som Lungälvsväddarna – genom källflöden av utströmmande grundvatten. I september 2003 uppmättes följande flöden i denna bäck:

där bäcken från höjdområdena i sydväst når isälvsavlagringarna	<1 l/s
efter 700 m	5 l/s
efter 2 km	15 l/s
efter 3 km	30 l/s
efter 4 km	40 l/s
efter 4,5 km	60 l/s

Vid det södra källtecknet i figur 53 börjar flödet tillta märkbart. Efter 4 km finns vägtrumman där georadarprofilen R328-03 korsar bäcken, se figur 60. Vid mätillfället var tillflödet från den anslutande bäcken ca 200 m uppströms vägtrumman endast några få liter per sekund. Några andra anslutande ytvattendrag finns inte.

På liknande sätt sker det sker sannolikt också en förhållandevis stor grundvattenutströmning till Svartån, men basflödet i ån är så stort att grundvattentillskotten är svåra att identifiera och kvantifiera.

Omkring 500 m uppströms Svartåns utflöde i Grässjön finns en liten källa, en gammal offerkälla (kartutsnittet i figur 54). Flödet från denna källa är dock endast omkring 2 l/s.



Fig. 60. Skäftebäcken i södra delen av Mohedsmagasinet uppträder som en källa på samma sätt som källorna i Lungälsraviner. Det egentliga flödet börjar efter det att den lilla skogsbäcken når isälvsavlagringarna. Sedan växer flödet snabbt. Efter 700 m är det 5 l/s, och där georadarprofilen R 328-03 korsar bäcken, där fotografiet är taget, är flödet 40 l/s. Vid utloppet i Svartån är det 60 l/s (september 2003). Tidvis kan ett visst tillskott komma från en anslutande, liknande bäck. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

BRATTFORSHEDENS OCH MOHEDSMAGASINETS GRUNDVATTENTILLGÅNGAR

Brattforshedens grundvattentillgångar är av grundvattendelarna uppdelade i tre olika områden, eller grundvattenmagasin:

1. Området kring Alstern och innanför grundvattendelarna – Alstermagasinet.
2. Området mellan Lungälven och den sydöstra grundvattendelaren – Lungälvmagasinet.
3. Området mellan den södra grundvattendelaren och järnvägen – Flygplatsmagasinet.

I och med att grundvattendelarna är rörliga kan områdesgränserna förskjutas och magasinens storlekar förändras. Den sammanlagda grundvattentillgången blir dock oförändrad.

1. Alstermagasinets grundvattentillgång är, som beskrivits ovan, av storleksordningen 800 l/s. Av detta har ca 100 l/s fallit som nederbörd direkt på Alsterns yta. Vattenkvaliteten är hög, vilket framgår av den kemiska analysen (tabell 2) från det samlade utflödet vid Paradishytan.
2. Grundvattentillgången i Lungälvsravinernas grundvattenmagasin motsvarar det samlade källflödet och är av storleksordningen 130 l/s. Det utflödande källvattnet är delvis starkt järnhaltigt. En kemisk analys av det största källflödet, vid det sydligaste källtecknet (figur 33) framgår av tabell 2.
3. Grundvattenbildningen i Flygplatsmagasinet kan beräknas vara av storleksordningen 100 l/s, men det samlade källflöde som påträffats i sydkanten av detta grundvattenmagasin är som nämnts endast av storleksordningen 30–40 l/s. Det är inte omöjligt att flödet i Nygårdskällan, belägen ca 6 km söderut, härrör från Flygplatsmagasinet. Aneblom (2001) förespråkar också att vattnet till denna källa kommer norrifrån. Flödet i Nygårdskällan har angetts till storleksordningen 50–60 l/s. Av figurerna 61 a–c framgår att flödet emellertid är mycket svårt att mäta och kanske t.o.m. kan vara större.

Det finns ett relativt gott stöd i förekommande källflöden för att placera Flygplatsmagasinets grundvattentillgång i storleksordningen 100 l/s. Även den teoretiskt beräknade grundvattenbildningen är ungefär lika stor. En kemisk analys av vattnet vid det sydvästligaste källtecknet (figur 34) framgår av tabell 2.

Den samlade grundvattentillgången i Brattforshedens delmagasin är således av storleksordningen 1 000 l/s.

Mohedsmagasinet är mycket stort. Den totala ytan är ca 26 km² och den största kända mäktigheten är 140 m. Grundvattenbildningen kan beräknas vara av storleksordningen 500 l/s.

Det råder emellertid stora osäkerheter vad gäller möjligheterna att praktiskt kunna tillgodogöra sig allt det grundvatten som bildas i Mohedsmagasinet. Orsakerna är bl.a. att mycket av nederbördsvattnet, som snabbt infiltrerar, också fort rinner ut i bäckraviner och i Svartån. De förhållandevis finkorniga sedimenten i de övre delarna av magasinet innebär vidare att det är svårt att med uttagsbrunnar styra vattenflödena där.

En annan mycket stor osäkerhet är att någon grovkornig och genomsläpplig jordart inte har påträffats. Det är visserligen inte osannolikt att sådana förekommer djupare ned i den mycket mäktiga lagerserien, men det är inte alls säkert att de gör det i tillräckligt stor omfattning för att stora grundvattenuttag ska kunna göras. Osäkerheterna är orsaken till att Mohedsmagasinet på grundvattenkartorna bedömts ligga i klassen 25–125 l/s, trots den stora grundvattenbildningen.

En kemisk analys av vattnet – grundvattnet – i Skäftdalsbäcken visas i tabell 2.



Fig. 61a. Nygårdskällan, ca 6 km söder om Brattforsheden. Klart grundvatten kommer upp på flera ställen och rinner som större och mindre bäckar mot Västgötbäckens bruna humusvatten. De största flödena väller upp ur de mörkare partierna – kratrarna – intill och hitom bryggan. Storleken på det samlade källflödet är svårt att bestämma, men har uppskattats till 50–60 l/s. Kanske är det mer. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 61b. Ute i Västgötbäckens bruna vatten kan man se mörkare partier utan den bruna färgen. Dessa partier kommer och går på ett pulserande sätt. Tidvis syns de inte alls. Foto: Carl-Fredrik Müllern.



Fig. 61c. Närbild av ett mörkt parti. Då och då kan man tydligt se att det är uppvällande, mörkt och klart vatten. Uppenbarligen är det fråga om källflöden från botten av Västgötbäcken av samma slag som de intill bryggan. Liknande grundvattenutflöden – större eller mindre – är vanliga i botten av sjöar och vattendrag, men det är mycket sällan de kan ses så här tydligt. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

GRUNDVATTNETS SÅRBARHET

Grundvattenpåverkan

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

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

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

Konsekvens- och riskanalys

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

På samma sätt kan risken för att grundvattnet förorenas beskrivas som en sammanvägning av sannolikheten att en olyckshändelse verkligen inträffar och den konsekvens händelsen får, se figur 62.

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

Skydd av grundvattnet

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

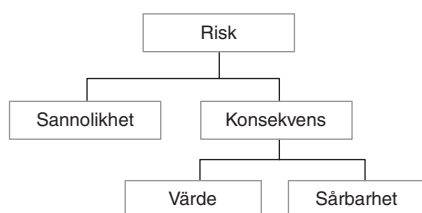


Fig. 62. Risk- och konsekvensanalys.

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

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

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

METODBESKRIVNINGAR

Georadar

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

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

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

Geologiska förutsättningar

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

Detaljupplösningen i en radarmätning beror på arbetsfrekvensen och kan i dagligt tal sägas vara en halv våglängd. Vid frekvensen 50 MHz, som är vanlig vid jorddjupsmätning, betyder detta att man kan indikera föremål som har en reflekterande yta med omkring 0,5 m sida. Den höga upplösningen är kanske radarns främsta egenskap.

Tillämpningsområden

Georadar används bl.a. för att:

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

Seismik

Grundläggande principer

Den metod som används vid grundvattenundersökningar kallas refraktionsseismik. Det är en geofysisk mätmetod som baseras på elastiska vågors utbredning i marken. Vågornas utbredningshastighet skiljer sig mellan olika jord- och bergarter, vilket gör det möjligt att beräkna lagermäktigheter och bedöma vissa materialegenskaper. Vid en stöt eller detonation i marken alstras vågrörelser av flera typer (tryck-, skjuv- och ytvågor). Av dessa har tryckvågen eller P-vågen den högsta utbredningshastigheten och kan härigenom registreras och analyseras med relativt enkel apparatur. Tryckvågor i marken utbreder sig

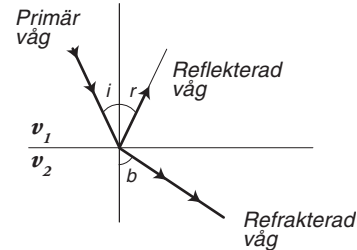
genom longitudinella partikelrörelser på samma sätt som ljudvågor i luften. Efter en explosion vid markytan vandrar vågfronten klotformigt i det översta lagret. När den träffar ett djupare liggande lager, där vågen får en annan hastighet, reflekteras en del av vågenergin medan återstoden vandrar vidare i det nya lagret. Vid passage av skiktgränsen sker en brytning av vågens utbredningsriktning. Tänker man sig utbredningsriktningen som en stråle i ett vertikalt snitt, kan refraktionen beskrivas med Snells lag som säger att

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

$i = r$ infallsvinkel resp. reflektionsvinkel

b brytningsvinkel

v_1, v_2 vågens utbredningshastighet i skikt 1 resp. 2

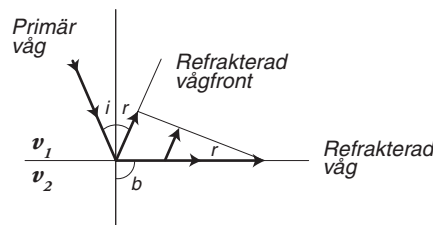


Om hastigheten ökar mot djupet, inträffar vid en viss infallsvinkel kritisk refraktion, vilket innebär att vågstrålen efter passage av skiktgränsen går parallellt med denna. Infallsvinkeln respektive brytningsvinkeln vid kritisk refraktion är

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

och

$$b = 90^\circ$$



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

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

Mätförfarande

Mätningen utförs i praktiken längs en linje där man på jämna avstånd placerar givare, s.k. geofoner, som reagerar för vibrationer i marken. Genom att spränga på lämpliga platser i profilen genereras mätdata i den omfattning som behövs, se figur 64. Vid tolkningen av mätningen bestäms för varje skott tider för P-vågfrontens passage av de olika geofonerna. Tiderna plottas mot geofonernas lägen i form av väg-tiddiagram. Ur dessa s.k. gångtidsskurvor kan skiktens mäktigheter och hastigheter för den aktuella lagerföljden beräknas. Bergets läge kan beräknas i såväl skottpunkter som geofonpunkter, vilket ger en relativt detaljerad kontinuerlig bild av bergytan. Hastigheten i berget ger viss information om bergets kvalitet jämte läget av mer markerade svaghetszoner. Mätresultaten redovisas i profilform där lagerföljden anges som skikt med olika hastigheter.

Geologiska förutsättningar

Sverige har genom landisens verkningar ett jordtäckte bestående av morän och sorterade sediment. Sammansättningen är oftast enkel med god korrelation mellan hastighet och jordart. Hastigheten för P-vågor i våra jordarter varierar mellan ca 300 m/s i torr sand och ungefär 2800 m/s i vattenmättad,

hårt packad morän. I de sedimentära bergarterna förekommer hastigheter från ca 3 000 m/s och upp emot 6 000 m/s. I urberget är hastigheten vanligen 5 000–6 000 m/s, men kan i basiska bergarter nå 7 000 m/s, se vidare figur 65. Dessa förhållandevis enkla fysikaliska förhållanden medför att refraktionsseismiken oftast ger goda undersökningsresultat.



Fig. 64. Vid seismiska mätningar detoneras en mindre dynamitladdning, och ljudvågorna som fortplantar sig i marken registreras av geofoner vid A, B och C. D är en seismograf som ritar upp och lagrar kurvor för ljudvågornas utbredning. Foto: Carl-Fredrik Müllern.

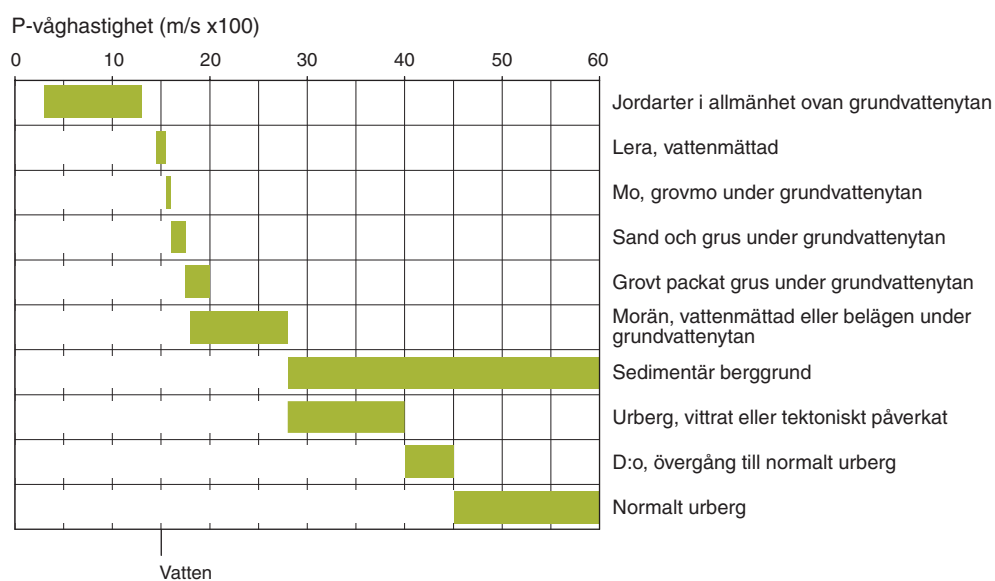


Fig. 65. Seismiska hastigheter i olika jord- och bergarter. Begreppet tektoniskt påverkat urberg avser i första hand sprickzoner, vilka vanligen är mer vattenförande än omgivande berggrund.

Tillämpningsområden

Refraktionsseismik används bl.a. för att:

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

Elektriska motståndsmätningar

Resistiviteten hos vanliga jord- och bergarter beror huvudsakligen på deras innehåll av elektrolyt, dvs. mängden porvätska (porositeten anges i procent), och på elektrolytens salthalt. Som framgår av figur 66 bestäms elektrolytens resistivitet av salthalt och temperatur och kan som jämförelse för havsvattnet i Östersjön (0,5–1 % salthalt och 10 °C) uppskattas till mellan 1 och 2 ohmm.

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

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

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

Resistivitetsmätningar eller motståndsmätningar kan således användas för att skilja mellan olika berg- och jordarter på grundval av deras resistivitetsegenskaper, se figur 67. 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 (figur 68). Elektroderna består av rostfri ståltråd som körs ner i jordtäcket.

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

Om avståndet mellan strömelektroderna successivt ökas kommer den beräknade skenbara resistiviteten att gälla en allt större volym. Eftersom centrum för mätuppställningen inte flyttas innebär detta att mätningen gradvis når allt större djup (figur 68). Om jordtäcket undersöks i kontrast mot berggrunden måste mätning ske ut till ett avstånd av minst 40 meter mellan strömelektroderna om jordtäcket är 10 m tjockt. Om gränsen mellan sött och salt grundvatten på 1000 m djup ska upptäckas måste mätning göras till avståndet 4000 m mellan strömelektroderna.

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

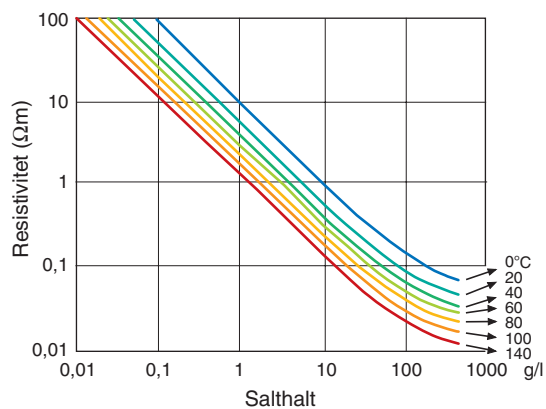


Fig. 66. Förhållandet mellan salthalt och resistivitet i vatten.

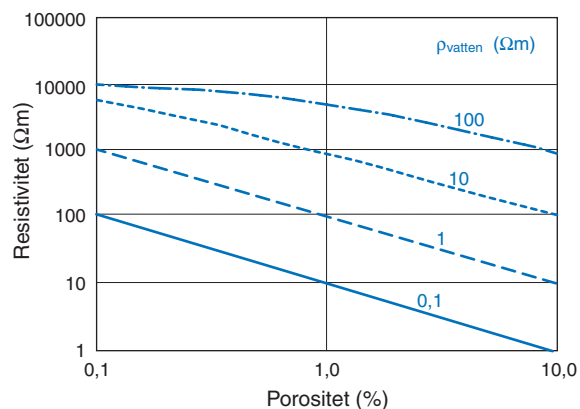


Fig. 67. Förhållandet mellan resistivitet och porositet i jord och berg.

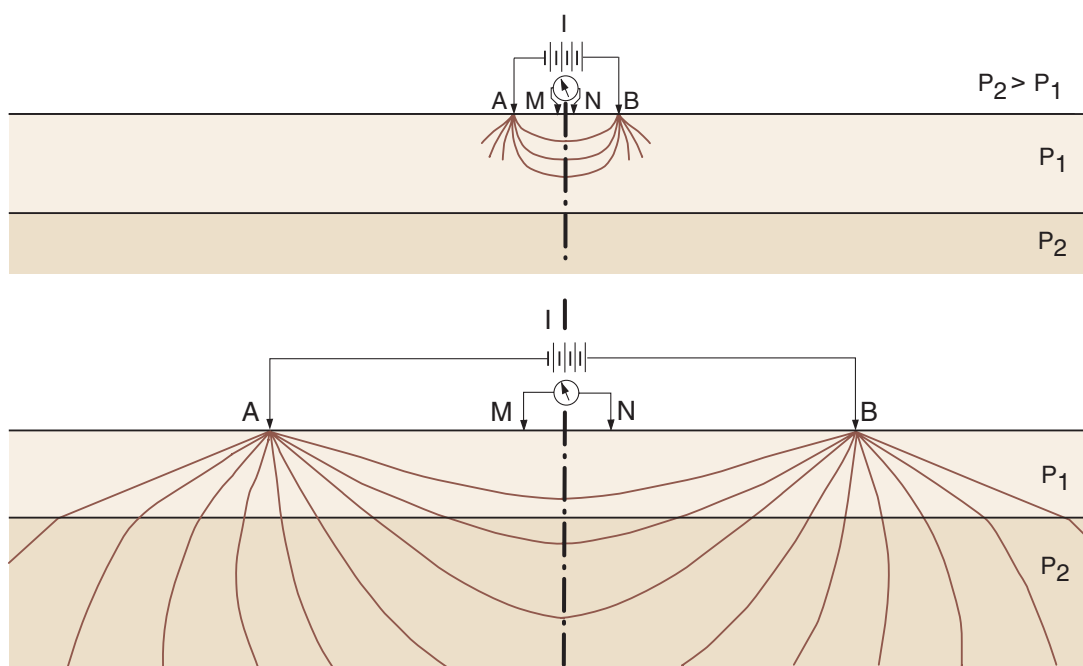


Fig. 68. Vertikala elektriska sonderingar, VES, genomförs med successivt större avstånd mellan elektroderna, varvid allt djupare liggande skikt undersöks.

Kriging och variogramanalys

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

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

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

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 (räckvidden). För att bestämma vilka punkter som ska användas 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 69 visar ett exempel på ett variogram där man ser att variansen ökar med avståndet. Därefter anpassar man en analytisk variogramfunktion som används för att beräkna krigingvikterna. Efter att ha kommit fram till ett variogram som passar med sina data kan man beräkna krigingvikterna.

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

1. Att de uppskattade felen följer en normalfördelning. Detta stämmer oftast när man ser på stora områden. För mindre områden, speciellt de extrema, är detta antagande inte korrekt.

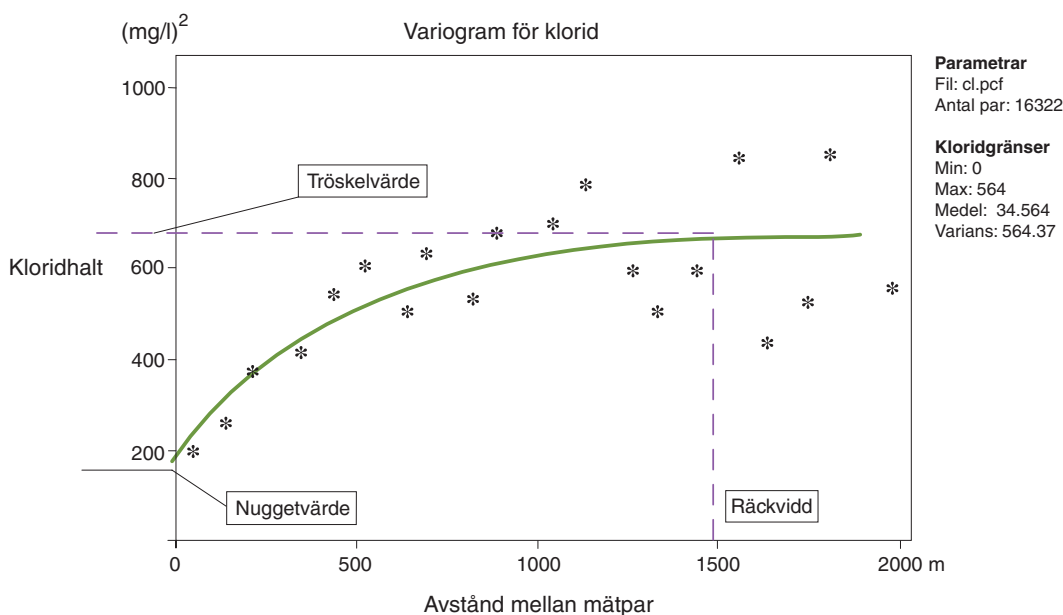


Fig. 69. Exempel på variogramanalys, här är variansen på kloridhalten plottad mot avståndet. Nuggetvärde – lägsta varians.

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

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

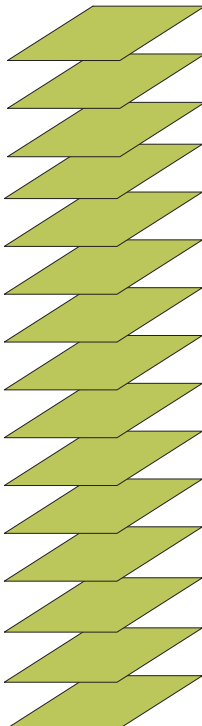
Finessen med kriging ligger bl.a. i att man får information om den rumsliga fördelningen på mätdata. Möjlig synergieffekt mellan mätdata beror på avståndet mellan dem och på den rumsliga kontinuiteten. En mätning av grundvattenytan från två brunnar med 10 meters avstånd skiljer sig mindre än t.ex. sulfatkoncentrationen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

DATABASSTRUKTUR

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

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

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



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

Fig. 70. Översiktlig databasstruktur.

LITTERATUR OCH GRUNDVATTENKARTOR

Referenser

- Aneblom, T., Gierup, J., Rurling, S. & Thunholm, B., 1998: Karta över grundvattnet i Värmlands län. Skala 1:250 000. *Sveriges geologiska undersökning Ah 19*.
- Aneblom, T., 2001: Beskrivning till kartan över grundvattentillgångarna i Karlstads kommun. *Sveriges geologiska undersökning An 8*.
- Beskow, G. & Rasmusson, G., 1963: *Sjöar och vattendrag i Sverige söder om Norrlandsområdet. Del II*. Statens naturvårdsnämnd, 103 s.
- Fredén, C., 2001 a: Beskrivning till jordartskartan 11D Munkfors SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 150*, 76 s.
- Fredén, C., 2001 b: Jordartskartan 11D Munkfors SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 150*.
- Fredén, C. & Furuholm, L., 1978: The Säterberget gully at Brattforsheden, Värmland, Sweden. *Geologiska föreningens i Stockholm förhandlingar 100*, 231–235.
- Hörner, N.G., 1927: Brattforsheden. Ett värmländskt randdeltakomplex och dess dyner. *Sveriges geologiska undersökning C 342*, 206 s.
- Källakademien, 2006: *Källor i Sverige*. AB Svensk Byggtjänst, 256 s.
- Lundqvist, J., 1958a: Beskrivning till jordartskarta över Värmlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 38*, 229 s.
- Lundqvist, J., 1958b: Jordartskarta över Värmlands län. Skala 1:200 000. *Sveriges geologiska undersökning Ca 38*.
- Lundqvist, J., 2002: Glacial geology of the Råda valley, Värmland, Sweden. *Norsk geografisk tidskrift 56*, 51–55.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The national groundwater network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 48*, 160 s.
- Uddeholms AB, 1937: *Tappningsberäkningar för sjön Alstern*. Arkivhandlingar.
- VIAK AB, 1971: Uddeholms AB, Brattfors fiskodling. *Grundvattenundersökning. Konsultrapport*.

Allmän litteratur

- Andersson, A.C., Andersson, O. & Gustafson, G., 1984: Brunnar: undersökning – dimensionering – borrning – drift. *Byggforskningsrådet R42: 1984*, 260 s.
- Bergman, G., 1972: *Bestämning av infiltrationskoefficienter för bergytor och perkulationsbanor i jordlager*. Stockholms universitet. Kvartärgeologiska institutionen. Även STU 69-519/U386.
- Bergström, S., 1993: *Sveriges hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI, Norrköping, 138 s.
- von Brömssen, U., 1968: *Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt: försök till bestämning av infiltrationskoefficienter*. Särtryck ur: Teknik Metod Analys. Stockholm, 33–110.
- Carlsson, L., 1970: Metoder för praktisk bestämning av grundvattnets strömningshastighet. *Chalmers tekniska högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Serie B 70:1*. Göteborg, 113 s.
- Carlsson, L. & Gustafsson, G., 1984: Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. *Byggforskningsrådet R41: 1984*, 124 s.
- Coordinating committee for hydrology in Nordic Countries (COHYNO), 1984: *Nordic Glossary of Hydrology*. Iréne Johansson (red.). Almquist & Wiksell International, Stockholm
- De Geer, J., 1970: Några hydrogeologiska synpunkter på jordtäcket akviferer främst åsarnas. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm, 82–109.
- 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*, 93 s.
- Flentzberg, A., 1909: Offerkällor och trefaldighetskällor. *Fataburen*, 65–84, 141–149.

- Fredén, C. (red.), 2002: *Berg och jord*. Sveriges Nationalatlas. Tredje uppl., 208 s.
- Frycklund, C., Jacks, G., Johansson, P.-O. & Lekander, K., 1994: Konstgjord grundvattenbildning – Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. *VAV. VA-forsks rapportserie 1994–08*, 55 s.
- Furuholm, L., Heijkenskjöld, R., Mellander, B. & Hörnqvist, Å. (red.) 1994: *Brattförsheden – istiden i närbild*. Locus bokförlag.
- 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, 155 s.
- Gustafson, G., 1974: A method of calculating the hydraulic properties of esker aquifers. *Nordic Hydrologic Conference, Aalborg 1974*, 525–543.
- Gustafson, G., 1976: A method of calculating the hydraulic properties of leaky esker-aquifer systems. *Nordic Hydrologic Conference, Reykjavik 1976*, IV 47–64. Även i: *Nordic Hydrology* 8, 1977, 65–82.
- Gustafsson, Y., 1970: Topografins inverkan på grundvattenbildningen. I E. Eriksson, Y. Gustafsson & K. Nilsson (red.) *Grundvatten*. Norstedt & Söner förlag, Stockholm, 15–33.
- Hult, A., 1991: *Källan till vattnet*. Anders Hult & Gidlunds Bokförlag, Värnamo, 197 s.
- 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*. 19 s.
- Johansson, P.-O., 1987: Spring discharge and aquifer characteristics in a sandy till area in southeastern Sweden. *Nordic Hydrology* 18, 203–220.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C.-O., 1993: *Grundvatten, teori och tillämpning*. AB Svensk Byggtjänst, Solna, 304 s.
- Knutz, Å., Svensson, T., Lindmark, P., Rosén, B., Eriksson, A. & Landin, O., 1995: Yt- och grundvat- tenskydd. *Vägverket Publikation. 1995:1*.
- 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* 8, 345 s.
- Naturvårdsverket, 1991: Grundvattentäkter: skyddsområden – skyddsföreskrifter. *Allmänna råd 90:15*.
- Nordic Hydrological Programme, 1994: Salt groundwater in the Nordic countries. *NHP rapport* 35, 153 s.
- Programet för övervakning av miljö kvalitet (PMK), 1986: Sura och försurade vatten. Monitor: Statens naturvårdsverk, Solna.
- Rodhe, A., 1987: The origin of streamwater traced by oxygen-18. Report *Series A, No 41, Division of Hydrology, Uppsala University*, 260 s.
- Samuelsson, M., 1983: Ytligt grundvatten – kemi och omsättning. En studie av källor i skogsmark. *Kungliga tekniska högskolan. Institutionen för kulturteknik. Meddelande TRITA-KUT 3023*, 54 s.
- Saxena, R. & Dressie, Z., 1983: Estimation of groundwater recharge and moisture movement in sandy formations by tracing natural O-18 and injected tritium profiles in the unsaturated zone. I: *Isotope hydrology (Proceedings of Symposium in Vienna, 1983)*, IAEA, Vienna, 139–150.
- Sundlöf, B. & Kronqvist, L., 1992: Konstgjord grundvattenbildning. *Va-forsks rapportserie 1992–13*, 53 s.
- Svenska vatten- och avloppsföreningen, 1997: Skydd av vattentäkter. *Meddelanden, VAV M98*, 57 s.
- Tekniska nomenklaturcentralen, 1970: Vattenordlista 2. *TNC 45*. Uppsala, 77 s.
- Tekniska nomenklaturcentralen, 1984: Geologisk ordlista. *TNC 77*. Uppsala.
- UNESCO, 1983: *International legend for hydrogeological maps*. UNESCO, Paris, 51 s.
- Winqvist, G., 1953: Groundwater in Swedish Eskers. *Kungliga tekniska högskolans handlingar* 61, 91 s.

SGUs Rapporter och meddelanden, valda exempel

Nr

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

Grundvattenkartor

SGU serie Ag, grundvattenkartor i skala 1:50 000

Nr

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

SGU serie Ah, grundvattenkartor, län, i skala 1:250 000

Nr

1. Kalmar län
2. Västmanlands län
3. Gotlands län

4. Blekinge län
5. Uppsala län
6. Stockholms län
7. Södermanlands län
8. Hallands län
9. Skaraborgs län
10. Kronobergs län
11. Jönköpings län
12. 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).

- | | |
|--------|----------------------------|
| Nr. 1 | Haninge (karta) |
| Nr. 2 | Hässleholm |
| Nr. 3 | Strängnäs |
| Nr. 4 | Upplands-Bro |
| Nr. 5 | Södertälje-Nykvarn (karta) |
| Nr. 6 | Söderhamn |
| Nr. 7 | Katrineholm |
| Nr. 8 | Karlstad |
| Nr. 9 | Laxå |
| Nr. 10 | Norrköping |
| Nr. 11 | Linköping (karta) |
| Nr. 12 | Nynäshamn |
| Nr. 13 | Bollnäs |
| Nr. 14 | Höganäs |

SGU serie K

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

- | | |
|-----|------------------------|
| K44 | Umeå |
| K49 | Västerås-Hallstahammar |
| K50 | Kristinehamn |
| K62 | Örkellunga |
| K63 | Mölndal |
| K69 | Sigtuna (karta) |

K 78	Ekerö
K82	Halmstad (karta)
K83	Köping
K88	Eskilstuna–Kungsör (karta)
K89	Helsingborg (karta)
K90	Båstad (karta)
K91	Heby (karta)
K92	Botkyrka
K93	Salem
K102	Kävlinge (karta)
K103	Staffanstorps-Lomma-Burlöv
K104	Landskrona (karta)
K108	Uddevalla
K109	Göteborg (karta)
K110	Enköping (karta)
K116	Lund (karta)
K117	Malmö (karta)
K130	Vårgårda (karta)
K131	Härryda (karta)
K132	Partille (karta)
K134	Lerum (karta)
K135	Alingsås (karta)
K139	Västra Skogen
K140	Örebro och Kumla samt delar av angränsande kommuner

Dessutom finns följande kartdatabaser tillgängliga:

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

