

Mark- och grundvattenförhållanden vid EKA-området i Bengtsfors

Rapport nr EKA 2002:1

Bengtsfors kommun

2003-10-20

Författad av

Jan Sundberg & Elke Myrhede, Geo Innova AB¹

¹ Geoteknik, geologi och geohydrologi

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
1. BAKGRUND OCH SYFTE	4
1.1. BAKGRUND.....	4
1.2. SYFTE.....	4
2. FRÅGESTÄLLNINGAR	5
3. GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH MODELLERINGAR	6
3.1. ALLMÄNT	6
3.2. INVENTERING	6
3.3. MARKFÖRHÅLLANDEN	6
3.4. YT- OCH GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN.....	7
3.5. VATTENBALANS OCH MODELLERING.....	7
3.6. RAPPORTERING.....	8
4. MARKFÖRHÅLLANDEN	9
4.1. BESKRIVNING AV OMRÅDET	9
4.2. TIDIGARE UTREDNINGAR.....	10
4.3. KOORDINATSYSTEM OCH INMÄTNINGAR	11
4.4. GEOFYSISKA UNDERSÖKNINGAR	12
4.5. SONDERINGAR.....	13
4.6. BERGARTER.....	14
4.7. JORDARTER.....	14
4.8. STRANDLINJE.....	18
4.9. SAMMANFATTANDE ÖVERSIKT ÖVER MARKFÖRHÅLLANDENA	21
5. YTVATTEN	25
5.1. VATTENSTÅNDSVARIATIONER I BENGTSBROHÖLJEN OCH LELÅNGEN.....	25
5.2. VATTENDJUP I STRANDZONEN.....	26
6. KARTERADE LEDNINGAR I MARK	27
7. GRUNDVATTEN	29
7.1. ÖVERSIKT	29
7.2. HYDRAULISKA EGENSKAPER.....	30
7.3. GRUNDVATTENNIVÅER.....	32
7.4. VATTENBALANS	36
7.5. VATTENUTBYTE MED BENGTSBROHÖLJEN.....	39
8. SLUTSATSER	42
8.1. MARK.....	42
8.2. VATTEN	42
REFERENSER	44

FIGURFÖRTECKNING

- Figur 4.1 Översikt över undersökningsområdet (rödmarkerat) och dess olika delar.*
- Figur 4.2 Georadarmätning Bengtsfors, december 2002.*
- Figur 4.3 Tolkat fyllningsdjup från georadarmätning med 200 MHz-antenn.*
- Figur 4.4 Tolkade strandlinjer i Eka-området utifrån fotografier och annat historiskt material efter (Sundberg & Hammar, 1996). Bättre bild finns i Resultatrapporten EKA 2002:7, lodningsplanen.*
- Figur 4.5 Provtagning med moränprovtagare, grusig sandig siltig morän.*
- Figur 4.6 Provtagningspunkter i fyllningsjord för kornstorleksanalys.*
- Figur 4.7 Inom de markerade områdena utgörs strandkanten i huvudsak av sprängsten.*
- Figur 4.8 Strandkanten nedanför Vexias område.*
- Figur 4.9 Strandkanten inne på EKA-tomten.*
- Figur 4.10 Strandkanten inne på EKA-tomten.*
- Figur 4.11 Strandkanten mot strömfåran. I bakgrunden syns kraftverket. Den grå plåtbyggnaden utgörs av ett förråd.*
- Figur 4.12 Jordartskarta med hydrogeologisk information. För bättre upplösning se bilaga 4.*
- Figur 4.13 Tolkning av jordartsförhållanden Eka-tomtens norra strand längs kraftverkets utloppskanal från Eka-udden i väster till ovanför kraftverksdammen i Lelång*
- Figur 5.1 Nivåer i Bengtsbrohöljen och Lelång samt flöden förbi kraftverket under 2000-2002.*
- Figur 5.2 Interpolerade vattendjup i strandzonen baserat på dykningar. Vattennivån vid dyktillfällena mellan 89,48 -89,50 m ö h.*
- Figur 7.1 Grundvattenrör som använts i denna undersökning (2002-2003) för provtagning av grundvatten och för mätning av grundvattennivå.*
- Figur 7.2 Översikt över den hydrauliska konduktivitetens variation för de olika grundvattenrören. Större cirklar(vid två hål) avser egenskaper på större djup.*
- Figur 7.3 Manuellt och automatiskt mätta grundvattennivåer tillsammans med uppgifter om temperatur och nederbörd under perioden dec 2002 till 3 juli 2003.*
- Figur 7.4 Interpolerade grundvattennivåer från 2002-12-20*
- Figur 7.5 Interpolerade grundvattennivåer från 2003-03-21*
- Figur 7.6 Interpolerade grundvattennivåer från 2003-06-12*
- Figur 7.7 Överensstämmelse mellan beräknad och uppmätt grundvattennivå vid kalibrering av modell. Röd fylld cirkel betyder att modellen har beräknat ett högre värde än det uppmätta, blå fylld cirkel det omvända.*
- Figur 7.8 Flödesmönster enligt grundvattenmodell.*
- Figur 7.9 Grundvatten- och sjönnivåer under nivåförändringstest juni 2003.*
- Figur 7.10 Grundvattennivåer i en transekt från sjön och österut.*

BILAGEFÖRTECKNING

- Bilaga 1. Georadarmätning
- Bilaga 2. Seismiska mätningar
- Bilaga 3. Dokumentation av strandlinje
- Bilaga 4. Jordartskarta med hydrogeologisk information
- Bilaga 5. Tolkade jordartssektioner
- Bilaga 6. Vattenstånd och tappning
- Bilaga 7. Ledningskarta
- Bilaga 8. Sammanställning och utvärdering av hydraultester
- Bilaga 9. Grundvattenmodellering

1. BAKGRUND OCH SYFTE

1.1. BAKGRUND

EKA-området i Bengtsfors är svårt förorenat av bl.a. kvicksilver, dioxin, PAH och perkloretylen. Ett projekt har startat sommaren 2002 med målet att sanera området. Innan åtgärder blir aktuella kommer en rad utredningar att genomföras för att öka kunskapen och förståelsen för området. Dessa utredningar kommer att bilda underlag för en förnyad riskbedömning och riskvärdering samt utgöra underlag för val av åtgärder.

EKA-området är drygt 3 ha stort. Området är undersökt och värderat i större omfattning vid 3 tillfällen av Terratema, SGI och Kemakta/J&W. Vidare har Flygfältsbyrån senare utfört en mindre undersökning vid Vexia. Området karaktäriseras av hög föroreningsmängd, många föroreningsstyper, heterogen utfyllnad, äldre industribebyggelse samt närheten till Bengtsbrohöljen.

Föreliggande rapport omfattar mark- och grundvattenförhållanden och innefattar områdets uppbyggnad, geoteknik, geohydrologi och fysikaliska egenskaper, bl.a. jordlagerförhållanden, stabilitet, avgränsning av fyllnadsmassor och grundvattnets strömning.

Denna rapport är en av delrapporterna som ligger till grund för Riskbedömning och Huvudstudie i Eka-projektet. De andra rapporterna som Geo Innova är delaktiga i Eka-projektserien finns redovisade i referenslistan. En fullständig rapportlista finns redovisad i resultatrapporten (Rapport 2002:7)

I denna rapport har huvudsakligen undersökningar som utförts fram till och med maj månad 2003 använts. Mindre avvikelser kan förekomma. Kompletterande undersökningar vad avser jord, grundvatten och förhållanden i Bengtsbrohöljen kommer att redovisas i en kompletterande rapport.

1.2. SYFTE

Undersökningarna syftar till att kartlägga området uppbyggnad, stabilitet och geohydrologiska funktion som underlag för bedömning av föroreningsspridning och genomförande av åtgärder.

2. FRÅGESTÄLLNINGAR

Frågeställningar som skall besvaras kan struktureras enligt följande:

- **Vattenbalans.** Hur balanseras bedömt utflöde med infiltration inom området och strömning till området? Hur mycket av nederbörden avgår som ytvatten?
- **Hydraulisk funktion.** Hur heterogent är området ur hydraulisk synpunkt? Finns det gamla ledningar eller ledningsbäddar som leder avsevärt mer vatten än omgivningen? Finns det större dräneringsvägar för yt- och grundvatten? Finns sprickzoner i berg som potentiellt kan leda föroreningar?
- **Grundvattennivåer.** Hur varierar grundvattennivån i olika delar av området och hur påverkar detta grundvattenflödet? I vilken omfattning påverkar grundvattennivåer inom EKA-området och förändringar av Bengtsbrohöljens nivå varandra och därmed vattenutbytet? Hur ser variationsmönstret ut i förhållande till nederbörd?
- **Marklagerförhållanden.** Kan fyllnadsmassorna, som är potentiellt förorenade, avgränsas? Vilka är egenskaperna för förekommande jord- och fyllnadsmassor?
- **Stabilitet, spontbarhet och schaktbarhet.** Är områdets stabilitet mot Bengtsbrohöljen tillfredsställande? Hur kan de geotekniska egenskaperna karaktäriseras, inom området och i Bengtsbrohöljen i anslutning till strandlinjen, som underlag för spontning, schaktning och andra åtgärder?

3. GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH MODELLERINGAR

3.1. ALLMÄNT

En provtagnings- och analysplan för alla föreslagna fältundersökningar och laboratorieanalyser för markområdet togs fram inför fältarbetena som omfattar alla undersökningar som avser marken i Eka-projektet. Här nedan beskrivs vilka undersökningar som utförts för att belysa de ovan beskrivna frågeställningarna. Hur och vilka undersökningar och provtagningar som utförts beskrivs i Resultatrapporten EKA 2002:7. I resultatrapporten finns också resultat förutom analysresultat samlade som framkommit i markundersökningarna vid Eka. Analysresultat kan erhållas från Eka-projektets databas.

3.2. INVENTERING

En rad undersökningar finns genomförda sedan tidigare. Detta material har studerats och värderats tillsammans med material som framkommit ur andra parallella utredningsinsatser, t.ex. avseende byggnader. Äldre material såsom flygbilder från olika tidpunkter ritningar m m har använts som bakgrundsmaterial för denna undersökning.

3.3. MARKFÖRHÅLLANDEN

På grund av områdets heterogena karaktär är det väsentligt att kartlägga läge och egenskaper för såväl naturliga jordarter som fyllnadsmassor. Vissa undersökningar finns sedan tidigare med avseende på detta men har bedömts vara otillräckliga. Kartläggning av fyllnadsmassorna är speciellt av intresse eftersom dessa är potentiellt förorenade. Fyllningens och ursprungliga jordmaterials egenskaper påverkar i stor utsträckning tänkbara "in-situ" åtgärder i området.

En manuell kartering har gjorts av ett större område utanför EKA-området för att undersöka dess geologi, vattendelare samt infiltrations- och avrinningsförhållanden.

En geofysisk georadarundersökning och seismisk undersökning har utförts för bestämning av jordlagerförhållanden, djup till berg och sprickzoner i berg. Den geofysiska undersökningen har även använts för att lokalisera rörledningar. Undersökningen genomfördes stegvis med olika antenntyper som möjliggör varierande upplösning och djupträngningsförmåga.

Karteringen av jordlagerföljd har utförts genom sondering. Vid val av provpunkt och sonderingsmetod har speciell hänsyn tagits till risk för spridning av perkloretylen. Prover för karaktärisering togs upp med ordinär skruvprovtagning, eller moränprovtagare, beroende på förhållandena. Fem provgropar har tagits upp med syfte att erhålla provmaterial för lakförsök. Jordartsbestämning och kornstorleksanalyser samt bestämning av organiskt innehåll har utförts på uttaget material. En mer utförlig beskrivning över utförandet finns beskriven i Resultatrapport EKA 2002:7. En sammantagen värdering av allt underlagsmaterial avseende marklagerförhållanden har slutligen gjorts.

För att kunna bedöma möjligheten till eventuella åtgärder i strandzonen, i form av utfyllnad, schaktning eller spontning, finns behov av sonderingar/borringar från flotte eller is. Undersökningarna syftar till att bestämma jordlagerförhållanden, egenskaper och djup till berg. De geotek-

niska undersökningarna i vattnet från flotte har senarelagts på grund av väderförhållanden och fynd av tunnor på botten av Bengtsbrohöljen. Ett mycket bantat program av geotekniska undersökningar utfördes i juni 2003 och kommer att redovisas separat. Erosionsbenägenheten har inventerats okulärt och fotodokumenteras.

3.4. YT- OCH GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

Spridningen av föroreningar bestäms i hög grad av grundvattnets hastighet och strömningsbanor. Denna bestäms av markens genomsläpplighet (permeabilitet) och grundvattenytans lutning mellan olika mätpunkter. Vid inhomogena och strandnära förhållanden som i EKA-området kan strömningen i stor utsträckning bestämmas av högpermeabla zoner, t.ex. rörgravar, och vattenutbyte p g a nivåförändringar i Bengtsbrohöljen.

Ett antal grundvattenrör finns sedan tidigare installerade vid olika tidpunkter, vissa rör har inte kunnat användas i denna undersökning på grund av olika orsaker. Några har inte kunnat lokaliseras medan andra har knäckts, slammats igen eller blivit skeva så att mät- och provtagningsutrustning inte kan användas. De rör som har bedömts som användbara har undersökts med avseende på hydraulisk funktion. Kompletteringar har gjorts med nya grundvattenrör med ytterdiameter 50 mm. Rören är utförda i HDPE. Samtliga nya rör har installerats med sandfilter och tätats med bentonit. En sammanställning av samtliga använda rörs installationsmetoder, rördimensioner, djup under markytan, rörets filterintags läge i förhållande till markyta etc finns sammanställd i Resultatrapporten (EKA 2002:7).

Permeabiliteten för jordlagren har tidigare endast bestämts i ett fåtal punkter genom slug-test och ett försök till provpumpning. Kompletterande slug-test samt mindre provpumpningar har utförts i föreliggande undersökning för att karaktärisera olika delområden hydrauliskt samt för att fastställa de enskilda rörens hydrauliska funktion.

Programmerbara tryckgivare med loggerfunktion har använts i kombination med manuella mätningar för att erhålla längre mätserier. Tryckgivare installerades i 5 grundvattenrör inom landområdet (periodvis har betydligt fler tryckgivare varit installerade). Dessutom installerades tryckgivare i Bengtsbrohöljen och ovan kraftstationen i Lelång. En klimatstation upprättades med temperatur- och kvalitativ nederbördsättning. Samtliga grundvattenrör har avvägts och mätts in på nytt för att undvika felkällor. Peglarna vid kraftverket har avvägts. Vidare har manuella mätningar 1 gång per vecka utförts av kommunens personal i samtliga fungerande rör.

Gamla ledningar och ledningsbäddar kan fungera som dräner och som transportvägar för partikulärt bundna föroreningar. Dessa kan således leda avsevärt mer vatten än omgivande mark. Ledningarna har kartlagts tidigare med georadarundersökning. En verifiering och komplettering av denna görs i samband med den georadarundersökning som utförts i denna undersökning. En ledningskarta har tagits fram där alla kända och påvisade ledningar har sammanställts.

3.5. VATTENBALANS OCH MODELLERING

En vattenbalans har upprättats på basis av utförda undersökningar, en framtagen hydrogeologisk konceptuell modell samt en grundvattenmodellering över området. Grundvattenmodellen har kalibrerats mot uppmätta värden för grundvattennivå och permeabilitet. Grundvattenmodellen kan även

användas för att studera och visualisera effekter av olika efterbehandlingsalternativ. Vidare har värdering av vattenutbytet mellan landområdet och Bengtsbrohöljen utförts med hjälp av modeller.

3.6. RAPPORTERING

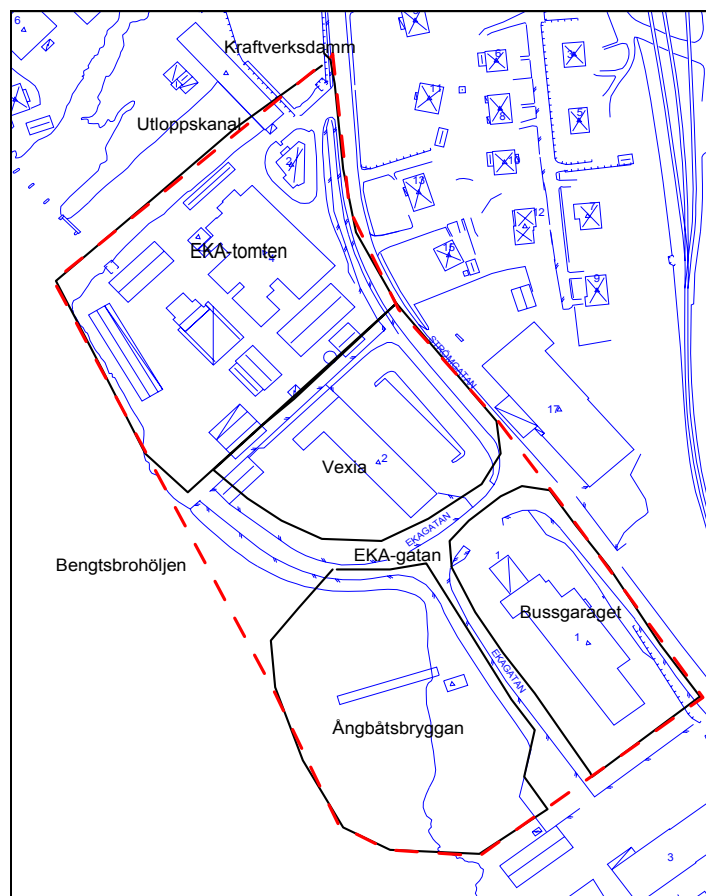
Rapporteringen har delats upp i två delar där de rena resultaten avseende sonderingar, geotekniska egenskaper etc sker i en samlad resultatrapport (EKA 2002:7) där alla undersökningar resultatredovisas som berör geologi, geoteknik och grundvatten på Eka-området och Bengtsbrohöljen tagits fram. Utvärdering av resultat har samlats i flera olika delrapporter varav föreliggande rapport beskriver och värderar resultaten kring geologiska, hydrogeologiska och geotekniska markförhållanden. Av övriga utvärderingsrapporter kan nämnas EKA 2002:3 "Föroreningsspridning från EKA-området". Se även rapportlista i Resultatrapporten (EKA 2002:7). Undersökningar som innehåller tolkningar av resultat ligger som bilagor till föreliggande rapport.

4. MARKFÖRHÅLLANDEN

4.1. BESKRIVNING AV OMRÅDET

Bengtsfors ligger under högsta kustlinjen (HK) inom det sydvästra Värmland- Dalslandsområdet. Området kännetecknas av sprickdalssystem med höga bergpartier och djupa dalgångar med nord-sydlig utsträckning. I sprickdalarna finns normalt moränavlagringar med ibland stora mäktigheter. Bergsområdena består till stor del av kalt berg medan det i svackor finns morän och torv. Sjöar i området finns huvudsakligen i sprickdalarna och tillsammans med de höga bergspartierna ger detta landskapet ett fjordliknande utseende.

Eka-området ligger i en nord-sydlig sprickdal på nordöstra sidan av sjön Bengtsbrohöljen, även kallad Höljen. Själva Eka-tomten gränsar till sjön Lelångens kraftverksdamm och dess utloppskanal till Bengtsbrohöljen, se figur 4.1. Undersökningsområdet begränsas i norr av kraftverksdammen, i öster av Strömgatan (riksväg 164) och i söder fastighetsgränsen mellan Bussgaragens fastighet och Möbelsnickaren. I väster utgörs gränsen av sjön Bengtsbrohöljen men denna gräns är mer diffus eftersom undersökningar även skett i sjön. Topografiskt är själva undersökningsområdet relativt flackt och de största höjdskillnaderna finns vid norra delen intill kraftverksdammen där marknivån är ca 94,4 m ö h och i den lägsta delen vid ångbåtsbryggan 90,5 m ö h. Vattennivån i Bengtsfors varierar kring drygt 89 m ö h. Sjön Lelång har en vattennivå kring 93 m ö h. På andra sidan Strömgatan höjer sig bergsområdet kallat Majberget till drygt 160 m ö h.



Figur 4.1 Översikt över undersökningsområdet (rödmarkerat) och dess olika delar.

I figur 4.1 redovisas även EKA-områdets olika delar. Följande namn används i rapporten:

EKA-området, vilket betecknar hela undersökningsområdet och samtliga delområden.

EKA-tomten, kallas även fabriksområdet (fastighetsbeteckning Bengtsfors 4:49 och EKA 2)

Vexia, kallas ibland Brandts (fastighetsbeteckning EKA 1)

EKA-gatan, kommunens gatemark mellan Vexia och bussgaraget

Ångbåtsbryggan (kommunens mark sydväst om EKA-gatan och viken i Bengtsbrohöljen)

Bussgaraget (fastighetsbeteckning Möbelsnickaren 1)

4.2. TIDIGARE UTREDNINGAR

Terratema (Sundberg & Hammar, 1996) utförde en miljögeoteknisk markundersökning över Eka-området. Syftet var att kartera och värdera utbredningen av kvicksilver- och dioxinförorenade sediment i Bengtsbrohöljen samt att översiktligt kartera eventuella föroreningar på land. 35 stycken provpunkter för jordprovtagning utfördes vid undersökningen. Undersökningsdjupet var mellan knappt 2 m och 7 m varav den djupaste provtagningen gjordes strax väster om Vexias bilhall (222). Fyllningsmaterial finns representerat i nästan alla provpunkter och utgörs huvudsakligen av sandig grusig fyllning. Det finns dock indikationer på att materialet innehåller grova massor såsom sten och block eftersom man haft svårigheter att borra i marken. I rapporten skriver man dock att fyllnaden utgörs mestadels av blockrik morän. Fyllningens mäktighet varierar mellan någon meter till 7 m i punkt 222 där bark påträffades på 6 m djup.

SIG (Sundberg et al, 1998) utförde kompletterande undersökningar på Eka-området. Undersökningar av bl.a. jord och grundvatten utfördes. Jordprovtagning gjordes i ytterligare 38 punkter varav 2 i provgrop. Provtagningsdjup var från 1,2 till 6 m. I denna undersökning utfördes också en georadarundersökning för att lokalisera dagvattenledningar.

Kemakta (Elert et al, 2000) utförde en huvudstudie kring föroreningsituationen vid Eka och i Bengtsbrohöljen med syfte att göra en slutlig bedömning av val och omfattning av saneringsåtgärder i området. Utredningen omfattade bl a kompletterande provtagning av jord, kartering av befintliga spridningsvägar för ytvatten, kartering och översyn av strandlinjer, utvärdering av området hydrauliska egenskaper och grundvattenmodellering. Fyllningens mäktighet bedömdes vara mellan 2 m i den östra delen till 6 m i den västra delen närmast strandkanten. Fyllningen beskrevs som mycket heterogen innehållande moränmaterial, lera, sand, grus, sten och block samt inom vissa områden restprodukter från tidigare verksamheter. Restprodukterna består av kvicksilverhaltigt slam, bark, spån och metallspill. Man bedömer det också troligt att det förekommer salter, kalk och impregneringsspill i fyllningen. Inom södra delen vid Vexias bilhall och bussgaraget tolkades de geotekniska undersökningar inför byggnation att fyllningen i detta område består av blockrik morän. Moränen bedömdes utifrån 5 odexborringar som gjordes på Eka-tomten till 12-14 m djup under markytan. Vid den nordvästra delen av Eka-tomten bedömdes fyllningen vara mellan 4 och 6 m mäktig. Därunder påträffades morän av varierande sammansättning med finkornig morän växlande med grovkornig d v s säga sandig grusig morän.

Inför en eventuell utbyggnad av Vexias bilhall utfördes en miljöteknisk markundersökning av Flygfältsbyrån (Andersson 2002). Borrningar för provtagning av jord utfördes väster om den befintliga

bilhallen. Borrningarna (8 st) gjordes till som 3 meter som djupast. Inget grundvatten påträffades vid dessa borrningar och fyllningen beskrevs som sandig grusig.

4.3. KOORDINATSYSTEM OCH INMÄTNINGAR

Provpunkter har avvägts och koordinatsatts i enlighet med RT90 (RT R05 7,5 GON V 65:0) och Bengtstors lokala höjdsystem. Förutom de provpunkter som utförts i föreliggande undersökning har grundvattenrör från tidigare undersökningar mätts in. Z-koordinaten för grundvattenrör är inmätt vid markytan, utom i de fall då rören finns under dexel, då rörets överkant mätts in. Inmätningar har utförts av Vägverket Konsult och Lantmäteriet i Bengtstors. Punkter för sedimentprovtagning och kontroll av bakgrundshalter i mark har mätts in med GPS.

För tätorterna i Bengtstors kommun används RT R05 7,5 gon V 65:0 och Bengtstors lokala höjdsystem. Bengtstors lokala höjdsystem ligger 0,958 m under RH70, enligt Sven Johansson på Lantmäteriet i Bengtstors. Både kommunen och lantmäteriet tillhandahåller kartunderlag i detta system. För att säkerställa att äldre kartor och koordinater som används i projektet ligger i samma system har inmätningar och kartor från detta och tidigare projekt kontrollerats.

Terratema (1996) och Kemakta och J&W (2000) har använt RT R05 7,5 g V 65:0 och Bengtstors lokala höjdsystem på ritningar. SGI (1998) antas ha använt samma som Terratema. Enligt Magnus Hammar (tidigare Terratema) gjordes inga inmätningar av provtagningspunkterna i x- och y-led vid SGI:s och Terratemas undersökningar. De relaterades till befintliga byggnader m. h. a. måttband och stegning. Däremot avvägdes grundvattenytan i de rör som sattes. Från undersökningen från Kemakta och J&W (2000) finns även en databas med bl.a. koordinater för provpunkterna. I databasen ligger koordinaterna i RT90. När kartorna gjordes mättes endast de nya punkterna in (501-504), övriga digitaliserades från karta. Flygfältsbyrån utförde under 2002 en utredning inför planerad utbyggnad av byggnaderna vid Brandts Personbilar AB. Enligt Claes Ström och Sonja Blom (Flygfältsbyrån) har provtagningspunkterna mätts in i förhållande till befintlig byggnad, i såväl x- och y-led som höjddled. I föreliggande projekt har dessa punkter förts över till ritningar gjorda av Vägverket Konsult. Detta har gjorts genom att punkternas läge har mätts ut från Flygfältsbyråns ritning och sedan lagts in i ny ritning.

För att kontrollera koordinater från Kemakta & J&W (2000) har GF Konsult räknat om dem från RT90 till RT R05 7,5 gon V. De som mättes in av Kemakta och J&W (2000) stämmer bra överens med de som mätts in i föreliggande projekt, medan de som digitaliserats avviker med upp till några meter i förhållande till inmätningar i föreliggande projekt.

Inmätningar gjorda med GPS fås i RT 90 0 gon. GF Konsult har överfört de punkter som är inmätta med GPS till samma koordinatsystem som kartan. Dessa inmätningar blir något osäkra; osäkerheten kan vara 6-8 m.

Den karta som utarbetats i föreliggande projekt är baserad på nya inmätningar av samtliga provpunkter, men stämmer för vissa punkter inte överens med verkligheten. Grundvattenrör har i några fall hamnat fel i förhållande till befintliga byggnader. Efter kompletterande inmätningar av byggnader och äldre grundvattenrör har konstaterats att åtminstone ett av husen är felaktigt inritat på grundkartan. Det innebär att några av punkterna i Terratemas och SGI:s undersökningar kan vara felaktigt placerade på kartorna, eftersom dessa mätts in i förhållande till byggnader.

4.4. GEOFYSISKA UNDERSÖKNINGAR

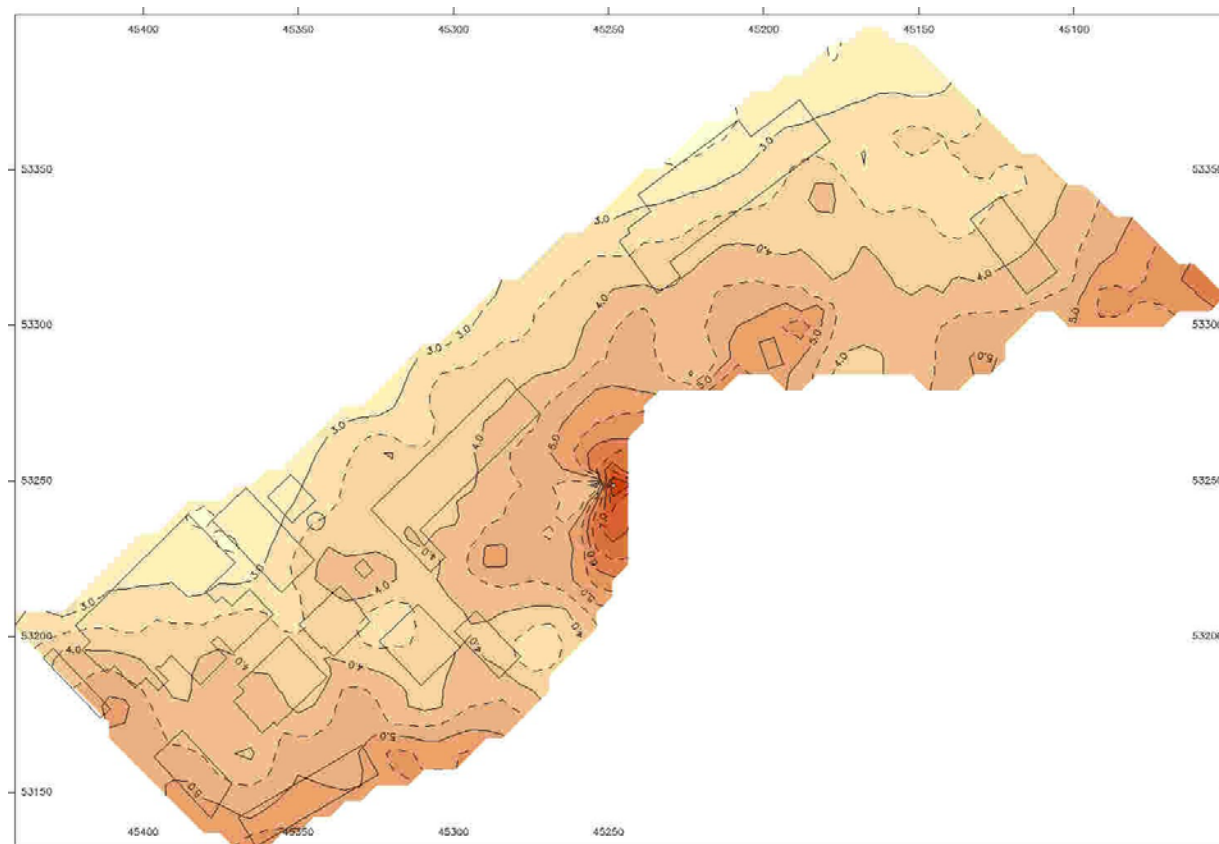
Geofysiska mätningar med georadar och seismik har utförts i området. Syftet har varit att bestämma fyllnadsmassornas mäktighet och förekomst av ledningar (georadar) samt att bestämma djup till berg och olika jordlagars mäktighet (seismik). Mätningarna utfördes av MRM konsult och resultaten redovisas i sin helhet i bilaga 1 (georadar) och bilaga 2 (seismik). Undersökningarna har koncentrerats till den norra delen av undersökningsområdet.

Georadarmätningarna har utförts med olika antenntyper för att optimera upplösning och penetrationsdjup för olika delsyften. Undersökningarna av fyllnadsdjup är i många fall svårtolkade, främst p g a av de heterogena förhållandena inom området. Det anges att fyllningens gräns mot underliggande naturlig mark sällan framträder som ett tydligt sammanhängande eko i mätlinjerna. Gränsen mellan fyllning och naturlig jord är alltså svårtolkad och den tolkning som gjorts bör ses som en rimlig bedömning av fyllnadsdjup. De tolkade resultaten visar att avsevärda fyllnadsmäktigheter finns i delar av området, se tolkad bild i figur 4.3. Denna bild har utvärderats tillsammans med annan information (främst borrhningar) och presenteras i avsnitt 4.8.

I vissa områden, se bilaga 1, finns också strandnära områden med hög signaldämpning. Sådan kan orsakas av t.ex. finkornig jord, joner, flis eller spån.



Figur 4.2 Georadarmätning Bengtsfors, december 2002.



Figur 4.3 Tolkat fyllningsdjup från georadarmätning med 200 MHz-antenn.

Kartering av ledningar kan utföras med georadarmätning med 500 MHz-antenn med en djupträngning om ca 2,5 m. I heterogena fyllningar kan signaler från ledningar drunkna bland signaler från andra föremål i marken som betongrester, metallföremål etc. Vid mätningarna på Eka-området har ett flertal ekon registrerats som bedöms härröra från ledningar. De flesta ekon ligger förhållandevis grunt på 1,5-2 m under markytan. Även djupare ledningar har påträffats vid mätningar med 200 MHz-antenn. Tolkade ledningar från markradar finns redovisade i bilaga 1. I avsnitt 6 redovisas en sammanställning över ledningar i området.

De seismiska undersökningarna visar att variationer i markförhållandena förekommer, bl.a. har vissa skikt tolkats som sand och organisk fyllning. Typiska jorrdjup till berg i undersökningsområdet har tolkats till 20-40 m. Öster om genomfartsleden minskar jorrdjupen. Resultaten från de seismiska mätningarna visas i bilaga 2.

4.5. SONDERINGAR

Ett flertal sonderingar har genomförts i området. Totalt har sonderingar gjorts i 21 punkter i området i form av trycksondering (7001, 7023 avbruten, 7024 avbruten), slagsondering (7003, 7004, 7005, 7009, 7010, 7011, 7012, 7014, 7015, 7016, 7017, 7019, 7022, 7024, 7025) och jord- och bergsondering (7002, 7006, 7020, 7021). Syfte med sonderingarna var att undersöka markens geotekniska egenskaper samt djup till berg. Läge och resultat finns i sin helhet redovisat i resultatrapporten (EKA 2002:7). Tanken var att använda lätta sonderingsmetoder såsom trycksondering för att så långt som möjligt erhålla detaljerad information som möjligt. Marken var emellertid svårforcerad

för trycksonderingsmetoden vilket indikerar stort inslag av grovkornigt material. Istället har slag- och jordbergsonderingar utförts vid flertalet sonderingspunkter. Berg har påträffats vid 7016 på östra sidan om Strömgatan på 10 m djup och på 2 m djup vid 7023 (grundvattenrör) vilket innebar att röret fick flyttas p g a att det grunda jordlagret bedömdes som otillräckligt. Resultaten är integrerade i föreliggande rapport.

4.6. BERGARTER

Bergarterna i Dalsland hänförs till Dalslandsgruppens bildningar som består av kvartsit, skifferar och porfyrier samt Åmåls- och Kroppefjällsintrusivbergarter som framförallt består av graniter och gnejser. Berg som går i dagen intill Eka-området består mestadels av gnejs och granit.

4.7. JORDARTER

Enligt den kombinerade jord och bergartskartan (SGU, 1867) består jordarten av krosstensgrus (äldre beteckning för morän) i Bengtsfors. Bengtsbrohöljens strandlinje har genomgått stora förändringar. Före verksamheterna vid Eka-området fanns en fors mellan Lelång och Bengtsbrohöljen. Kring 1895-1897 byggdes ett vattenkraftverk i Bengtsforsen. Kraftverket byggdes i syfte att erhålla elkraft till framställning av klorkalk i den kloralkaliindustri som blev EKA. Strandlinjen se figur 4.4 i början av 1900-talet visar att området ursprungligen utgjordes av en udde, där Eka-fabriken byggdes, intill forsen. Där Vexias bilhall ligger fanns vid den tiden en relativt vid vik som sträckte sig in mot Strömgatan. Mitt emot Vexia vid Statoil sluttat finns en bergsbrant som delvis är utsprängd för att erhålla tillräckligt med plats för Statoil.



Figur 4.4 Tolkade strandlinjer i Eka-området utifrån fotografier och annat historiskt material efter (Sundberg & Hammar, 1996). Bättre bild finns i Resultatrapporten EKA 2002:7, lodningsplanen.

4.7.1. Naturliga jordarter

Den ”naturliga” delen av Eka-udden består huvudsakligen av morän. Moränmark går i dagen endast på fåtalet platser inom undersökningsområdet. Alldeles intill kraftverksdammen har morän påträffats nära markytan, i övrigt ligger moränen minst någon meter ner till 7 m djup under markytan. Detta innebär att moränprover inte finns i någon större omfattning. Prover har dock tagits upp för bestämning av kornstorleksfördelning i två punkter. Den ena utfördes vid Vexias infart medan den andra ute i sjön i viken vid ångbåtsbryggan. Resultat från siktanalys finns redovisat i rapporten (Eka 2002:7) och i tabell 4.1. Resultaten indikerar att moränen blir finkornigare mot djupet och därmed ”tätare”.

Tabell 4.1 Resultat från kornstorleksanalys.

Provpunkt och nivå (m ö h)	Vattenkvot w %	Finjordshalt <0,06 mm %	Jordartsbenämning
B2502 78,50 – 79,48	7,5	ca 15	Grå, grusig, sandig, siltig morän
B2502 77,88 – 78,13	6,6	10	Grå, grusig sandmorän
B2502 77,48 – 77,88	10	40	Grå, sandig, siltmorän
B2502 76,98 – 77,48	5,5	25	Grå grusig sandig siltig morän
B2502 76,48 – 76,98	7,1	45	Grå sandig siltmorän
E7206 79,46 – 80,46	Ca 16	7,5	Grå sandig grusig siltig morän
E7206 77,96 – 78,46	Ca 38	6,0	Grå sandig lerig morän

Vid provtagningstillfället (2003-06-11) låg vattennivån i Bengtsbrohöljen 89,48 m ö h. Provpunkt E7206 är belägen på nivån 90,46 m ö h.

Benämningen ”morän” i tabell 4.1 grundar sig inte enbart efter vilken kornstorlekssammansättning provet har, utan bygger även på bedömning som är gjord i fält. Morän är egentligen en beteckning för hur materialet avsatts och betyder att det har malts och transporterats av en inlandsis till skillnad från isälvsmaterial som avsatts genom transport av en isälv. Transport med vatten innebär att materialet sorteras och framförallt finkornigt material spolats längre bort och avsätts som sediment i en sjö eller i ett hav. Mellan dessa beteckningar visar materialet en flytande övergång eftersom en morän kan avsättas både under och över vatten. Den morän som avsätts under vatten kan också ha transporterats en kortare sträcka med eller ha påverkats av vatten, vilket innebär att en viss sortering kan ske.

Den ”naturliga” delen av Eka-udden består huvudsakligen av morän. Vid borrhningar i området har mycket grusig sand påträffats omväxlande med ”ren” sand och stora mängder silt. Vi bedömer att med avseende på läget av området i ett geologiskt perspektiv så har de naturligt ytligare avsatta jordarna blivit transporterade och sorterade av vatten och uppträder då som dåligt sorterat grus och sand. Det har varit svårt att i fält benämna jordarterna varför moränbenämningarna är osäkra. Det har också varit svårt att avgöra om ”sandigt grus” är naturligt avsatt eller består av fyllnadsmaterial. Avlagringarna består av skikt och linser med sand, grusig sand och ibland siltiga skikt. Det verkar också som att morän och vattentransporterat material såsom sand och grus lagrats om vartannat. Detta kan förklaras med att inlandsisens avsmältning inte skett kontinuerligt utan ibland under kallare perioder ryckt fram och avlagrat nya moränskikt. Detta är typiskt för den mellansvenska rand-

zonen i vilken Bengtsfors är beläget. Moränen har benämnts ”normal” (med normal menas ofta sandig siltig morän) men också grusig sandig, siltig samt lerig. I figur 4.5 visas morän provtagen med moränprovtagare. Moränen i figuren har bedömts som grusig sandig siltig. Vid södra gränsen av området intill Möbelsnickaren och företaget KÅPI kan en skärning i sand ses. Och vid borringar vid KÅPI i ett annat projekt har noterats att jorden bestod av mestadels av grusig stenig sand



Figur 4.5 Provtagning med moränprovtagare, grusig sandig siltig morän.

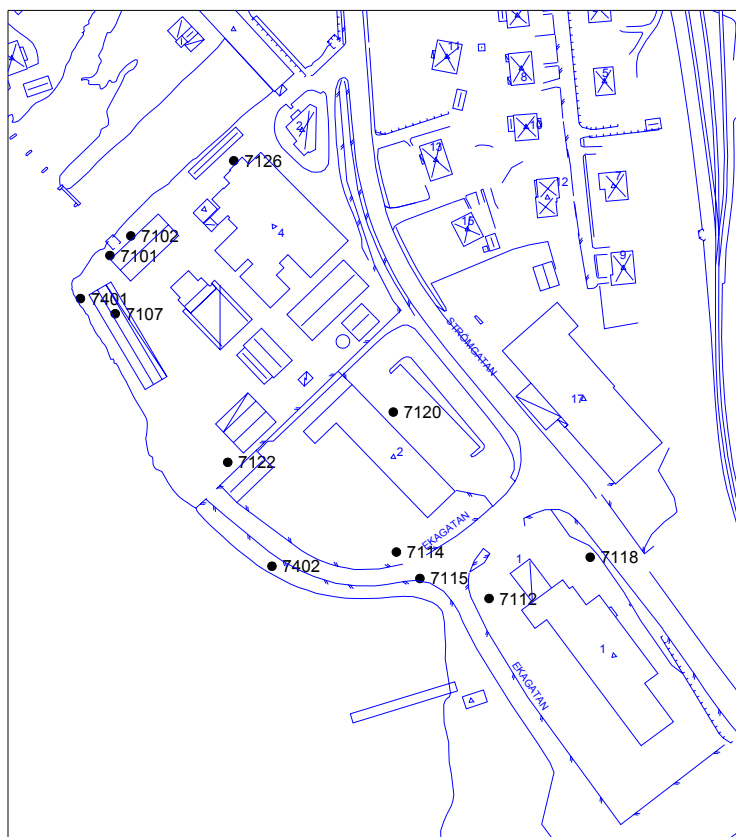
4.7.2. Fyllning

På undersökningsområdet har stora utfyllnader gjorts. Området domineras av utfyllnader dels vid Eka-udden och dels vid viken där Ångbåtsbryggan är belägen. Utfyllnaderna har något olika karaktär men har på prover upptagna med skruvborr på båda ställen huvudsakligen benämnts grusig sandig. Dock visar undersökningarna att det ställvis (särskilt Vexia-området) varit mycket svårt att ta sig ner till djup mer än 3 m och att många borrhåll inträffar inom 1m. Detta indikerar att fyllningen är rik på block och sten. På Vexias område visar asfalten spår av att tätningen ovan fyllningen är bristfällig och håligheter i asfalten bildas. Vid efterbehandling av borrhåll på Vexias område kunde konstateras att sanden inte bara fyllde igen hålet utan att stora mängder sand gick åt för att fylla hålrum i anslutning till borrhålet. Flera av både äldre och nyare grundvattenrör har satt sig i området, vilket bedöms bero på omlagring och erosion av löst packat fyllnadsmaterial i området.

Fyllningen är mer eller mindre blockrik men det förekommer sten och block inom hela området. I Vexia-området förekommer huvudsakligen grus, sand och sten men i en enstaka punkt har bark påträffats på 6 m djup (Andersson 2002). Området vid Eka-udden har en något annan karaktär. Här

finns fyllnadsmassor som delvis består av restprodukter – avfallsprodukter från kloralkaliindustrin och sågverket. Det rör sig om vitt slam, svart slam (grafit slam?), sågspån, metallspån och stora mängder bark. Denna fyllning varierar dock även av grusig sandig fyllning och block kan förekomma även här. I resultatrapporten (EKA-2002:7) finns en sammanställning av alla provtagningar i alla undersökningar som gjorts på området. Fyllningens mäktighet har i borrhningarna konstaterats vara upp till 7 meter på Vexia och ca 5 m på Eka-udden.

Fyllningens konstorleksammansättning har undersökts med siktanalyser som redovisas i resultatrapporten (Eka 2002:7) och i en sammanställning i tabell 4.2. Provtagningspunkterna finns redovisade i figur 4.6.



Figur 4.6 Provtagningspunkter i fyllningsjord för kornstorleksanalys.

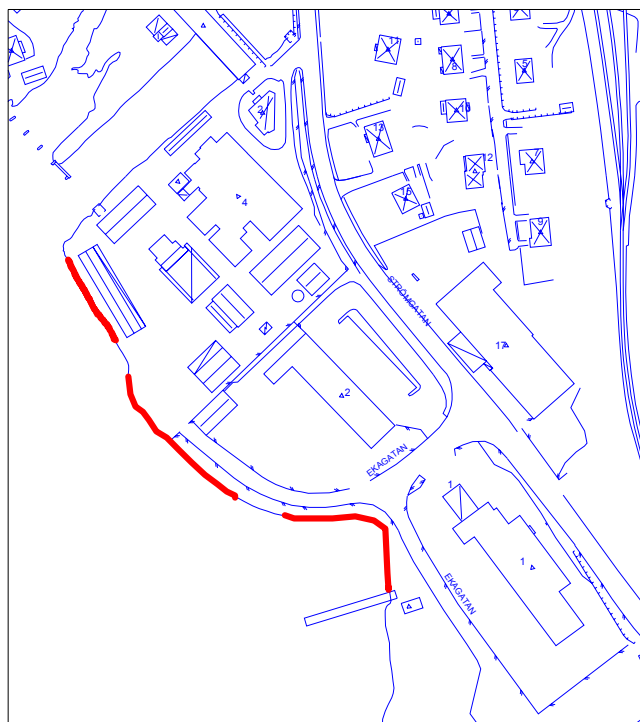
Tabell 4.2 Resultat från kornstorleksanalys av fyllnadsmassor.

Provpunkt och nivå M u my	Finjordshalt <0,06 mm %	Jordartsbenämning	Anmärkning
<i>Eka området</i>			
E7101 0-3,5	14	gr Sa	med glas, trä, bark (udden)
E7102 0-2,0	12	gr Sa	Växtdelar (udden)
E7107 0-4,0	Ca 7	sa Gr	Trä, tegel, bark, plast, glas, spik (udden)
E7122 0-2,5	12	gr Sa	Växtdelar, kolbitar?
E7126 0-2,6	4	sa Gr	Intill cellhall
<i>Vexia området</i>			
E7112 0-3,0	Ca 7	gr Sa	Mellan bilhall och Bengtsbrohöljen
E7114 0-2	Ca 5	sa Gr	Mellan bilhall och Bengtsbrohöljen
E7115 0-4	Ca 9	gr Sa	Mellan bilhall och Bengtsbrohöljen. Trärester
E7120	11	gr Sa	Öster om bilhallen
<i>Bussgaraget</i>			
E7118 0-1,5	15	si gr Sa	
<i>Strandkanten</i>			
E7401 över vattenytan	3	sa Gr	
E7401 under vattenytan	0	sa Gr	tegel, skal
E7402 över vattenyta	3	sa Gr	växtdelar

4.8. STRANDLINJE

Strandlinjen har i huvudsak karterats okulärt. Karteringen har dokumenterats med bilder och finns redovisad i bilaga 3.

Strandkanten utgörs till stora delar av sprängssten (figur 4.7 - figur 4.9), som delvis är bevuxen med gräs eller större växtlighet såsom buskar och träd.



Figur 4.7 Inom de markerade områdena utgörs strandkanten i huvudsak av sprängsten.



Figur 4.8 Strandkanten nedanför Vexias område.



Figur 4.9 Strandkanten inne på EKA-tomten.

Övriga delar av strandkanten utgörs av ”finare” material, som i fält bedömts utgöras av sandigt grus eller grusig sand (figur 4.10), i något fall även sandig silt. Dessa partier är till stora delar bevuxna.



Figur 4.10 Strandkanten inne på EKA-tomten.

I två provpunkter (7401 och 7402) inom områdena med finare material har ytliga prover tagits ut för bestämning av kornstorleksfördelning (se vidare redovisning av kornkurvorna i Resultatrapporten EKA 2002:7). I provpunkt 7401 har prov tagits ut både över och under vattenytan. Alla tre proverna är betecknade som sandigt grus (se tabell 4.2 ovan). Provet uttaget under vattenytan innehåller grövre material, indikerande att finare material spolats bort (eller möjligen inte kommit med vid provtagningen som gjordes med hjälp av liten spade).

Strandkanten mot kraftverkets strömfåra har stenskonung och udden har erosionsskydd i form av geotextil. Stranden i figur 4.11 kan tyda på att jorden utmed strömfåran, trots skoningen tidvis varit utsatt för erosion.



Figur 4.11 Strandkanten mot strömfåran. I bakgrunden syns kraftverket. Den grå plåtbyggnaden utgörs av ett förråd.

4.9. SAMMANFATTANDE ÖVERSIKT ÖVER MARKFÖRHÅLLANDENA

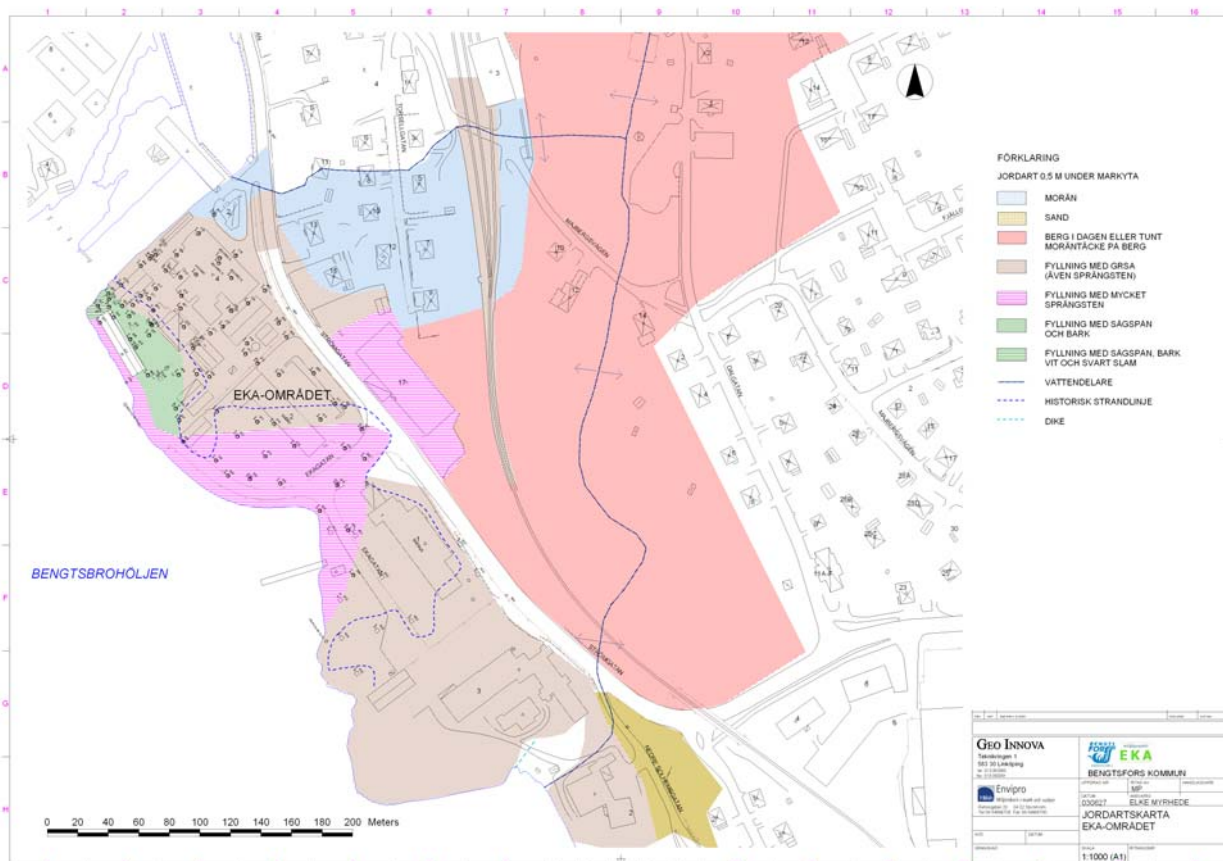
4.9.1. Jordarter

Alla tillgängliga uppgifter kring jordarter har lagrats i jordartstabellen i Eka-projektets databas. Här har alla undersökningar där jordlagerföljd angetts lagts in inklusive Terratemas (Sundberg et al, 1996) SGI:s (Sundberg, 1998), Kemaktas (Elert et al, 2000; 2001) och Flygfältsbyråns (Andersson, 2002) undersökningar. Tillsammans med data från sonderingar och de geofysiska undersökningar som utförts i området har en jordartskarta sammanställts med hydrogeologisk information, se figur 4.12 och bilaga 4. Jordartskartan är en tolkning av framtaget material. Underlagsmaterialet består till del av subjektiva bedömningar från fältprovtagningarna. Underlag från tolkade geofysiska data har också använts.

På jordartskartan har även hydrogeologisk information lagts in. Denna består i att vattendrag och vattendelare ritats in. I undersökningsområdet och dess närmaste omgivning finns endast ett mindre vattendrag. Det är ett surdråg som är torrt under delar av året beläget mellan KÅPI och Möbelsnickaren. Undersökningsområdets avrinningsområde sträcker sig upp på Majberget. Vi bedömer att yt-vattendelaren sammanfaller med grundvattendelaren. För närmare beskrivning av hydrogeologiska förhållanden hänvisas till avsnitt 7.

Jordartskartan beskriver jordarter som påträffats 0,5 m under markytan. Kartan visar att höjden i öster består av berg i dagen eller berg med tunt jordtäckte. Lokala avvikelser kan förekomma i svackor där jord kan förekomma med något större mäktigheter än 0,5 m. Området med berg i dagen

ligger helt utanför vårt undersökningsområde. Järnvägsbanken utgörs av fyllning. I norra delen av undersökningsområdet förekommer morän på 0,5 m djup.

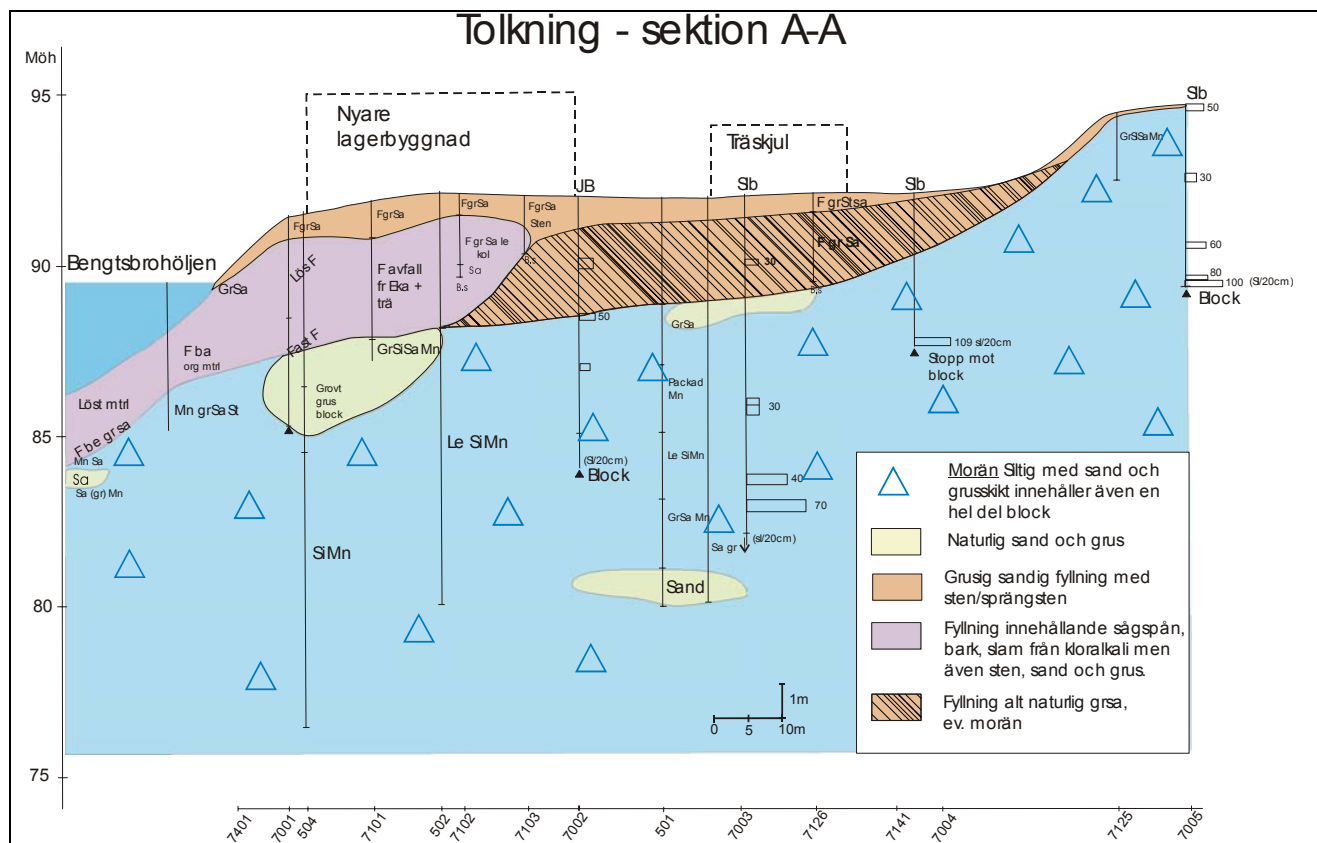


Figur 4.12 Jordartskarta med hydrogeologisk information. För bättre upplösning se bilaga 4.

Eka-tomten har fyllnadsmaterial på i stort sett hela området. Fyllningen är mestadels av grusig sandig. Fyllningens mäktighet och sammansättning varierar dock. Sprängstensutfyllnad förekommer framförallt utanför den gamla strandlinjen och som tidigare nämnts består större delen av strandkanten av sprängsten. På Eka-udden och i ett stråk söderut utanför den äldsta strandlinjen finns fyllning med restprodukter av vitt och svart slam samt stora mängder organiskt material i form av sågspån och bark. Sågspån och barkavlagringar förekommer också på andra delar av undersökningsområdet, t ex på Vexia-tomten har bark påträffats på stort djup (6 m).

På Eka-gatan, Ångbåtsbryggan och delar av Bussgaraget är fyllningen rik på sprängsten. Vid en jämförelse med den gamla strandlinjen visar det sig att den utfyllda viken till stora delar har fyllts ut med massor rika på sprängsten. Området Bussgarage och södra delarna av Ångbåtsområdet samt fastigheten Möbelsnickaren söder om Bussgaragen ligger på en naturlig udde men bedöms vara utjämnad med fyllning. Strax söder om Möbelsnickaren finns en liten våtmark med ett avledande dike/surdråg. Öster om KÅPI, som ligger söder om Möbelsnickaren finns en skärning i sand medan fastigheten KÅPI har en tunn fyllning ovan grusig sand. På östra sidan om Strömgatan bedöms att fyllning finns vid Statoil mitt emot Vexia och delar av villaträdgårdarna norr om Statoil. Fyllningen vid Statoil bedöms vara delvis rik på sprängsten/makadam.

Området är heterogent och utfyllnaderna i området har jämnat ut den ursprungliga topografin. För att åskådliggöra hur förhållandena kan se ut mot djupet har tre jordartssektioner utarbetats där all tillgänglig information har tolkats. I figur 4.13 presenteras en av sektionerna som löper efter Eka-tomtens norra strand, i bilaga 5 finns en planskiss över området och alla tre sektionerna presenterade.



Figur 4.13 Tolkning av jordartsförhållanden Eka-tomtens norra strand längs kraftverkets utloppskanal från Eka-udden i väster till ovanför kraftverksdammen i Lelång

Av sektion A-A framgår att det i moränen finns linser med sand och grusig sand. Om moränen finns flera uppgifter att den ofta är mycket siltig. Flera block har påträffats vid sonderingarna. Större sonderingsmotstånd har lagts in i bilden. Gränsen mellan fyllning och naturligt avsatta jordarter har varit svår att fastställa både i borrhningarna och i de geofysiska undersökningarna. Därför har i sektionerna lagts in ett streckat område som i en del undersökningar angetts som fyllning men också som grusig sand. Det osäkra "området" har anpassats till den äldsta strandlinjen. Utanför den äldsta strandlinjen är fyllningens sammansättning annorlunda och består förutom av grusig sand också av stora mängder sågspån, bark men även av "vitt slam" och "svart slam" som troligen är restprodukter från kloralkaliverksamheten. Denna fyllning bedöms även fortsätta ut i Bengtsbrohöljen en bit utifrån tolkning av de borrhningar som utförts i Bengtsbrohöljen.

I sektion B-B, se bilaga 5, har berg påträffats i en punkt (7016) 10 m under markytan. Berg har enligt de seismiska undersökningarna tolkats ligga 10 m under markytan vid Strömgatan till över 40

m jorddjup ute i Bengtsbrohöljen utanför Eka-tomten. Även här finns osäkerheter i tolkning mellan fyllning och naturlig grus och sand.

Sektion C-C, se bilaga 5. Fyllningens mäktighet bedöms vara från någon meters mäktighet till åtminstone 7 m i den centrala delen av den utfyllda viken. Fyllningen här bedöms vara rik på sprängsten. Fyllningen fortsätter ut i Bengtsbrohöljen men tunnar ganska snabbt ut till någon meters mäktighet, vilket borrningar i viken har visat.

4.9.2. Geotekniska förhållanden

Undersökningarna visar att området är mycket heterogent och att fyllningens sammansättning varierar. Sammansättningen är huvudsakligen stenig grusig sandig och kan förväntas vara rik på sprängsten på många håll. Ett område med lösare fyllning (med mycket sågspån och bark) finns vid Ekaudden och går i ett 20-30 meter brett stråk söderut mot Eka-tomtens södra gräns. Moränen är grusig sandig och ofta siltig. Mycket siltiga lager förekommer på flera ställen i området. Vid borrningar i moränen har vid flera tillfällen borrrustning sugits fast och varit svåra att få upp på grund av silt.

Av borrningar i området framgår det att block förekommer relativt rikligt i moränen. Sten och block förekommer mycket rikligt i fyllningen och är ställvis svår att forcera vid borrning och sondering. Schaktning i fyllning kommer att försvåras av förekomst av sprängsten. Möjligheter till spontning i området bedöms vara svåra till mycket svåra. Hur möjligheterna till spontning i vattenområdet är intill Eka-tomten är något osäkert innan materialet från undersökningarna från flotte utvärderats. Dock bedöms moränen i vattenområdet inte ha andra egenskaper än moränen på landområdet.

Fyllningen på området är fast till mycket fast. Området med bark och sågspånsfyllning är något lösare än omgivande fyllning men har vid trycksondering (7001) ändå visat sig ha god hållfasthet. Stabiliteten i Eka-området bedöms vara god. Vid djupare schakter måste emellertid inslaget av silt beaktas.

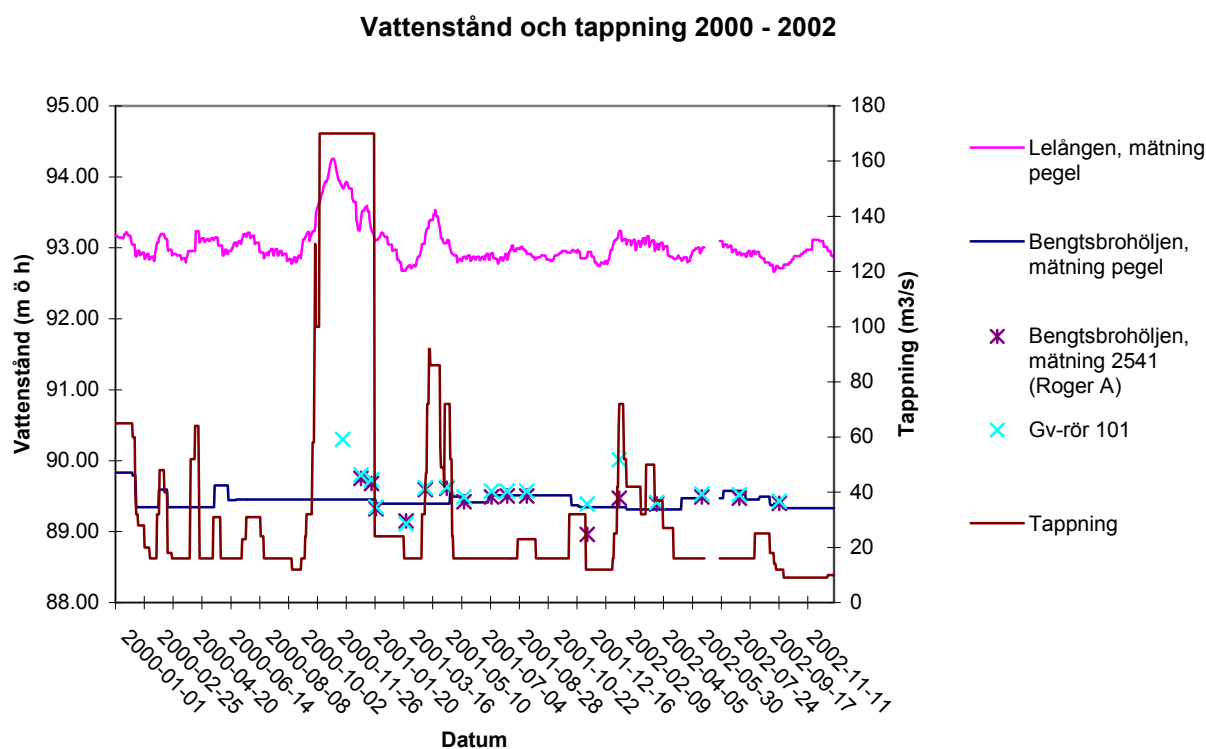
För detaljerad information kring jordarter och geotekniska egenskaper hänvisas till bilaga 5 och resultatrapporten (Eka 2002:7)

5. YTVATTEN

5.1. VATTENSTÅNDSVARIATIONER I BENGTSBROHÖLJEN OCH LELÅNGEN

Bengtsbrohöljen är en reglerad sjö. Enligt vattendomen (1949-08-05) får vattennivån i Bengtsbrohöljen variera mellan 89,47 och 89,75 m ö h (Bengtsfors lokala höjdsystem). Detta innebär att om nivån stiger över 89,75 m ö h ska samtliga vattenvägar stå öppna tills nivån sjunkit under denna gräns. Nivån i Bengtsbrohöljen styrs främst av ett dämme i utloppet av Höljen. Detta dämme sköts av Dalslands kanal AB under den tid på året då företaget trafikerar sjön. Reglering av lägsta nivå sker primärt utifrån kanalbolagets behov. Detta innebär att den lägsta nivån sommartid under normala förhållanden aldrig understiger 89,47 möh eftersom detta medför att framkomligheten för kanalbolagets båtar förhindras. Under övrig tid på året sköts regleringen av Bengtsfors Kraft och Industri AB.

Vattenståndsvariationerna i Lelång och Bengtsbrohöljen finns registrerade sedan lång tid genom kraftverkets försorg. Utöver detta finns även flöden genom kraftverket redovisat. I figur 5.1 visas nivåer och flöden för perioden 2000-2002. I Bilaga 3 finns separata diagram för varje 10-års period sedan 1961. Utöver detta finns nivåerna för Lelång och Bengtsbrohöljen registrerat med självregistrerande tryckgivare i samband med de aktuella undersökningarna och dessa redovisas i avsnitt 7.



Figur 5.1 Nivåer i Bengtsbrohöljen och Lelång samt flöden förbi kraftverket under 2000-2002.

Diagrammen i bilaga 6 visar att nivån för Lelången normalt är ca +93 m ö h. Variationen ligger normalt mellan 92,8 och 93,2 m ö h, men kan variera mellan 92,6 och 93,6. Extremvärde om drygt 94,2 möh uppmättes vid högflödesperiod under månadsskiftet nov-dec 2000.

Bengtbrohöljen har normalt en nivå kring drygt 89 m ö h med ett normalt variationsområde mellan 89,0 och 89,6 m ö h. Resultat från tidsperioden 1960-2002 i bilaga 6 indikerar att den maximala nivån i Bengtsbrohöljen under denna tid varit 90,2 m ö h (noterat i maj 1977). Vid extrema förhållanden kan nivån möjligen stiga ytterligare. Brister finns emellertid i den manuella registreringen av Höljens nivå, se t.ex. extremflöden år 2000 där ingen förhöjning finns registrerad. Emellertid finns det i figur 5.1 även manuella registreringar av grundvattennivån i rör 101, som har mycket bra hydrologiskt samband med Höljen. Denna registrering skulle kunna indikera en något högre maximal nivå i Bengtsbrohöljen.

Flödena är normalt i storleksordningen 10 - 20 m³/s för att under extrema förhållanden öka till 170 m³/s. Sålunda styrs korttidsvariation av nivån i Bengtsbrohöljen främst av förändringar i dämningens nivå vid sjöns utlopp. Om en nivåförändring av dämningshöjden görs tar det ca 6-10 timmar innan förändringen fullt ut slår igenom i Bengtsbrohöljen. Större förändringar i flödet ger normalt upphov till en mer lågfrekvent förändring av nivåerna.

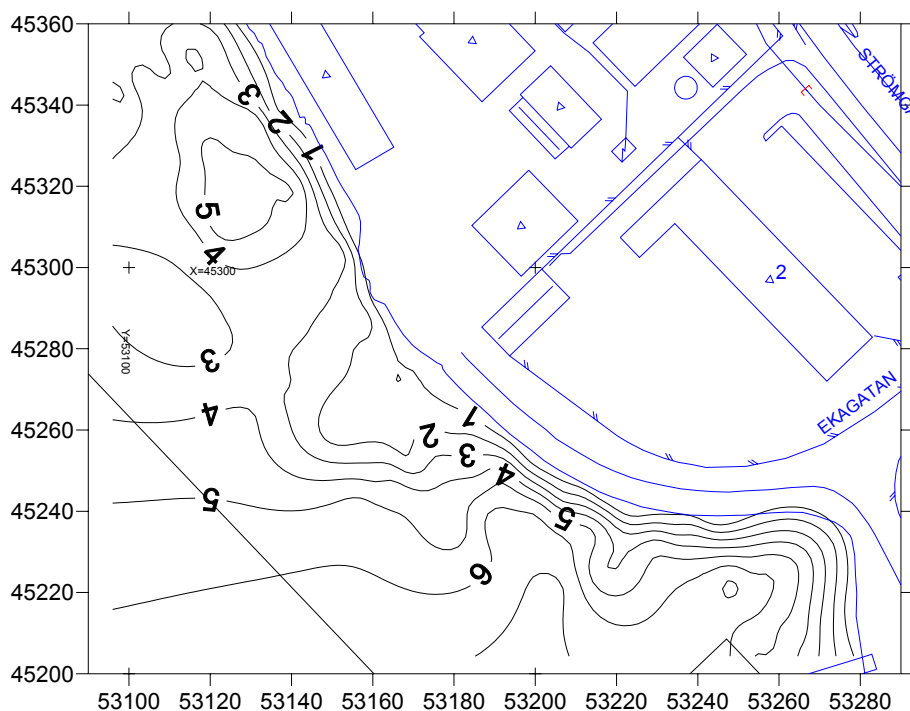
5.2. VATTENDJUP I STRANDZONEN

Vattendjupen i strandzonen har registrerats genom dels lodningar och dels dykningar. Resultaten av lodningarna framgår av resultatrapporten (EKA 2002:7). Sammanfattningsvis var vattendjupen ca 1,2 m i kraftverkskanalen vid lodningstillfället 2002-12-04 (vattenytans nivå var då 88,85 m ö h). Vid strandkanten intill udden är vattendjupet 20-30 cm och ökar till drygt 2 m 30 m ut från uddens strandkant. Vid ångbåtsbryggan i viken är vattendjupet 6-8 m.

Av lodningar och dykningar framgår att undervattenssläntens lutning varierar dels vinkelrätt ut från stranden men även längs med stranden. Släntens längd varierar mellan branta slänter vid Eka-gatan till mer flacka slänter vid Eka-tomtens strandkant. I det senare fallet är det knappast att betrakta som slänt över huvudtaget.

Inga lodningar finns för strandområdet söder om ångbåtsbryggan p g a att detta område inte ingick i det ursprungliga undersökningsområdet.

I figur 5.2 redovisas interpolerade vattendjup baserat på dykningarna. På grund av att koordinaterna bestämts med en enkel GPS är noggrannheten av punkternas lägen begränsad. Figur 5.2 ger endast en övergripande bild av vattendjup i Bengtsbrohöljens närområde till Eka. Vid dykningarna karterades också bottenförhållandena. Botten täcks till mycket stora delar av ”föna” som är ett halvt nedbrutet organiskt material, mestadels bark. Under detta lager, som oftast är tunt (ca 5 cm) finns stenig, grusig botten. I vissa partier finns större mängder bark, med mäktigheter över 1 m. Större barklager finns vid ångbåtsbryggan och i det flacka området vid Ekagatans infart till Eka-tomten.



Figur 5.2 Interpolerade vattendjup i strandzonen baserat på dykningar. Vattennivån vid dyktillfällena mellan 89,48 -89,50 m ö h.

6. KARTERADE LEDNINGAR I MARK

Ledningar i mark har karterats genom inventering av arkiv, intervjuer, fältbesiktningar samt geofysiska undersökningar. De senare finns redovisade i avsnitt 4.4. Vidare har ledningar och konstruktioner i mark inventerats i samband arbetet med undersökning av byggnaderna inom området. Betydande brister finns i äldre ritningsmaterial, i den mån sådant finns. Vidare var marken tjälad/snötäckt i samband med fältundersökningarna vilket försvårade dessa.

En sammanställning av den befintliga informationen (Sundberg, 1998; Eka 2002:14; Bengtsfors kommun, 2002; Yngve Kvist Konstruktionsbyrå AB, 1982; Elert et al, 2000) kring ledningar tillsammans med av markradar påvisade ledningar redovisas i bilaga 7. Det finns varierande grad av osäkerhet kring ledningarnas exakta lägen och ibland osäkerhet var avloppen ansluter. Detta gäller särskilt Eka-tomten.

Eka-tomten är inte ansluten till spillvattennätet i dagsläget utan avloppet, (två olika), från cellhallen går till Bengtsbrohöljen via slamavskiljning i en tvåkammarsbrunn. Den senaste avloppsledningen gjordes om på 1980-90-talet. På Eka-tomten ska enligt underlagsmaterialet finnas två äldre avloppsledningar som slutar i "stenkistor" enligt anställda på Bengtsfors trä. Var rören slutar är oklart men de kan mycket väl ha slutat i den dåvarande strandkanten vilket stämmer på ett ungefär med där ledningarna sägs sluta och strandkantens läge 1920. Provgropar som grävts upp för att kontrollera ledningarna från cellhallen som påvisats med markradar, kunde inte verifiera ledningarna (SGI, 1998). Markradarundersökningen 2002 resulterade i en något annorlunda sträckning (inritad med streckad linje på ledningskartan i bilaga 7) av den nordliga dagvatten/spillvattenledningen. Numera går troligen endast dagvatten ut i dessa ledningar. Möjlighet finns att smörjgropen kan vara ansluten till en av dessa ledningar.

Alla elledningar har inte ritats in på ritningen eftersom underlag för detta saknas. Dock finns elektricitet i de flesta byggnader på området och ledningarna är markförlagda.

Markradar indikerar ledning eller vattenmagasin mitt i Eka-gatan vid infarten till Eka-tomten. Här har tidigare ett avlopp från en nu riven kontorsbyggnad slutat i ett litet infiltrationsmagasin, kanske utformad som en stenkista.

Allt dagvatten på Vexias område inklusive takavrinning leds till två infiltrationsmagasin. Ledningarna ligger i en lutning på 10 % mot magasinen. Angivet läge är inte helt exakt med avseende magasin och gatubrunnar beroende på att skalorna mellan de olika underlagen inte riktigt stämmer. Källmaterialet består av en ritning från en entreprenadbeskrivning.

Två gatubrunnar på Eka-gatan är kopplade till ett dagvattenutlopp inne i viken vid Ångbåtsbryggan. Kommunens dagvattenledning vid Strömgatan utgörs av en tät ledning med anslutande dräneringsbrunnar i dike och asfalterade ytor.

Underlaget vid Bussgaragen utgörs av en entreprenadhandling och av kommunens ledningskarta. De angivna lägena bekräftas dock på ett flertal ställen av markradar.

7. GRUNDVATTEN

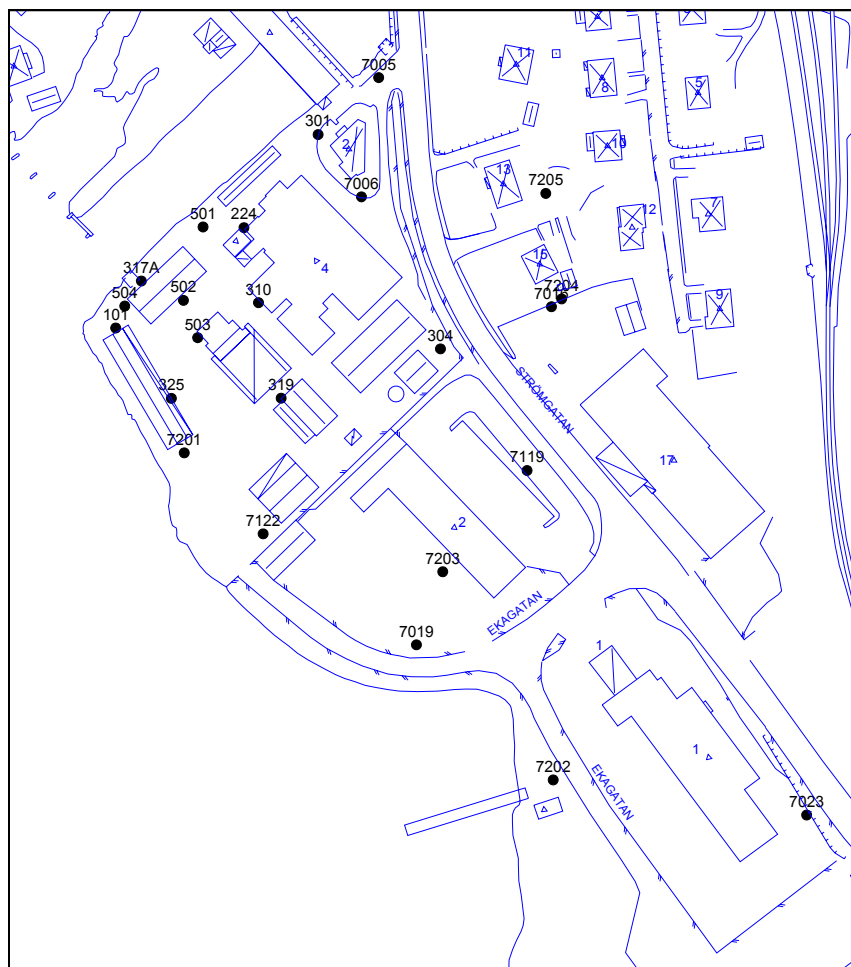
7.1. ÖVERSIKT

Det aktuella undersökningsområdet ligger i den nedre delen av ett avrinningsområde som avgränsas av en vattendelare belägen på höjdpartierna i öster samt Bengsbrohöljen och Lelången i väster. De högre liggande partierna öster om genomfartsleden består i huvudsak av morän och i viss mån berg. Väster om vägen ligger det aktuella undersökningsområdet som är delvis utfyllt under olika tidsperioder och därför mycket heterogent. Naturlig jord består av morän, ibland påverkad av strömmande vatten. Närmare sjön ökar fyllnadsdjupen, se vidare avsnitt 4.3. I figur 4.12 redovisas mark och avrinningsförhållanden i en jordartskarta med geohydrologisk information.

Nederbörd infiltrerar i markområdet och strömmar mot Bengsbrohöljen. Den största grundvattenbildningen inom avrinningsområdet bedöms ske på Eka-tomten, Ångbåtsbryggan och villaområdet öster om Strömgatan mitt för Eka-tomten. Övriga områden är till stora delar hårdgjorda eller har berg i dagen vilket ger en betydligt mindre grundvattenbildning. Den infiltrerade nederbörden bildar grundvatten i området och avrinner mot Bengsbrohöljen. Ett visst flöde i mark finns också förbi dammen mellan Lelång och Höljen på grund av nivåskillnaden.

I området har grundvattenrör installerats till olika djup vid tidigare genomförda undersökningar samt i den aktuella undersökningen. De flesta rören är mellan några meter till fem meter djupa. Ett par rör har installerats på större djup > 10 m. En förteckning över data kring installerade, kvarvarande och funktionsdugliga grundvattenrör finns i resultatrapporten (EKA 2002:7). I figur 7.1 är lägen i plan för nyttjade grundvattenrör redovisade. Grundvattenrörens dimensioner har styrts av bl.a. tillgänglig utrustning. Flertalet rör är placerade i dexel, d v s med rörtopp under markytan, för att minska påkörningsrisken och för att inte påverka framkomligheten i området.

Omfattande begränsningar för grundvattenrörens placering finns i området. Dessa består av verksamheten, byggnader, vägar och körytor. Vidare ställer föroreningarna i området krav på installationen för att inte riskera föroreningsspridning. Detta har medfört att installation av djupare liggande grundvattenrör begränsats i omfattning. Vidare har grundvattenrörens placeringar styrts av även andra faktorer än att beskriva grundvattensituationen, som t ex önskemål att beskriva föroreningssituationen i horisontal- och vertikalled samt det ursprungligen planerade undersökningsområdets avgränsningar. Det bedömt förorenade området har utökats söderut i samband med utvärdering av resultaten från föreliggande undersökning. Detta har resulterat i en brist på hydrogeologisk information i framförallt områdets södra delar.



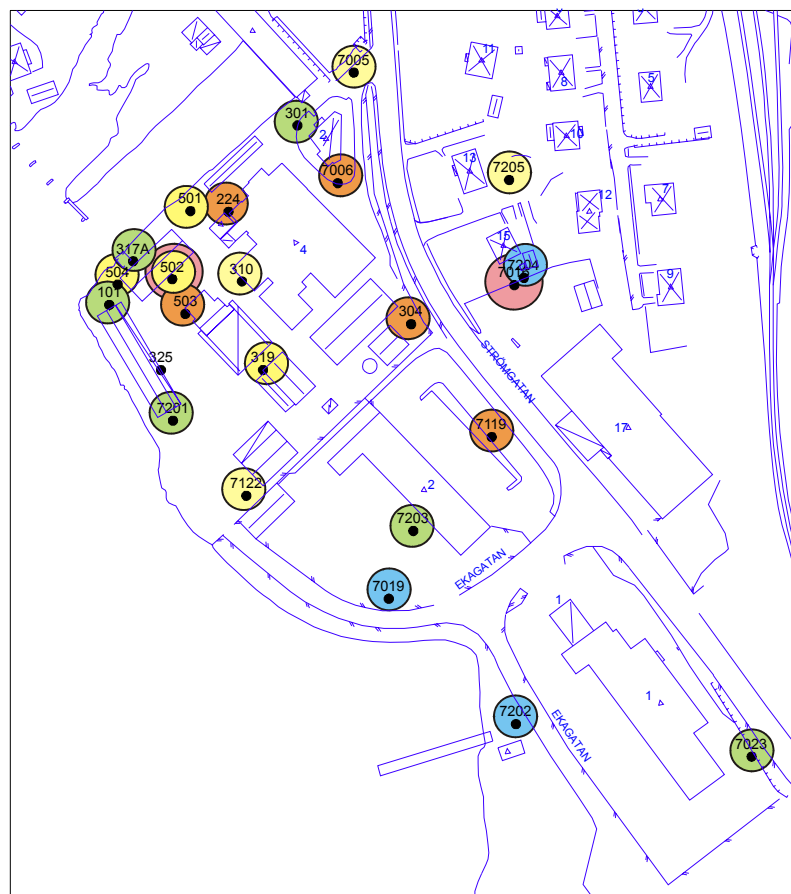
Figur 7.1 Grundvattenrör som använts i denna undersökning (2002-2003) för provtagning av grundvatten och för mätning av grundvattennivå.

7.2. HYDRAULISKA EGENSKAPER

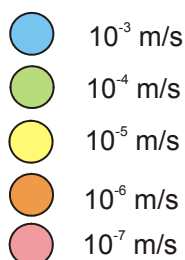
Hydrauliska egenskaper har kartlagts för de olika grundvattenrörens närmaste omgivning. Fältundersökningar finns även genomförda i tidigare undersökningar, framförallt Sundberg & Hammar, (1996) samt Sundberg et al (1998). Samtliga undersökningarna finns sammanställda och utvärderade i bilaga 8.

Undersökningarna har huvudsakligen genomförts som slug-test, d v s transient enhålstest där grundvattenförhållandena störs genom en sänkning eller en höjning av vattenytan i röret varefter utjämnningen registreras. Vid den senast genomförda undersökningen har självregistrerande tryckgivare använts. Slugtest i grunda hål är av olika skäl besvärliga att genomföra och utvärdera på ett korrekt sätt och ger karakteristiska data för en begränsad volym närmast röret. Pumptester ger data som är integrerade över en större volym, speciellt om de genomförs som interferenstester, d v s tester där avsänkningen även registreras i intilliggande rör. Möjligheterna att genomföra sådana tester är emellertid begränsade i grunda grundvattenrör och kan dessutom orsaka förorenings spridning. Några pumptester har emellertid genomförts.

I figur 7.2 visas karakteristiska data för de olika grundvattenrören och hur egenskaperna varierar areellt och mot djupet. Figuren visar att det finns en tendens till högre genomsläpplighet i lägen närmare Bengtsbrohöljen. Vidare antyds att djupare liggande morän har en relativt lägre genomsläpplighet än ytligare jord.



Hydraulisk konduktivitet



Figur 7.2 Översikt över den hydrauliska konduktivitetens variation för de olika grundvattenrören. Större cirklar (vid två håll) avser egenskaper på större djup.

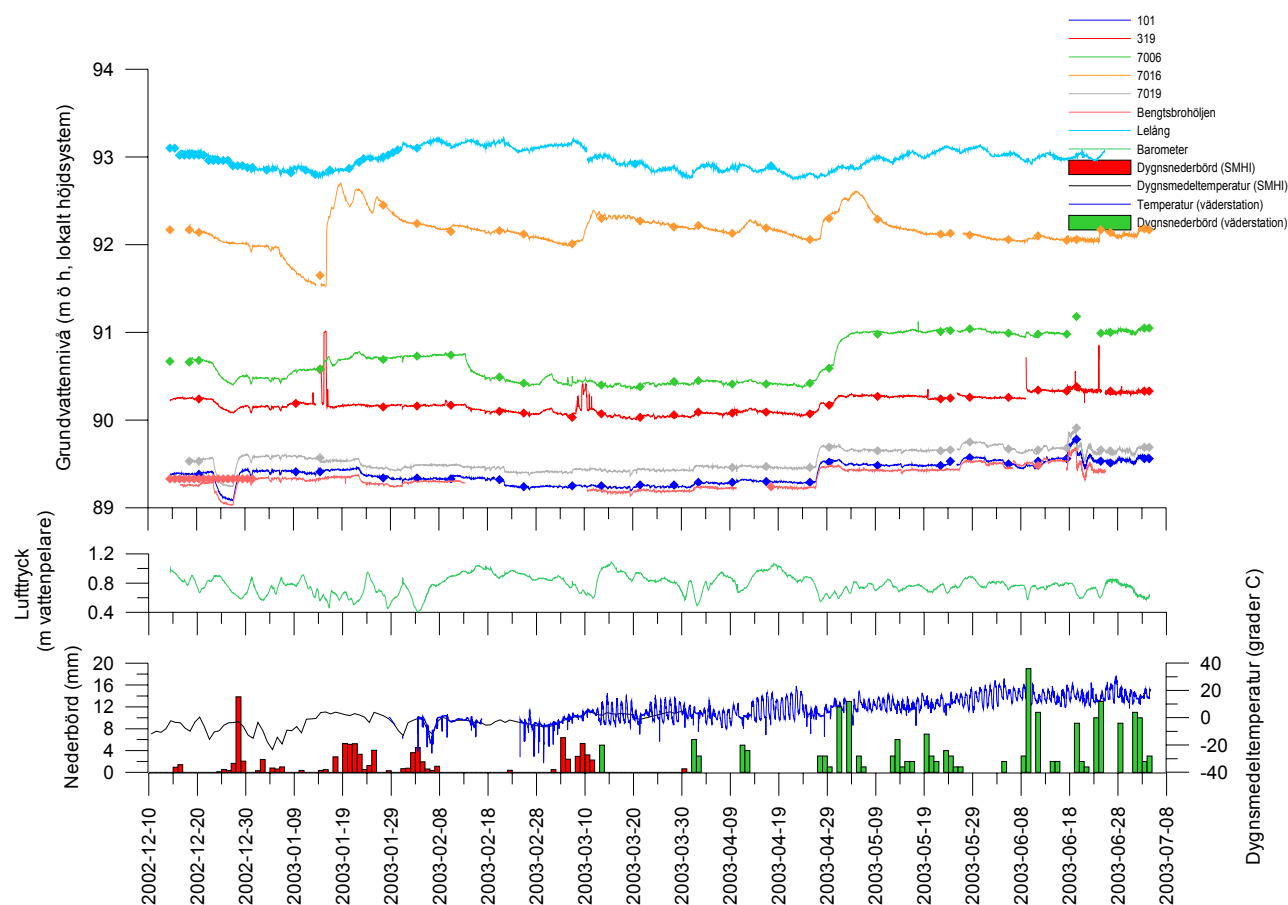
I tabell 7.1 sammanställs egenskaper för fyllning, morän och djupare liggande morän. För ytliga material avses egenskaper i den grundvattenmättade delen. Vissa problem har förekommit avseende tolkning mellan morän och fyllning för vissa rör, framförallt inom grupperna blandad fyllnad och ytnära morän. Tabell 7.1 visar att fyllnaden i allmänhet har en högre eller betydligt högre genomsläpplighet jämfört med morän. Moränen har en lägre genomsläpplighet mot djupet. Data för den djupare liggande moränen är emellertid begränsade.

Tabell 7.1 Geometriskt medelvärde av hydraulisk konduktivitet för observationsrör i bedömda fyllnadsmassor och naturlig jord. För närmare information hänvisas till bilaga 8.

Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s), geometriskt medelvärde	Kommentar
Grov fyllnad	$6,4 \cdot 10^{-4}$	101, 301, 317A, 7201, 7202, 7203, 7204
Blandad fyllnad (ej grov)	$1,3 \cdot 10^{-5}$	501, 502, 503, 504, 224
Ytnära morän	$1 \cdot 10^{-5}$	304, 310, 319, 7005, 7006, 7023, 7119, 7122, 7205
Djupare liggande morän (siltig/lerig)	$5 \cdot 10^{-7}$	502, 7016

7.3. GRUNDVATTENNIVÅER

Grundvattennivåerna har registrerats automatiskt i 5 grundvattenrör. Detta sker med tryckgivare som registrerar trycket i grundvattnet (inklusive atmosfärens tryck). Registreringarna har kompenenserats för lufttryckets variationer för att få fram grundvattennivån. Samtliga grundvattenrör har lodats manuellt en gång per vecka. Grundvattennivåer för samtliga rör finns uppritade i figur 7.3 tillsammans med nivåerna för Bengtsbrohöljen och Lelången samt uppmätt nederbördsmängd och temperatur. I framförallt de rör som registrerats automatiskt kan man följa responsen på förändringar i sjönivå och nederbörd. Man kan konstatera att nivån i Bengtsbrohöljen har stor betydelse för grundvattennivån i området. Vid den tillfälliga sänkning av Höljen i slutet av december 2002 kan tydlig respons ses i flertalet automatiskt loggade rör. I de manuellt mätta missas denna information. Emellertid gjordes en avsiktlig nivåförändring av Bengtsbrohöljen i juni 2003 med ett flertal automatiska tryckgivare installerade. Detta försök beskrivs närmare i avsnitt 7.5.



Figur 7.3 Manuellt och automatiskt mätta grundvattennivåer tillsammans med uppgifter om temperatur och nederbörd under perioden dec 2002 till 3 juli 2003.

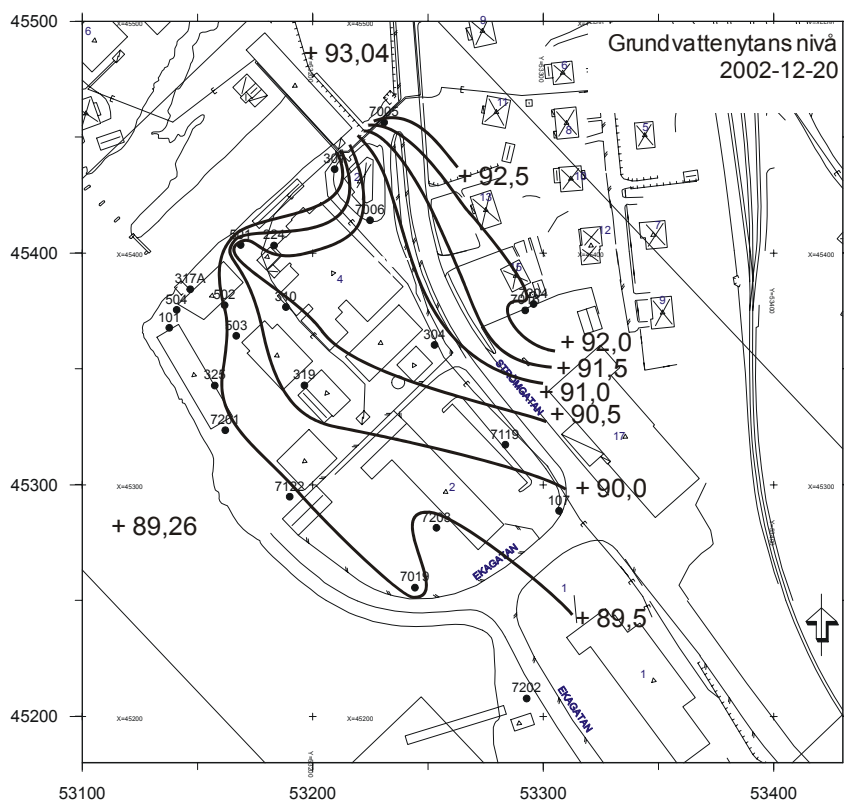
Den högsta respektive lägsta uppmätta nivåerna är de i Lelång och Bengtsbrohöjlen. Eftersom många av rören är placerade i dexel finns risk för att ytvatten skall brädda ner i röret vid snösmältning och häftig nederbörd. Detta fenomen kan tydligt ses för t.ex. rör 7016 och 319, i samband med snösmältning.

Figur 7.4 till figur 7.6 visar interpolerade grundvattennivåer i området vid tre olika tillfällen mellan december 2002 och juni 2003. Grundvattenströmningen är riktad vinkelrätt mot isolinjerna, dvs mot Bengtsbrohöjlen. Figurerna ger också en kvalitativ bild över markens genomsläpplighet. Områden med likartad marklutning men med längre avstånd mellan isolinjerna indikerar högre genomsläpplighet. I figurerna kan ses att ett sådant område finns i trakten av den gamla fabriksbyggnaden (fd Eka-fabriken) i områdets norra del. Detta kan vara orsakat av högre genomsläpplighet i marken men också av infiltrationsanläggningar, rörledningar och ledningsgravar. Av ledningssammanställning i bilaga 7 framgår att ledningar finns runt hela byggnaden som kan fungera dränerande. Vidare har vid installation av rör 7006 påträffats ett stort hålrum strax öster om gamla fabriksbyggnaden. I området kring denna byggnad består marken till stora delar av sandigt grusigt material som har hög genomsläpplighet. Dessa förhållanden kan vara orsaken till att grundvattenytan är flack vid gamla fabriksbyggnaden.

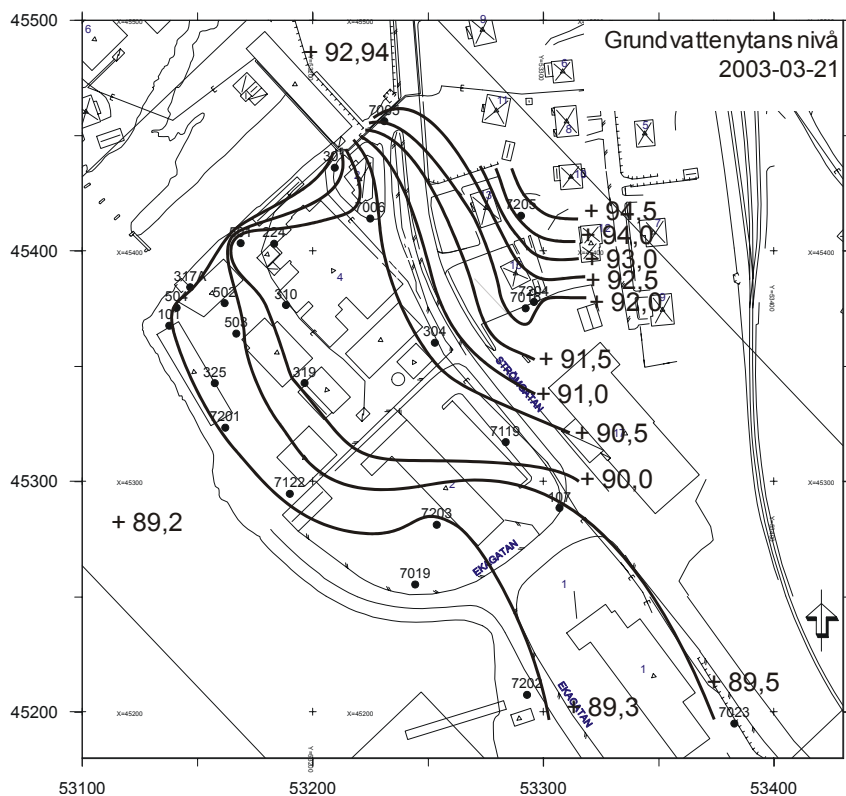
Rör 501 och 224 avviker nivåmässigt från omgivningen. Detta kan förklaras med lokala heterogeniteter eller närhet till t.ex. rörledning uppströms som lokalt höjer grundvattennivån.

Grundvatten vid gamla fabriksbyggnaden kan strömma åt två håll; mot nordväst (kraftverkets utlopp och mot sydväst genom området till Bengtsbrohöljen.

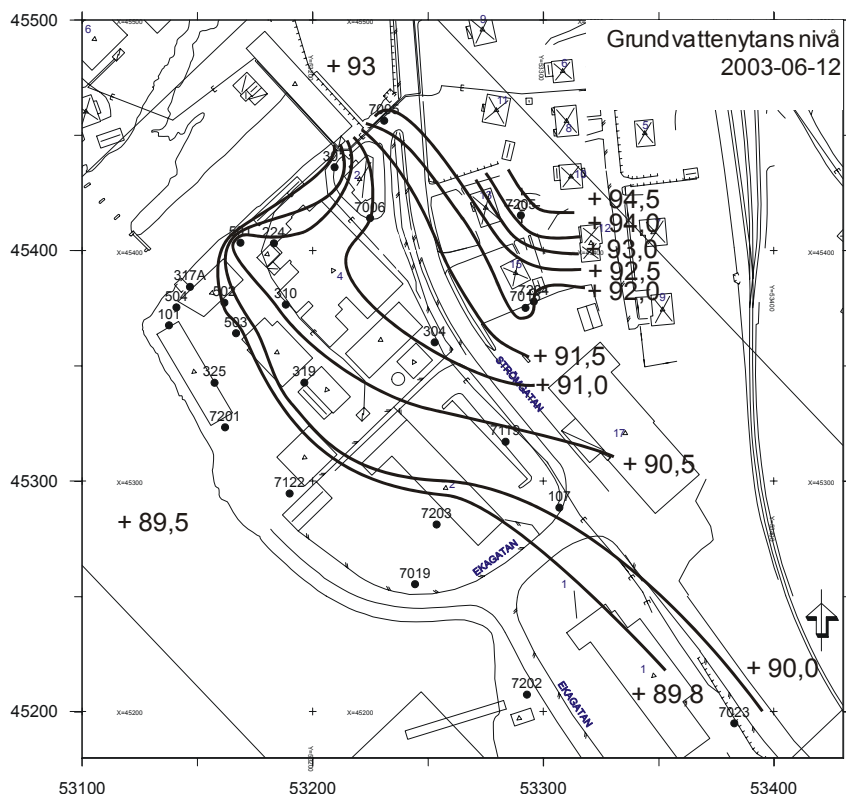
Grundvattennivåkartorna visar också på bristen av data i den södra delen av området.



Figur 7.4 Interpolerade grundvattennivåer från 2002-12-20



Figur 7.5 Interpolerade grundvattennivåer från 2003-03-21

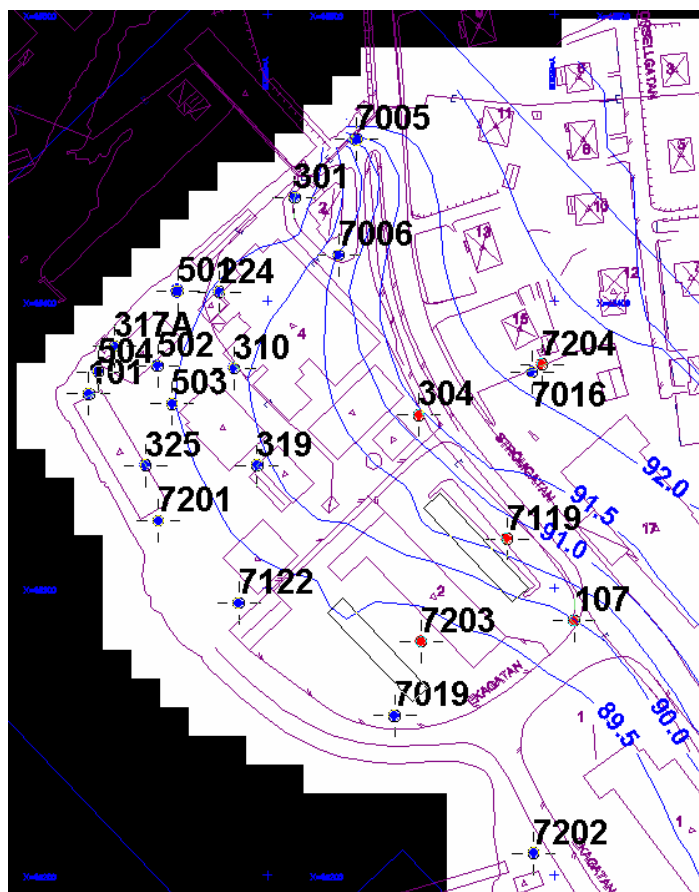


Figur 7.6 Interpolerade grundvattennivåer från 2003-06-12

7.4. VATTENBALANS

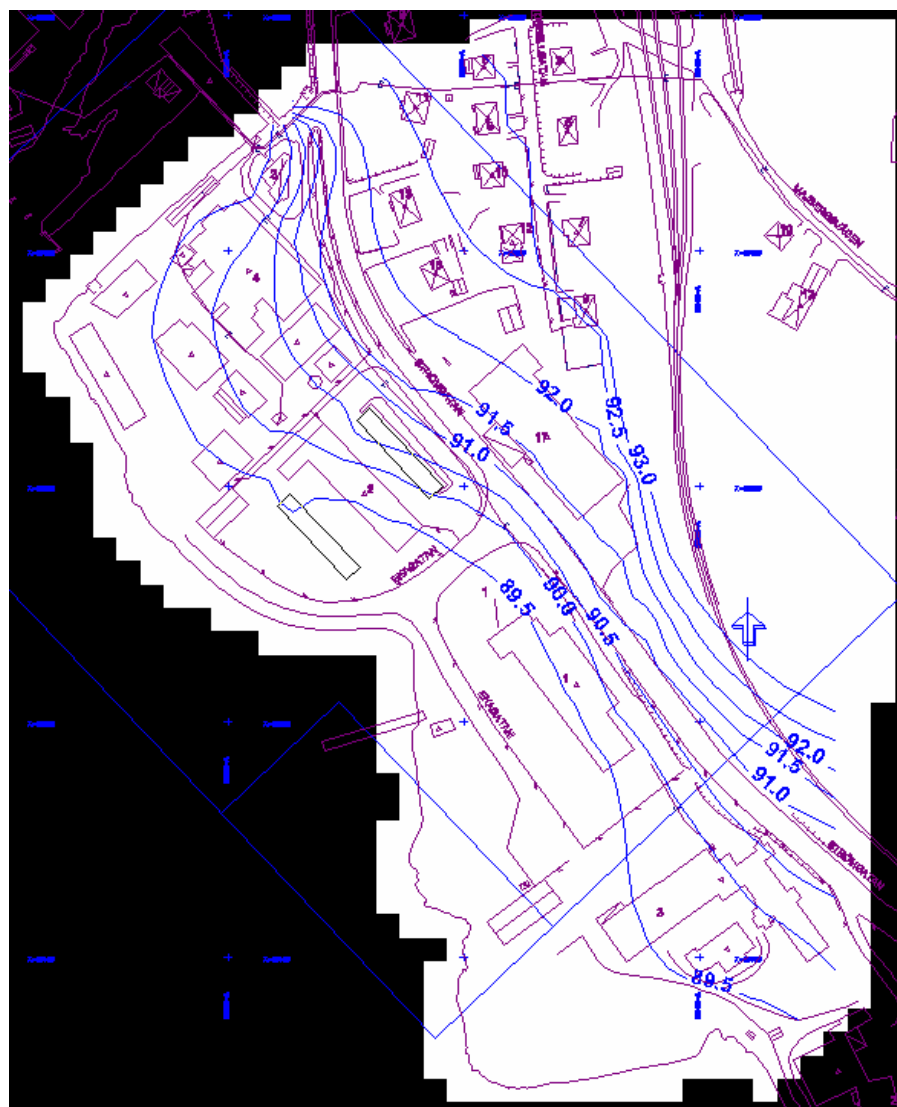
En stationär grundvattenmodell har upprättats för att beskriva grundvattenförhållandena. Syftet har varit att med modellen som grund upprätta en vattenbalans över området. Modellen skall också kunna användas för att modellera effekten av olika åtgärder för att minska föroreningsspridningen.

Grundvattenmodelleringen har genomförts i samarbete med Aqualog AB och finns redovisad i sin helhet i bilaga 9. Modellen har kalibrerats mot diskreta värden på uppmätta grundvattennivåer (valt datum: 2002-12-20), genom variationer i grundvattenbildningen och justeringar av de hydrauliska egenskaperna för olika delområden. Figur 7.7 visar skillnaden mellan uppmätta och modellerade grundvattennivåer och det framgår att modellen har en tendens att överskatta nivåerna i områden längre från sjön (området vid Statoil och Vexia) och underskatta desamma i områden nära sjön (framförallt Eka-tomten). Störst avvikelser finns i anslutning till rör 501 och 224, vilket är de rör där lokal heterogeniteter (se ovan avsnitt 7.3) bedöms inverka mest.



Figur 7.7 Överensstämmelse mellan beräknad och uppmätt grundvattennivå vid kalibrering av modell. Röd fylld cirkel betyder att modellen har beräknat ett högre värde än det uppmätta, blå fylld cirkel det omvända.

Beräknad grundvattenbild, se figur 7.8, överensstämmer väl med det uppmätta allmänna flödesmönstret över området. Dock kan noteras att gradienten vid gamla fabriksbyggnaden är större i den beräknade grundvattenbilden än vad de interpolerade bilderna indikerar, som bygger på lodade grundvattennivåer, se figur 7.4-figur 7.6. Detta kan eventuellt förklaras med att rörledningar eller ledningsgravar ej beaktas i modellen.



Figur 7.8 Flödesmönster enligt grundvattenmodell.

En känslighetsanalys har utförts över beräknad grundvattennivå som funktion av grundvattenbildning och hydraulisk konduktivitet. Analysen visar att modellen är robust och parametervärdena är nära de optimala. Måttliga förändringar i parametervärdena förändrar således ej modellens förmåga att beräkna korrekta grundvattennivåer. Omvänt innebär detta att en viss osäkerhet finns i det beräknade totala utflödet. T.ex. infiltrationens storlek kan således ändras i modellen utan att detta signifikant påverkar grundvattennivåerna. Osäkerheten orsakas i första hand av att det aktuella området ligger nära den hydrauliska randen i form av Bengtsbrohöljen vilket, ”stabiliserar” grundvattennivåerna.

Den totala utströmningen av grundvatten beräknas ett normalår till ca 23000 m³/år. Denna utströmning kan delas upp i två delar:

1. Flöde på grund av skillnader i nivå mellan Bengtsbrohöljen och Lelången.
2. Flöde på grund av grundvattenbildning (infiltration) inom avrinningsområdet.

Det förstnämnda flödet har störst osäkerhet eftersom flödessträckan är kort, gradienten stor och antalet mätpunkter är få.

Utflödet till Bengtsbrohöljen har areellt delats upp i tre delområden, ett som sträcker sig mellan kraftverksdammen och gränsen mellan f.d. EKA-fabriksområde och Vexia (delsträcka 1), och ett som går från denna gräns till och med Bussgaragets fastighet (delsträcka 2) samt flöde utanför dessa stäckningar (övriga delar, bedömt ej förorenade), se bilaga 4. Grundvattenflödet till Bengtsbrohöljen sammanställs i tabell 7.2. Värdena har avrundats jämfört med bilaga 9.

Tabell 7.2 Grundvattenflöde till Bengtsbrohöljen, uppdelat på olika delsträckor (se text).

Beskrivning	Flöde pga grundvattenbildning	Flöde pga nivåskillnader, Höljen-Lelång	Totalflöde
Delsträcka 1	5500	8000	13500
Delsträcka 2	7500		7500
Övriga delar	2000		2000
Summa	15000	8000	23000

Tabellen visar att inom det bedömt förorenade området (delsträcka 1 och 2) uppgår flödet till 13000 m³/år p g a infiltration. Till detta tillkommer ett lokalt flöde nära kraftverksdammen om ca 8000 m³/år, dvs totalt 21000 m³/år. Andelen som vid randen mot Bengtsbrohöljen strömmar i ytliga jordmassor, huvudsakligen i fyllnadsmaterialet (ca 0-5 m från my), är uppskattningsvis 99 % av det totala flödet. Siffran är en bedömning utifrån de hydrogeologiska förhållandena på platsen såsom låg genomsläpplighet på stora djup, grundvattnets trycknivåer och att tryckgradienten mot sjön på större markdjup är liten. Detta innebär att grundvattnet på större djup strömmar uppåt mot de övre jordlagren/fyllningen och vidare ut mot Bengtsbrohöljen.

En rimlighetsbedömning har gjorts av tänkbart fel i infiltrationen, som i stor utsträckning styr utgående grundvattenflöde. Den ansatta infiltrationen varierar för olika delområden i modelleringen ovan, med utgångspunkt för delområdenas förutsättningar. Infiltrationen uppgår i genomsnitt till ca 125 mm per år. Bedömt rimligt intervall i denna siffra är 100-135 mm. Felet i det lokala flödet vid dammen p g a nivåskillnader mellan Höljen och Lelång är betydligt större, uppskattningsvis ±50 %. I tabell 7.3 har totala flödesintervallet över det bedömt förorenade området uppskattats.

Tabell 7.3 Bedömt rimligt osäkerhetsintervall för flöde till Bengtsbrohöljen från undersökningsområdet under ett normalår (se även text).

	Flöde m ³ /år
Beräknat flöde enligt modellering	21000
Bedömt högsta flöde	26000
Bedömt lägsta flöde	14500

En osäkerhet finns också beträffande dagvattenledningens dränerande funktion vid Strömgatan (genomfartsleden). Denna har antagits ha liten dränerande funktion för grundvattnet. Detta har baserats på fältkontroll och nivåuppgifter. Skulle detta antagande vara felaktigt kan flödet från området öster om vägen vara överskattat och signifikant påverka det beräknade flödet mot Bengtsbrohöljen.

Genom utökade data och modellering vid fler tidpunkter kan modellen förfinas. Några dramatiska förändringar i beräkningsresultaten och de allmänna slutsatserna bedöms dock inte orsakas på grund av detta. Några åtgärder som skulle kunna förbättra underlaget är dock:

- Några grundvattenrör ytterligare i den södra delen av området samt i området öster om genomfartsleden (på en högre nivå över markytan)
- Bättre uppfattning om infiltrationsegenskaperna i olika delområden
- Effekter av nivåvariationer i Lelång på närliggande grundvattenrör
- Bättre data på den djupare liggande moränens hydrauliska egenskaper samt på den södra delen av undersökningsområdet
- Hydraultester i närheten av rör 501, kraftverksdammen och fabriken.
- Säkrare uppgifter kring dagvattenledningen vid Strömgatan dränerande funktion för hela området.

7.5. VATTENUTBYTE MED BENGTSBROHÖLJEN

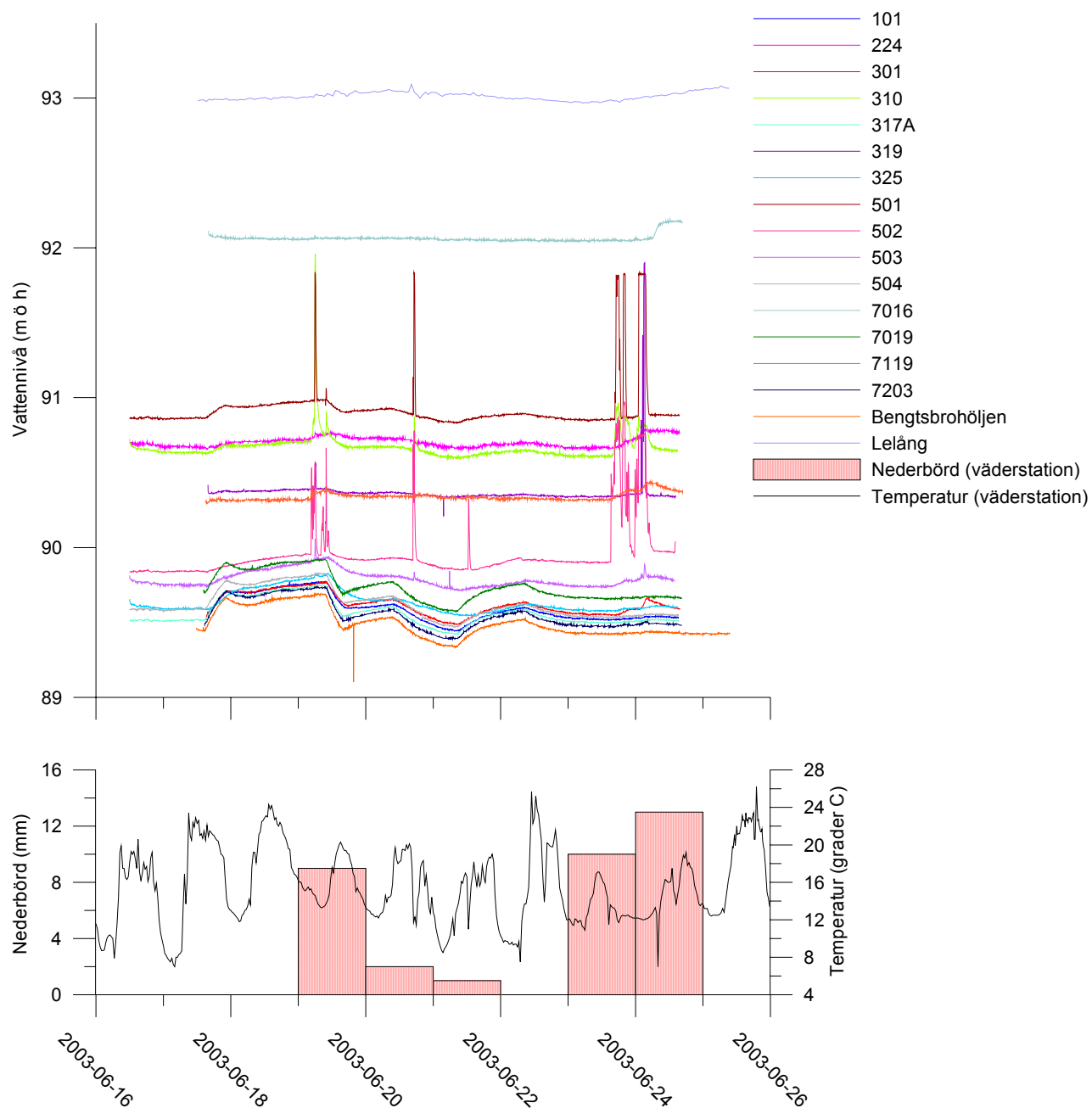
Vattenutbyte mellan Bengtsbrohöljen och markområdet, på grund av nivåvariationer i Bengtsbrohöljen, har tidigare bedömts kunna utgöra ett betydande tillskott till det totala flödet. Man har haft farhågan att en höjning av nivån i Bengtsbrohöljen skulle medföra att flödesriktningen blev omvänd och därmed riktad mot landområdet för att därigenom generera ett tillskott till det normala grundvattenflödet. En värdering av storleken av vattenutbytet har dels skett med utgångspunkt från experimentella data och dels teoretiskt med utgångspunkt från en transient modellering.

För att man i fält skall kunna följa effekten av kortvariga nivåvariationer i Bengtsbrohöljen krävs hög tidsmässig upplösning av grundvattennivåobservationer. Från december 2002 har nivåregistreringen med dataloggers skett (med en upplösning på 60 minuter) i 5 grundvattenrör, i Bengtsbrohöljen och Lelång, se figur 7.3.

Inducerad nivåförändring

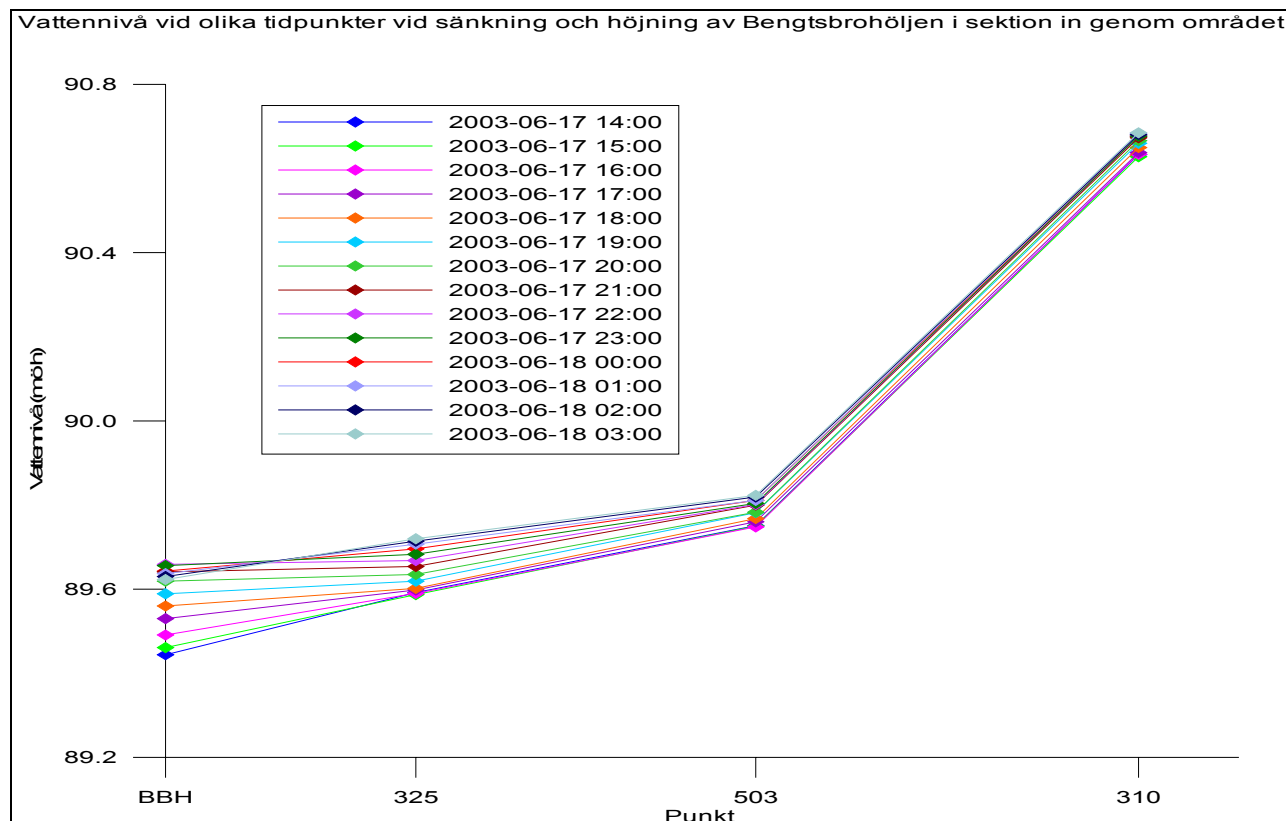
I juni 2003 inducerades en avsiktlig kortvarig nivåförändring av Bengtsbrohöljen, i nära samarbete med Dalslands kanal AB, Bengtsfors kraft och industri AB, kraftstationen i Billingsfors samt Bengtsfors kommun. Avsikten var att höja nivån i Bengtsbrohöljen med 20-25 cm från kl 15.00 17/6 och därefter sänka nivån i motsvarande grad kl 10.00 19/6. Nivåförändringen styrdes av dammen vid Bengtsbrohöljens utlopp genom kanalbolagets försorg. Markområdet instrumenterades med totalt 15 automatiska tryckgivare.

I figur 7.9 visas grundvatten- och sjönivåer under testet tillsammans med nederbörd och lufttemperatur. Figuren visar att i stort sett alla grundvattenrör påverkas av nivåförändringen. Denna påverkan innebär dock inte att strömningen är riktad från sjön utan att sjön istället dämmer det naturliga grundvattenflödet vid en höjning av sjönivån.



Figur 7.9 Grundvatten- och sjönivåer under nivåförändringstest juni 2003.

Figur 7.10 visar nivåerna i en transekt genom området, från sjön och österut. Figuren illustrerar tillsammans med figur 7.9 att en strömning från sjön och mot markområdet inte kan observeras i något av grundvattenrören. I alla observationspunkterna är strömningen riktad mot sjön.



Figur 7.10 Grundvattennivåer i en transekt från sjön och österut.

Modellering

En transient modellering av effekter på flödesriktning av nivåförändringar i Höljen har utförts, se bilaga 4 för en fullständig beskrivning. Modelleringen visar att en snabb förändring av sjönivån med 0,3 m endast orsakar omvänd flödesriktning i området allra närmast sjön (någon eller ett par meter från sjön). Inflödet av sjövattnen i detta område är också mycket begränsat, totalt någon eller några m³, och därmed i storleksordningen promille av det årliga naturliga flödet.

8. SLUTSATSER

8.1. MARK

Naturliga jordarter

De naturliga jordarterna i området består framförallt av morän. Moränen är sandig grusig men även siltig morän förekommer över hela området i skikt. Sand, grusig sand och sandigt grus bedöms förekomma som naturliga avlagringar framförallt på Eka-tomten i anslutning till kraftverksdammen och ner mot gamla fabriksbyggnaden. En sandavlagring finns även söder om undersökningsområdet vid KÅPI.

I moränen förekommer en hel del sten och block men även sand och grusskikt samt även mycket siltiga skikt. Utifrån kornstorleksanalyserna blir moränen mer finkornig med djupet och i och med det, tätare.

Fyllning

Fyllning täcker i stort sett hela undersökningsområdet. Fyllningens sammansättning varierar men består huvudsakligen av sandig grusig fyllning. Fyllningen är rik på sten och block. Området vid Vexia, Ångbåtsbryggan och i ett stråk längs Eka-tomtens strandkant bedöms vara särskilt rik på sprängsten. Från Eka-udden och i ett stråk söder ut innanför en öppen lagerbyggnad finns fyllning med organiskt material bestående av bark och sågspån. Själva Eka-udden är utfylld med restprodukter från kloralkalitillverkningen och består till stora delar av ”vitt” och ”svart slam”. Detta slam har påträffats på flera ställen, t ex under den gamla fabriksbyggnaden och vid doppningsanläggningen.

Fyllningens djup varierar från över 7 m vid Ångbåtsbryggan och Vexia, ca 5 m vid Eka udden till någon halvmeter i de östra delarna av undersökningsområdet.

Jorddjup

Berg har påträffats på 10 m djup på östra sidan om Strömgatan. På Eka-tomten bedöms jorddjupet till berg vara mellan 20 m (Strömgatan) till 40 m i Bengtsbrohöljen. Vid sydöstra kanten av Bussgaraget kan berg påträffas på ca 2 m under markytan.

8.2. VATTEN

Ytvatten

Bengtsbrohöljen är en reglerad sjö och nivån styrs sommartid av båttrafikens behov. Korttidsvariationen av vattenståndet i sjön är normalt någon dm. Större variationer kan förekomma vid extrema flöden.

Inga större ytvattenflöden mynnar i sjön inom undersökningsområdet, bortsett från utloppet från Lelång till Höljen. Det finns ett litet dike i södra delen av området. Övrig ytvattenavrinning avleds via dagvattenledningar till Bengtsbrohöljen. Undantaget är Vexias dagvatten och vatten från tak som leds till två infiltrationsmagasin på fastigheten.

Ledningar

En sammanställning av befintliga ledningar inom undersökningsområdet visar att det finns ledningar och ledningsgravar som kan orsaka snabba vattentransporter på Eka-tomten. Detta gäller särskilt gamla dagvatten/spillvattenledningar från cellhallen till stenkistor med osäker lokalisering i utfyllnaden väster om 1920 års strandlinje samt ev. äldre kulvert från Lelång mot fabriksområdet. På

Vexias område sker dagvattendränningen och takavrinning till två infiltrationsmagasin. Ledningars inverkan på grundvattennivåer och flöden är osäker men det är möjligt att de ger en flackare lutning på grundvattenytan i dess närområde.

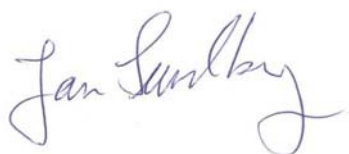
Grundvatten

Området karaktäriseras av heterogena hydrauliska förhållanden och den hydrauliska konduktiviteten varierar över ett relativt stort intervall, från ca 10^{-3} till 10^{-5} m/s för fyllning och ytlig morän, till ca 10^{-7} m/s för djupare liggande morän. Generellt kan sägas att genomsläppligheten i marken är högst nära strandkanten. Områden med lägre genomsläpplighet i fyllnadsmaterial finns centralt på Eka-tomten. Grundvattnets strömningsriktning är storskaligt riktat mot Bengtsbrohöljens strandkant men lokalt kan avvikelser förekomma på grund av skillnader i markens egenskaper. Från den gamla fabriksbyggnaden på Eka-tomten strömmar grundvattnet mot nordväst till kraftverkskanalen och mot sydväst i riktning mot Bengtsbrohöljen.

Grundvattenströmningen från undersökningsområdet (de förorenade områdena) till Bengtsbrohöljen bedöms uppgå till ca 21000 m³/år med ett bedömt osäkerhetsintervall om 14500-26000 m³/år. En stor del av detta flöde bedöms också strömma in i området från högre liggande partier. En ansevärd del, ca 8000 m³/år, bedöms induceras av nivåskillnaderna mellan Lelång och Bengtsbrohöljen. Osäkerheten i den modellerade flödesbedömningen är relativt stor eftersom känslighetsanalysen visar att grundvattennivåerna, som modellen kalibreras mot, är relativt okänsliga för förändring av infiltrationens storlek och därmed flödet.

Snabb nivåhöjning i Bengtsbrohöljen kan orsaka kortvarig inströmning av sjövattnen i området allra närmast strandkanten d v s någon eller några meter. Mängdmässigt är detta bidrag emellertid mycket litet, kanske några promille av det totala flödet, och man kan därför bortse ifrån detta.

Linköping, dag som ovan



Jan Sundberg



Elke Myrhede

REFERENSER

Rapporter i Eka-projektet

EKA 2002:2. Carling, M., Back, P-E., Myrhede, E. & Sundberg, J., 2003. EKA projektet i Bengtsfors. Föroreningssituationen i mark och grundvatten. Bengtsfors kommun.

EKA 2002:3. Sundberg, J., Arnér, M. & Östlund, P., 2003. Förorenings-spridning från EKA-området i Bengtsfors. Bengtsfors kommun.

Eka 2002:7. Resultat från markundersökningar inom EKA-området , Sammanställning av resultat från fältundersökningar och laboratorieanalyser.

EKA 2002:8. Provtagningshygien och arbetsmiljö. Bengtsfors kommun

Eka 2002:14. Kompletterande åtgärdsinriktad historisk inventering av EKA:s gamla industriområde

Övriga

Andersson, M. (2002): Miljöutredning inom fastigheten EKA 1. Flygfältsbyrå, FB Engineering AB.

Bengtsfors kommun Ledningskarta (renvatten, dagvatten och spillvatten)

Elert , M, Fanger G, Jones C, Bard, G, (2000): Förslag till efterbehandling av förorenat industriområde vid Bengtsbrohöljen, Bengtsfors kommun

Elert, M. & Fanger, G. (2001): Kompletterande undersökningar i Bengtsbrohöljen samt förslag till efterbehandling och kontrollprogram. Kemakta AR 2001-15

SGU (1867): Jord och bergartskarta Serie Aa35.

Sundberg, J. & Hammar, M. (1996): Föroreningssituationen i mark och sediment vid f.d. kloralkali-fabriken i Bengtsfors. Terratema AB.

Sundberg J, Hammar M, Ouacha M, Fällman A-M, Lindmark P, Burman F (1998): Kompletterande undersökning samt förslag till efterbehandlingsåtgärder. Statens geotekniska institut, dnr 2-9706-292.

Yngve Kvist Konstruktionsbyrå AB, 1982: Situationsplan över VS-anläggning för Buss och serviceanläggning vid GDG Biltrafik AB.

BILAGA 1
GEORADARMÄTNINGAR

MRM Konsult AB
Bo Löfroth
Uppdragsgivare: Geo Innova AB

Rapport
Datum: 2003-01-30
ID-nr: MRAP 03004

EKA-projektet Bengtsfors Georadarmätningar

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
2	Fältarbete	3
2.1	Tidpunkt och personal	3
2.2	Utförande	3
2.3	Omfattning	3
3	Tolkning och utvärdering	4
3.1	Allmänt	4
3.2	Mätning med 200 MHz antenn	4
3.3	Mätning med 500 MHz antenn	4
4	Resultat och kommentarer	5
4.1	Mätning med 200 MHz antenn	5
4.1.1	Fyllningens bedömda mäktighet	6
4.1.2	Områden med avvikande signaldämpning	6
4.2	Mätning med 500 MHz antenn	6
4.2.1	Tolkade ledningar och ledningsgravar	7

Bilagor

Ritning 01	Översikt mätlinjer 200 MHz antenn
Ritning 02	Översikt mätlinjer 500 MHz antenn
Ritning 03	Tolkat fyllningsdjup
Ritning 04	Anomalt penetrationsdjup
Ritning 05	Tolkade ledningar

1 Inledning

MRM Konsult AB har på uppdrag av Geo Innova AB utfört mätningar med georadar inom det starkt förorenade sk EKA-området i Bengtsfors. Syftet med mätningarna har i första hand varit att försöka kartlägga fyllnadsmassornas mäktighet samt att lokalisera gamla ledningar och ledningssträckningar inom området.

I samband med georadarmätningarna har MRM Konsult AB även utfört refraktionsseismiska mätningar för att bestämma djupet till berggrunden. Resultaten från dessa mätningar har redovisats i vår rapport MRAP 03003.

2 Fältarbete

2.1 Tidpunkt och personal

Georadarmätningarna utfördes under tiden 10 – 11 december 2002 av Bo Löfroth och Gustaf Lindqvist, MRM Konsult AB. Beställarens kontaktpersoner på platsen var Maria Carling och Elke Myrhede.

2.2 Utförande

Mätningarna genomfördes med georadarsystem RAMAC/GPR. I en första mätomgång användes 200 MHz antenn för att i möjligaste mån penetrera fyllnadsmassorna ned till naturlig mark. I en andra mätomgång, där syftet var att lokalisera ledningar, nyttjades 500 MHz antenn. Denna medger inte samma penetrationsdjup som 200 MHz antenn men har istället en väsentligt bättre upplösningsförmåga.

Mätningarna gjordes manuellt, d v s antennerna drogs för hand längs mätlinjerna. För längdmätning och trigging av instrumentet användes trådmätare (200 MHz) respektive mätjul (500 MHz).

2.3 Omfattning

Mätningarnas omfattning framgår av ritningarna 01 och 02.

Mätningen med 200 MHz antenn (ritning 01) omfattar 25 st linjer med en sammanlagd mätsträcka på ca 2325 m. Linjernas start- och slutpunkter är inmätta genom beställarens försorg och betecknade med A respektive B på översiktskartan.

Mätningen med 500 MHz antenn (ritning 02) omfattar 65 st linjer till en sammanlagd längd av ca 2435 m. Linjernas start- och slutpunkter är ej inmätta, istället har de m h a stegning från kända punkter som hushörn etc markerats på underlagskartan i samband med mätningen. Mätlinjernas start är betecknade med A och slut med B.

3 Tolkning och utvärdering

3.1 Allmänt

Mätresultat från georadarmätningar har formen av s k radargram, vilka kan liknas vid utskriften från ekolod. Radargrammet ger en bild av hur radarvågorna påverkas och reflekteras i marken. Reflexbilden ger i sin tur information om markens utseende och sammansättning i djupled.

I och med att mätdata lagras digitalt finns möjligheter att i efterhand manipulera data genom olika former av signalbehandling. Behandlingen består främst av kompensation för den dämpning av signalstyrkan som alltid tilltar med ökande djup. I viss mån kan även oönskade effekter - störningar och signalbrus – sorteras bort och på så sätt renodla registreringarna.

Radarregistreringar visar primärt ankomsttider för ekon från olika gränssytor i marklagren och inte direkta djup. För att utifrån ankomsttiderna beräkna djupen till olika gränssytor krävs att radarvågornas utbredningshastighet i marken är känd. Denna hastighet varierar i olika markslag och är till stor del beroende av vattenförhållanden och finjordshalt. För översiktliga undersökningar används normalt tumregler för hastigheter i olika markslag. Kontrollsonderingar i utvalda punkter kan ge noggrannare värden på rådande hastigheter och därmed även en bättre noggrannhet i djupberäkningarna.

3.2 Mätning med 200 MHz antenn

Bearbetningen av resultaten har i första hand varit inriktade på att beräkna fyllnadsmassornas mäktighet ned till naturlig mark, men även på att söka särskilja områden med avvikande ”radarsignatur”, främst i form av anomalt hög eller låg signaldämpning. Signaldämpningen är generellt beroende av det undersökta jordmaterialets sammansättning och kan i detta fall möjligen korreleras till fyllnadsmassornas art och/eller grad av förorening.

För djupberäkningen har två olika utbredningshastigheter ansatts. Dessa är 125 m/us för delvis tjälat fyllnadsmaterial ovan grundvattenytan respektive 85 m/ us för fyllnadsmaterial under grundvattnet. Värdena är erfarenhetsbaserade. För djupberäkningarna har vidare antagits att grundvattenytan genomgående ligger på ca 2,3 – 2,5 djup under markytan.

3.3 Mätning med 500 MHz antenn

Tolkningen av resultaten har varit inriktade på att urskilja karaktäristiska ekon från rör eller ledningar och på sådana strukturer som kan tolkas härröra från grävda ledningsgravar. Djupträngningen med 500 MHz antenn ligger i storleksordningen 2 – max 2,5 m, d v s ungefärligen ned till grundvattenytans nivå.

4 Resultat och kommentarer

Utvärderade resultat redovisas främst på bifogade ritningar 03 – 05 i skala 1:1000. Nedan ges kortfattade kommentarer till tolkningen.

4.1 Mätning med 200 MHz antenn

Registreringarna från dessa mätningar präglas allmänt av en jämförelsevis hög signaldämpning. Detta får dock anses som normalt och något man bör förvänta sig vid radarmätningar på förorenade fyllnadsmassor. Signaldämpningen medför att ekon i regel är mycket svaga på djup som är större än ca 4 m. Detta kan jämföras med radarmätning på naturlig moränmark där normalt penetrationsdjup ligger i storleksordningen 6 – 8 m.

Eko från grundvattenytan kan endast urskiljas tydligt i de mätlinjer som ligger nära stranden, dvs i linjerna 0, 12 och i viss mån i linje 21. För djupberäkningar har grundvattenytan ansatts till ett djup av ca 2,3 – 2,5 m i övriga mätlinjer.

På registreringarna förekommer ofta ekon från väggar och tak på närliggande byggnader. Dessa ekon är dock lätta att särskilja och det bedöms inte föreligga någon risk att sådana reflexer felaktigt tolkats som reella.

I figur 4.1 nedan visas ett exempel på registrering från linje 1 i den nordvästra delen av EKA-tomten.

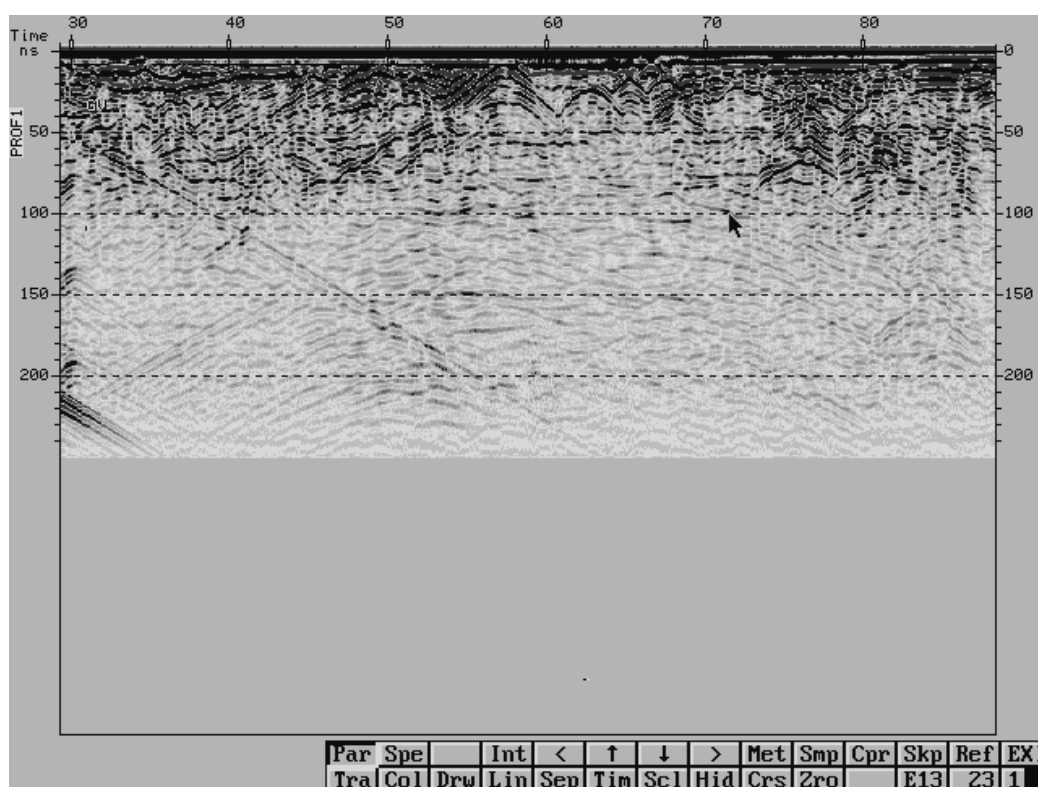


Fig 4.1. Registrering från 200 MHz mätning i linje 1. Längdskalan syns i bildens överkant, djupskalan i nanosekunder. Luftburna ekon från byggnader syns främst i den vänstra delen av bilden, medan tolkat eko från fyllningens underkant skönjs strax ovanför pilen vid ca 70 m. Rådata är kraftigt förstärkta.

4.1.1 Fyllningens bedömda mäktighet

Fyllningens tolkade/beräknade mäktighet i undersökningsområdet redovisas på ritning 03. Det bör här poängteras att fyllningens gräns mot underliggande naturlig mark sällan framträder som ett tydligt sammanhängande eko i mätlinjerna, vilket även framgår av exemplet i figuren ovan. Den eftersökta gränsen är således ofta svårtolkad och längs delar av flera mätlinjer har gränsen ej kunnat uttolkas. Den bild som redovisas i ritning 03 är således inte bara uppbyggd av interpolation mellan mätlinjerna utan i viss mån även av interpolering mellan tolkade delavsnitt i samma linje.

Bilden i ritning 03 skall således inte ses som en djupangivelse med stor noggrannhet utan bör snarare betecknas som en rimlig till god bedömning av fyllningens mäktighet. De felkällor som kan orsaka avvikelser från den sanna mäktigheten är dels antagandet om utbredningshastigheten i den vattenmättade fyllningen och dels den tolkade gränsens läge på registreringarna.

4.1.2 Områden med avvikande signaldämpning

Även om signaldämpningen är påtaglig inom området som helhet förekommer vissa delar med lokalt starkare eller svagare dämpning. Dessa områden redovisas på ritning 04.

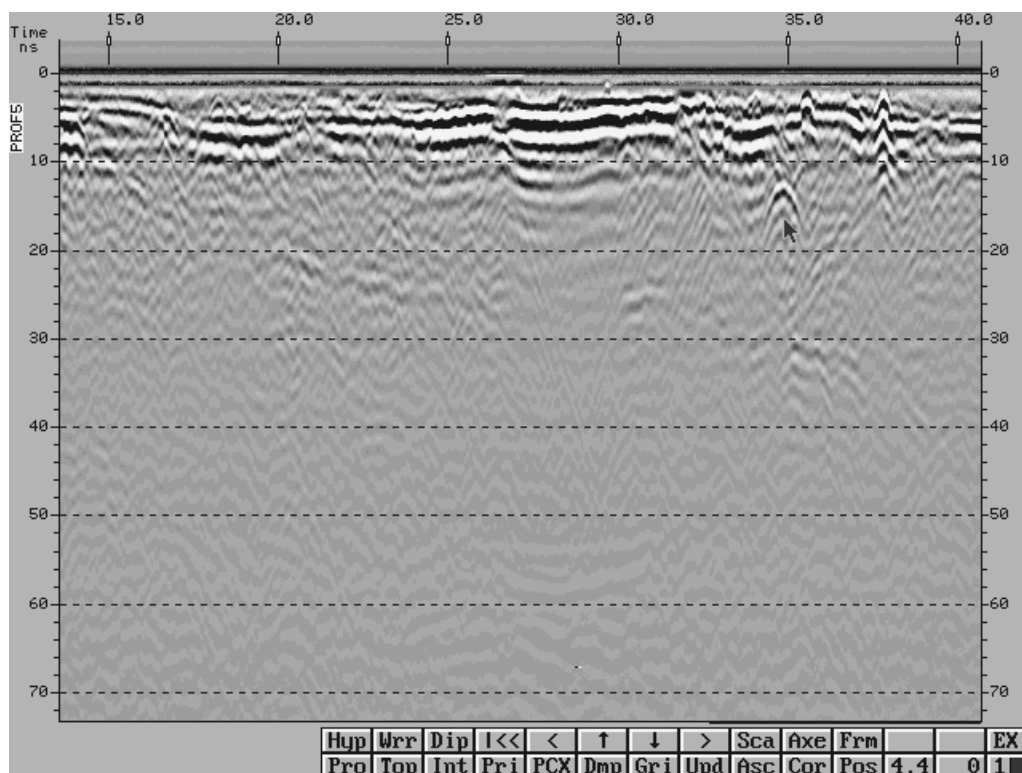
Anomalt hög signaldämpning förekommer inom 3 st strandnära områden på EKA-tomten, samt inom en mindre yta strax väster om Volvos byggnad. Dessutom förekommer ett större område med förhöjd signaldämpning omkring bussgaraget i den södra delen av området. Vad som orsakar den förhöjda dämpningen är svårt att avgöra – det kan avspegla förändringar i fyllnadsmassornas materialsammansättning och/eller eventuellt sammankopplas med föroreningarnas fördelning.

I den lilla viken vid bryggan förekommer ett område med lokalt starkt förhöjd djupkänning. Här bedöms även fyllningen vara som mäktigast, se ritning 03. En god djupträngning är ofta relaterad till grova och permeabla jordar. En rimlig bedömning är således att fyllningen i denna del är sammansatt av grovt friktionsmaterial som tillåter en god vattengenomströmning.

4.2 Mätning med 500 MHz antenn

Som tidigare nämnts har registreringarna från dessa mätningar främst tolkats med avseende på ekon från ledningar eller från strukturer i marken som kan tolkas härröra från ledningsgravar. Ekon från ledningar ger upphov till väldefinierade, hyperbolformade ekon som ofta är lätt igenkännbara. Ligger ledningarna inbäddade i en heterogent sammansatt jord, som t ex fyllnadsmassor, kan dock ekona komma att ”drunkna” i snarlika diffraktioner från betongrester, metallföremål och annat som kan finnas i fyllningen.

På registreringarna har ett flertal ekon, som verkligen bedöms härröra från ledningar, kunnat urskiljas. Ett exempel på sådan registrering redovisas i figur 4.2 på omstående sida. Registreringen är hämtad från linje 5 i den centrala delen av EKA-tomten.

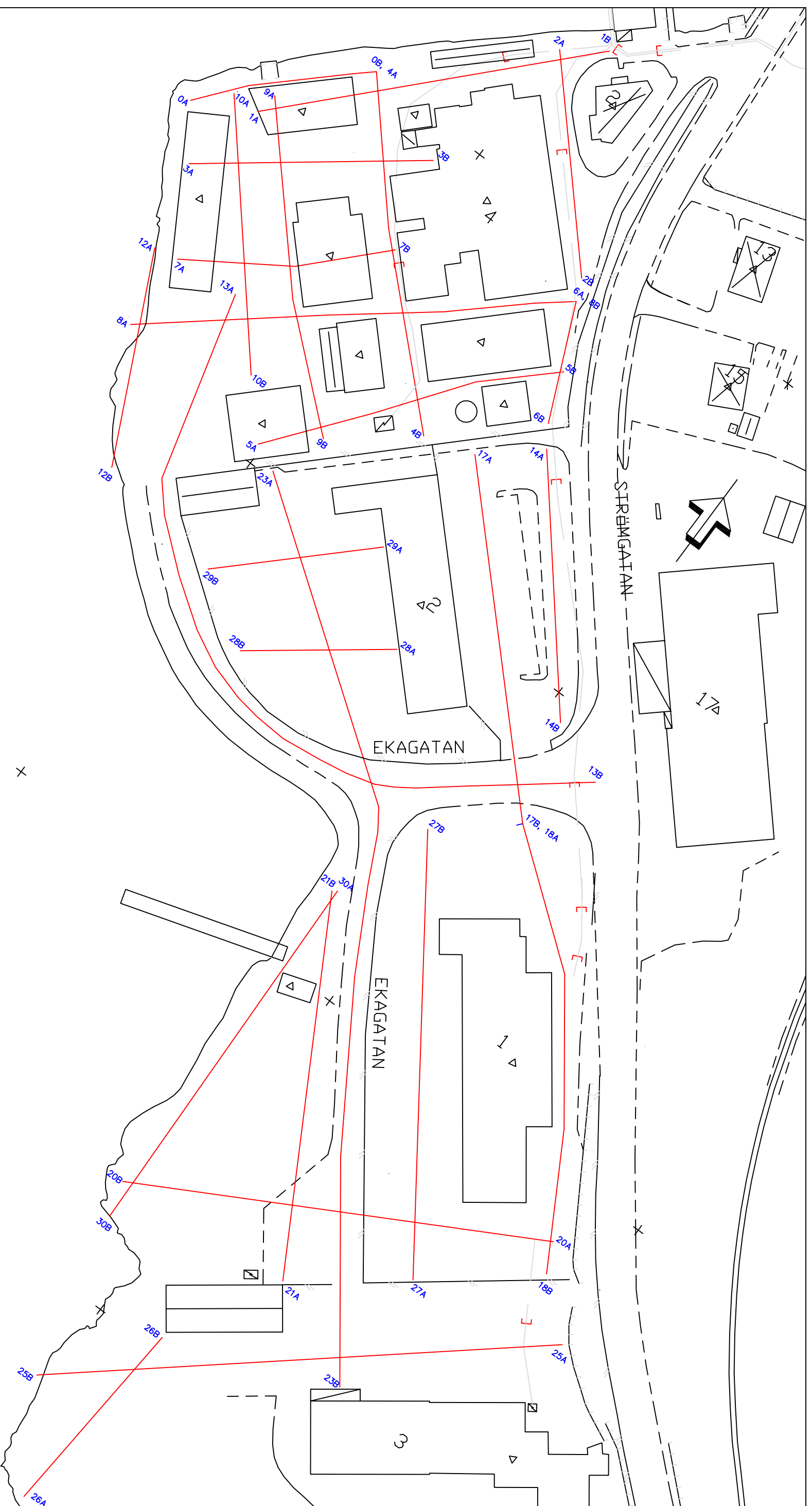


Figur 4.2. Registrering från 500 MHz mätning i linje 5. Tydligt hyperbolformat eko från ledning förekommer strax ovan pilen vid längdmåttet 35 m. Ledningen förefaller att ligga grunt, på ett djup motsvarande ca 1 m.

4.2.1 Tolkade ledningar och ledningsgravar

De registrerade ekon som bedöms härröra från ledningar finns lägesangivna på ritning 05. En indelning har gjorts i ekon som bedöms säkra respektive otydliga/mindre säkra. På ritningen har också angivits lägen för tolkade ledningsgravar samt gjorts ett försök att sammanbinda ekon till sannolika ledningssträckningar.

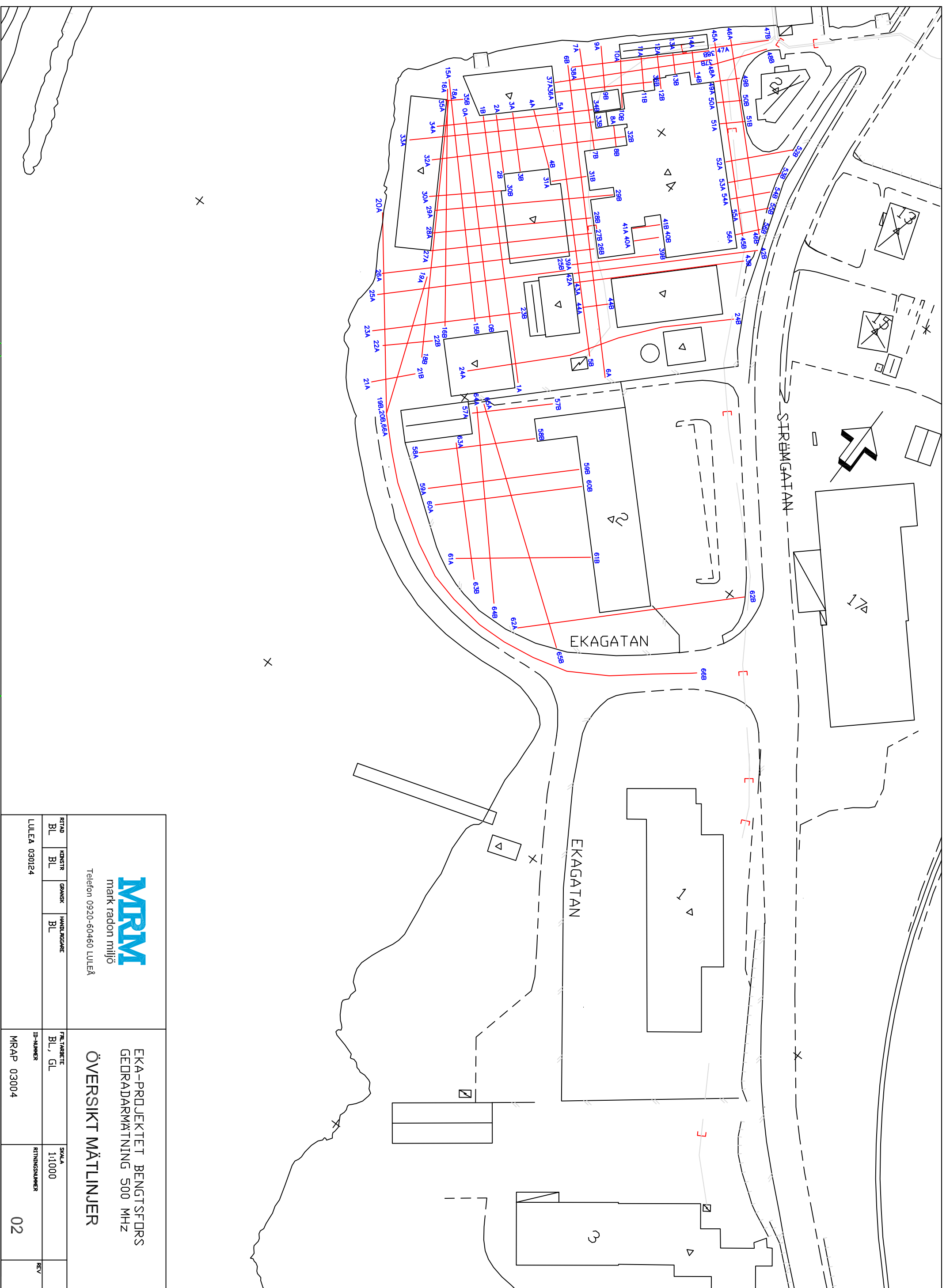
Gemensamt för nästan samtliga tolkade ekon är att de ligger förhållandevis grunt, d v s på djup som är mindre än 1,5 – 2 m. Vid mätningen med 200 MHz antenn påträffades ett fåtal djupare belägna ledningar (sannolikt vid eller under grundvattennivån) och dessa är markerade med grön färg på ritningen. Ett undantag utgörs av ekot strax öster om bussgaraget som sannolikt ligger grunt.



MRM
mark radon miljö
Telefon 0920-60460 LULEÅ

EKA-PROJEKTET BENGTSSFÖRS
GEDRADARMÄTNING 200 MHZ
ÖVERSIKT MÄTLINJER

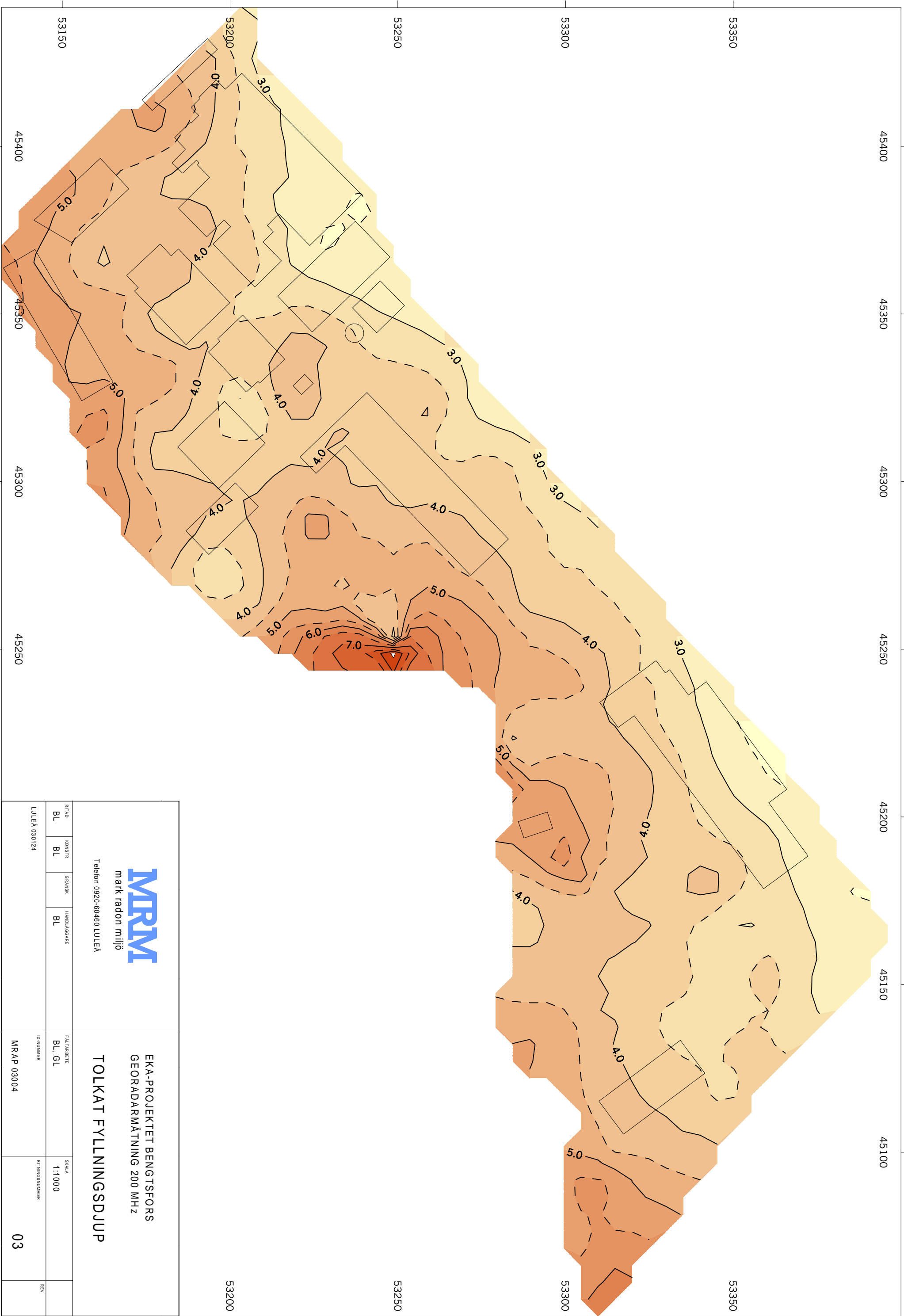
RITAD	KONSTR	GRANSK	HANDLAGARE	FIL. TÄBETTE	SKALA	REV
BL	BL		BL	BL, GL	1:1000	
LULEÅ 030124				ID-NUMMER	RITNINGSNUMMER	
				MRAP 03004	01	



MRM
mark radon miljö
Telefon 0920-60460 LULEÅ

EKA-PROJEKTET BENGTSSFÖRS
GEDRADARMÄTNING 500 MHZ
ÖVERSIKT MÄTLINJER

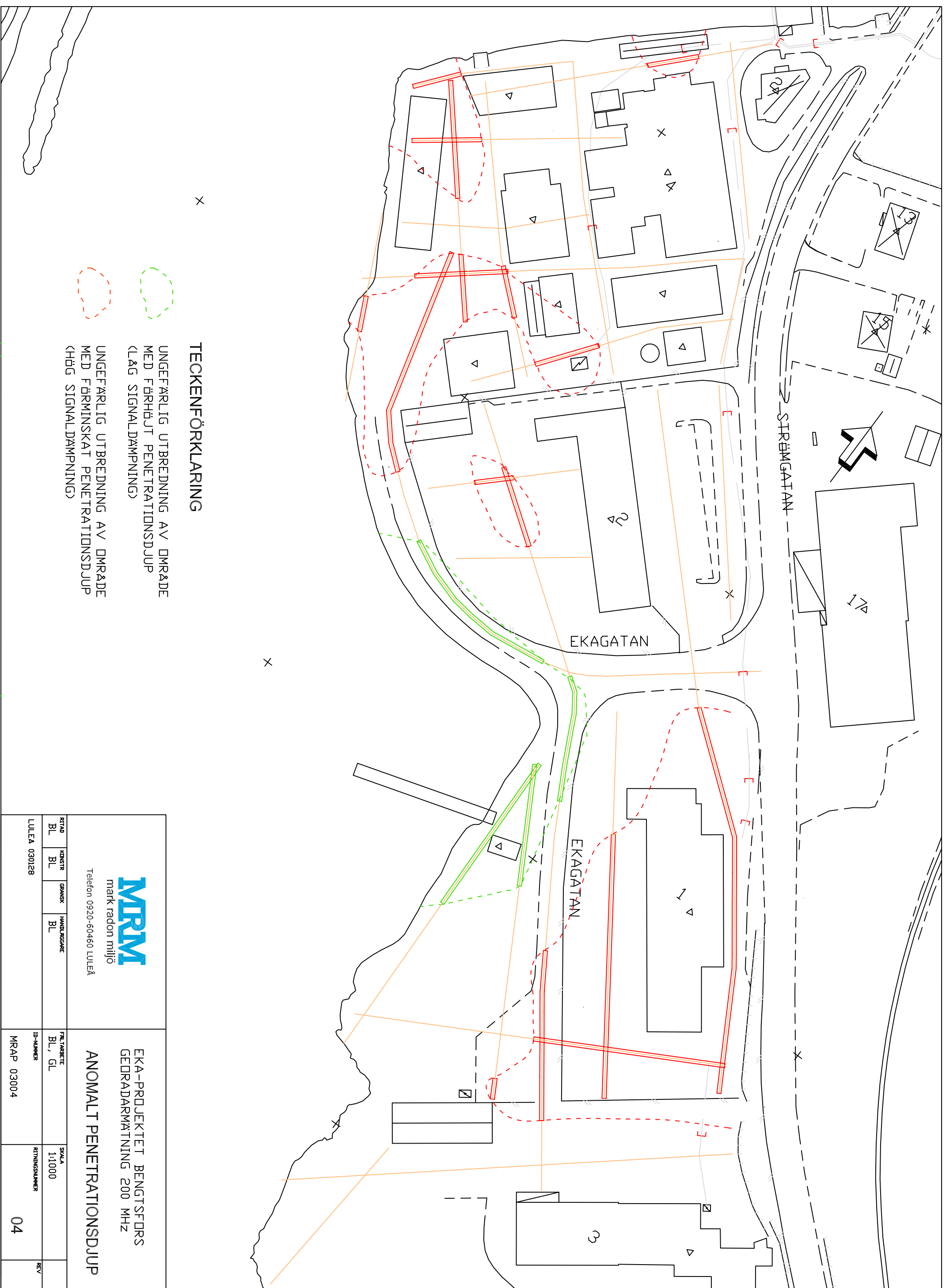
RITAD	KONSTR	GRANSK	HANDLAGARE	FIL, TABELET	SKALA	REVI
BL	BL		BL	BL, GL	1:1000	
LULEÅ 030124				ID-NUMMER	RIKTNINGSNUMMER	
				MRAP 03004	02	



mark radon miljöö
 Telefon 0920-60460 LULEÅ

EKA-PROJEKTET BENGTSFORS
 GEORADARMÄTNING 200 MHZ
TOLKAT Fyllningssdjup

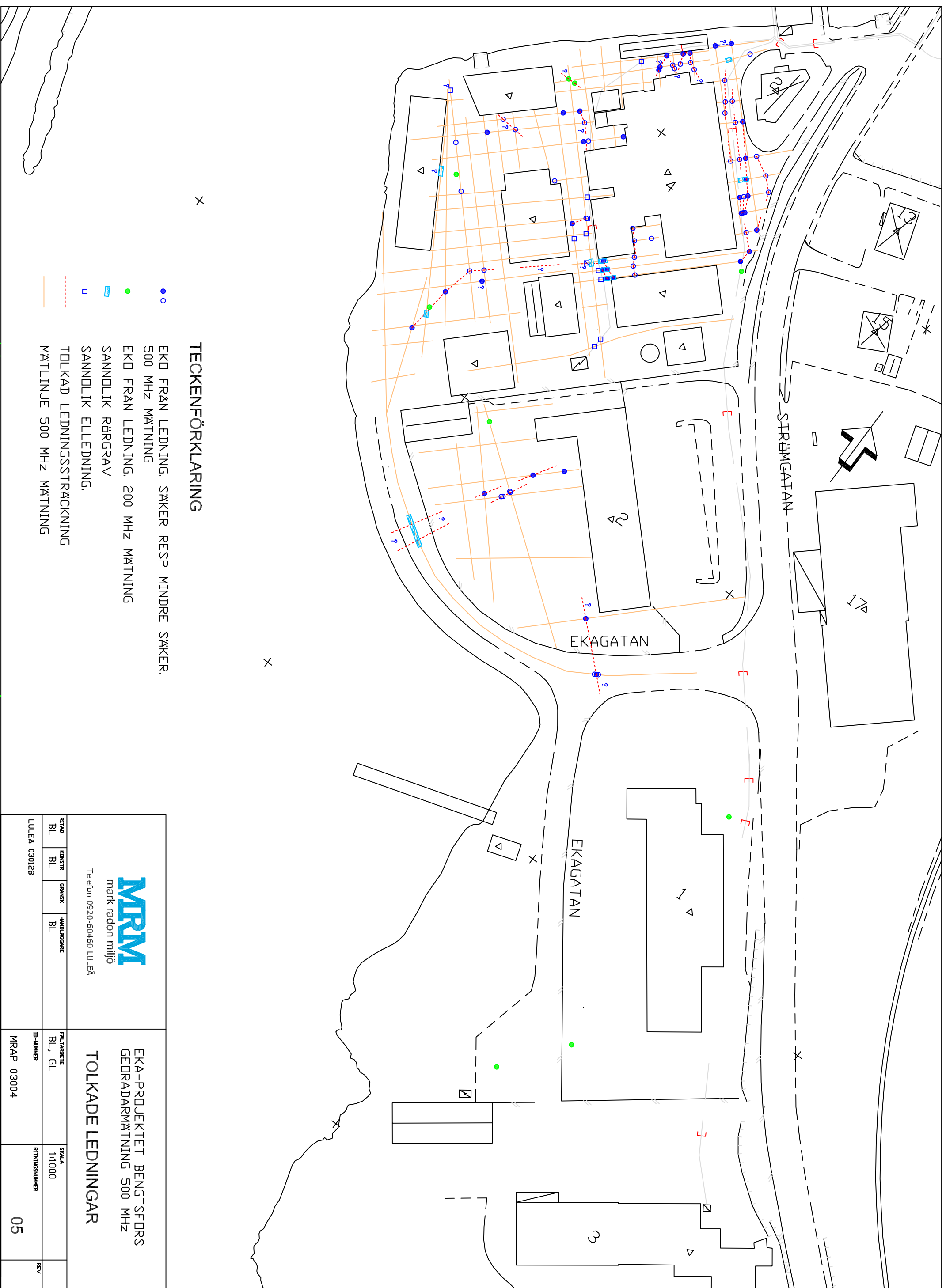
RITAD		KONSTR		GRANSK		HANDLAGGARE		FÄLTARBETE		SKALA	
BL	BL	BL	BL	BL	BL	BL, GL	BL, GL	1:1000	1:1000		REV
LULEÅ 030124								MRAP 03004		RITNINGNUMMER 03	



TECKENFÖRKLARING


- UNGEFÄRLIG UTBREDDNING AV OMRÅDE MED FÄRRHÖJT PENETRATIONSdjUP (LÅG SIGNALDÄMPNING)
- UNGEFÄRLIG UTBREDDNING AV OMRÅDE MED FÄRRMINSKAT PENETRATIONSdjUP (HÖG SIGNALDÄMPNING)

 MRM mark radon miljö Telefon 0920-60460 LULEÅ				ANOMALT PENETRATIONSdjUP EKA-PROJEKTET BENGTSFORS GEDRADARMÄTNING 200 MHZ	
LULEÅ 030128				FÄLTADE BL, GL	SKALA 1:1000
				ID-NUMMER MRAP 03004	RITINGSNUMMER 04
				REV	



TECKENFÖRKLARING

- EKD FRÅN LEDNING. SÄKER RESP MINDRE SÄKER.
500 MHZ MÄTNING
- EKD FRÅN LEDNING. 200 MHZ MÄTNING
- SANNDLIK RÖRGRÄV
- SANNDLIK ELLEDNING.
- TOLKAD LEDNINGSTRÄCKNING
- MÄTLINJE 500 MHZ MÄTNING

 mark radon miljö Telefon 0920-60460 LULEÅ				TOLKADE LEDNINGAR EKA-PROJEKTET BENGTSFORS GEDRADARMÄTNING 500 MHZ	
RITAD	KONSTR	GRANSK	HANDLAGGARE	FÄLTADE	SKALA
BL	BL		BL	BL, GL	1:1000
LULEÅ 030128				ID-NUMMER	REVISNINGSNUMMER
				MRAP 03004	05
					REV

BILAGA 2
SEISMISKA MÄTNINGAR

MRM Konsult AB
Gustaf Lindqvist
Uppdragsgivare:
Geo Innova AB
Linköping

RAPPORT
Datum: 2003-01-17
ID-nr:MRAP 03003

EKA-projektet Bengtsfors

Seismiska mätningar

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		<u>Sidan</u>
1	INLEDNING	1
2	DE SEISMISKA MÄTNINGARNA	1
3	KORT PRESENTATION OCH DISKUSSION AV RESULTAT	1

BILAGA

Ritning 1	Plan, seismiska mätningar
Ritning 2	Seismisk sektion, profiler 1, 2
Ritning 3	Seismisk sektion, profiler 3, 4

1 INLEDNING

På uppdrag av Geo Innova AB har MRM Konsult AB utfört seismiska mätningar inom och intill EKA-området i Bengtfors. Syftet med mätningarna var att bestämma djupet till berggrunden, olika jordlagers mäktighet och i förekommande fall fyllningens mäktighet. I samband med de seismiska mätningarna utförde MRM också mätningar med georadar för att i första hand studera fyllningens utbredning, lageruppbyggnad och mäktighet. Radarmätningar utfördes också för att om möjligt lokalisera gamla ledningar inom industriområdet. Radarmätningarna behandlas i en egen rapport.

Jan Sundberg från Geo Innova AB, Linköping, var vår beställare. Vår kontaktperson under fältarbetet var Maria Carling från Geo Innova AB.

2 DE SEISMISKA MÄTNINGARNA

De seismiska mätningarna utfördes under vecka 50, 2002. Mätprofilerna markerades av MRM med stickor var 10:e meter. Höjderna längs profilerna är tagna ur befintligt kartmaterial och inmätningar av start- och stoppunkter för linjer till georadarmätningen. Dessa inmätningar ombesörjdes av beställaren.

De seismiska mätningarna utfördes med instrumentet Terraloc Mark 3. Avståndet mellan geofonerna var 5 m och avståndet mellan skottpunkterna var normalt 25 m. De skott som inte kunde placeras i vatten laddades i borrhål på cirka 1.5 m djup. Borrningarna ombesörjdes av beställaren. De seismiska mätningarna omfattar 4 profiler med en sammanlagd längd av 370 m.

3 KORT PRESENTATION OCH DISKUSSION AV RESULTAT

Läget av mätta profiler framgår av ritning 1. De seismiska sektionerna presenteras i ritningar 2-3. Sektionernas längdskala är 1:500 och höjdskalet är 1:200. Jorddjupen och topografin är alltså överdrivna med en faktor 2,5.

Tjäle försvårade mätningarna framför allt längs profil 3 (P3) och delar av P2. Det är normalt svårt att få bra signaler genom fyllning. Ljudhastigheten i fyllning är låg och ljudhastigheten i det tjälade ytskiktet är hög. Det betyder att de signaler från ett skott som tagit vägen genom tjälen döljer de senare ankommande signalerna från fyllning och ytligare naturliga jordlager.

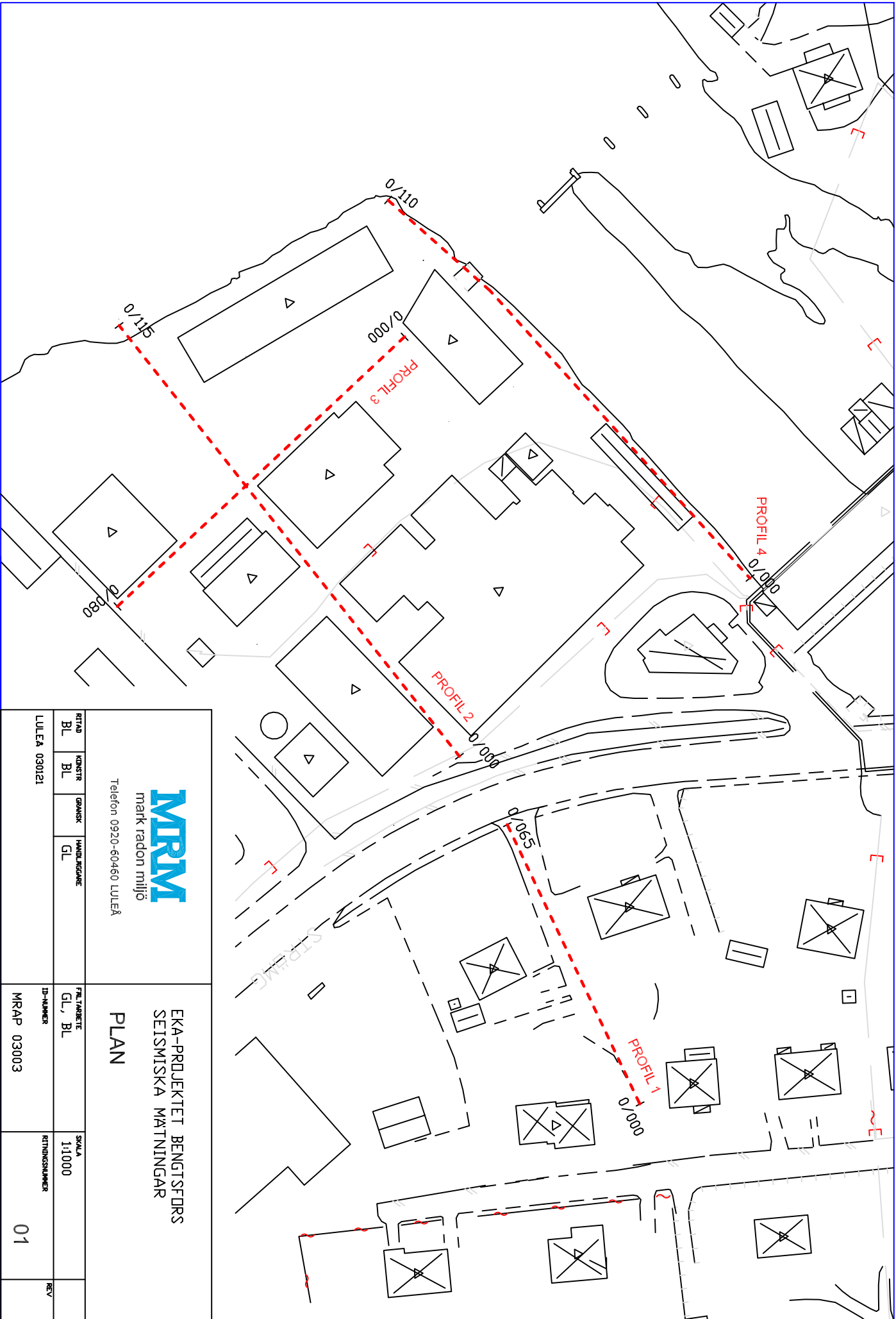
P1 börjar vid gräsmattskanten till parkeringen tillhörande Torsellgatan 10. Profilen följer sedan den lilla gatan (utan namn) ner till nordöstra kanten av Strömgatan. Jorddjupet är litet i början och ökar till ca 18 m i slutet av profilen. Ljudhastigheterna i jorden tyder på morän som kan vara sandig-grusig. Eventuellt kan det finnas en svaghetszon i berggrunden vid längdmätning 50 m.

P2 utgör en ungefärlig förlängning av P1, inom staket till industriområdet. Bergets nivå är drygt 70 möh utefter profilens första 30 meter. Det betyder att bergnivån faller snabbt mellan slutet av P1 och början av P2. Vid längdmätning 40 m blir det

återigen djupare och bergets nivå i slutet av profilen är nere under 60 möh. Det yttligaste jordskiktet med ljudhastigheter i intervallet 500-1000 m/s kan i profilens första del vara dränerad naturlig mark och i den senare delen torde det vara fyllning med till stor del organiskt material. Ljudhastigheter i intervallet 1300-1500 m/s är typiska för sand/finsand. Materialet inom skiktet närmast berg torde vara sandig/grusig morän. I profilens förlängning och ca 50 m ut från stranden till Bengtsbrohöljen är jorddjupet 35-40 meter d v s i samma storleksordning som vid strandkanten.

P3 börjar på planen framför en nybyggd lagerlokal. Profilen korsar P2 under ungefär rät vinkel och slutar sedan vid stängslet mot bilhandeln. Jorddjupet är drygt 35 m i profilens början och cirka 30 m vid dess slut. Djupet i profilens riktning och under kraftverkets utloppskanal kan uppskattas till ca 37. I profilens förlängning och ca 40 m från dess slut kan djupet uppskattas till ca 38 m. Det betyder att det verkar bli djupare i den riktningen. Vad som sagts om ljudhastigheten i olika jordskikt längs profil 2 kan gälla även för denna profil. Eftersom tjälen var som mest besvärlig längs P3 är osäkerheten relativt stor när det gäller fyllningens och även sandens tjocklek.

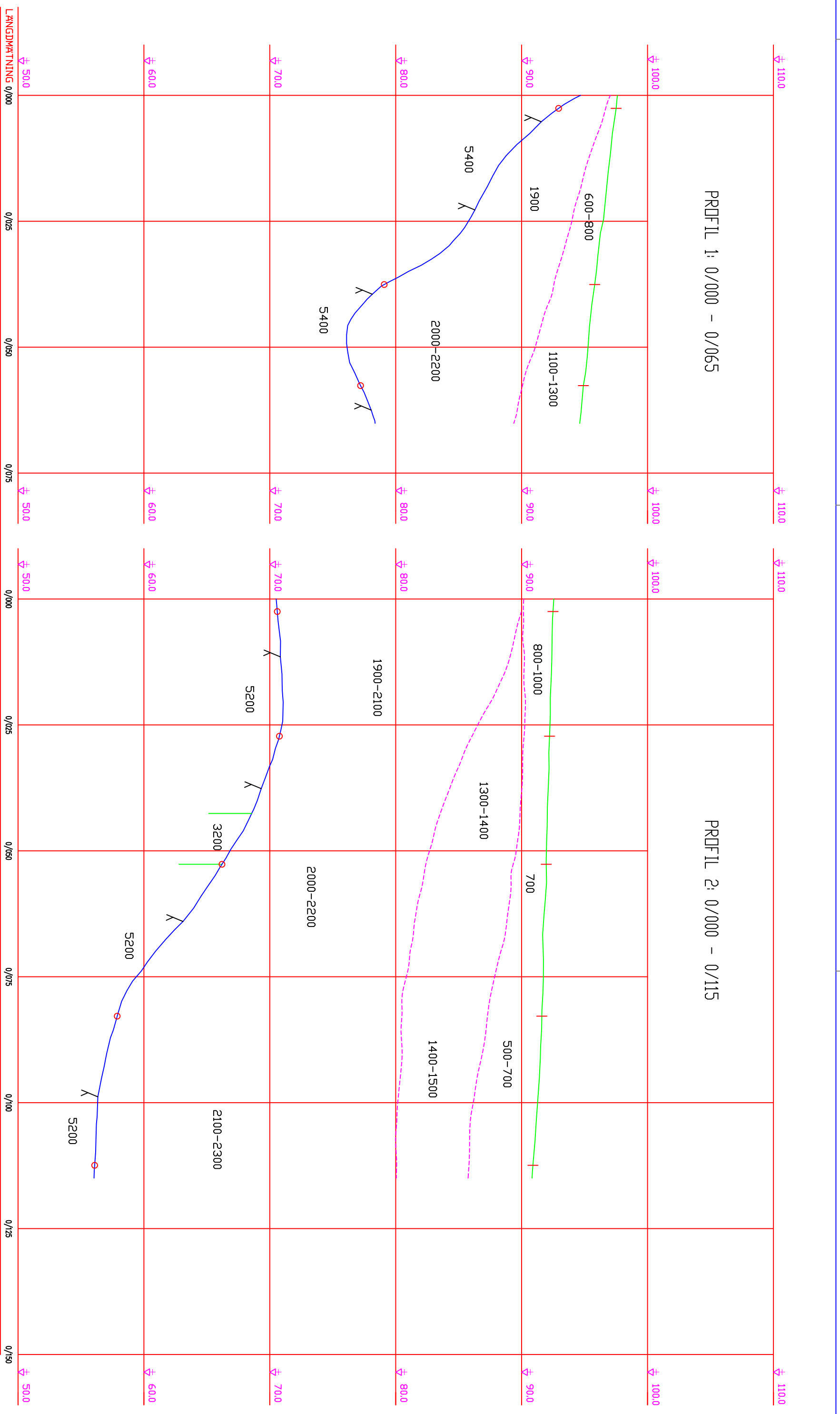
P4 börjar ca 3 m från en stenmur vid kraftverket. Den följer vattnet i utloppskanalen så nära som det var möjligt att arbeta utan att ramla i. Jorddjupet i profilens början är uppskattat till 28 m och i profilens slut till 44 m. I profilens förlängning ca 60 m ut i vattnet i uppskattas djupet vara drygt 40m.




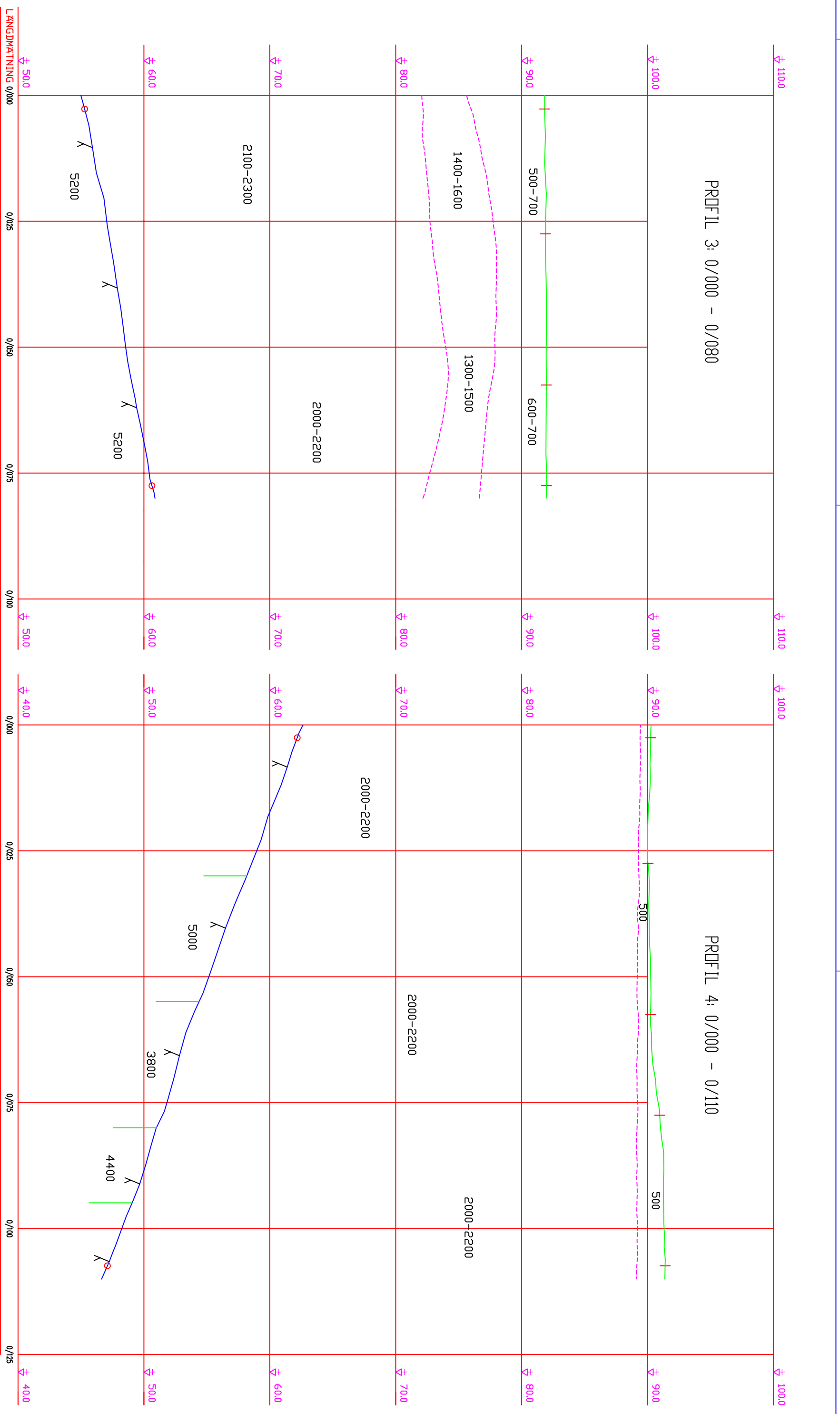
MRM
 mark radon miljö
 Telefon 0920-60460 LULEÅ


EKA-PROJEKTET BENIGTSFORS
 SEISMISKA MÅTNINGAR
PLAN

RTTAD	KONSTR	GRANSK	HANDLINGSÄRE	FILTÄBRETTE	SKALA	REV
BL	BL		GL	GL, BL	1:1000	
LULEÅ 030121				ID-NUMMER	RITINGSNUMMER	
				MRAP 03003	01	



 mark radon miljo Telefon 0920-60460 LULEÅ				EKA-PROJEKTET BENGTSFORS SEISMISKA MÅTNINGAR PROFIL 1 & PROFIL 2	
RTID	DRÖM	SKISS	ANSLUTNING	PL. VÄRDE	SKALA
GL	SS		GL	BL, GL	L 1500 H 1200
LULEÅ 030121				DR. NR	KONTROLLNR
				MRAP 03003	02



 mark radon mljjo Telefon 0920-60460 LULEÅ				EKA-PROJEKTET BENGTSFORS SEISMISKA MÅTNINGAR	
PROFIL 3 & PROFIL 4				SÅLA L 1500 H 1200	
FÖRSTÄMSEL GL	RÄTTIGHET SS	SÄLJARE GL	FÖRSTÄMSEL BL, GL	SÄLJARE MRAP 03003	KONTAKTSYMBOL 03
LULEÅ 030121			MRAP 03003		

BILAGA 3
DOKUMENTATION AV STRANDLINJE

**Bilder på stranden från ångbåtsbryggan mot kraftverket,
nummer enligt ritning**



Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4



Bild 5



Bild 24



Bild 25



Bild 22



Bild 20



Bild 8



Bild 9



Bild 10



Bild 11

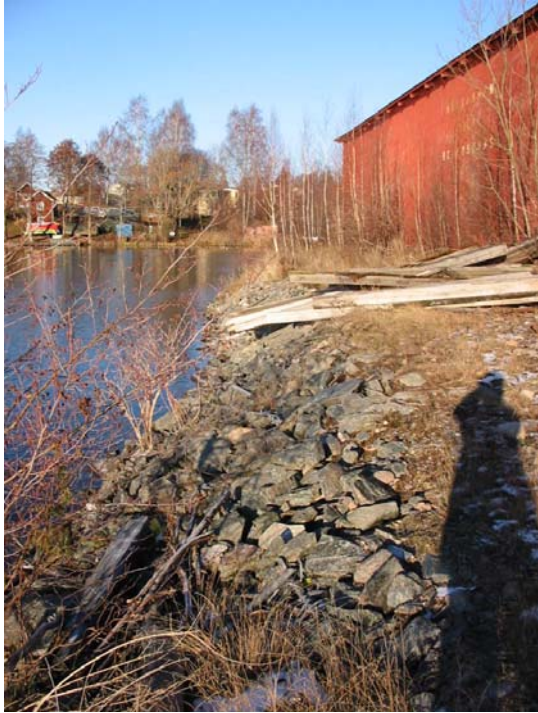


Bild 6



Bild 7



Bild 12



Bild 13



Bild 14



Bild 15



Bild 16



Bild 17



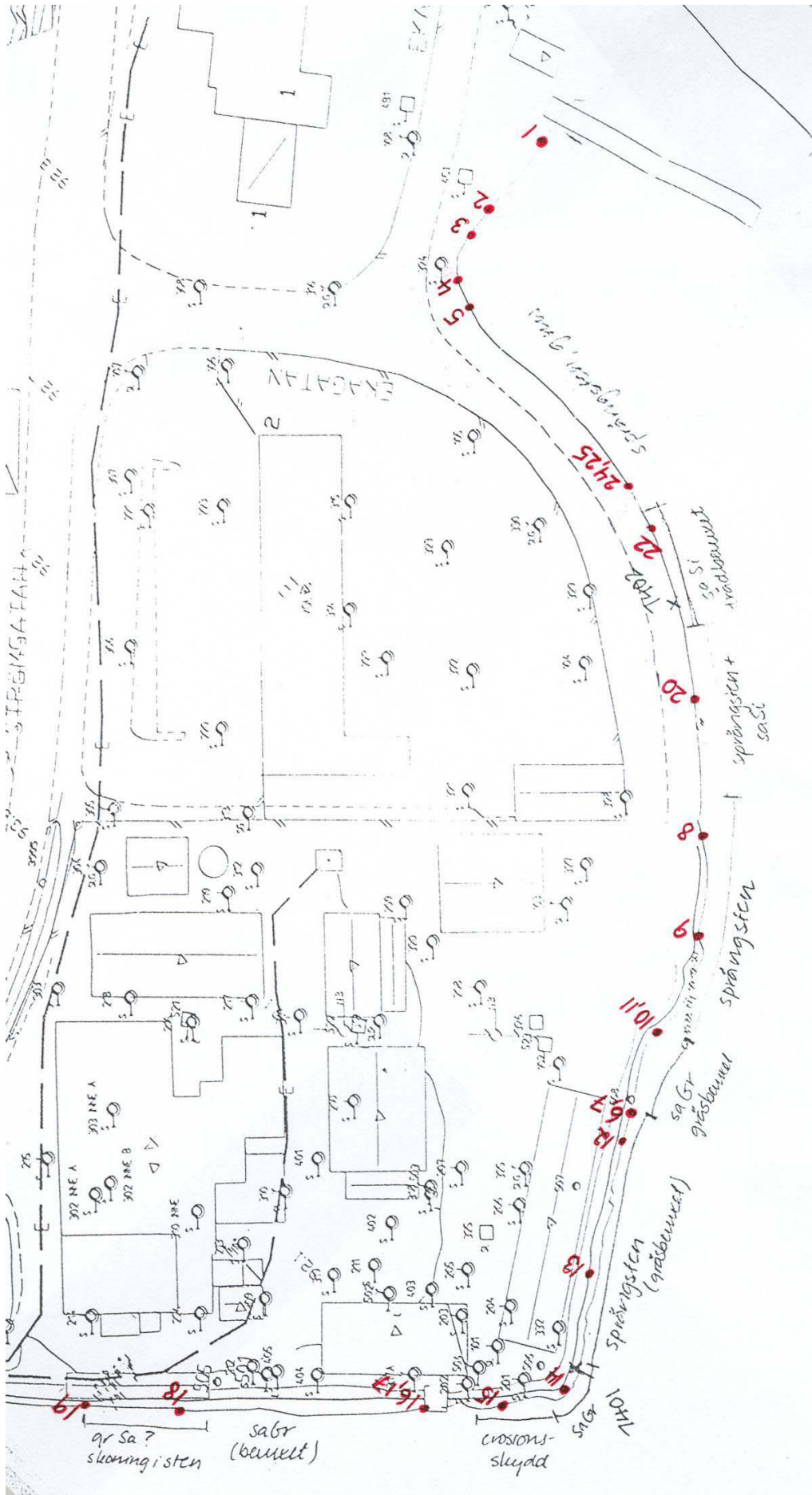
Bild 18



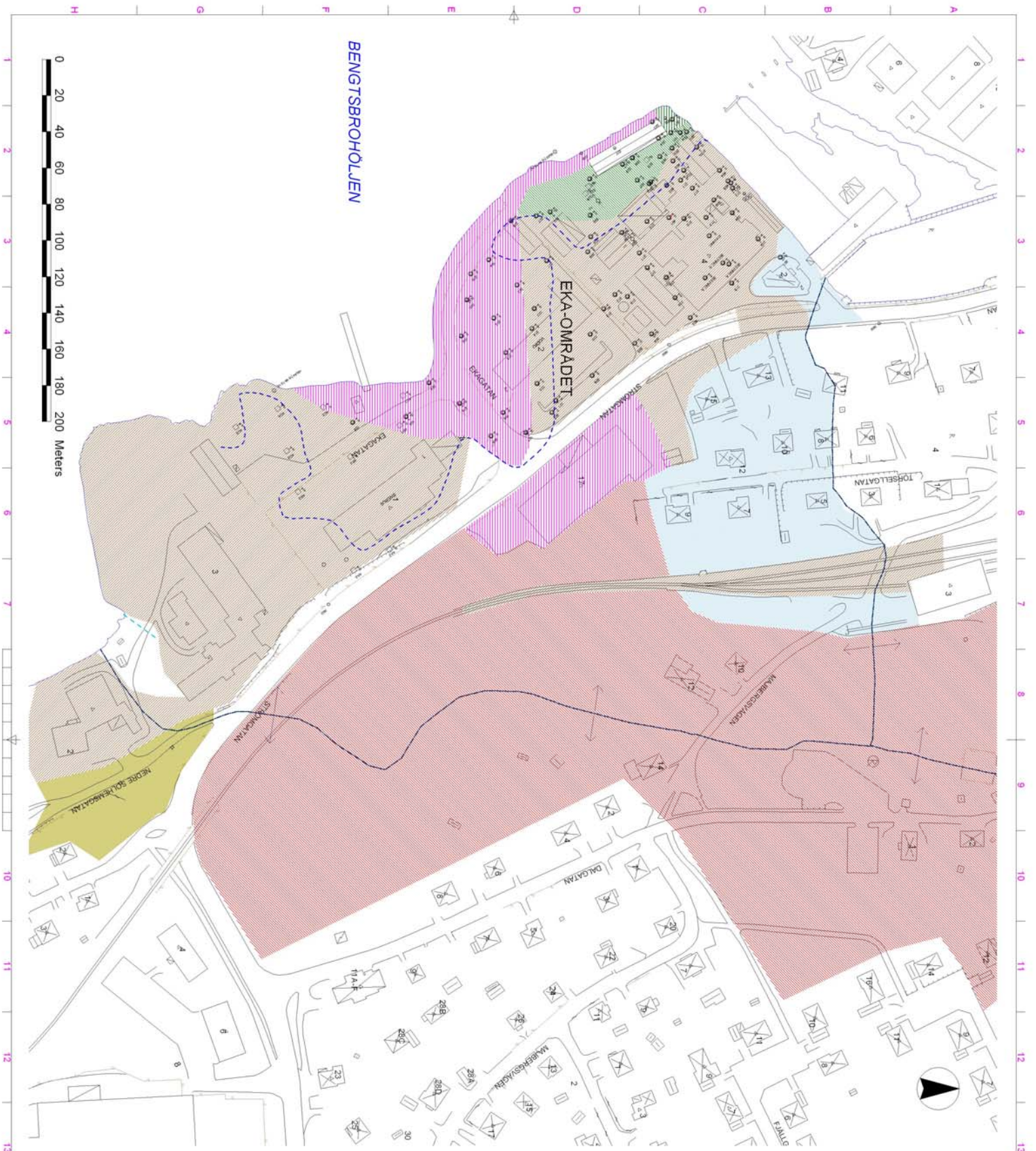
Bild 19a



Bild 19b



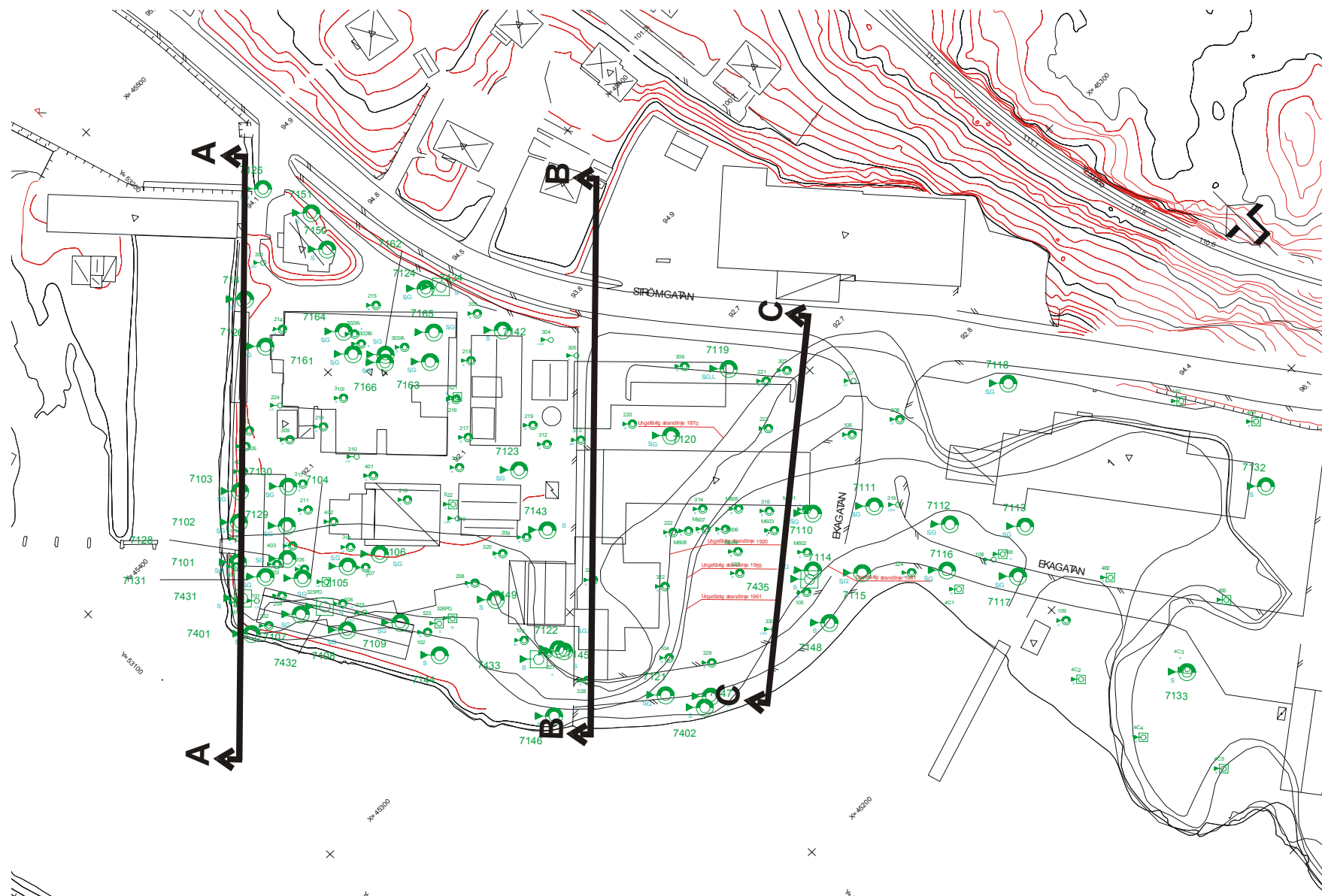
BILAGA 4
JORDARTSKARTA MED HYDROGEOLOGISK INFORMATION



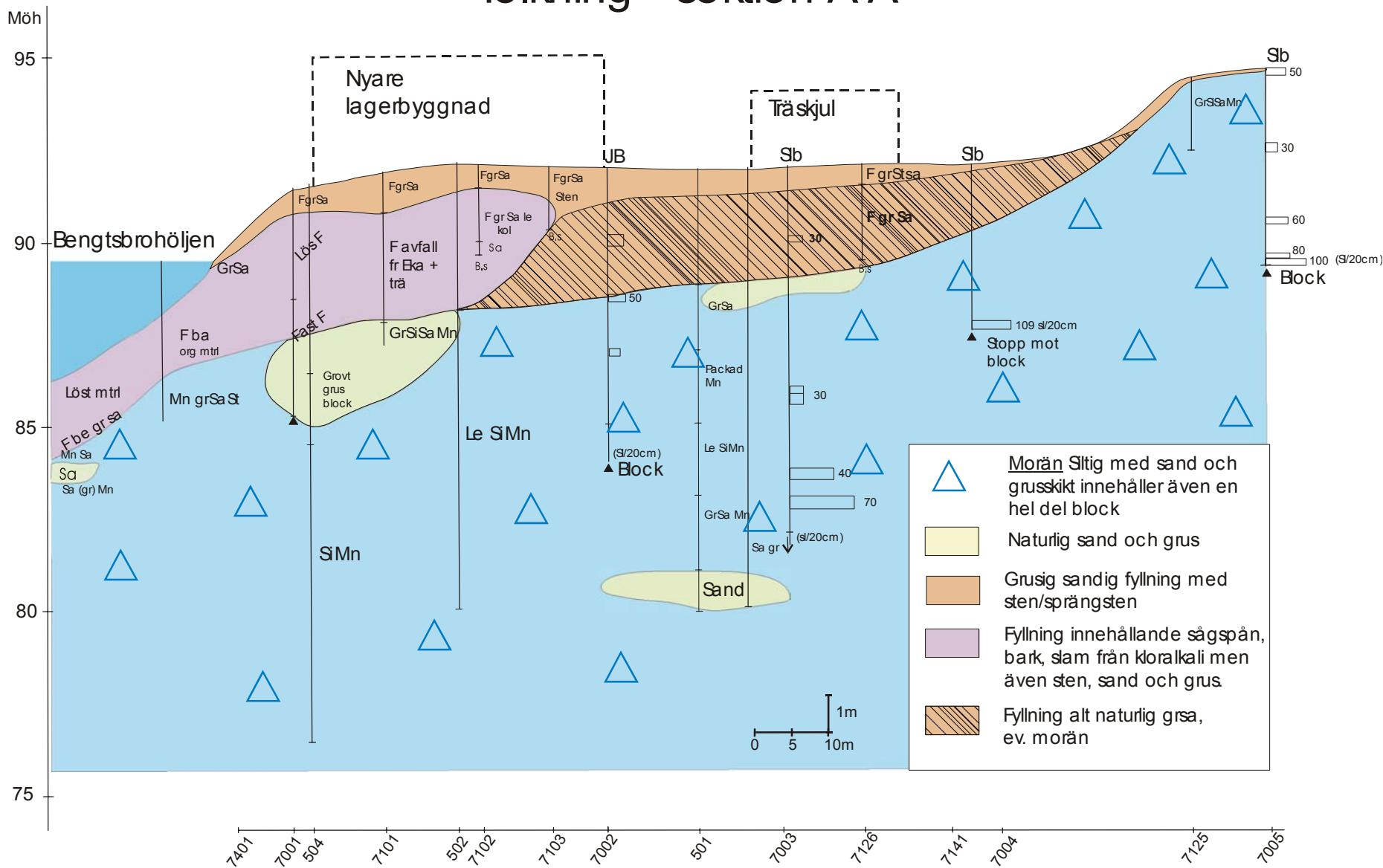
- FÖRKLARING**
- JORDART 0,5 M UNDER MARKYTTA
 - MORÄN
 - SAVD
 - BERG I DAGEN ELLER TUNT MORÄNTÄCKE PÅ BERG
 - FYLNING MED GRÅ (ÄVEN SPRÄNGSTEN)
 - FYLNING MED MYCKET SPRÄNGSTEN
 - FYLNING MED SAGSPAN OCH BARK
 - FYLNING MED SAGSPAN BARK VIT OCH SVART SLAM
 - VATTENDELARE
 - HISTORISK STRANDLINJE
 - DIKE

GEO INNOVA Tredaktorgatan 1 583 30 Linnköping Tel: 033 338888 Fax: 033 338887 www.gi.se		BEKÖRSmyndigheten EKA Jordartskartor Jordartskartor	
Enviro Miljövetenskapligt rådgivande och utvärderingsbyrå Svandagsgatan 20, SE-222 22 Stockholm Tel: 08 525 00 000 Fax: 08 525 00 070 www.enviro.se		UPPDRAGSNUMMER: 030627 PROJEKT: ELKE ÄTTRÄDE UPPDRAGSLEDARE: HANDESKÖRNING	
ANV: Jordartskarta DATUM:	ÖSKAD: Jordartskarta 1:1000 (A1)	ÖSKAD: Jordartskarta 1:1000 (A1)	

BILAGA 5
TOLKADE JORDARTSSEKTIONER



Tolkning - sektion A-A



Möh

95

90

85

80

75

Bengtsbrohöljen

Nyare
lagerbyggnad

Träskjul

UB

Sb

Sb
50

30

60

80

100 (S/20cm)

Block

F ba
org mtrl

Mn grSaSt

Löst mtrl

F be gr sa

Mn Sa

Sa

Sa (gr) Mn

Lös F

Fast F

Le SiMn

SiMn

F avfall
fr Bka +
trä

GrSiSa Mn

Le SiMn

Le SiMn

GrSa Mn

Sa gr

Sand

Packad Mn

GrSa

Le SiMn

GrSa Mn

Sa gr

Sand

GrSa

Le SiMn

GrSa

FgrSa

FgrSa

FgrSa

(S/20cm)

Block

50

30

40

70

(s/20cm)

109 s/20cm

Stopp mot block

109 s/20cm

Stopp mot block

109 s/20cm






Stopp mot block

109 s/20cm

Stopp mot block

109 s/20cm

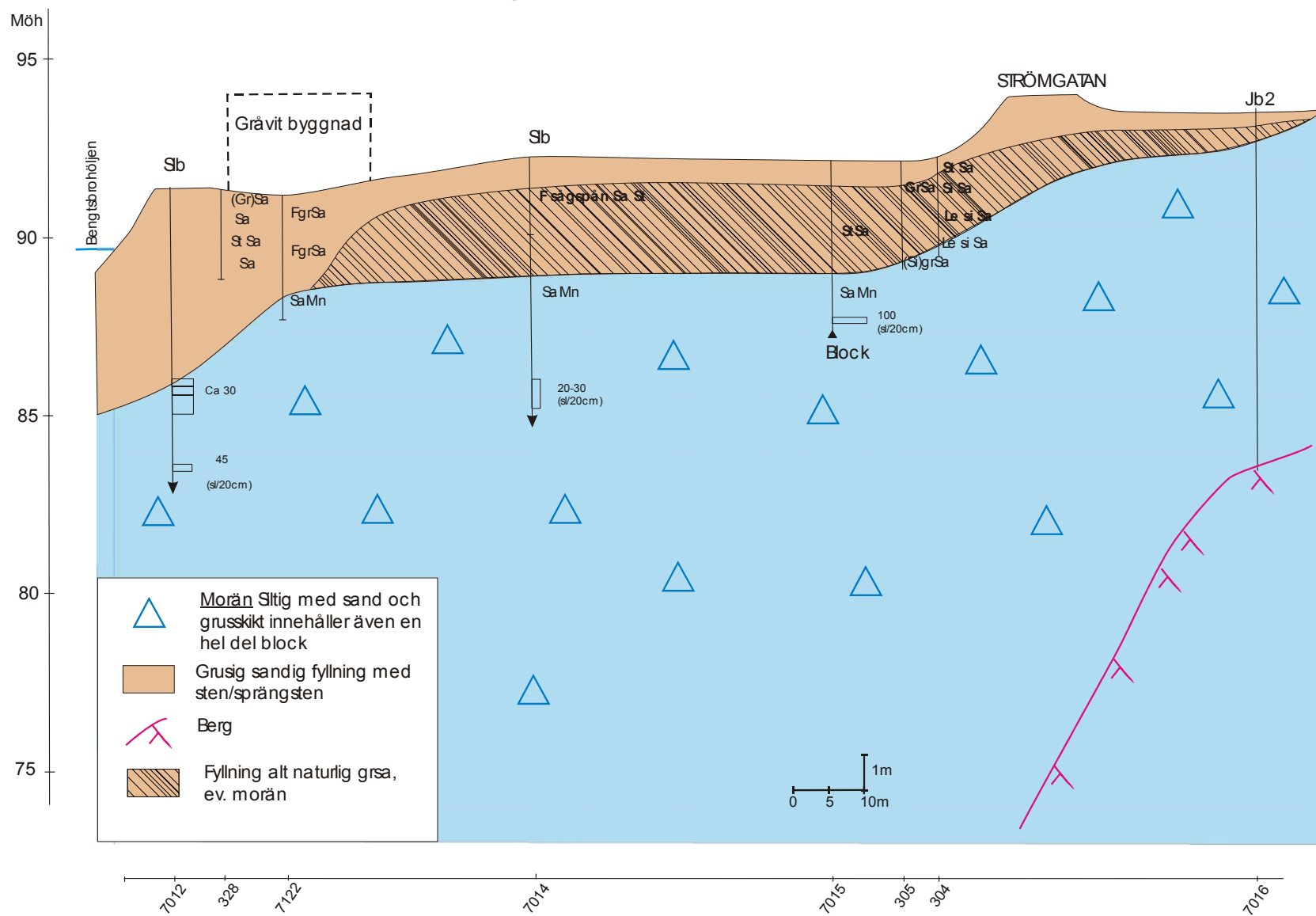
Stopp mot block

-  Morän slitig med sand och gruskikt innehåller även en hel del block
-  Naturlig sand och grus
-  Grusig sandig fyllning med sten/sprängsten
-  Fyllning innehållande sågspån, bark, slam från kloralkali men även sten, sand och grus
-  Fyllning allt naturlig grsa, ev. morän

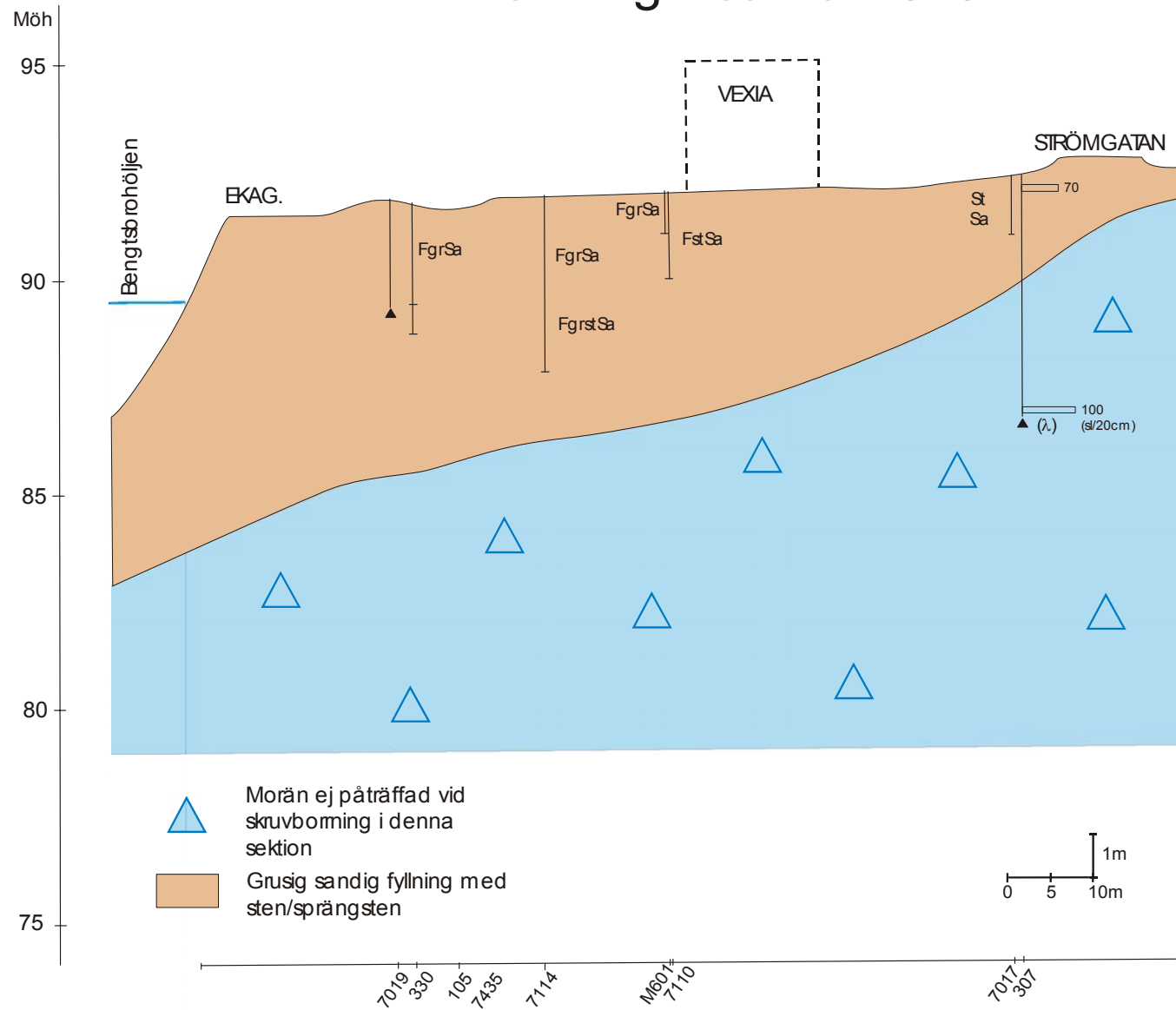
1m
0 5 10m



7401 7001 504 7101 502 7102 7103 7002 501 7003 7126 7141 7004 7125 7005

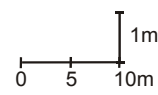
Tolkning - sektion B-B



Tolkning - sektion C-C



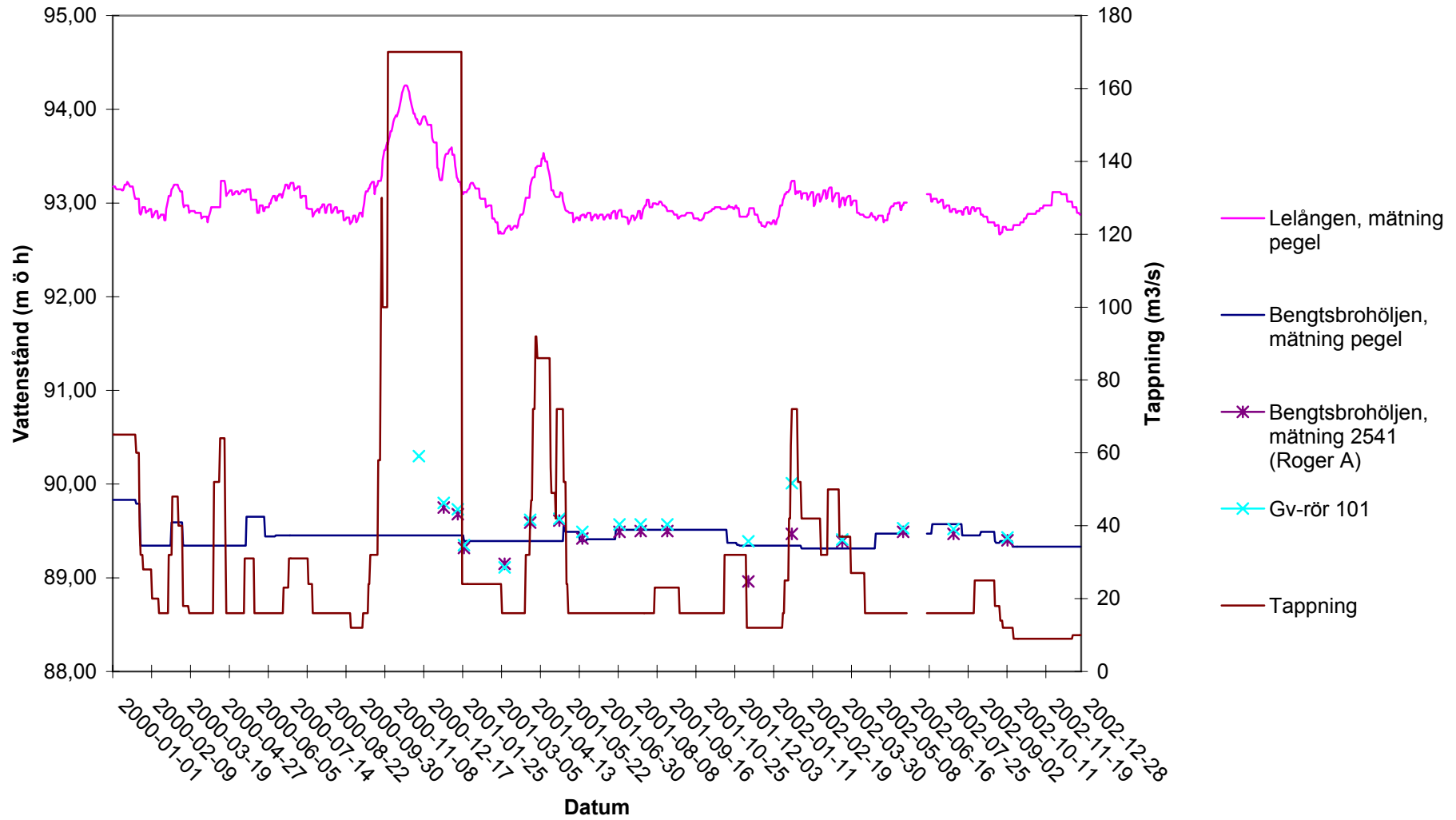
-  Morän ej påträffad vid skruvboring i denna sektion
-  Grusig sandig fyllning med sten/sprängsten



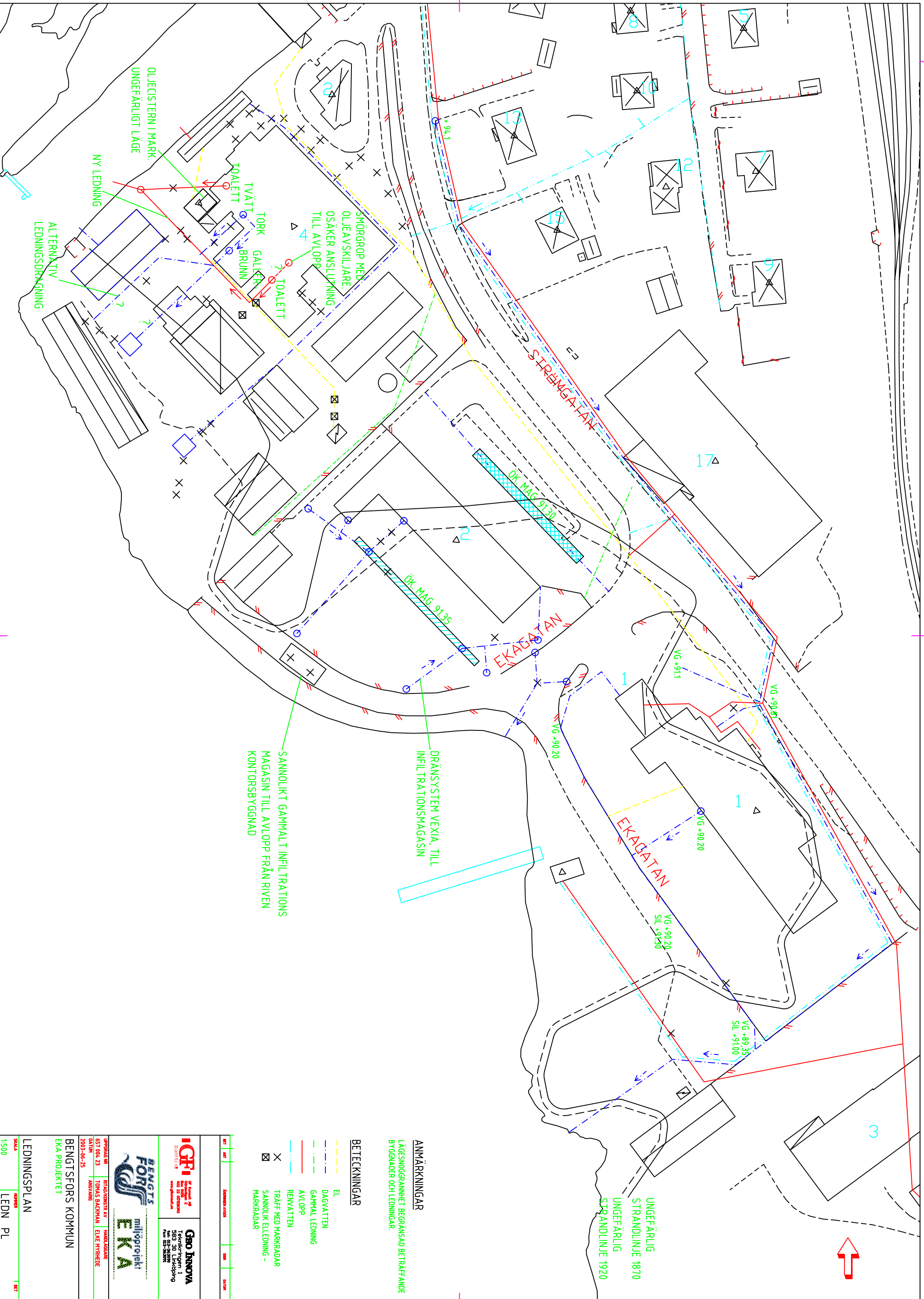
7019 330 105 7435 7114 M607 7110 7017 307

BILAGA 6
VATTENSTÅND OCH TAPPNING

Vattenstånd och tappning 2000 - 2002



BILAGA 7
LEDNINGSKARTA



SANNOLIKT GAMMALT INFILTRATIONS
MAGASIN TILL AVLOPP FRÅN RIVEN
KONTORSBYGGNAD

DRÄNSYSTEM VEXIA, TILL
INFILTRATIONSMAGASIN

- ANMÄRKNINGAR**
LÄGESNINGRRÄNHET BEGRÄNSAD BETRÄFFANDE
BYGGNADER OCH LEDNINGAR.
- BETECKNINGAR**
- EL
 - DAGVATTEN
 - GAMMAL LEDNING
 - AVLOPP
 - RENVATTEN
 - TRÄFF MED HÄRRÄDAR
 - SANNOLIK ELLEDNING -
HÄRRÄDAR

RT	ART	ZONER/AVSNITT	SB	SÄTT
<p>ICRI <small>ICRI</small> <small>ICRI</small> <small>ICRI</small></p> <p>Geo INNOVA <small>Geo INNOVA</small> <small>Geo INNOVA</small></p>				
<p>BENGT'S FORS miljöprojekt EKA <small>BENGT'S FORS miljöprojekt EKA</small> <small>BENGT'S FORS miljöprojekt EKA</small></p>				
UPPRORAR NR	RT/AU/KONSTR. AV	HANDLAGARE		
657 004_23	TOMAS BACKMAN	ELKE NYRHEDE		
DATUM	ANSVARIG			
2003-06-25				
BENGT'S FORS KOMMUN				
EKA PROJEKTET				
LEDNINGSPÅN				
SKALA	MÅTT			
1:500	LEDN. PL			

BILAGA 8
SAMMANSTÄLLNING OCH UTVÄRDERING AV HYDRAULTESTER



**Sammanställning och utvärdering av hydraultester,
EKA-området, Bengtsfors**

Göteborg 2003-07-31
AQUALOG AB

Postadress: Järntorget 3, 413 04 GÖTEBORG
Telefon: 031-346 15 30
Telefax: 031-346 15 31

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Utvärderingsmetod	1
3	Resultat från puls- och pumptester.....	1
4	Hydrauliska parametrar	13

1 Inledning

På uppdrag av Geo Innova AB, har Aqualog AB sammanställt och utvärderat resultat från utförda hydrauliska undersökningar. Dessa undersökningar omfattar pulstester och provpumpningar, vilka har utförts vid en rad tillfällen under perioden 1996-2003. Det huvudsakliga syftet med utvärderingen är att klarlägga karakteristiska hydrauliska parametrar för de fyllandsmassor och naturliga jordlager som finns i området.

Utöver resultat från äldre undersökningar (Terratema, 1996; SGI, 1998) har resultat från pulstester utförda av Geo Innova 2003 utvärderats. Provpumpningar och kompletterande pulstester genomfördes av Aqualog och Geo Innova gemensamt 24-25 maj 2003. I föreliggande sammanställning har samtliga data utvärderats.

2 Utvärderingsmetod

Pulstester (slugtester) är utvärderade med typkurvor (Karasaki, Long & Witherspoon, Water Resources Research, 1988) vilka tar hänsyn till flödesmönster, magasin-koefficient och hydrauliska ränder. Resultatet presenteras i form av transmissivitetvärden. Testerna har vanligtvis utförts som slugtester (höjning av vattennivån) och bailertester (sänkning av vattennivån). Vid vissa tester har skapad puls varit för snabb för att kunna utvärderas, dvs mätdata har inte kunnat återge pulsen på ett tillfredsställande sätt.

Provpumpningar är utvärderade i två steg; 1) kvalitativ hydraulisk bedömning av brunnens funktion samt dominerande flödesmönster och 2) kvantitativ bestämning av transmissivitet. I några fall har det varit möjligt att studera påverkan i närliggande observationspunkter, s k interferens. Från utvärdering av interferenser har det varit möjligt att ungefärligt fastställa jordlagrens magasin-koefficient.

3 Resultat från puls- och pumptester

Resultat från hydrauliska tester redovisas för varje rör. Vilket underlag som använts anges enligt följande:

Referens

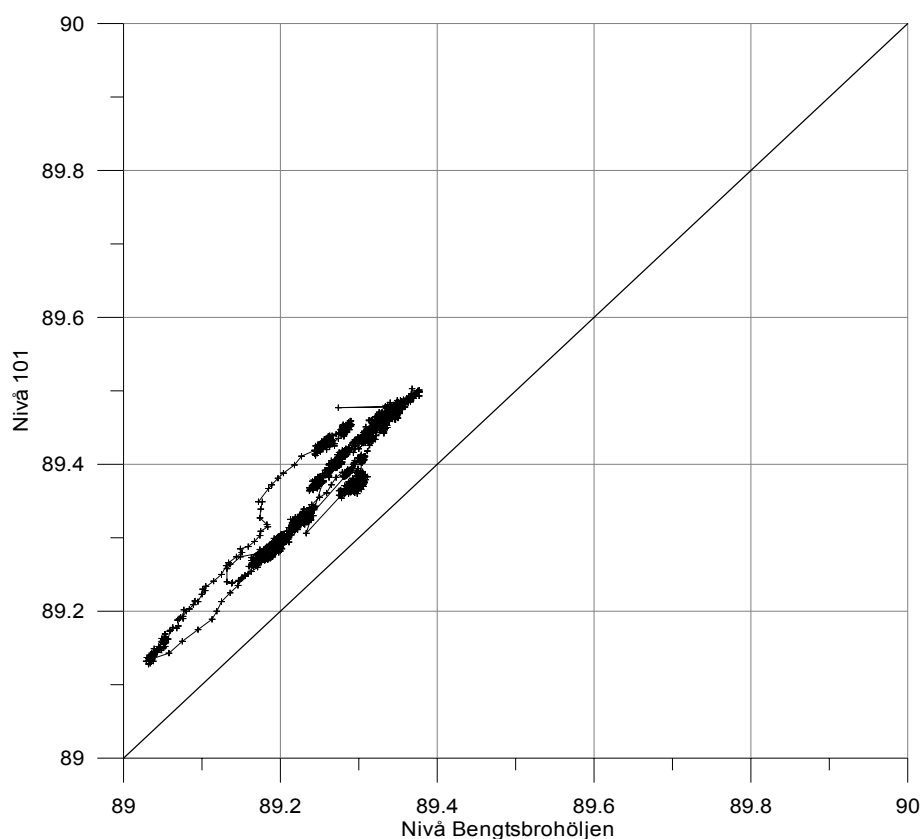
- 1 Sundberg J & Hammar M, 1996, Terratema
- 2 Sundberg J m fl, 1998, SGI och Terratema
- 3 Pulstester 12-14 december 2002 och 19-20 februari 2003, Geo Innova
- 4 Hydrauliska undersökningar 24-25 maj 2003, Aqualog och Geo Innova

Rörens läge framgår av *Figur 4.1*.

Rör 101

Rörets filterdel är placerad i fyllnadsmassor ca 2,2 – 3,2 meter under markytan. Röret har installerats i ett skruvhål ($r_w=0,04$ m). Utvärderad vattenförande förmågan varierar med en 10-potens för de olika testtillfällena. En något högre transmissivitet utvärderas vid en högre vattennivå. Röret har god hydraulisk kontakt med Bengtsbrohöljen och nivån i röret ligger enligt data ca 10-15 cm över sjönivån, *Figur 3.1*.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
101	2	3,2 m	---	10^{-4} m/s			
	3		2,84 m	Snabb respons	8×10^{-4} m ² /s	1,2 m	Pulstest
	4		2,725 m	1×10^{-3} m ² /s	8×10^{-4} m ² /s	1,3 m	Pulstest



Figur 3.1 Sambandet mellan nivån i Bengtsbrohöljen och i rör 101.

Förklaring till tabeller

Ref.: se avsnitt 3

Rörlängd: anger ungefärligt längd under markytan

Nedmätning: anger vattenytans läge under rörets överkant

K / T: anger beräknad hydraulisk konduktivitet (m/s) respektive transmissivitet (m²/s)

(A), (B): avser utvärdering av slug- respektive bailertest vid pulstest

(A), (B): avser utvärdering av avsänkings- respektive återhämtningsförlopp vid pumptest

Vattenpelare: anger vattenpelarens höjd relativt rörets underkant

Rör 224

Rörets filterdel är placerad i fyllnadsmassor ca 1,8-2,8 meter under markytan. Röret har installerats i ett skruvhål ($r_w=0,04$ m). Pulstestet tyder på öppet magasin och ett icke-radiell flöde, vilket medför att beräknade transmissivitetvärden är osäkra.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
224	3	2,8 m	1,585 m	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	1,1 m	Pulstest

Rör 301

Rörets filterdel är troligen placerad i fyllnadsmassor ca 3,2-4,2 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,045$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
301	3	4,2 m	3,34 m	Snabb respons	$4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	1,6 m	Pulstest

Rör 304

Rörets filterdel är troligen placerad i naturligt material ca 2,4-3,4 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
304	4	3,4 m	1,78 m	$3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2,3 m	Pulstest

Rör 310

Rörets filterdel är troligen placerad i naturligt material ca 5,2-6,2 meter under markytan. Fyllnadsmaterial överlagrar sannolikt de naturliga jordlagren. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,03$ m). Pulstestet (Ref. 3) tyder på icke-radiellt flödesmönster vilket medför osäkerheter för beräknade transmissivitetvärden.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
310	2	6,2 m	---	$0,1-1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$			
	3		1,75 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	4,3 m	Pulstest

Rör 317A

Rörets filterdel är troligen placerad i fyllning ca 3,4-4,4 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,03$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
317A	2	4,4 m	---	10^{-4} m/s			
	3		2,60 m	5×10^{-4} m ² /s	5×10^{-4} m ² /s	1,9 m	Pulstest
	4		2,425 m	3×10^{-4} m ² /s	3×10^{-4} m ² /s	2,1 m	Pulstest

Rör 319

Rörets filterdel är troligen placerad i naturligt material ca 3,4-4,4 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m).

Ett pumpstest utfördes i rör 319 med observationer i omgivande rör. Avsänkningen i rör 319 visas i *Figur 3.2*. Pumpning utfördes i tre steg med ett flöde om 0,29, 0,48 respektive ca 0,75 l/min. För de olika pumpstegen beräknas såväl med transient som stationär metod en transmissivitet på ca 1×10^{-5} m²/s.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
319	3	4,4 m	1,59 m	1×10^{-5} m ² /s	1×10^{-5} m ² /s	2,7 m	Pulstest
	4		1,55 m	1×10^{-5} m ² /s	3×10^{-6} m ² /s	2,8 m	Pumpstest

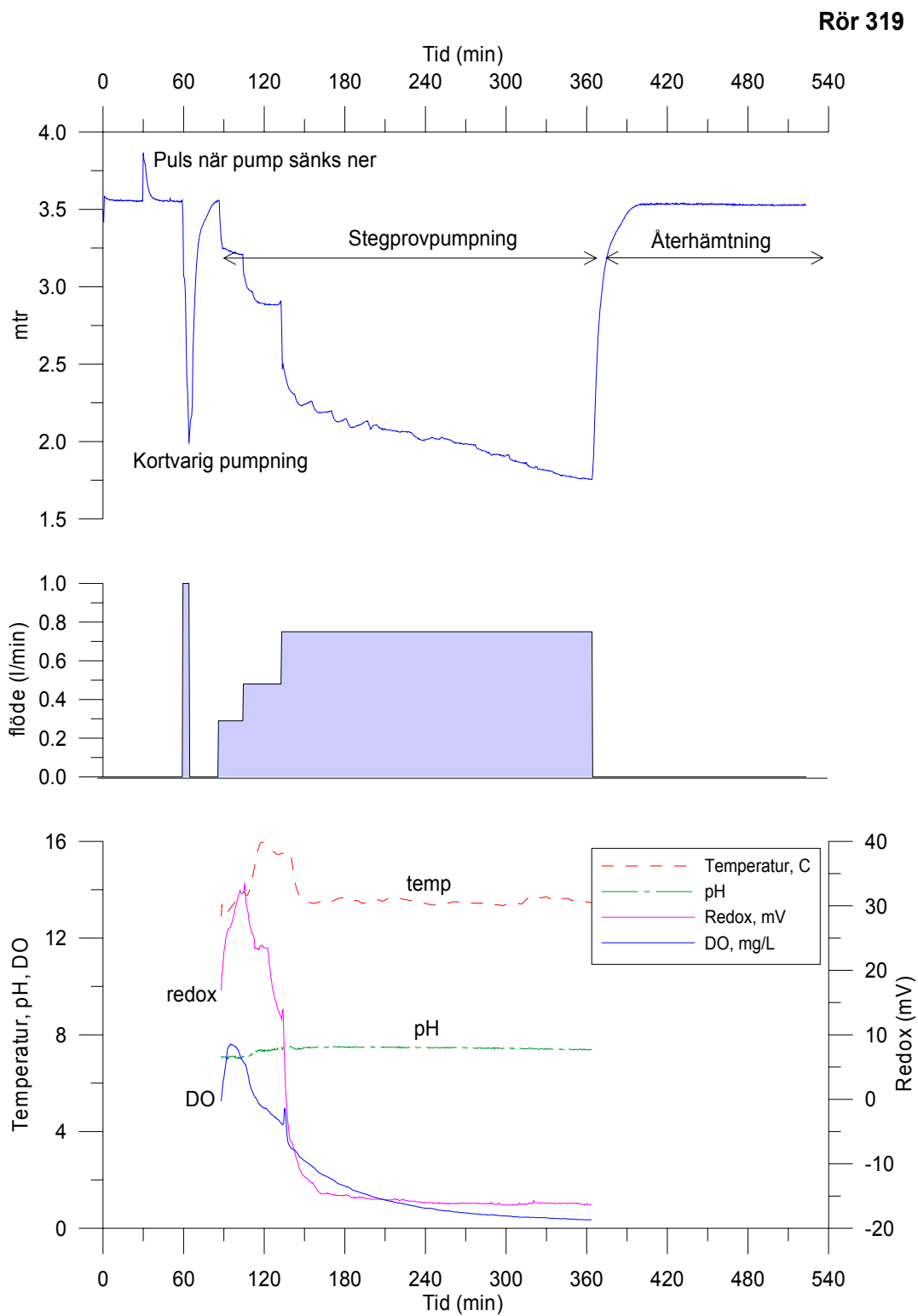
Omgivande rör 325 och 503 påverkades av pumpningen med en resulterande avsänkning på ca 2-3 cm, möjligen även 7119 med en avsänkning på ca 1 cm. Responsen indikerar en transmissivitet på ca 3×10^{-5} m²/s och magasincoeffcient på $0,1-1 \times 10^{-4}$. Övriga rör påverkades inte.

I figuren visas uppmätt temperatur, pH, redox och syrehalt i uppumpat vatten. Dessa mätningar visar att ett djupare vatten uppumpades efter en inledande period med inslag av ytnära vatten.

Rör 325

Rörets filterdel är troligen placerad i fyllnadsmaterial ca 3,1-4,1 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m). Pulstestet (ref. 4) indikerar mycket hög transmissivitet; $>10^{-2}$ m²/s. Højning av vattennivån i röret i samband med regn tyder dock på att det finns tätare jordlager en bit ut från brunnen, varför transmissivitetsvärdet inte representerar fyllnadsmaterialet i området.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
325	2	4,1 m	---	10^{-4} m/s			
	4		1,73 m	$>10^{-2}$ m ² /s	$>10^{-2}$ m ² /s	2,3 m	Pulstest



Figur 3.2 Provpumpning i Rör 319

Rör 501

Röret har två filter, placerade i fyllnadsmaterial ca 2,5-3,5 respektive i naturligt material ca 10,5-11,5 meter under markytan. Enligt borrprotokoll utgörs marklagren av: 0-5 m fyllnadsmaterial av grus, sand och silt, 5-7 m packat morän, 7-9 m lös finkornig morän, 9-11 m grusig sandig morän och 11-12 m natursand. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m). Ytnära (under asfalten) och utanför röret finns ett vattenfyllt hålrum, vilket dock inte förefaller ha en god hydraulisk kontakt med röret.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
501	4	11,5 m	0,885 m	$6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	10,5 m	Pulstest

Rör 502

Röret har två filter, placerade i fyllnadsmaterial ca 2,5-3,5 respektive i naturligt material ca 10,7-11,7 meter under markytan. Enligt borrprotokoll utgörs marklagren ner till 4 m av grovt fyllnadsmaterial och därunder av lös morän ner till 12 m. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m).

Ett pumptest utfördes i rör 502 med observationer i omgivande rör. Avsänkningen i rör 502 visas i *Figur 3.3*. Pumpning utfördes inledningsvis med ett flöde på ca 1,5 l/min. Efter drygt en timme ökades flödet till ca 4 l/min varefter ett successivt minskat flöde uppkom beroende på ökad stighöjd. Efter ca två timmars pumpning (200 min i *Figur 3.3*) ökade avsänkningen kraftigt i samband med att vattennivån i rör 502 sjönk under övre filtrets underkant. Ett tydligt inflöde av vatten kunde höras, vilket dock upphörde efter ett tag. Pumptestet fick avslutas då regn inte kunde hindras rinna in i brunnen. Återhämtningsförloppet stördes kraftigt av inrinande regnvatten.

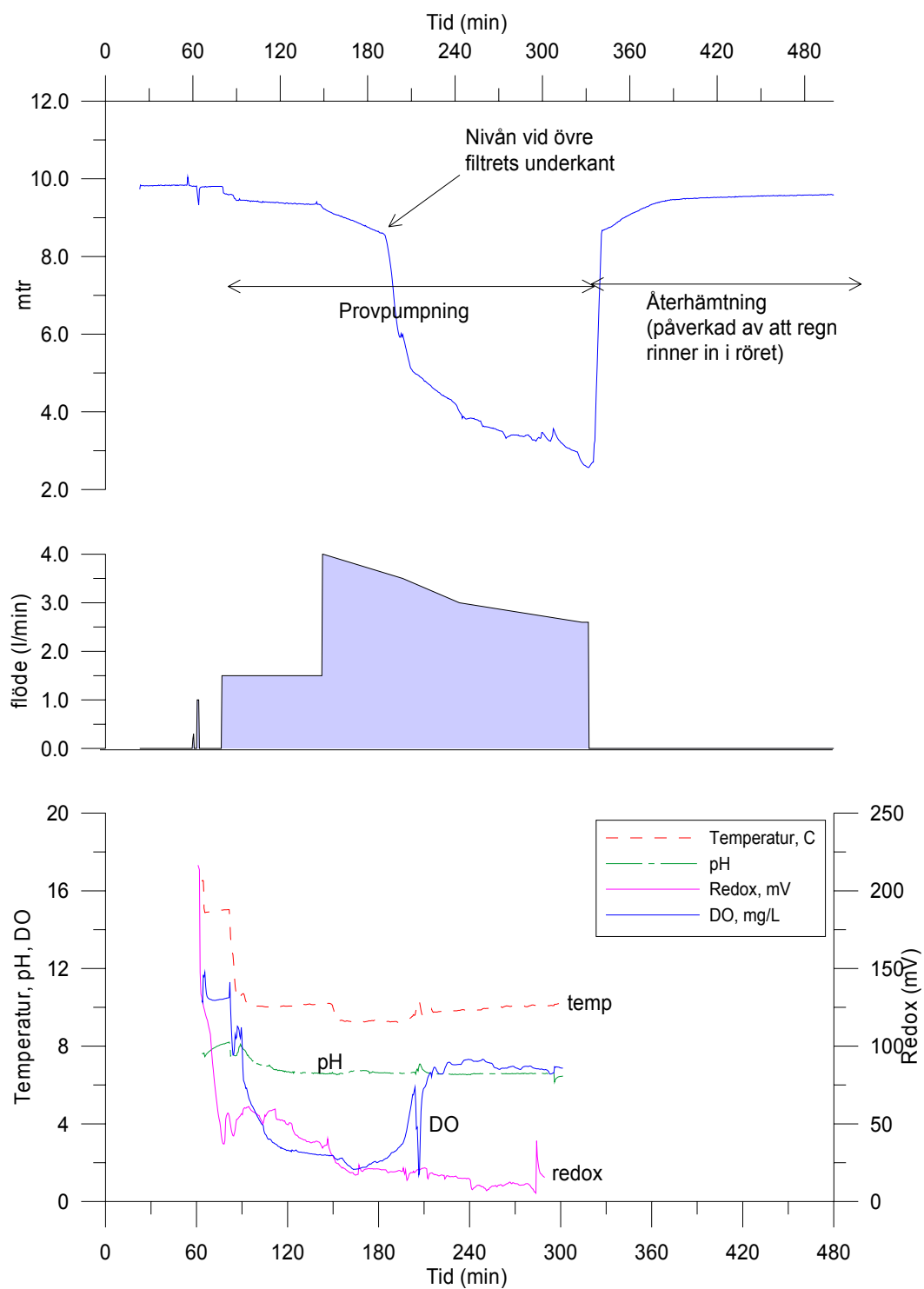
Från den inledande fasen av pumpningen beräknas en transmissivitet på ca $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket antas representera fyllnadsmaterialet. För senare delen av pumpningen, när det övre magasinet sinat, beräknas en transmissivitet på $<1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket antas representera det naturliga materialet vid rör 502. Pumptestets återhämtningsfas går inte att utvärdera.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
502	3	4,4 m	1,59 m	$4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	9,3 m	Pulstest
	4		1,55 m	$5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ $<1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Ej utvärdering	9,2 m	Pumptest

Omgivande rör 503 påverkades av pumpningen med en resulterande avsänkning på ca 2-3 cm. Responsen indikerar en transmissivitet på ca $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ och magasin-koefficient på 3×10^{-4} . Övriga rör påverkades inte.

I figuren visas uppmätt temperatur, pH, redox och syrehalt i uppumpat vatten. Dessa mätningar visar att ett djupare vatten uppumpades efter en inledande period med inslag av ytnära vatten. Påverkan av regnvatten visar sig efter ca 3,5 tim.

Rör 502



Figur 3.3 Provpumpning i Rör 502

Rör 503

Röret har två filter, placerade i fyllnadsmaterial ca 2,5-3,5 respektive i naturligt material ca 10,7-11,7 meter under markytan. Enligt borrhprotokoll består jordlagren inom 0-5 m av grovt fyllnadsmaterial, 5-10 m av grusig sandig morän och 10-12 m av finkornig morän. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
503	4	11,7 m	2,16 m	$3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	9,5 m	Pulstest

Rör 504

Röret har två filter, placerade i fyllnadsmaterial ca 2,5-3,5 respektive i naturligt material ca 13,3-14,3 meter under markytan. Enligt borrhprotokoll består jordlagren inom 0-5 m av grovt fyllnadsmaterial, 5-7 m av grovt grus och block och inom 7-15 m av finkornig morän. Röret är installerat genom rördrivning ($r_w=0,04$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
504	4	14,3 m	1,845 m	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	12,3 m	Pulstest

Rör 7005

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 3,0-4,0 meter under markytan. Jordlagren består enligt borrhprotokoll av blockig morän. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Pulstestets responskurva indikerar öppet magasin.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7005	4	4,0 m	1,92 m	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2,0 m	Pulstest

Rör 7006

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 3,5-4,5 meter under markytan. Jordlagren består enligt borrhprotokoll av sandig morän. Enligt protokollet påträffades ca 5 meter från borrhålet ett ca 5 m^3 hålrum som fylldes med sand. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Pulstesterna (ref. 3) går inte att utvärdera. Ett pumptest utfördes under ca en timme med ett flöde på 1,5 l/min. Transmissivitetetsvärdet från pumpfasen bedöms som mest signifikant.

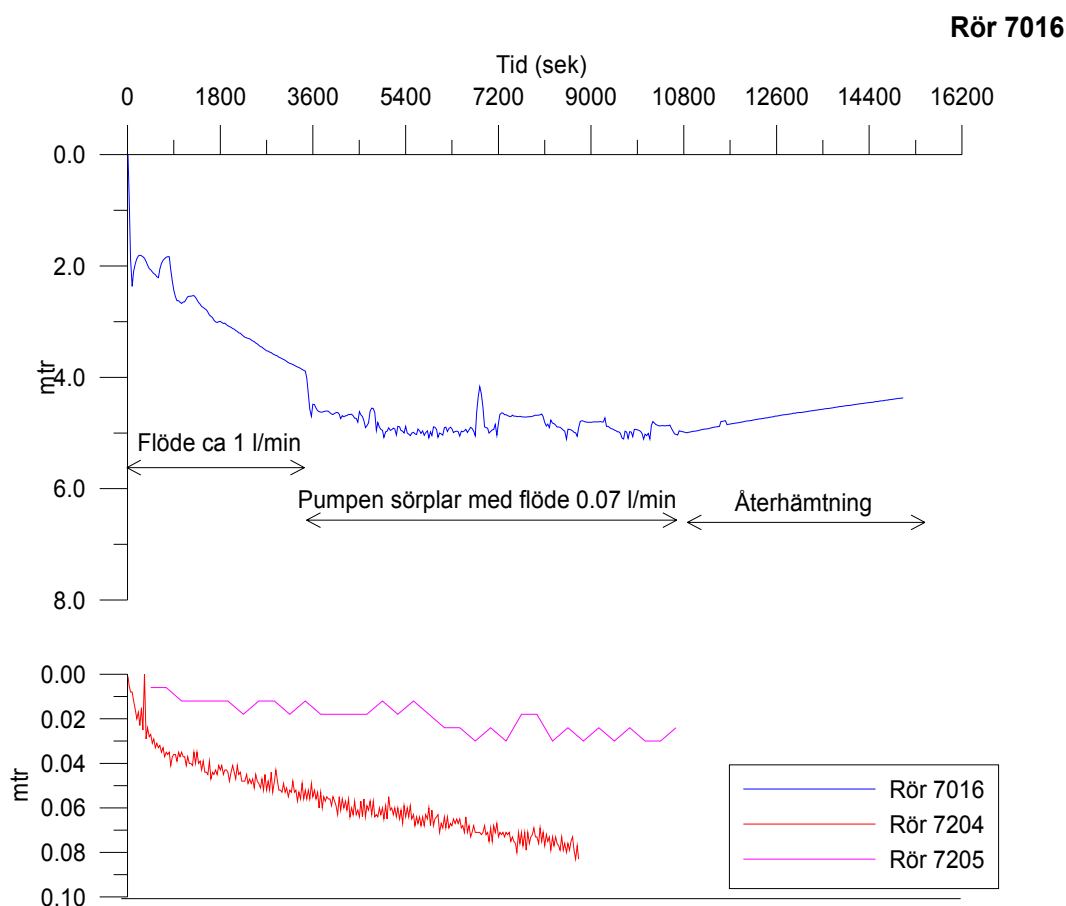
Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7006	3	4,5 m	1,73 m	Ej utvärdering	Ej utvärdering		Pulstest
	4		1,205 m	$4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2,4 m	Pumptest

Rör 7016

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 6,1-8,1 meter under markytan. Jordlagren består enligt borrhprotokoll av morän. Stenblock påträffades 2,0-3,5 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Förutom ett pulstest utfördes ett pumpstest i röret med samtidig observation i närliggande rör, *Figur 3.4*. Pulstesterna är inte möjliga att utvärdera liksom pumpstestets återhämtningfas.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7016	3	8,1 m	1,01 m	Ej utvärdering	Ej utvärdering	7,0 m	Pulstest
	4		1,05 m	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Ej utvärdering	7,0 m	Pumpstest

Under pumpfasens första timme uppgick flödet till ca 1 l/min och från avsänkingsförloppet beräknas en transmissivitet på $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Efter att vattennivån i röret sänkts ca 4 meter uppkom en snabb avsänkning, varefter pumpen sörplade med ett resulterande flöde på ca 0.07 l/min. Återhämtningsförloppet visar att röret fylls upp med vatten från övre liggande lager, dvs den undre morärens vattenförande förmåga är mycket låg, sannolikt $<10^{-8} \text{ m/s}$.



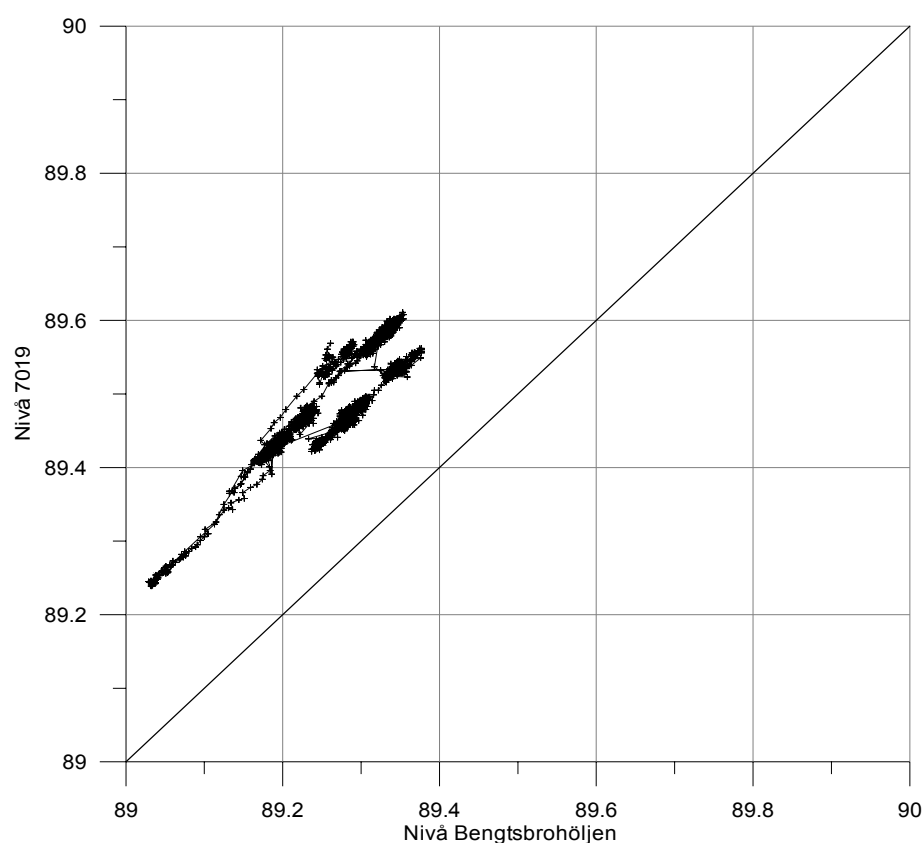
Figur 3.4 Provpumpning i Rör 7016.

Under pumptestet erhöjls hydraulisk respons i närliggande rör 7204 samt i rör 7205. Ingen påverkan noterades i rör 7119 och 304. Från responsen i rör 7205 beräknas en ungefärlig transmissivitet på ca $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ och en magasinskoefficient på ca 10^{-5} . Eftersom radiellt flöde inte uppkom  r dessa värden osäkra.

Rör 7019

Rörets filterdel är placerad i fyllnadsmaterial av block ca 3,1-4,1 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) inom avsnittet 1-4 meter och bentonit i övre delen ($r_w=0,055 \text{ m}$). Pulstestet gick inte att utvärdera men indikerar mycket hög transmissivitet närmast röret. Röret har god hydraulisk kontakt med Bengtsbrohöljen och nivån i röret ligger enligt data ca 20 cm över sjönivån, *Figur 3.5*. Om denna nivåskillnad är korrekt representerar utvärderad konduktivit t marklagren närmast röret och inte området mellan röret och Bengtsbrohöljen.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7019	4	4,1 m	2,02 m	$>10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$>10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	2,1 m	Pulstest



Figur 3.5 Sambandet mellan nivån i Bengtsbrohöljen och i rör 7019

Rör 7023

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 4,0-5,0 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Pulstestet indikerar icke-radiellt flödesmönster eller påverkan från hydraulisk rand, vilket gör utvärderade transmissivitetvärden osäkra.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7023	3	5,0 m	2,68 m	$4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	1,3 m	Pulstest

Rör 7119

Rörets filterdel är placerad i morän ca 2,8-3,8 meter under markytan. På moränen finns fyllnadsmaterial i form av byggnadsrester, tegel etc ner till ett djup av 1,5 meter. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7119	4	3,8 m	1,575 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2,1 m	Pulstest

Rör 7122

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 3,8-4,8 meter under markytan. Jordlagren består enligt borrprotokoll av blockig moränsand. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7122	3	4,8 m	2,59 m	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	3,2 m	Pulstest

Rör 7201

Rörets filterdel är placerad i blockigt fyllnadsmaterial ca 1,8-3,8 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7201	3	3,8 m	2,685 m		$3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	2,1 m	Pulstest

Rör 7202

Rörets filterdel är placerad i blockigt fyllnadsmaterial ca 2,2-3,2 meter under markytan. Under fyllnadsmaterialet finns sandig morän. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m).

Pumptest utfördes i röret med ett flöde på 6 l/min under ca två timmar. Ingen avsänkning noterades och ingen påverkan erhöles i omkringliggande rör.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7202	3	3,2 m	1,28 m	ca 10^{-2} m ² /s	ca 10^{-2} m ² /s	1,9 m	Pulstest
	4		1,11 m	ca 10^{-2} m ² /s	ca 10^{-2} m ² /s	2,0 m	Pumptest

Rör 7203

Rörets filterdel är placerad i blockigt fyllnadsmaterial ca 3,2-4,2 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Ett stort hålrum påträffades vid borrningen som delvis fylldes av filtersand.

Pumptest utfördes i röret med ett flöde på 4-5 l/min under ca 2,5 timmar. Ingen avsänkning noterades och ingen påverkan erhöles i omkringliggande rör.

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7203	4	3,2 m	2,33 m	ca 10^{-2} m ² /s		1,7 m	Pumptest

Rör 7204

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 3,1-4,1 meter under markytan. Jordlagren består enligt borrprotokoll av morän, stenblock påträffades 2,0-3,5 meter under markytan. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m). Röret sitter ca en meter från rör 7016. Pulstesterna (ref. 3) går inte att utvärdera

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7204	3	4,1 m	0,70 m	Ej utvärdering	Ej utvärdering	3,3 m	Pulstest
	4		1,02 m	4×10^{-5} m ² /s	5×10^{-5} m ² /s	3,0 m	Pulstest

Rör 7205

Rörets filterdel är placerad i naturligt material ca 5,2-6,2 meter under markytan. Jordlagren består sannolikt av morän. Röret är installerat genom rördrivning med kringfyllnad av filtersand (1,4-1,8 mm) och bentonit ($r_w=0,055$ m).

Rör	Ref.	Rörlängd	Nedmätn.	K / T (A)	K / T (B)	Vattenpelare	Testtyp
7205	3	6,2 m	1,36 m	5×10^{-5} m ² /s	Ej utvärdering	4,7 m	Pulstest

4 Hydrauliska parametrar

Genom analys av hydrauliska tester har transmissiviteten utvärderats för tillgängliga rör inom området. Testerna är av olika kvalitet och förutsättningarna för utvärdering av representativa värden varierar. Av sammanställning i *Tabell 4.1* framgår karakteristiska värden på hydraulisk konduktivitet för olika material och vilka rör som representerar dessa material. I *Tabell 4.2* redovisas transmissivitetsvärden för undersökta rör samt beräknad hydraulisk konduktivitet.

Tabell 4.1 Karakteristiska värden på hydraulisk konduktivitet för olika material

Hydraulisk konduktivitet	Fyllnadsmaterial		Naturmaterial	
	Beskrivning	Rör	Beskrivning	Rör
10^{-3} m/s	Sprängstensfyllnad	7202, 7019	?	7204
10^{-4} m/s	Grov fyllnad, grusig sandig fyllnad	101, 301, 317A, 7201, 7203		----
10^{-5} m/s	Blandad ej grov fyllnad	501, 502, 504	Blockig morän, Svallad morän	7023, 7205
10^{-6} m/s	?	224, 503	Sandig morän, Ytnära morän	304, 310, 319, 7005, 7006, 7119, 7122
10^{-7} m/s			Lerig/siltig morän	502, 7016

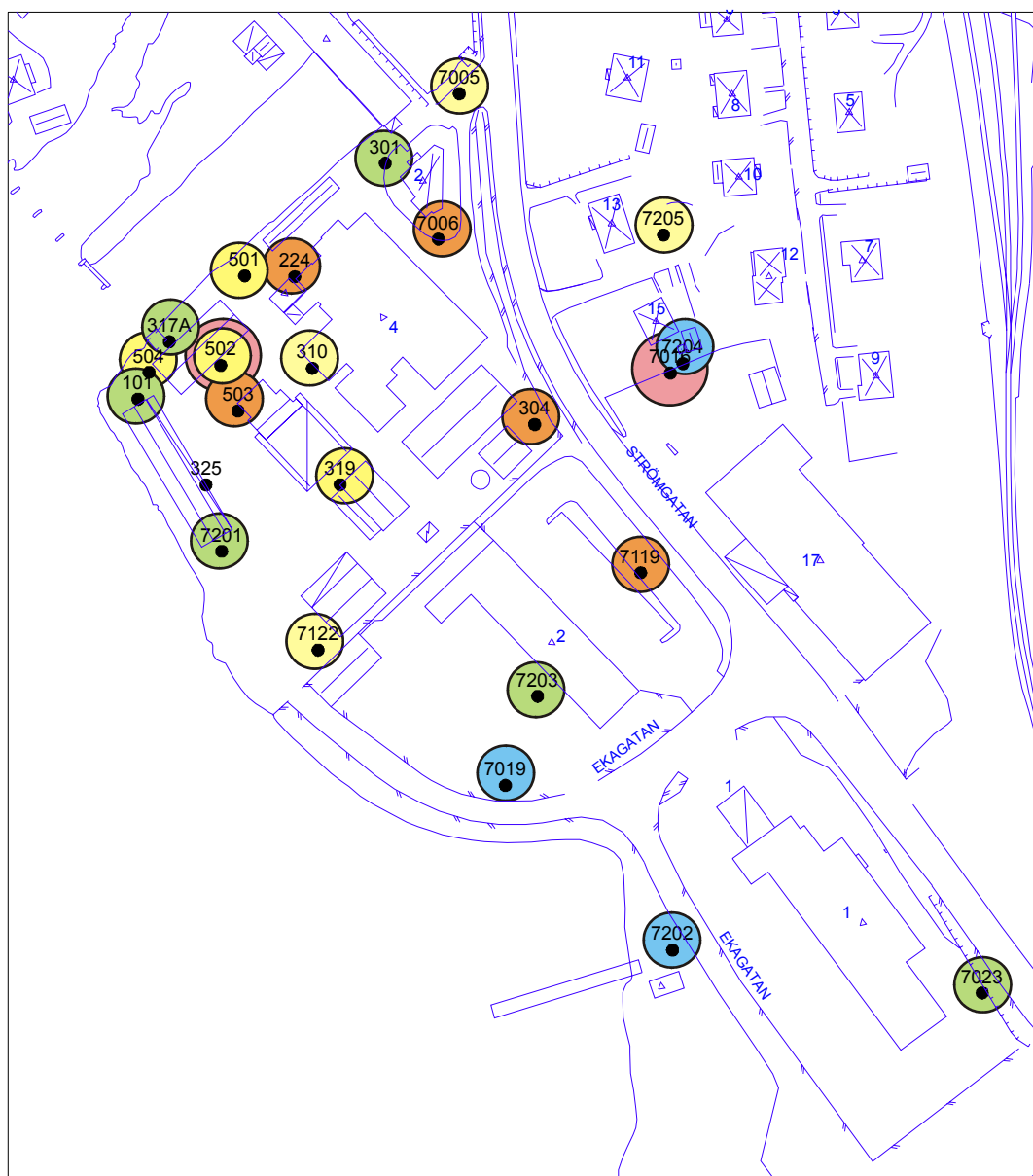
För tre rör har utvärderats konduktivitetens värden som inte förefaller ge representativa värden (anges med ? i tabell ovan); rör 224 och 503 satta i fyllnadsmaterial samt rör 7204 satt i naturmaterial. I rör 224 avläses relativt hög vattennivå vilket kan indikera en för området i stort avvikande hydraulisk funktion. Enligt borrprotokollet för rör 503 ligger det övre filtret i nivå med grovt fyllnadsmaterial. Beräknad konduktivitet stöder inte denna observation. Beräknad hög konduktivitet för rör 7204 tyder på en kraftig påverkan från de stenblock som påträffades 2,0-3,5 m under mark. Värdet bedöms inte representera moränens vattenförande förmåga i stort.

Genom att analysera interferenser vid provpumpningar i rör 319, 502 och 7016 har magasin-koefficienten utvärderats. Denna ligger inom 10^{-5} och 3×10^{-4} . Områdets påtagligt heterogena hydrauliska egenskaper och kraftiga anisotropi medför dock att värdet är osäkert. Lokalt förekommer sannolikt betydligt högre värden på magasin-koefficienten.

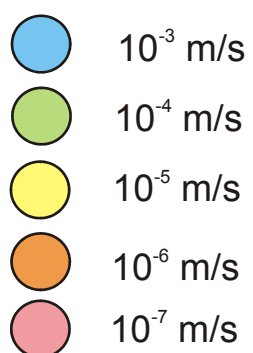
I *Figur 4.1* visas hur beräknad hydraulisk konduktivitet fördelar sig areellt inom området. I de övre marklagren ligger de högsta konduktiviteterna (10^{-3} m/s) närmast stranden vid bryggan i söder, medan något lägre värden (10^{-4} m/s) förekommer längs strandremsan i norr samt sannolikt inom bussterminalområdet. Centralt inom EKA-området ligger konduktiviteten kring 10^{-5} m/s för att i moränområdet upp mot vägen ligga kring 10^{-6} m/s. Moränen på större djup bedöms ha en ungefärlig storskalig konduktivitet på 10^{-7} m/s eller lägre.

Tabell 4.2 Sammanställning av utvärderad transmissivitet och beräknad hydraulisk konduktivitet (Fyll = fyllnadsmaterial, Mn = morän, SaMn = sandig morän). I kolumnen Höjd anges vilken akvifermäktighet som antagits för beräkning av hydraulisk konduktivitet. I kolumnen Vikt anges bedömd datakvalitet där värdet 1 motsvarar god kvalitet och värdet 2 sämre kvalitet.

Rör	Material	Transmissivitet	Höjd	Hydraulisk konduktivitet	Vikt
101	Fyll	$1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	1
224	Fyll	$3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	2
301	Fyll	$4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	1
304	Mn	$3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	1
310	Mn	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	2
317A	Fyll	$3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	1
319	Mn	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
501	Fyll	$8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
502	Fyll	$5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
502	Mn	$<10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$	2
503	Fyll	$4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	1
504	Fyll	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
7005	Mn	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
7006	SaMn	$4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	1
7016	Mn	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$	1
7019	Fyll	$>10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	1
7023	Mn	$2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	2
7119	Mn	$1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	1
7122	SaMn	$2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	1
7201	Fyll	$3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	2
7202	Fyll	$\sim 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	1
7203	Fyll	$3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	1
7204	Mn	$\sim 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	2 m	$5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	1
7205	Mn	$5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	1 m	$5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	2



Hydraulisk konduktivitet



Figur 4.1 Fördelning av beräknad hydraulisk konduktivitet i testade rör. Större ringar representerar djupare liggande marklager.

Göteborg den 31 juli 2003

Aqualog AB

A handwritten signature in black ink that reads "Ulf Sundqvist". The signature is written in a cursive style with a large, stylized 'U' and 'S'.

Ulf Sundqvist

BILAGA 9
GRUNDVATTENMODELLERING

Grundvattenmodellering, EKA-området, Bengtsfors

Göteborg 2003-07-30
rev 2003-10-05

AQUALOG AB

Postadress: Järntorget 3, 413 04 GÖTEBORG
Telefon: 031-346 15 30
Telefax: 031-346 15 31

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Grundläggande samband.....	2
3	Geologiska och hydrologiska samband.....	3
4	Geologiska och hydrologiska data	4
4.1	Datatyper	4
4.2	Hydrogeologiska data och osäkerheter	4
4.2.1	Jordlagrens mäktighet och hydraulisk konduktivitet	5
4.2.2	Yttre och inre hydrauliska ränder	6
4.2.3	Avrinning och grundvattenbildning	6
4.2.4	Grundvattennivåer	7
5	Hydrogeologisk konceptuell modell	9
6	Numerisk modellering.....	11
6.1	Modelldomän	11
6.2	Kalibrering	13
6.3	Känslighetsanalys.....	20
7	Transient modellering av nivåvariationer	22
7.1	Inledning.....	22
7.2	Resultat.....	24
7.2.1	Kalibrering	24
7.2.2	Scenario moderat variation.....	26
7.2.3	Scenario extrem variation.....	26
8	Sammanfattning	27

1 Inledning

På uppdrag av och i nära samarbete med Geo Innova AB, har Aqualog AB genomfört en grundvattenmodellering av ett markförorenat område i anslutning till Bengtsbrohöljen, Bengtsfors kommun.

På industriområdet invid sjön Bengtsbrohöljen i Bengtsfors kommun drev Elektrokemiska Aktiebolaget, EKA, under perioden 1897-1922 en kloralkalifabrik med produktion av klorgas och lut. Föroreningarna i det så kallade EKA-området i Bengtsfors är en följd främst av denna verksamhet. I den elektrolytiska processen användes kvicksilver som katod och i den klorrika miljön bildades även dioxiner vid höga temperaturer. Senare verksamheter har inneburit att det även förekommer andra föroreningar såsom tungmetaller, PAH och tetrakloretylen. Inom det förorenade området har flera undersökningar utförts av marken och sedimenten. Undersökningar av markområdet har utförts av Terratema AB (Sundberg et al., 1996) och SGI (Sundberg et al., 1998). Föroreningar av Bengtsbrohöljen och dess sediment har provtagningar genomförts vid flera tillfällen (Hasselrot, 1971; Lundgren, 1985; Lundgren, 1989; Lång, 1992 och Sundberg et al., 1996).

Det aktuella området gränsar i väster till sjön Bengtsbrohöljen och i öster till ett markerat höjddparti. Området är plant och består förutom av mäktiga moränlager av utfyllnadsmassor, vars tjocklek lokalt är betydande. Inom industriområdet och dess närmaste omgivning finns idag en bygghandel med brädgård, samt bilhandelsföretag. Genom området längs med älven går länsväg 172. En betydande del av området har hårdgjorda/asfalterade ytor.

Inom höjddpartiet går berget i dagen i den sydöstra delen medan det i övrigt täcks av lösa jordlager av skiftande karaktär och mäktighet. Höjdområdet är huvudsakligen bebyggt med fristående villor. En järnväg med en mindre bangård finns i undersökningsområdets östra del.

Syftet med grundvattenmodelleringen har varit att studera de hydrauliska förutsättningarna för föroreningstransport. Modelleringen har utförts i två etapper med följande inriktning:

1. Stationär modellering - studie av områdets vattenbalans och grundvattnets flödesmönster
2. Transient modellering - studie av de effekter som uppkommer som ett resultat av varierande nivåer i Bengtsbrohöljen .

Modelleringsarbetet har omfattat följande moment:

- a) Framtagande av hydrogeologisk konceptuell modell
- b) Framtagande av numerisk stationär grundvattenmodell
- c) Kalibrering av stationär modell
- d) Revidering, upprättande av transient modell
- e) Kalibrering mot transienta data
- f) Beräkningar, scenarier

2 Grundläggande samband

Grundvatten förekommer i okonsoliderade materials porer samt i berggrundens system av öppna sprickor. Okonsoliderade material kan bestå av olika jordarter avsatta genom olika naturliga processer samt fyllnadsmaterial som människan avsatt. Fyllnadsmaterial kan bestå av naturligt material som endast omlagrats eller bestå av olika avfallsprodukter såsom byggavfall eller en kombination av de båda. De hydrauliska egenskaperna är vanligen mycket heterogena. Detta innebär att parametrar såsom bl.a. grundvattentryck och vattenförande egenskaper måste relateras till olika skalor. Vid angivande av grundvattennivå, flödesriktningar, variationer i tiden, hydraulisk kommunikation mellan olika vattenmagasin (yt- samt grundvatten i jord och berg) samt vilken påverkan som kan förväntas på yt- och grundvatten måste därför förutsättas att redovisade medelvärden och intervaller är behäftade med stora osäkerheter i detaljerad skala.

Definitioner

Permeabilitet anger en jordarts eller berggrunds materialspecifika förmåga att släppa igenom en vätska/gas, angiven som flöde per tidsenhet genom en enhetsyta vinkelrät mot strömningsriktningen (betecknas k och anges i m^2).

Hydraulisk konduktivitet används för att kvantifiera genomsläppligheten hos jord eller berg med hänsyn till vätskans (vattnets) egenskaper (betecknas K och anges i m/s).

Transmissivitet används som ett mått på hur mycket vatten, som vid en viss gradient kan röra sig genom ett lager. Den är lika med den hydrauliska konduktiviteten multiplicerad med det vattenförande lagrets mäktighet (betecknas T och anges i m^2/s).

Brunnars förmåga att avge vatten anges ofta med en specifik kapacitet. Den specifika kapaciteten är den volym vatten som avges vid en viss avsänkning av vattennivån i brunnen. Denna avsänkning antas oftast lika med brunns djup.

3 Geologiska och hydrologiska samband

Grundvattnets uppträdande i jord, fyllnadsmaterial och berg styrs av grundläggande hydrauliska samband. Dessa samband sammanfattas i Darcy's lag, som därför bildar utgångspunkten för både analytiska och numeriska metoder vid beräkningar av grundvattenflöde:

$$v = K \cdot I$$

$$q = A \cdot K \cdot I = B \cdot T \cdot I$$

där

K anger det vattenförande mediets hydrauliska konduktivitet (m/s)

I anger grundvattengradienten i flödesriktningen (-)

A anger tvärsnittsytan vinkelrätt grundvattenströmningsriktningen (m^2); $A = B \cdot H$

T anger det vattenförande mediets transmissivitet; $T = K \cdot H$

B anger tvärsnittsytans bredd (m), H anger vattenförande mediets höjd (m)

Som framgår av Darcy's lag finns ett samband mellan flöde och mediets vattenförande förmåga. De beräkningsosäkerheter som vanligen uppstår härrör från oklarheter i jordlagrens sammansättning och utbredning i såväl vertikalled som horisontalled (A) samt dess hydrauliska egenskaper (K).

De hydrauliska sambanden kan med varierande säkerhet undersökas med hydrauliska tester och observationer. Dessa ger kvalitativ och kvantitativ information som kan användas för upprättande av en hydrogeologisk konceptuell modell över området.

4 Geologiska och hydrologiska data

4.1 Datatyper

Utgångspunkten för genomförandet av en grundvattenmodellering är olika data som på olika sätt inverkar på grundvattnets uppträdande. I föreliggande arbete har data utnyttjats från flera olika källor. De olika typer som förekommer i föreliggande modelleringsarbete är främst följande:

- Nivåmätningar av grundvatten och vattendrag
- Geologiska data
- Geofysiska data
- Data från hydraultester
- Meteorologiska data
- Tidigare utredningar

För framtagande av ovanstående data har följande underlag använts:

- Rapporter från tidigare undersökningar
 1. *Eka-projektet Bengtsfors – Seismiska mätningar*, MRM Konsult AB, 2003.
 2. *Förslag till efterbehandling av förorenat industriområde vid Bengtsbrohöljen, Bengtsfors kommun*, Kemakta Konsult AB, 2001.
 3. *Bengtsfors-Bengtsbrohöljen – F.d. kloralkalifabrik, Kompletterande undersökning samt förslag till efterbehandlingsåtgärder*, SGI och Terratema, 1998.
 4. *Föroreningssituationen i mark och sediment vid f.d. kloralkalifabriken i Bengtsfors*, Terratema, 1996.
- Fältdata, fältundersökningar
 1. Pulstester 12-14 december 2002 och 19-20 februari 2003, Geo Innova AB.
 2. Väderdata Bengtsfors, SMHI, 2002-2003.
 3. Nivåmätningar, Geo Innova AB och Bengtsfors kommun, 2002-2003.
 4. *Sammanställning och utvärdering av hydraultester, EKA-området, Bengtsfors*, Aqualog AB, 2003
 5. Geologiskt och geotekniskt underlag, kartor etc, Geo Innova AB

Datakvaliteten styr naturligt modellens förmåga att korrekt återge flödesmönstret i det aktuella området. Dataunderlaget för undersökningsområdet i Bengtsfors är av varierande kvalitet och omfattning. Ett antal osäkerheter har därför identifierats i underlaget som kan påverka modellresultaten. Dessa beskrivs kortfattat i det nedanstående.

4.2 Hydrogeologiska data och osäkerheter

Erforderliga data för numerisk grundvattenmodellering har direkt eller genom bearbetning integrerats i modellen. Förutom direkt användning av resultat från utförda undersökningar och

andra tillgängliga data som topografiska och meteorologiska data har bearbetning av vissa data utförts. Främst är det interpolation av olika data som föreligger i punktform som har utförts. För detta ändamål har den geostatistiska metoden Kriging använts. Data interpoleras i ett regelbundet rutnät som sedan direkt kan inkorporeras i den numeriska modellen. För att inte osäkerheterna i interpolationsförfarandet skall bli för stora, bör data förekomma med en viss täthet.

Modelldata kan grupperas enligt följande:

1. jordlagrens mäktighet och hydraulisk konduktivitet
2. yttre och inre hydrauliska ränder
3. avrinning och grundvattenbildning
4. grundvattennivåer

Data som använts vid modelleringen samt bedömda osäkerheter redovisas nedan. För detaljerat underlag hänvisas till andra dokument, se sammanställning i *avsnitt 4.1*.

4.2.1 Jordlagrens mäktighet och hydraulisk konduktivitet

Allmänt om datatillgången i undersökningsområdet kan sägas att jordlagrens uppbyggnad och hydrauliska egenskaper är utförligast undersökta i anslutning till norra delen av industriområdet. Överst består området av fyllnadsmassor av varierande sammansättning. En sammanställning av fyllnadsmassornas mäktighet har gjorts av Geo Innova AB. Sammanställningen baserar sig bland annat på georadar. Inom det forna EKA-området är bergytans läge undersökt genom JB-sonderingar och seismiska mätningar. Utanför detta område saknas direkta data och jordlagrens mäktighet baserar sig delvis på fältobservationer. Osäkerheten i detta förfarande minskas genom att en stor del av de mer höglänta områdena i undersökningsområdet utgörs av hållblottningar.

Bestämning av hydraulisk konduktivitet har utförts av fyllnadsmaterialet och underliggande morän. Bestämningarna är utförda genom pumptester och pulstester i befintliga grundvattentröror. Genom geostatistik har interpolering av hydraulisk konduktivitet utförts mellan testpunkterna. Dessa har endast gjorts i syfte att ge en vägledning om den hur konduktiviteten varierar över området och i olika geologiska enheter. Genom att dela upp testerna efter vilken geologisk enhet filtret satt i, erhöles interpolerade data för fyllnadsmaterialet och underliggande morän. I de fall data förekommer för glest eller saknas, har erfarenhetsmässiga skattningar gjorts. I vissa fall har bedömningar gjorts utifrån fältobservationer.

De flesta hydrauliska testerna har utförts i de övre marklagren, dvs i fyllnadsmaterial och yt-nära delar av moränen. Det föreligger därför osäkerheter främst avseende jordlagrens hydrauliska egenskaper på större djup.

Utvärderade värden på marklagrens hydrauliska konduktivitet visas i *Tabell 4.1*. För detaljer hänvisas till separat rapport.

Tabell 4.1 Karakteristiska värden på hydraulisk konduktivitet för olika material

Fyllnadsmaterial		Hydraulisk konduktivitet	Naturmaterial	
Beskrivning	Rör		Beskrivning	Rör
Sprängstensfyllnad	7202, 7019	10^{-3} m/s	?	7204
Grov fyllnad, grusig sandig fyllnad	101, 301, 317A, 7201, 7203	10^{-4} m/s		----
Blandad ej grov fyllnad	501, 502, 504	10^{-5} m/s	Blockig morän, Svallad morän	7023, 7205
?	224, 503	10^{-6} m/s	Sandig morän, Ytnära morän	304, 310, 319, 7005, 7006, 7119, 7122
		10^{-7} m/s	Lerig/siltig morän	502, 7016

4.2.2 Yttre och inre hydrauliska ränder

Modellområdets yttre ränder utgörs av Bengtsbrohöljen och Lelången samt naturliga vattendelare i angränsande området. Vattennivån i Bengtsbrohöljen, som är en reglerad sjö, mäts dagligen med pegel. Sedan 1991-01-01 har Bengtsbrohöljens vattenstånd varierat mellan 88.93 – 89.97 möh. I föreliggande arbete har medelvattenståndet för Bengtsbrohöljen satts till 89.33 möh i den stationära modelleringen.

Inne i området finns olika markförlagda konstruktioner såsom rör, ledningar och källare som påverkar grundvattennivån. Även om konstruktioners läge kan anges med god precision, saknas ofta kunskap om konstruktionens effekter på grundvattnet.

Inom området Vexia, öster om EKA-området, finns två infiltrationsmagasin till vilka avleds dagvatten på områdets hårdgjorda ytor samt vatten från tak.

4.2.3 Avrinning och grundvattenbildning

Inga data föreligger om den platspecifika grundvattenbildningen. Denna har därför skattats baserat på nederbördsdata, geologi, markanvändning, vegetation och topografi.

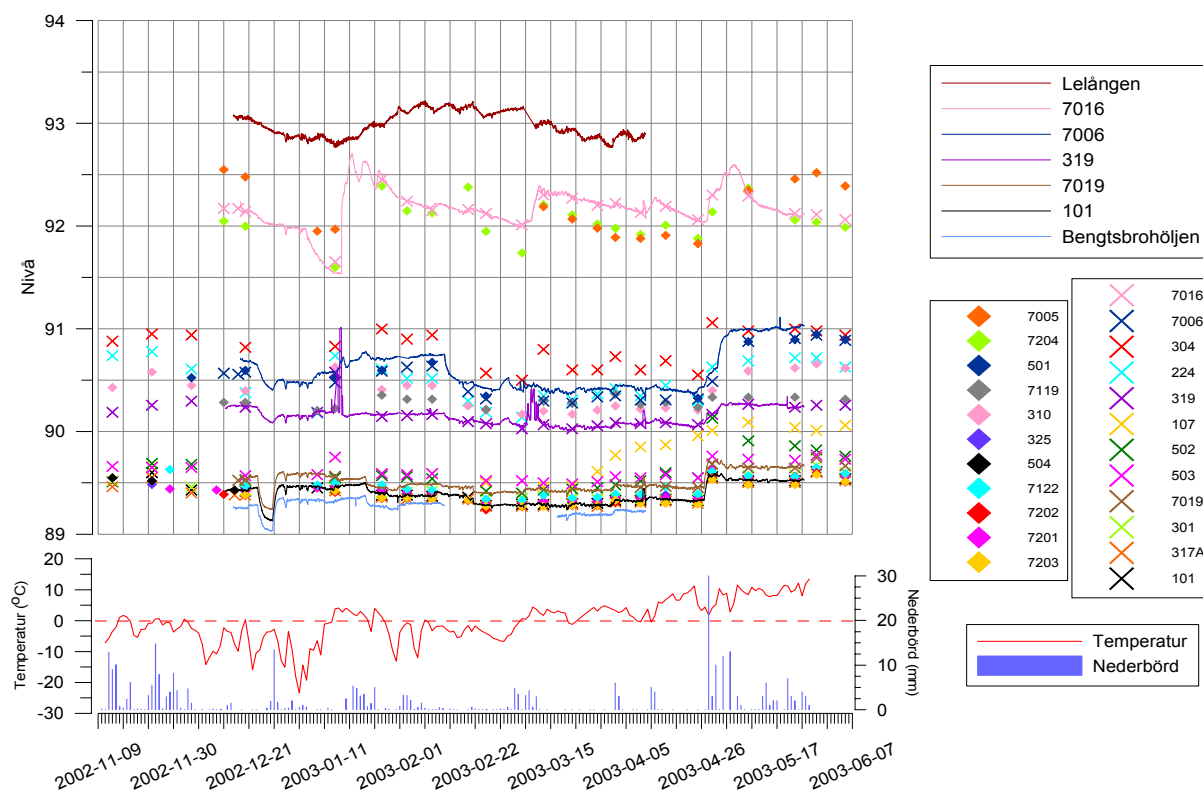
Nederbördsmängden för perioden 2001-11-01-2002-10-31 uppgick till 827 mm. Som en övre gräns för grundvattenbildningen kan anges avrinningen (nettonederbörden), dvs nederbörden minus evapotranspirationen. Enligt SMHIs sammanställning av avrinningsdata för Sverige, uppges 492 mm/år för kartbladet 10B SO Årjäng. Inom undersökningsområdet begränsas grundvattenbildningen av hårdgjorda ytor och bergblottningar samt topografin. Grundvattenbildningen sker främst i de områden som utgörs av ej hårdgjorda, plana ytor väster om vägen samt de områden öster om vägen där berget inte går i dagen.

Dagvatteninfiltrationen inom Vexias område innebär en betydande lokal grundvattenbildning under stora delar av året. Det kan dock förutsättas att snö inom området transporteras bort och därför inte ger något tillskott till grundvattenbildningen. Avledningen från de hårdgjorda ytorna vid Bussgaraget sker via ledningar till Bengtsbrohöljen.

4.2.4 Grundvattennivåer

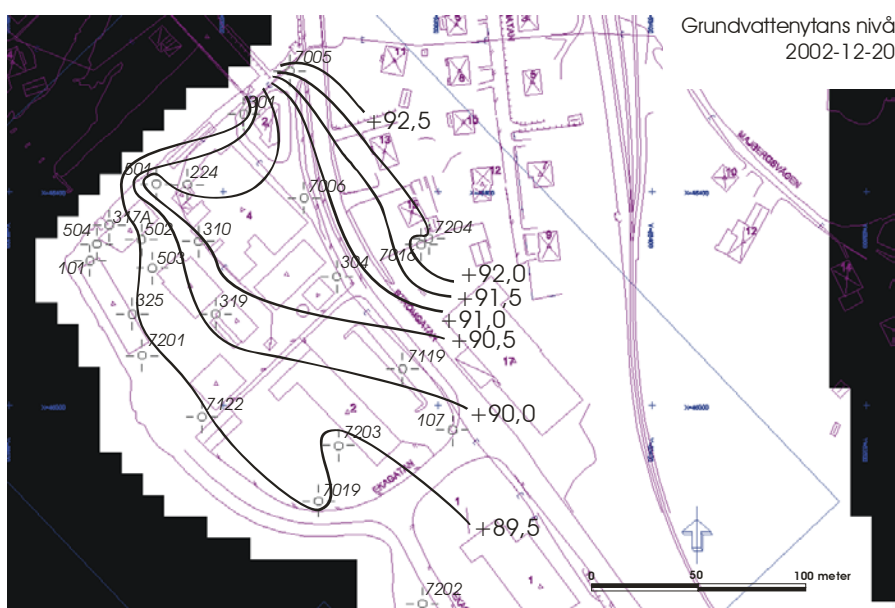
Genom ett antal grundvattenrör har grundvattennivån registrerats manuellt sedan 2002-11-13 och med datalogger sedan 2002-12-14. Uppmätta värden under perioden november 2002 – juni 2003 visas i *Figur 4.1*. Rörens läge framgår av *Figur 4.2* och *4.3*. Mätperiodens längd i kombination med små nederbördsmängder medför att grundvattennivåerna på årsbasis varierar inom ett vidare spann än det uppmätta. Längre mätserier med historiska data existerar inte. Grundvattenrören representerar två olika hydrogeologiska miljöer, fyllnadsmaterial och/eller naturligt material, som utgörs av morän (*Tabell 4.1*).

Genom sammanställning av uppmätta grundvattennivåer har en karta upprättas över tolkade grundvattennivåer. Kartan representerar en ögonblicksbild av grundvattenytans läge. De uppmätta nivåerna styrs i huvudsak av de konduktiva delarna av marken som i de flesta fall består av olika typer av fyllnadsmaterial. Bedömningen av grundvattenytans läge mellan mätpunkterna baseras på interpolering och geologiska och topografiska förhållanden. Grundvattensituationen redovisas vid två skilda tillfällen, 2002-12-20 (*Figur 4.2*) och 2003-03-21 (*Figur 4.3*).

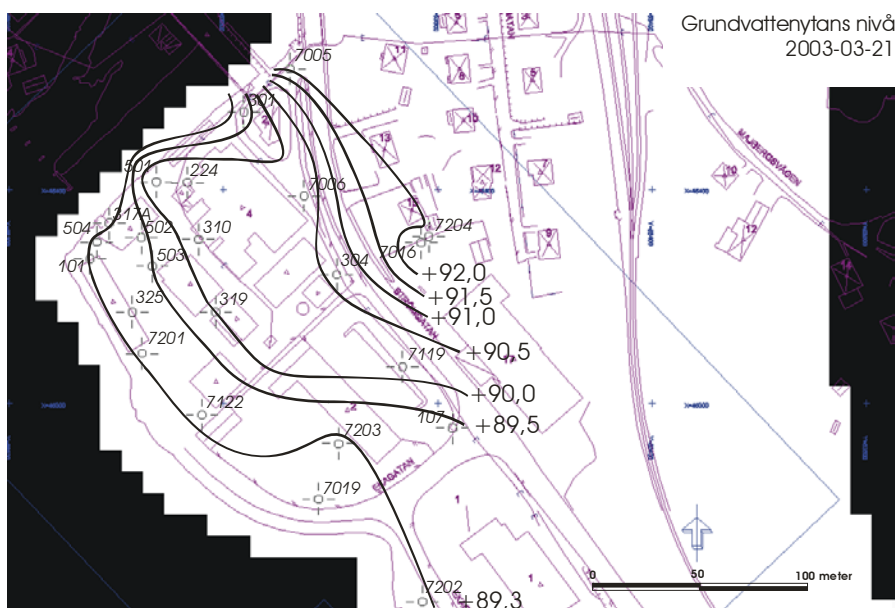


Figur 4.1 Uppmätta grundvattennivåer, nederbörd och temperatur under perioden november 2002 – juni 2003.

Som framgår av tolkade data ligger grundvattennivån längs länsväg 172 på ca +91.0. I rör 7005 längst i norr har uppmätts en betydligt högre nivå (ca +92), vilket är en effekt av att Le-långens nivå är ca 2 m högre än Bengtsbrohöljen. Inom EKAs tidigare fabriksområde faller nivåerna av från +91 till +89.3, som var Bengtsbrohöljens medelnivå under mätperioden. I nordvästra delen av EKAs tidigare fabriksområde har noterats påfallande höga nivåer (grundvattenrör 224 och 501) vilket gett upphov till en kraftig gradient mot Bengtsbrohöljen. Orsaken till denna gradients uppkomst är inte klarlagd, men kan antas vara resultatet av lokala variationer och kommer att behandlas vidare i *Avsnitt 6*.



Figur 4.2 Tolkade grundvattennivåer 2002-12-20.



Figur 4.3 Tolkade grundvattennivåer 2003-03-21

5 Hydrogeologisk konceptuell modell

Den konceptuella hydrogeologiska modellen beskriver förutsättningarna för grundvattenflöde i området, vilket innefattar bl a områdets vattenbalans (hur stor grundvattenbildningen är och var den sker), strömningsriktning, jordlagrens vattenförande förmåga samt dränerande anläggningar och konstruktioner (ledning, källare mm). Vidare är områdets geologiska uppbyggnad med avseende på sammansättning, lagerföljd och mäktighet betydelsefulla faktorer. Detaljeringsgraden i den konceptuella modellen varierar beroende av underlagets kvalitet i olika delar av undersökningsområdet. Arbetet omfattar fältkartering, sonderingar, intervjuer med fastighetsägare samt arkivborrning (kommunens handlingar, bl a ledningskartor). Detta arbete har till stor del utförts och sammanställts av Geo Innova AB.

Modellområdet är beläget inom ett drygt 120 000 m³ stort avrinningsområde som begränsas av ett höjdområde i öster. I väster begränsas området av sjön Bengtsbrohöljen och Lelången. Sjön är reglerad och nivån registreras dagligen med pegel.

Bengtsbrohöljen utgör modellens rand i väster. Övriga ränder i modellen är topografiskt betingade vattendelare. Läget på dessa är bestämt från topografiskt kartmaterial.

Grundvattenbildningen i området begränsas dels av områdets topografi, dels av avsaknaden av infiltrationsytor. Stora delar av avrinningsområdet består av hårdgjorda ytor och berg i dagen. Den naturliga årsmedelgrundvattenbildningen i området antas variera mellan 32 och 220 mm.

Det storskaliga flödet är mot sydväst, se *Figur 4.2* och *Figur 4.3*. I den västligast belägna delen av det studerade området sker ett divergent flöde i udden mot Bengtsbrohöljen.

Undersökningsområdet består av fyllnadsmassor av varierande sammansättning. Området har fyllts ut i etapper sedan slutet av 1800-talet. Fyllnadsmassornas mäktighet varierar vanligen mellan 3-5 m. Lokalt förekommer mäktigheter på 7 m. Fyllnadsmaterialet underlagras av en morän som ställvis når en betydande mäktighet. Mot öster avtar mäktigheten snabbt. Öster om vägen är moränlagret tunt, och berget går i dagen på flera ställen.

Modellområdet har antagits bestå av tre hydrogeologiska enheter som utgörs av fyllnadsmassor, morän och kristallint berg. Fyllnadsmassorna och moränens mäktighet varierar kraftigt över modellområdet, liksom nivån på bergets överyta. Tillgängliga data uppvisar stor heterogenitet i såväl fyllnadsmaterialet som naturmaterialet. Fyllnadsmaterialet omfattar såväl sprängsten som siltigt material. Det mest högkonduktiva fyllnadsmaterialet förekommer längs vissa delar av strandlinjen. Naturmaterialet varierar från blockig till lerig-siltig morän. I vissa delar är moränen sandig. Övergången mellan fyllnadsmaterial och naturmaterial är inte entydig och inom undersökningsområdet kan såväl fyllnadsmaterial som naturmaterial utgöra det översta skiktet. Den struktur eller korrelation som kan antas existera i fördelningen av de hydrauliska egenskaperna i fyllnadsmaterialet, betingas av vid vilken tidpunkt utfyllnaden gjordes. Således kan likåldrigt utfyllnadsmaterial antas ha relativt ensartade hydrauliska egenskaper jämfört med utfyllnader gjorda tidigare och senare.

Läget för moränens överyta och fyllnadsmaterialets mäktighet har i den norra delen av industriområdet bestämts med hjälp av interpolering av seismiska mätningar och till viss del av georadar. I de delar av undersökningsområdet där andra data saknas, har historiska data avseende Bengtsbrohöljens strandlinje använts. Dessa data har sammanställts av Geo Innova AB.

Stratigrafiskt är området öster om vägen i huvudsak uppbyggt av morän på berg. Här har huvudsakligen observationer gjorda på plats legat till grund för bedömningarna. Stora delar är kalt berg och moränens mäktighet antas i förekommande fall inte överstiga 2 m.

Bergets hydrauliska egenskaper bedöms vara av mindre betydelse för föroreningstransport, och ett karaktäristiskt värde för kristallint berg på 2.5×10^{-8} m/s har antagits. Inga större svaghetszoner eller krosszoner har identifierats som kan antas påverka grundvattenflödet.

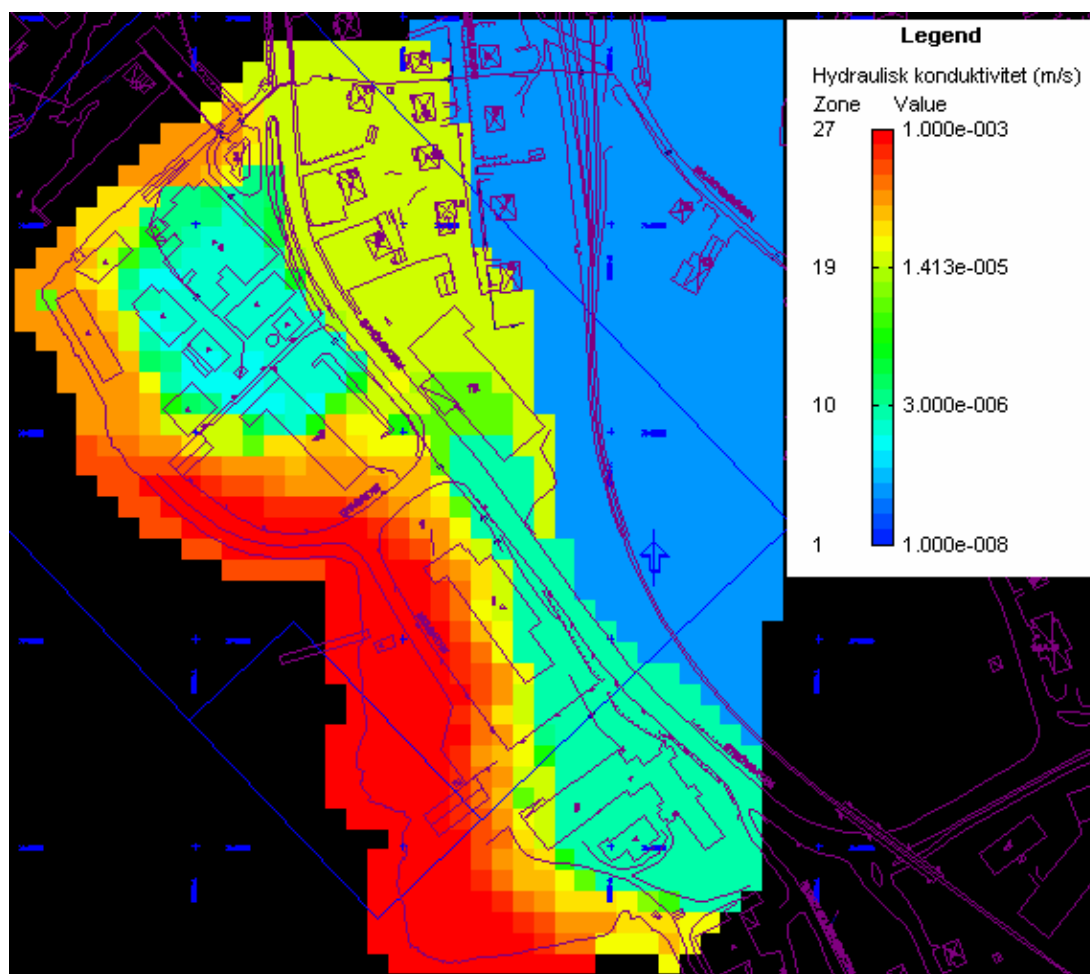
Ett antal konstruktioner inom området kan lokalt påverka grundvattnets uppträdande. Dessa utgörs främst av rörgravar och dräneringsdiken vilka på grund av högre konduktivitet än omgivningen kan utgöra vattenledare. Förutom dessa konstruktioner representerar vägbankar och den inom området anlagda järnvägen konstruktioner med potentiellt högre hydraulisk konduktivitet än omgivningen. Då inga specifika data föreligger, har ingen särskild hänsyn tagits till dessa företeelser vid upprättandet av den konceptuella modellen.

Dagvatten från Vexias område avleds till två infiltrationsbassänger. Flödet har beräknats till sammanlagt ca 2400 m³/år.

6 Numerisk modellering

6.1 Modelldomän

Den upprättade modellen är baserad på den konceptuella modell som utformats för området. Modellen består av tre lager för att återspegla områdets stratigrafi och geologiska uppbyggnad. Cellstorleken är 10x10 m. Modellen omfattar ett ca 120 000 m² stort avrinningsområde. Bengtsbrohöljen utgör modelldomänens begränsning åt väster. I övriga riktningar utgörs modellens gränser av topografiskt betingade vattendelare, se *Figur 6.1*. Modellen är upprättad med programvaran *Groundwater Vistas MODFLOW*.

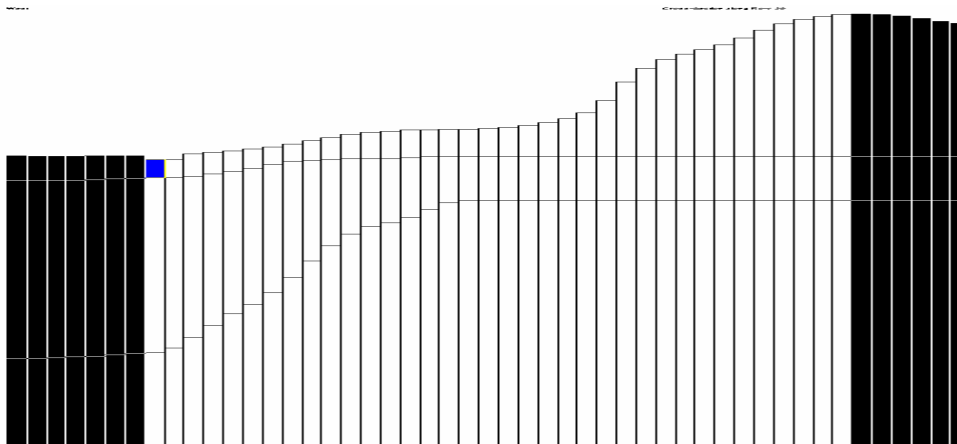


Figur 6.1 Modelldomänen i MODFLOW samt den i modellen ansatta hydrauliska konduktiviteten i det översta lagret efter utförd kalibrering.

Den upprättade, stationära modellen beskriver de hydrogeologiska förhållandena i området, där de geologiska materialens vattenförande förmåga, grundvattenbildning, topografi, markanvändning, initialvillkor och randvillkor utgör förutsättningarna. Den numeriska modellen baserar sig på den konceptuella modellen.

Modellen byggs av tre lager, där det översta lagret (lager 1) från väster mot öster utgörs av fyllnadsmaterial, morän och berg. Det mellersta lagret (lager 2) utgörs från väster mot öster av

morän och berg medan det understa lagret (lager 3) utgörs enbart av berg. I *Figur 6.2* åskådliggörs modellens uppbyggnad genom en sektion. Sektionen är väst-östlig i jämnhöjd med undersökningsområdets västligaste udde.



Figur 6.2 Väst-östlig sektion av modellen i jämnhöjd med undersökningsområdets västligaste udde. Figuren åskådliggör modellens uppbyggnad i vertikalled. De svarta områdena representerar celler som inte används i beräkningarna. Den blåmarkerade cellen markerar Bengtsbrohöljen.

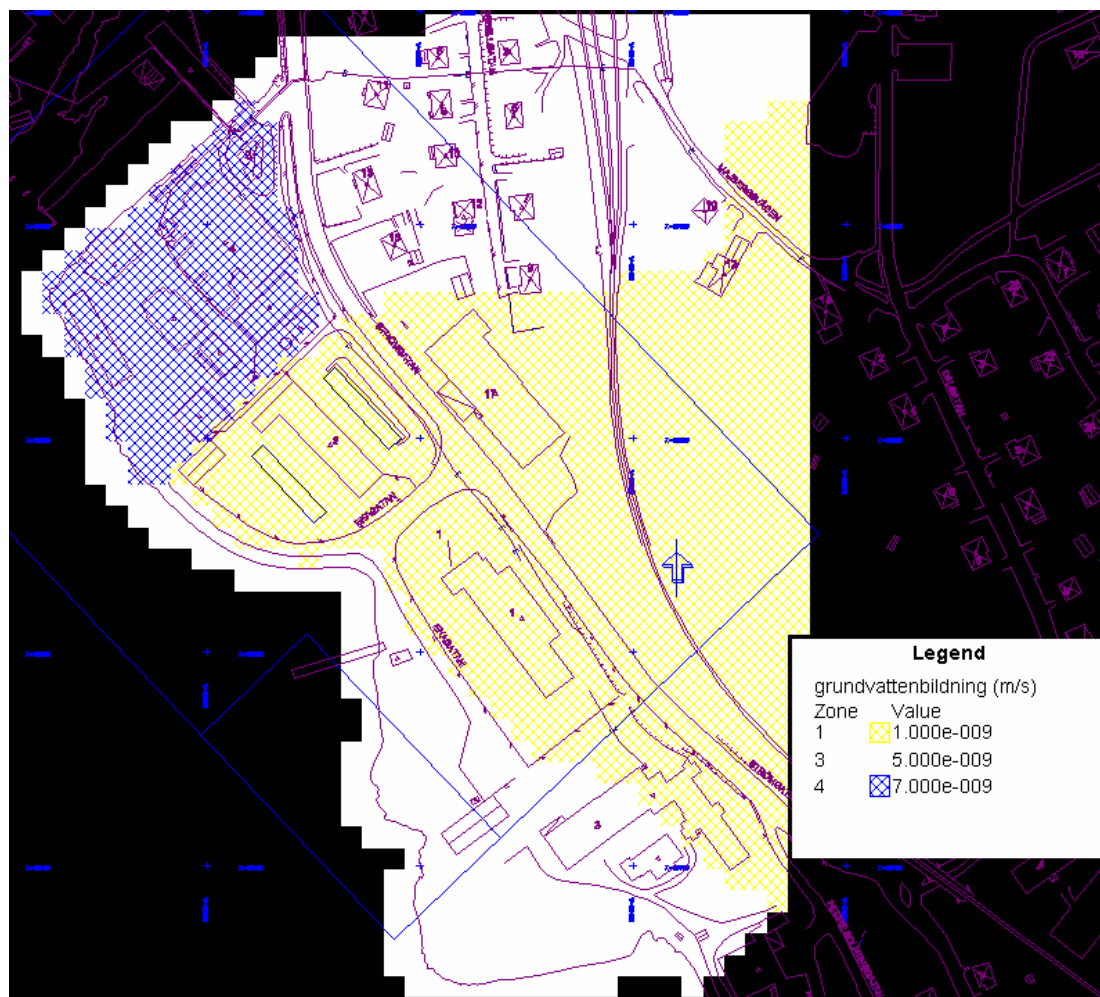
I *Figur 6.1* framgår hur K-värdet varierar i modellen i det översta lagret. Den högsta konduktiviteten återfinns i fyllnadsmaterial närmast strandkanten söder om EKA-området och uppgår till 10^{-3} m/s. Konduktivitetfältet i lager 2 är mer homogent, vilket huvudsakligen skall representera morän i väster och kalt berg eller tunt moräntäcke i öster. K-värdet för hela lager 3 är 2.5×10^{-8} m/s vilket motsvarar kristallint berg. Redovisade K-värden är resultat efter utförd kalibrering.

Grundvattenbildningens antagna variation i området (beroende på en rad olika faktorer såsom geologi, klimat, vegetation och markanvändning) framgår av *Figur 6.3*. Den resulterande naturliga grundvattenbildningen i modellen blir ca $0.00047 \text{ m}^3/\text{s}$ eller ca $14\,800 \text{ m}^3/\text{år}$ motsvarande ett medelvärde på ca $123 \text{ mm}/\text{år}$ för hela modellområdet. Den antagna grundvattenbildningen kan variera något, snarare nedåt än uppåt.

Områdets topografi har integrerats i modellen genom digitalisering av befintligt, analogt kartmaterial i skala 1:1000 och efterföljande interpolering.

Den häri beskrivna stationära, numeriska modellen är avsedd att återspegla ett tillstånd då grundvattenförhållandena och hydrauliska egenskaper är konstanta i tiden. Modellen speglar förhållandena som kan uppstå under kortare tid då ut- och inflöden i modellen är konstanta. En stationär modell kan också ses som en representation av ett årsgenomsnitt.

I *Avsnitt 7* redogörs för en transient modellering där Bengtsbrohöljens nivå tillåts variera inom ett visst intervall. Det förlopp som då studeras är sker under en kortare tidsperiod, varför övriga förlopp är inte varierar över tiden.



Figur 6.3 Den antagna grundvattenbildningens fördelning över modellområdet. Inom Vexias område finns två infiltrationsanläggningar för dagvatten (total årlig infiltration beräknad till ca $1.0e-008$ m/s). Grundvattenbildningen inom Bussgaraget samt ovan liggande bergområde har ansatts i genomsnitt till $1.0e-9$ m/s. Större delen av denna grundvattenbildning sker i fastmarksområdet längs vägen.

6.2 Kalibrering

Modellkalibrering syftar till att etablera att modellen på ett godtagbart sätt återger observerade förhållanden på platsen. Målsättningen är att göra skattningar som medför att beräkningar gjorda av modellen så väl som möjligt överensstämmer med observerade förhållanden. Kalibreringen utförs genom att värdet på olika kritiska parametrar i modellen skattas och varieras inom vissa intervall och resultatet utvärderas. Detta är en delvis iterativ process som innebär att en rad olika värden och kombinationer av värden på ingående parametrar utvärderas. Skillnaden mellan beräknade och observerade värden är det mått på felet som används för att bestämma parametervärdena. Det resulterande felet i varje observationspunkt kan vara positivt eller negativt. Summan av felet för samtliga observationspunkter utgör modellfelet. Negativa värden indikerar att den av modellen beräknade grundvattennivån är högre än observerat, positiva värden det omvända. För detta syfte används data från 23 grundvattenrör. För att

bedöma rimligheten i modellens massbalans utnyttjas avrinningsdata från SMHI i kombination med bedömningar om förutsättningarna för infiltration inom modelldomänen.

Den del av kalibreringen som avser grundvattennivåer har delvis utförts med hjälp av invers modellering, vilket finns implementerat i *Groundwater Vistas MODFLOW*. Utifrån den parameter som skall skattas i kalibreringen, beräknas det optimala värdet för den givna parametern. Optimum är det värde som minimerar summan av felen för samtliga 23 grundvattenrör. Alla rör har givits samma vikt.

Kalibreringen har i första hand inriktats mot justeringar av K-värdet av fyllnadsmaterialet inom olika delar av industriområdet. I andra hand har justeringar gjorts av K-värdet för den underliggande moränen. Även grundvattenbildningen har varierats under kalibreringen. *Figur 6.1* visar hur K-värdet varierar i topplagret efter utförd kalibrering.

En jämförelse mellan observerade och beräknade nivåer ger en översiktlig bild av modellens förmåga att representera grundvattenförhållandena inom undersökningsområdet. De största avvikelserna noteras i rör 224 (0.8 m) och 501 (1.2 m) belägna inom EKA-området. För dessa två rör är den observerade nivån högre än modellresultatet. Då rören befinner sig intill varandra, kan det antas förekomma någon lokal variation i jordlagrens sammansättning som inte är korrekt representerad i modellen. Möjligen kan dessa rör påverkade av Lelångens nivå. I *Tabell 6.1* redovisas beräknat och observerat värde för samtliga rör.

Tabell 6.1 Observerad och beräknat värde för samtliga grundvattenrör använda i kalibreringen. Observationerna är från mättillfället 2002-12-20.

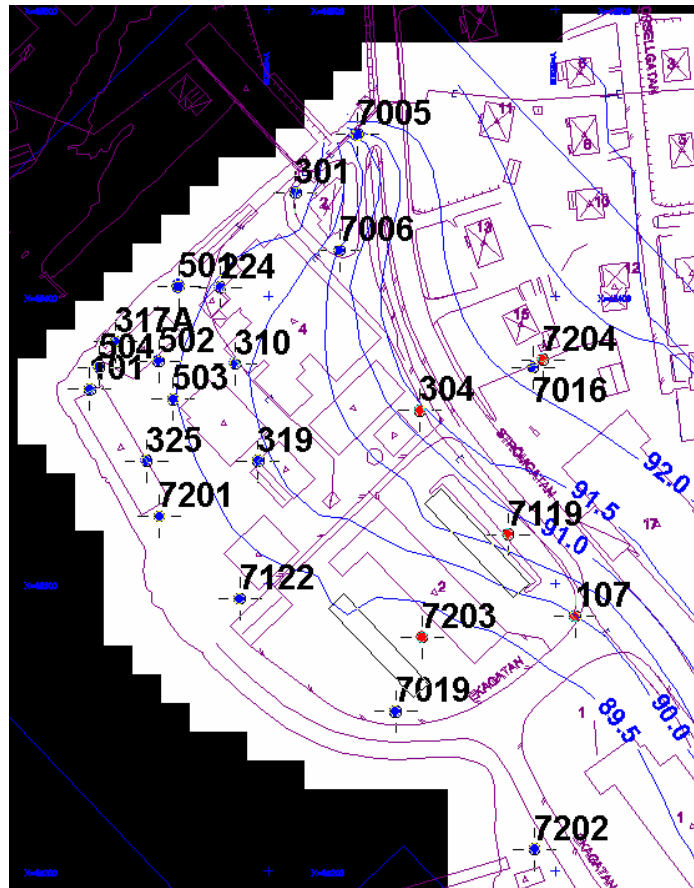
Namn	Observerat värde	Beräknat värde	Vikt	Residual
101	89.42	89.34	1	0.08
107	89.59	89.99	1	-0.4
224	90.38	89.57	1	0.81
301	89.43	89.42	1	0.01
304	90.82	91.39	1	-0.57
310	90.40	89.89	1	0.51
319	90.24	89.93	1	0.31
317A	89.38	89.34	1	0.04
325	89.45	89.35	1	0.10
501	90.59	89.36	1	1.23
502	89.53	89.41	1	0.12
503	89.57	89.48	1	0.09
504	89.44	89.34	1	0.10
7201	89.42	89.35	1	0.08
7122	89.47	89.35	1	0.12
7202	89.38	89.33	1	0.05
7204	92.00	92.17	1	-0.17
7016	92.14	92.11	1	0.03
7119	90.28	90.71	1	-0.43
7005	92.48	90.20	1	1.28
7006	90.68	90.50	1	0.18
7019	89.53	89.34	1	0.19
7203	89.38	89.41	1	-0.03

Av tabellen framgår även att modellens nivåer är låga i lägena för rör 310 och 319. Observationer gjorda i närliggande rör uppvisar betydligt mindre fel. Det innebär att grundvattennivåerna i den västligaste delen av undersökningsområdet uppvisar stora variationer på korta avstånd, vilket sannolikt speglar områdets hydrogeologi.

Modellens förmåga att avspegla uppmätta grundvattennivåer utgör tillsammans med vattenbalansen ett mått på precisionen i kalibreringen. Genom att studera modellens vattenbalans erhålls en uppfattning om simulerade in- och utflöden överensstämmer med de verkliga förhållandena. Orimligt höga in- och utflöden i modellen innebär felaktigheter i antingen parameterintervall eller den konceptuella uppbyggnaden av modellen. Även skillnaden mellan inflödet och utflödet i modellen ger ett mått på modellens numeriska prestanda. Idealiskt är skillnaden, eller felet $<0.1\%$, men 1% kan vara acceptabelt.

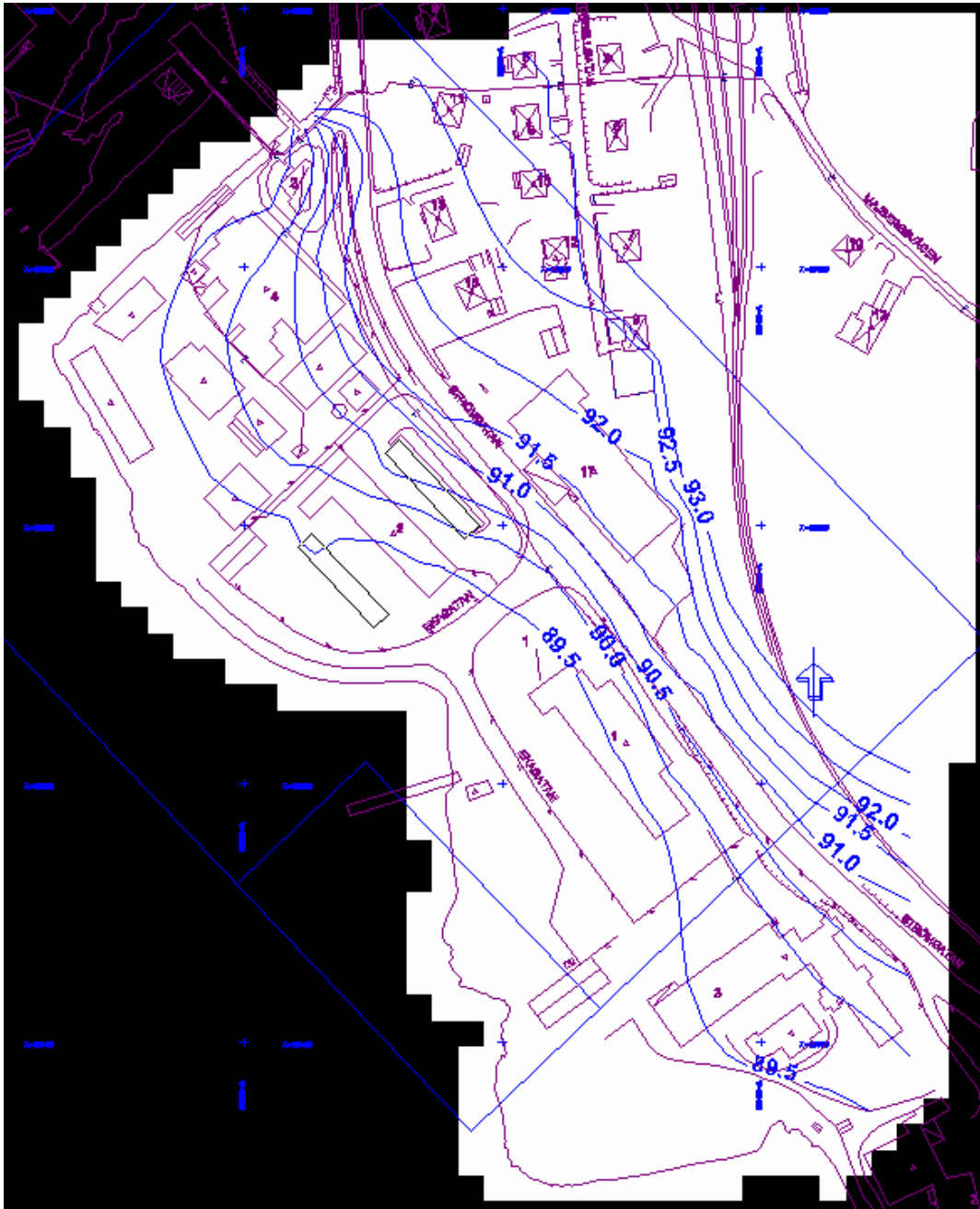
Den upprättade modellen har inflöden i form av grundvattenbildning på $0.00047 \text{ m}^3/\text{s}$ ($123 \text{ mm}/\text{år}$) samt inflöde från den hydrauliska randen på $0.00025 \text{ m}^3/\text{s}$. Det totala utflödet via den hydrauliska randen är sålunda beräknat till $0.00072 \text{ m}^3/\text{s}$. Inflödet sker huvudsakligen från den del av randen som motsvarar Lelången. Osäkerheten vad det rör flödet i jordlagren mellan Lelången och Bengtsbrohöljen är betydande. Konduktiviteten i den aktuella delen av undersökningsområdet är endast bestämd med ett enhålstest. Denna osäkerhet är emellertid av mindre betydelse för modellens totala uppförande.

I *Figur 6.4* åskådliggörs grundvattenrörens läge tillsammans med en cirkel vars diameter är proportionell mot skillnaden mellan observerad och beräknad grundvattennivå. Den röda färgen indikerar en högre nivå i modellen än observerat, blå färg indikerar lägre. Av *Figur 6.4* framgår att i samtliga rör i anslutning till vägen, utom 7005, är den beräknade nivån för hög. Då vägens konstruktion inte är fullständigt känd, kan detta antas bero på att eventuellt förekommande dränering inte är fullt korrekt återgiven i modellen.



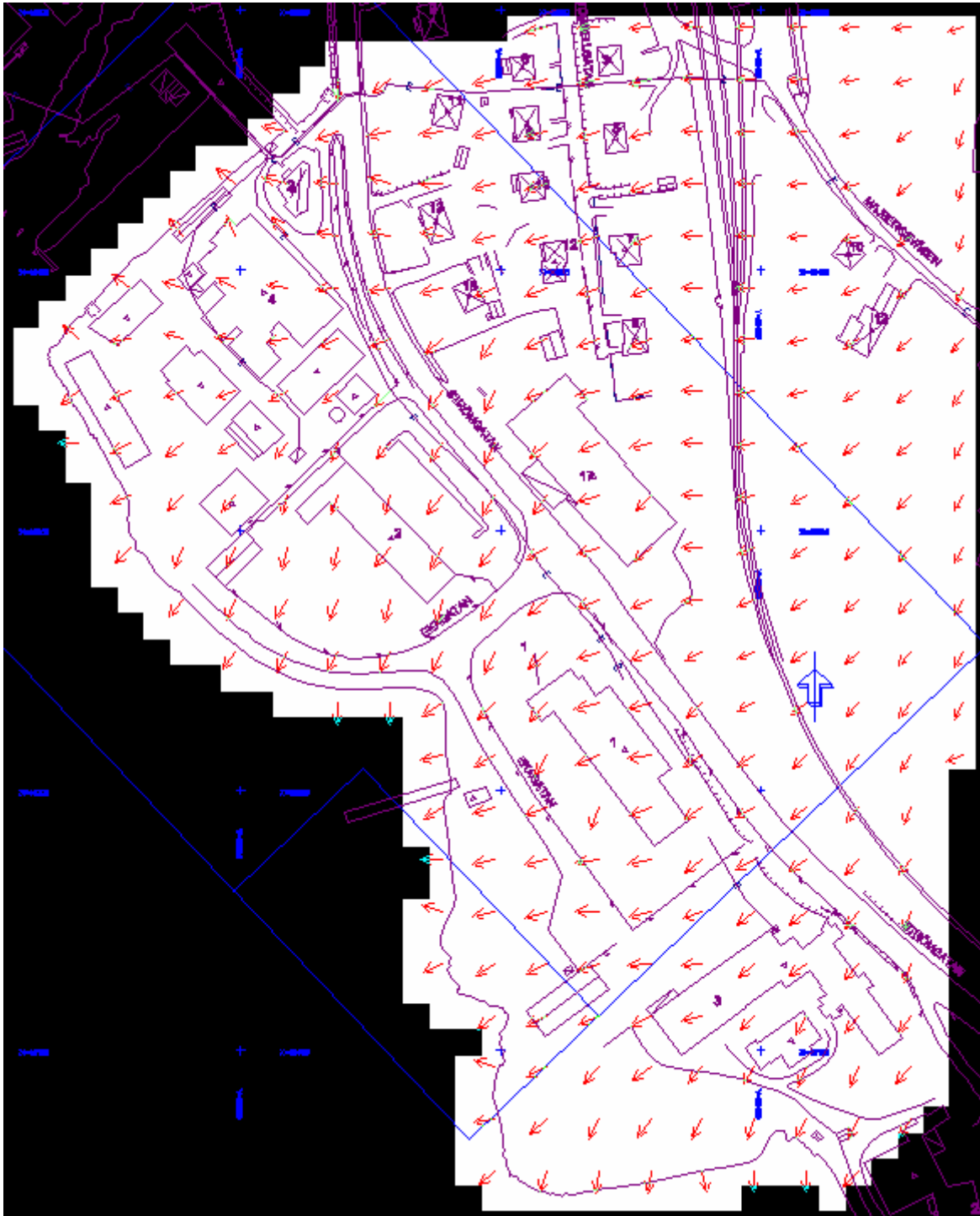
Figur 6.4 De i kalibreringen använda grundvattenrörens läge. Röd fylld cirkel betyder att modellen har beräknat ett högre värde än det uppmätta, blå fylld cirkel det omvända.

Beräknade nivåer från kalibrering av stationär modell visas i *Figur 6.5*. Beräknad grundvattenbild överensstämmer väl med det allmänna flödesmönstret i området och kartorna över grundvattennivåer i *Figur 4.2* och *4.3*. Dessa uppvisar dock en större lokal variation vid rör 224 och 501. En sådan anomali är svår att representera med den använda grundvattenmodellen. Genom att öka modellens upplösning och genom att detaljerat bestämma de lokala konduktivitetsvariationer som är det troliga upphovet till avvikelserna, är det möjligt att återge de lokala variationerna. I ev. kommande undersökningar kan det vara lämpligt att undersöka hur representativa de uppmätta värdena är och hur väl de avspeglar grundvattenytan i fyllnadsmaterial, samt om eventuella ledningar påverkar nivåerna i dessa rör.



Figur 6.5 Grundvattennivåer från modellkalibrering stationärt flöde. De svarta områdena är inaktiva i beräkningarna.

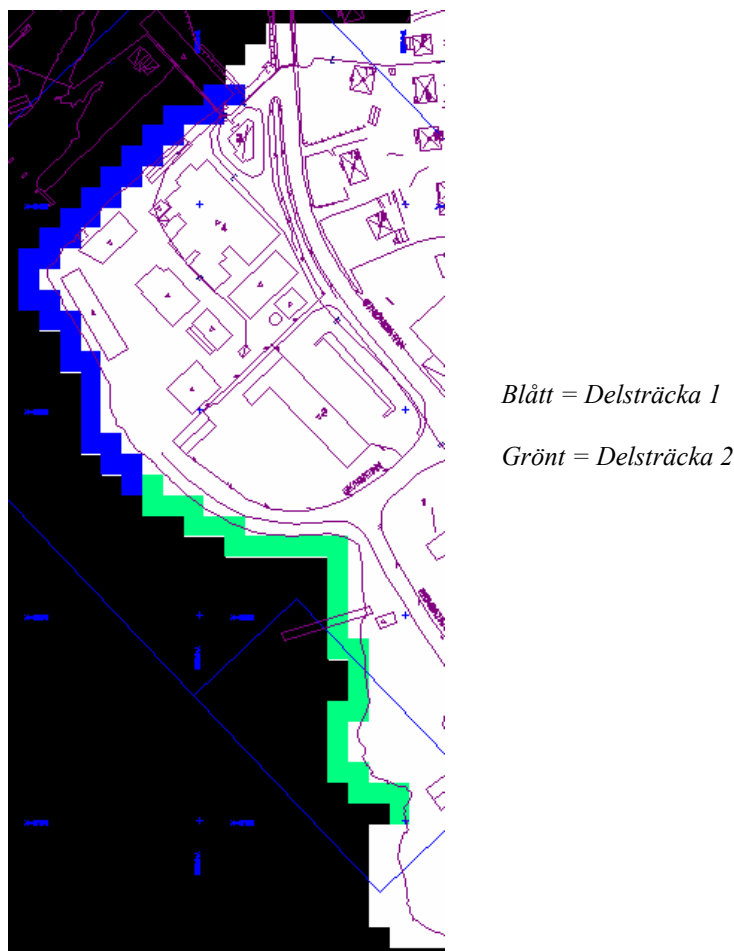
Som framgår av *Figur 6.6* sker inom EKA-området ett divergent flöde mot Bengtsbrohöljen. På grund av den begränsade upplösningen framgår det inte i figuren att det sker ett flöde från Lelången. Modellberäkningarna tyder på att detta flöde är betydande, i storleksordningen $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ eller $7\,900 \text{ m}^3/\text{år}$.



Figur 6.6 Grundvattnets strömningsmönster från modellkalibrering stationärt flöde.

För att undersöka hur utflödet till Bengtsbrohöljen fördelar sig längs olika sträckor av strandlinjen, har den hydrauliska gränsen separerats i två delsträckor. Indelningen är gjord enligt *Figur 6.7*. Flödet ut längs delsträcka 1 är ungefär dubbelt så stort som för delsträcka 2. Utflödena redovisas i *Tabell 6.2*. Förklaringen till detta är inflöde över den hydrauliska gräns som motsvaras av Lelången, norr om delsträcka 1. Nettoflödet via den hydrauliska gränsen i hela

sin längd är utflöde på ca $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ eller $14\,500 \text{ m}^3/\text{år}$ vilket motsvarar undersökningsområdets grundvattenbildning. Av detta utgör ca $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ grundvattenbildning från höjdområdet öster om väg 172. Inströmning av grundvatten till EKA-tomten från angränsade höjdområde i öster uppgår enligt beräkningarna till ca $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 6.7 Kartan visar de två delsträckorna där in- och utflöden studerats

Tabell 6.2 Utflödet från olika delsträckor längs strandlinjen

	Utflöde m^3/s	Utflöde $\text{m}^3/\text{år}$
Delsträcka 1	$4,22 \cdot 10^{-4}$	13 300
Delsträcka 2	$2,27 \cdot 10^{-4}$	7 150

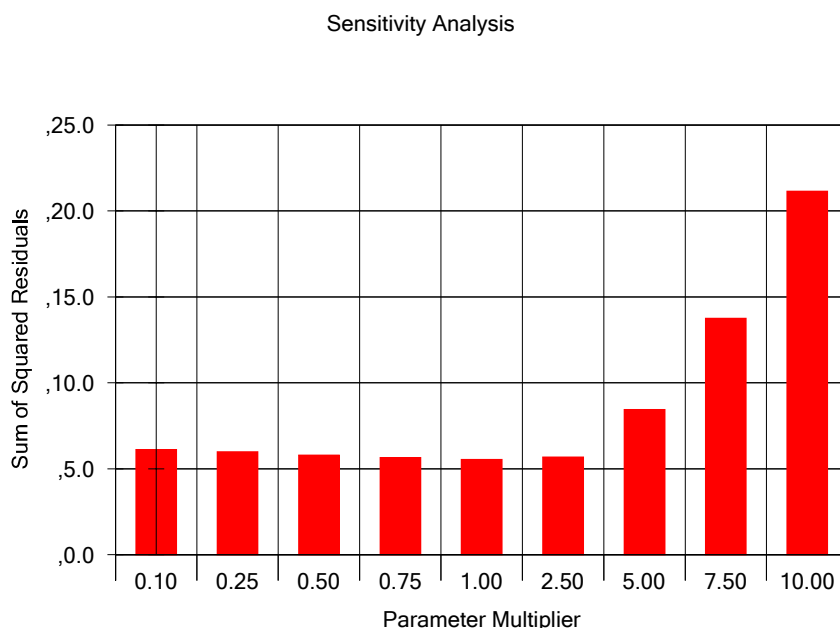
Huvuddelen av flödet sker i fyllnadsmaterial och i övre naturmaterial, i storleksordningen 99% av det totala flödet. Utöver flödena längs delsträcka 1 och 2 sker ett flöde norr och söder om dessa. Utflödet söder om delsträcka 2 uppgår till ca $2\,000 \text{ m}^3/\text{år}$.

En rimlighetsbedömning har gjorts av tänkbart fel i grundvattenbildningen, vilken styr utgående grundvattenflöde. Den genomsnittliga årliga grundvattenbildningen uppgår enligt modellen till ca 125 mm. Ett rimligt intervall bedöms vara 100-135 mm. Felet i det lokala flödet vid kraftverksdammen vid Lelången är betydligt större, ca $\pm 50\%$.

6.3 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen syftar till att studera hur värdena på de ingående parametrarna påverkar modellens resultat. En parameter i taget analyseras genom att värdet för denna varieras inom ett givet intervall, och en modellberäkning utförs för varje givet parametervärde inom intervallet. För varje modellberäkning bestäms felet med avseende på grundvattennivå som skillnaden mellan observerat och uppmätt värde enligt *Avsnitt 6.2*. I föreliggande analys varieras den aktuella parameterens värde inom intervallet 0.1 – 10 och omfattar nio steg. I första hand har de parametrar undersökts som uppfattas som mest osäkra och som kan påverka modellresultatet mest.

Grundvattenbildningen inom området väster om vägen har bedömts utgöra en osäkerhetskälla eftersom detta område är mest påverkat av mänsklig aktivitet. Därför har en känslighetsanalys utförts av hur valet av grundvattenbildning inom industriområdet påverkar beräkningsresultatet. Grundvattenbildningen i den norra delen av industriområdet är indelad i två zoner beroende på ytans beskaffenhet. Grundvattenbildningen har initialt satts till 160 mm/år. I känslighetsanalysen har grundvattenbildningen varierats mellan 16 och 1600 mm/år. I *Figur 6.8* framställs felet som en funktion av grundvattenbildningen. Grundvattenbildningen inom detta område påverkar endast i ringa omfattning modellens precision i fråga om grundvattennivåerna. Först vid 5 -7.5 gångers ökning av grundvattenbildningen ökar felet markant.

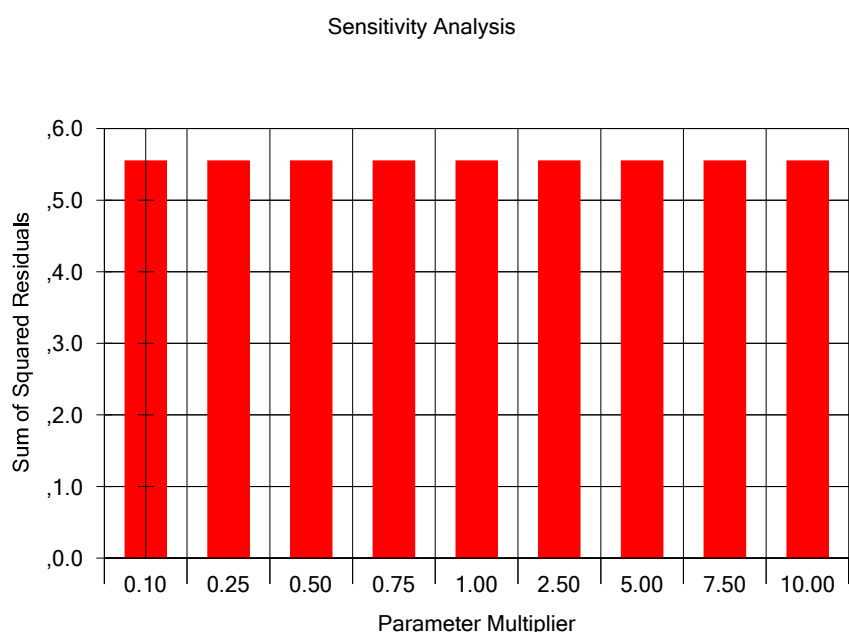


Figur 6.8 *Avvikelser i grundvattennivå mellan beräknat och uppmätt värde som en funktion av grundvattenbildningen inom ett delområde av modellen. Se texten för förklaring.*

Direkt söder om EKA-området finns ett område huvudsakligen bestående av asfalterade ytor och grundvattenbildningen har skattats till 32 mm/år. Känslighetsanalysen av denna grundvattenbildning ger ett resultat snarlikt det som redovisas i *Figur 6.8*.

Modellresultatets känslighet med avseende på den hydrauliska konduktiviteten har också undersökts. Konduktivitetfältet inom industriområdets fyllnadsmassor kan antas vara mycket heterogent med stora variationer såväl horisontellt som vertikalt och utgör därför en potentiell felkälla. Det kan också antas att moränlagrets förmåga att leda vatten har betydelse för områdets grundvattensituation.

Känslighetsanalysen av den ansatta konduktiviteten i moränen, indikerar att felet är i stort sett oberoende av variationer inom det givna intervallet, se *Figur 6.9*.



Figur 6.9 *Avvikelse i grundvattennivå mellan beräknat och uppmätt värde som en funktion av hydraulisk konduktivitet i moränen. Se texten för förklaring.*

Variationer av den hydrauliska konduktiviteten i moränen inom den del av undersökningsområdet som är beläget väster om vägen har begränsad inverkan på felet. Känslighetsanalysen har visat att endast marginella skillnader uppstår i modellens beräknade grundvattennivåer som ett resultat av förändringar av hydraulisk konduktivitet. Detta gäller den norra delen av undersökningsområdet där kalibreringsdata finns.

Strömningsmönstret inom undersökningsområdet kan lokalt avvika från det beräknade om stora kontraster i hydraulisk konduktivitet finns mellan olika konstruktioner i jord och omgivande fyllnadsmassor.

Genom att höja kvaliteten på underlagsdata kan precisionen i modelleringen höjas.

7 Transient modellering av nivåvariationer

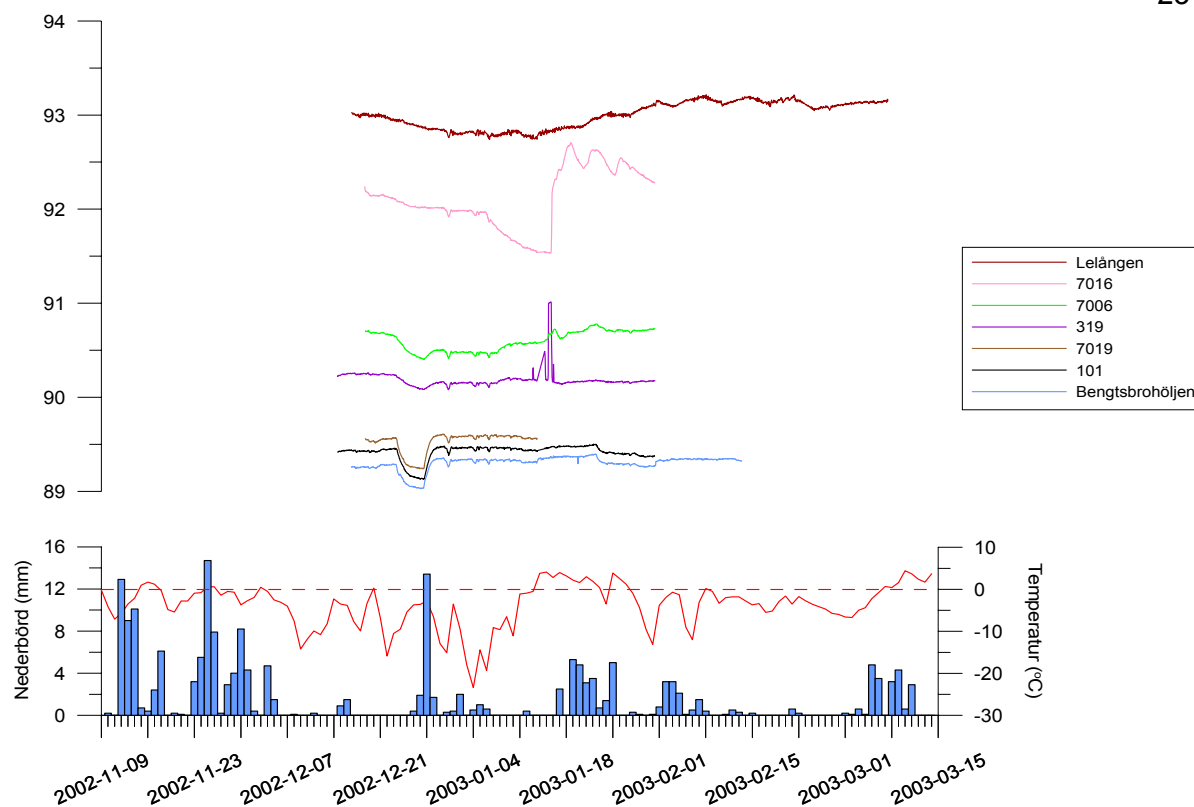
7.1 Inledning

Bengtsbrohöljen är som tidigare nämnts reglerad. I samband med uppkomna nivåvariationer sker en anpassning av grundvattnets flödesriktning närmast Bengtsbrohöljen. Ett oscillerande flöde kan antas uppkomma; inflöde av ytvatten i samband med att nivån i Bengtsbrohöljen stiger, och ett accelererande utflöde när nivån sjunker. Härigenom inverkar vattenståndet i Bengtsbrohöljen på föroreningsspridningen från fabriksområdet. Vid ett högre vattenstånd exponeras en större volym fyllnadsmassor för potentiell förorenings-spridning via utströmmande grundvattnet.

I en tidigare utredning (Kemakta, 2000) anges att vattenståndsvariationerna i Bengtsbrohöljen ger upphov till ett tilläggsflöde på 2 500 – 4 300 m³/år (brutto). Vid dessa beräkningar har antagits transienta nivåförändringar på 0.05 - 0.5 meter med en varaktighet mellan 1 och 60 dagar. Vid dessa beräkningar har ingen hänsyn tagits till det naturliga grundvattenflödet.

Det är rimligt att det naturliga grundvattenflödet reducerar inflöde av vatten från Bengtsbrohöljen genom att dämning uppkommer. Vid en långsam stigning av nivån i Bengtsbrohöljen kan det naturliga grundvattenflödet upprätthålla det naturliga flödesmönstret. Sker stigningen snabbt kan ett omvänt flöde uppkomma, dvs från Bengtsbrohöljen in mot de förorenade markområdena. För att studera vilka förutsättningar som krävs för att en omvänd strömningssituation skall uppkomma har transient modellering utförts.

För att studera de kortvariga transienter som variationer av Bengtsbrohöljens vattenstånd ger upphov till, krävs nivådata med hög temporal upplösning. I praktiken innebär det att data från datalogger krävs. Sådana data finns tillgängliga för perioden 2002-12-14 – 2003-01-31 för grundvattenrör 101, 319, 7019 och 7006. Under denna period sker en större fluktuation i slutet av december där nivån i Bengtsbrohöljen varierar mellan +89.03 och +89.38. Mätningarna redovisas i *Figur 7.1* som också innehåller temperatur- och nederbördsdata för den aktuella perioden.



Figur 7.1 Grundvattennivå från datalogger för grundvattenrör, vattenstånd för Bengtsbrohöljen och Lelången samt meteorologiska data för aktuell period.

För att kvantitativt studera effekterna av nivåvariationer i Bengtsbrohöljen har en numerisk grundvattenmodell upprättats i Groundwater Vistas MODFLOW. Modellens yta är 100x10 m med ena kortsidan utgörande strandlinjen mot Bengtsbrohöljen. Modellen består av två lager, det översta representerar fyllnadsmaterialet närmast stranden och moränen på längre avstånd. Det undre lagret består av ett mindre permeabelt lager motsvarande moränen. Värderna på hydrauliska parametrar som konduktivitet och magasinskoefficient erhöles från den utförda provpumpningen.

Med hjälp modellen har det varit möjligt att i samband med variationer av Bengtsbrohöljens vattenstånd studera:

- Hur flödesriktningen varierar över tid
- Vattenutbytet mellan grundvattenmagasinet och Bengtsbrohöljen
- Känslighetsanalys av hydrauliska parametrar med avseende på grundvattenströmningen

För att kunna kalibrera modellen har data från den ovan beskrivna större variationen av Bengtsbrohöljens nivå, närmare bestämt under perioden 2002-12-23 – 2002-12-29 utnyttjats. Denna störning inleddes som en snabb sänkning motsvarande 0.25 m och följdes av en stigning på ca 0.3 m. Förutom Bengtsbrohöljen och Lelången, finns detaljerade mätdata från dataloggers från fem grundvattenrör. Dessa data har använts för kalibrering av modellen.

Vid modelleringsarbetet har två olika scenarier utvärderats. De två scenarierna är avsedda att spegla dels de variationer som uppkommer mer frekvent, dels en mer extrem händelse. Det förstnämnda scenariot motsvarar en successiv höjning av vattenståndet med 0.02 m var tredje timme, totalt 0.1 m. Den mer extrema händelsen motsvaras av en höjning på 0.25 m under ett dygn.

Scenarierna utvärderas genom att studera hur grundvattnet uppträder i modellen med avseende på följande:

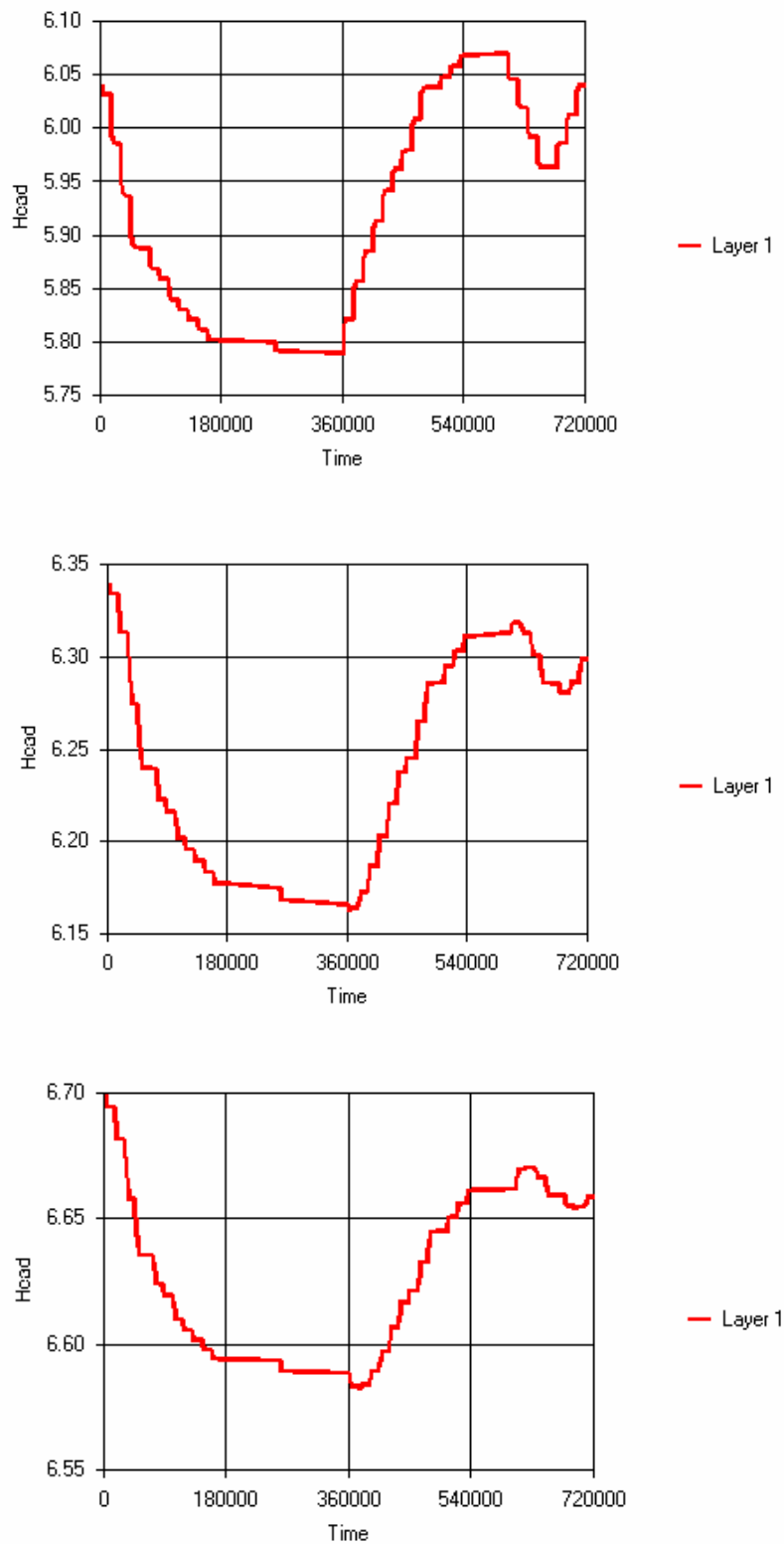
- Grundvattennivåernas variation över tiden inom olika delar av modellen
- Flödesriktningen inom olika delar av modellen
- Modellens totala vattenbalans samt in- och utflödet över delränderna

7.2 Resultat

7.2.1 Kalibrering

Genom att i modellen variera den hydrauliska gräns i modellen som motsvarar Bengtsbrohöljen, efterliknas den störning som inträffade 2002-12-23 – 2002-12-29. Grundvattennivåns variationer över tiden kan studeras i ett antal observationspunkter och det möjligt att studera hur den inducerade störningen fortplantar sig i modellen. Kalibreringen syftar till att i modellen erhålla variationer på olika avstånd från Bengtsbrohöljen som motsvarar de uppmätta nivåerna i grundvattenrören. Genom justeringar av olika parametervärden har modellen anpassats till att överensstämma med observerade nivåer. Den kalibrerade modellen har utgjort utgångspunkten i den vidare modelleringen.

Kalibreringsberäkningen visar att nivåförändringen i Bengtsbrohöljen påverkar grundvattennivåerna på långt avstånd från strandlinjen, *Figur 7.2*. Närmast stranden (3 meter) överensstämmer grundvattennivåförändringen helt med nivån i Bengtsbrohöljen, medan förändringen 20 och 40 meter från stranden dämpas med ca 30 respektive 50%.



Figur 7.2 Grundvattennivåns variation 3 m (överst), 20 m (mitten) och 40 m (nederst) från strandlinjen till Bengtsbrohöljen

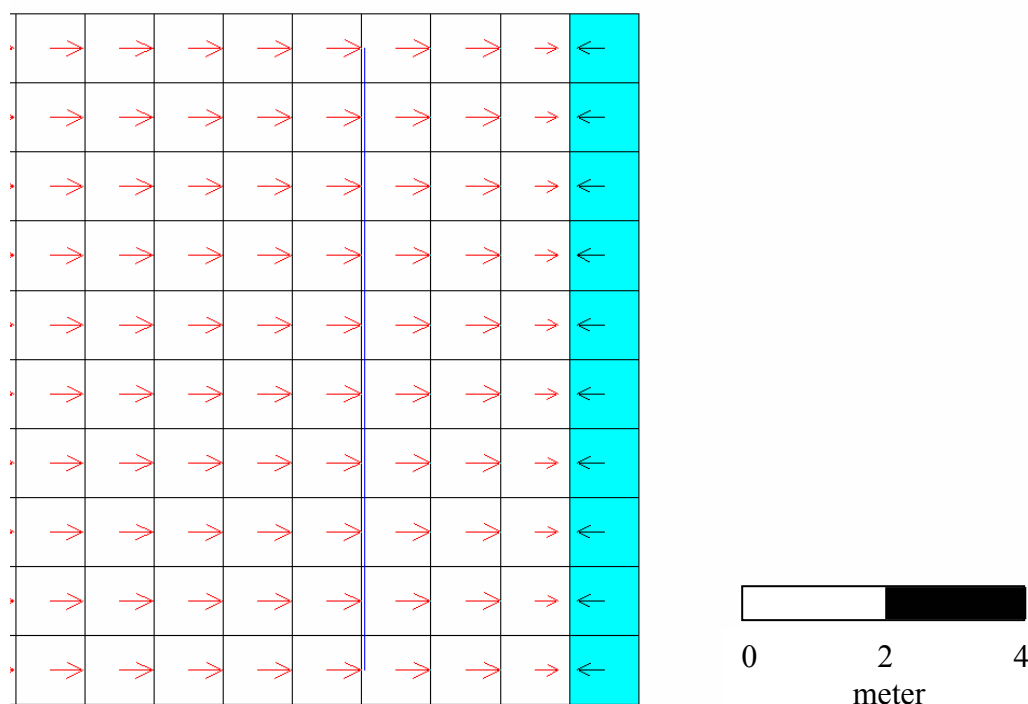
7.2.2 Scenario moderat variation

Genom att modellera en successiv, moderat höjning, 0.02 m var tredje timme under totalt 15 timmar, efterliknas en variation av nivån i Bengtsbrohöljen som motsvarar de variationer som kan iaktas i mätdata. Modellberäkningen visar att höjningen av nivån därmed sker så långsamt att något flöde från Bengtsbrohöljen inte hinner etableras. Den dämmande effekt som nivåhöjningen får, kompenseras helt av det existerande grundvattenflödet.

7.2.3 Scenario extrem variation

Genom att modellera en större stigning av Bengtsbrohöljens nivå, 0.3 m på 1.5 dygn, kan effekterna av en mer extrem variation studeras. En sådan större förändring innebär att ett flöde motriktat grundvattenflödet etableras från Bengtsbrohöljen. Effekten av den ändrade flödesriktningen är dock liten, dels på grund av att det sker under kort tid och dels inte berör mer än några meter av grundvattenmagasinet. Det innebär också att endast små mängder sjövattnet transporteras in i magasinet, i storleksordningen några liter per meter strandkant.

100



Figur 7.3 Flödesriktningen i ett tidssteg under scenariot extrem variation i en del av modellen närmast strandlinjen (blått).

Flödet från den hydrauliska gränsen begränsas av den naturliga gradient som finns i fyllnadsmassorna. Trots att variationen av Bengtsbrohöljens nivå kan anses extrem mot bakgrund av historiska data, innebär det ingen större påverkan på den naturliga gradienten. En ytterligare faktor som begränsar inflödet från Bengtsbrohöljen är fyllnadsmassornas relativt låga konduktivitet i de centrala delarna av området. Det är i de strandnära partierna som konduktiviteten är högst.

8 Sammanfattning

En konceptuell modell har etablerats över undersökningsområdet. Utifrån denna har en numerisk, stationär modell upprättats. Modellen har kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer. Efter utförd kalibrering uppvisar modellen god överensstämmelse med uppmätta grundvattennivåer. De avvikelser som förekommer antas bero på lokala variationer i områdets geologi som är för småskaliga för att korrekt återges i den upprättade modellen. När det gäller nivåer i modellen som överskrider uppmätta värden kan förklaringen finnas i dränerande konstruktioner i området vars funktion inte är känd.

Även en transient modell har upprättats. Syftet med denna modell har främst varit att beskriva de effekter på grundvattenflödet i modellen som beror av Bengtsbrohöljens nivåvariationer. Härvid har, förutom ett kalibreringsscenario två scenarier modellerats, ett för att studera mer frekvent förekommande variationer av Bengtsbrohöljen och ett för mer extrema händelser. Modelleringen visar att endast små mängder vatten från Bengtsbrohöljen kan antas tränga in i fyllnadsmaterialet och då endast som ett resultat av mer extrema variationer. Genom en höjning av nivån i Bengtsbrohöljen exponeras en större volym fyllnadsmaterial för vatten. Detta bedöms vara av större betydelse för föroreningstransporten än de tilläggsflöden som kan uppkomma i samband med nivåvariationer.

Känslighetsanalysen indikerar att den upprättade modellen är robust vad det gäller variationer i hydraulisk konduktivitet och grundvattenbildning under de förutsättningar som gäller för känslighetsanalysen (*Avsnitt 6.3*). Analysen visar också att parametervärdena ligger nära det optimala vad det gäller att minimera modellens beräkningsfel uttryckt som skillnad mellan observerad och beräknad grundvattennivå. Följden av detta är att modellens förmåga att producera korrekta resultat inte förbättras avsevärt när det gäller grundvattennivåer genom detaljerade bestämningar av enskilda parametervärden, dock med undantag för området runt rör 224 och 501.


Göteborg den 30 juli 2003

Reviderad 5 oktober 2003

Aqualog AB



Ulf Sundqvist



David Wladis