

Beskrivning av hydrogeologisk konceptuell modell

PM

Bengtsfors kommun

Rapport nr EKA 2005:6

2006-04-12

Författad av

Elke Myrhede, Fredrik Mossmark och Jan Sundberg, Geo Innova AB¹

¹ Geoteknik, geologi och geohydrologi

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
BILAGEFÖRTECKNING	2
1 BAKGRUND	3
2 SYFTE	3
3 GENOMFÖRANDE	3
3.1 <i>INSTALLATION AV NYA FILTERBRUNNAR</i>	4
3.2 <i>LOKALISERING AV TÄTARE SKIKT</i>	5
3.3 <i>PROVPUMPNINGAR</i>	6
3.3.1 <i>Kortvariga interferensförsök</i>	6
3.3.2 <i>Långvarig provpumpning i Lelångs närhet</i>	6
3.4 <i>SPÅRÄMNESFÖRSÖK -FLÖDESVÄGAR</i>	8
3.5 <i>ÖVERVAKNING AV GRUND- OCH YTVATTENNIVÅER</i>	8
4 RESULTAT OCH DISKUSSION	9
4.1 <i>GRUND- OCH YTVATTENNIVÅVARIATION</i>	9
4.2 <i>GEOTEKNIK OCH PULSTESTER –TÄTANDE SKIKT</i>	9
4.3 <i>HYDROGEOLOGISKA PROVPUMPNINGAR</i>	10
4.3.1 <i>Kortvariga interferensförsök</i>	10
4.3.2 <i>Långvarig provpumpning i Lelångs närhet</i>	12
4.3.3 <i>Sammanställning hydrogeologiska undersökningar</i>	14
4.4 <i>SPÅRÄMNESFÖRSÖK -FLÖDESBANOR</i>	15
5 KONCEPTUELL MODELL	18
5.1 <i>GEOLOGISK BAKGRUND</i>	18
5.2 <i>GEOLOGISK MODELL</i>	18
5.3 <i>TRYCKGRADIENTER OCH INTERPOLERADE NIVÅER</i>	22
5.4 <i>HYDROGEOLOGISK KONCEPTUALISERING</i>	25
6 VÄRDERING OCH SLUTSATSER	30
6.1 <i>TÄTARE SKIKT</i>	30
6.2 <i>HYDROGEOLOGISKA EGENSKAPER</i>	30
6.3 <i>FLÖDESVÄGAR</i>	30
6.4 <i>EFFEKT AV INDUCERAD GRUNDVATTENSÄNKNING</i>	30
6.5 <i>KONCEPTUELL MODELL</i>	31
6.6 <i>SLUTSATSER</i>	31
REFERENSER	32

BILAGEFÖRTECKNING

- Bilaga 1. Geoteknisk undersökning samt pulstester.
- Bilaga 2. Resultat från geoteknisk undersökning – profiler.
- Bilaga 3. Kortvariga provpumpningar av grundvattenrör 11-12 november, 2004.
- Bilaga 4. Långvariga provpumpningar av grundvattenrör, 2005.
- Bilaga 5. Protokoll från installation av grundvattenbrunnar.

1 BAKGRUND

EKA-projektet startade sommaren 2002 med målet att sanera det kraftigt förorenade området invid den tidigare klor-alkalifabriken i Bengtsfors. Verksamheten vid fabriken innebar stora utsläpp av framförallt kvicksilver och dioxin till luft, vatten och mark. Efter att kloralkaliverksamheten lades ner har området nyttjats för att bedriva andra verksamheter, vilket har innefattat drift av sågverk och kemtvätt.

Området karakteriseras av omfattande förorening bestående av flera olika föroreningstyper, heterogen utfyllnad, äldre industribyggnader samt närheten till sjön Bengtsbrohöljen. Föroreningsproblemet inom området domineras av kvicksilver och dioxiner, men även av tungmetaller, PAH och klorerade alifater (framförallt perkloretylen).

EKA-projektet har nått en åtgärdsfas med projektering av kommande åtgärder. I den tidigare undersökningen av mark- och grundvattenförhållanden rapport EKA 2002:1 (Sundberg och Myrhede, 2003) hade låg hydraulisk konduktivitet uppmätts i djupt belägna grundvattenrör. Vid installation av djupliggande brunnar i föreliggande undersökning för att verifiera dessa resultat inför projektering upptäcktes vattengenomsläppligt friktionsmaterial i flera punkter. Med de motsägelsefulla indikationerna på djupliggande jordlagers beskaffenhet behövdes kompletterande undersökningar genomföras.

Föreliggande rapport sammanställer flera undersökningar som varit utspridda under en relativt lång tidsperiod. På basis av dessa undersökningar och tillsammans med tidigare underlag (EKA 2002:1, (Sundberg & Myrhede (2003))) har en hydrogeologisk konceptuell modell upprättats.

2 SYFTE

Denna undersökning har haft som övergripande syfte att fördjupa förståelsen om platsens hydrogeologiska förhållanden och upprätta en hydrogeologisk konceptuell modell. Genomförda delundersökningar har haft olika specifika syften. Dessa har varit att:

- undersöka jordlagrens hydrogeologiska egenskaper, främst för att lokalisera de tätaste lagren/skikten i det naturliga jordtäcket samt för att undersöka de djupbelägna jordlagren.
- bestämma grundvattnets flödesbanor genom området, främst från Lelång.
- undersöka hur en inducerad grundvattenavsänkning i djupa respektive grunda jordlager påverkar flödet till den mest förorenade delen av området.

3 GENOMFÖRANDE AV UNDERSÖKNINGAR

I EKA-området har under perioden från sensommaren 2004 till och med sommaren 2005 installationer och undersökningar enligt nedan genomförts för att få fram önskad information om platsen:

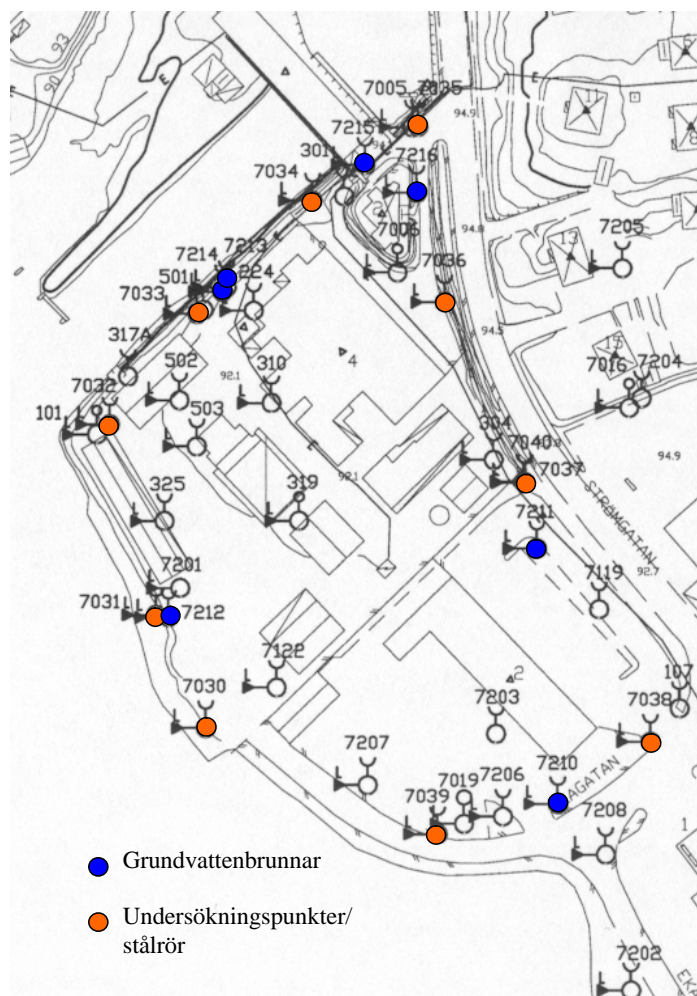
1. Installation av nya filterbrunnar i det naturliga jordlagret.
2. Geoteknisk undersökning av eventuell förekomst av tätare skikt där även perforerade stålrör installerades.

3. Pulstester i de nämnda stålrören.
4. Interferenstester i nyinstallerade filterbrunnar.
5. Långtidspumpning i Lelångs närhet.
6. Spårämnesförsök.

En sammanställning av position samtliga nyinstallerade rör finns presenterat i figur 1, detaljerad information från installationskedet finns i bilaga 1 och 5. Undersökningarna genomfördes av Geo Innova i samarbete med EKA-projektets miljökontrollanter, Aqualog AB, GF Fältgeoteknik och Hans Andersson Brunnsborrning.

3.1 INSTALLATION AV NYA FILTERBRUNNAR

För att kunna besvara frågeställningar om hydrauliska egenskaper i det naturliga jordlagret installerades sju nya filterbrunnar med beteckning 7210-7216 under september 2004. Fem av dessa installerades på ett relativt stort djup, mer än tio meter under markytan. Brunnarna utgörs av polyetenrör med 63 mm diameter och med filterlängder mellan 1 m och 2 m. Med resultat från tidigare undersökningar som grund antogs det djupliggande lagret ha låg genomsläpplighet, vilket tillsammans med lång leveranstid på grövre brunnsdiametrar medförde att den senare begränsande diametern 63 mm godtogs. Geologiska förhållanden vid dessa brunnar samt deras hydrauliska egenskaper enligt bedömning av brunnsbörare finns presenterade i bilaga 5. Positionen för de nya grundvattenrören och de punkter som undersökts med geotekniska undersökningsmetoder finns presenterade i figur 1.



Figur 1. Läget för grundvattenbrunnar och geotekniska undersökningspunkter utförda under september respektive november 2004.

3.2 LOKALISERING AV TÄTARE SKIKT

Undersökningen genomfördes under november 2004 med borrhög i elva punkter (7030-40) längs randen på området, se figur 1. Resultat från undersökning med geoteknisk borrhög finns presenterade i bilaga 1 och 2. De metoder som användes var jord-berg-sondering (JB), skruvprovtagning och CPT-sondering (cone penetration test). I alla punkter inleddes undersökningen med JB-sondering och utifrån denna sonderings resultat valdes vidare undersökningsmetod. I en del fall togs beslut om att borra med odex genom fyllnadsmaterialet för att kunna sondera med cpt i det naturliga jordlagret.

Avsikten vid metodval var att använda den känsligaste tillämpbara metod. Av de tillgängliga undersökningsmetoderna anses CPT-sondering vara mest känsligt. Med anledning av områdets geologiska heterogenitet var inte samma metod möjlig att använda i samtliga punkter. Undersökningen genomfördes i samarbete med GF Fältgeoteknik AB. Vid undersökningen användes en Geotek borrhögvagn av modell 506 och som spolmedel användes vatten (figur 2).



Figur 2. Geoteknisk undersökning vid Bengtsbrohöljen i EKA-området. Vid undersökningen användes en Geotek vagn av modell 506.

Med underlag från undersökningen har stålrör i samband med den geotekniska undersökningen satts i jordlagret på den nivå som verkat ha det tätaste hydrogeologiska materialegenskaperna. Perforering har gjorts med 5 mm borrhål genom rören. Perforeringslängd har valts utifrån resultatet från den geotekniska undersökningen med avseende på tjocklek av det tätare lagret. Den perforerade längden varierar från 0,1 till 0,5 m.

De nysatta rören undersöktes framförallt genom pulstest (inducerad nivåhöjning) med vatten, men i ett fall med s.k. slug. Fördelen med en vattenpuls är att en större puls kan skapas om en

relativt stor mängd vatten används. I rör där filter är installerat i genomsläppliga material är det däremot svårt att få en lika tydlig puls som med slug eftersom vatten hinner rinna genom filtret innan önskvärd vattennivå i röret erhållits.

3.3 PROVPUMPNINGAR

3.3.1 *Kortvariga interferensförsök*

Kortvariga interferenstester har framförallt genomförts i de nya rör som installerades i september 2004, rörserien 7210-7216. Rör 7212 interferenstestades ej, däremot gjordes ett pulstest i röret. Undersökningarna, som gjordes under november 2004, har gjorts för att karakterisera brunnarna hydrogeologiskt, för att bestämma kommunikation mellan jordlager och för att undersöka kommunikation till Lelång.

Pumpförsök genomfördes i sju punkter i det naturliga jordlagret där intilliggande observationshål mättes med avseende på grundvattennivåvariation under pumpning och återhämningsperiod. Sex av interferensförsöken genomfördes i samarbete med Aqualog AB och finns i detalj beskrivna och redovisade i bilaga 3. Vid interferenstesterna hanterades pumpvattnet som förorenat och samlades in såsom visas i figur 3.



Figur 3. Interferenstest i punkt 7215. Vid försöken samlades pumpvattnet in i syfte att förhindra föroreningsspridning

3.3.2 *Långvarig provpumpning i Lelångs närhet*

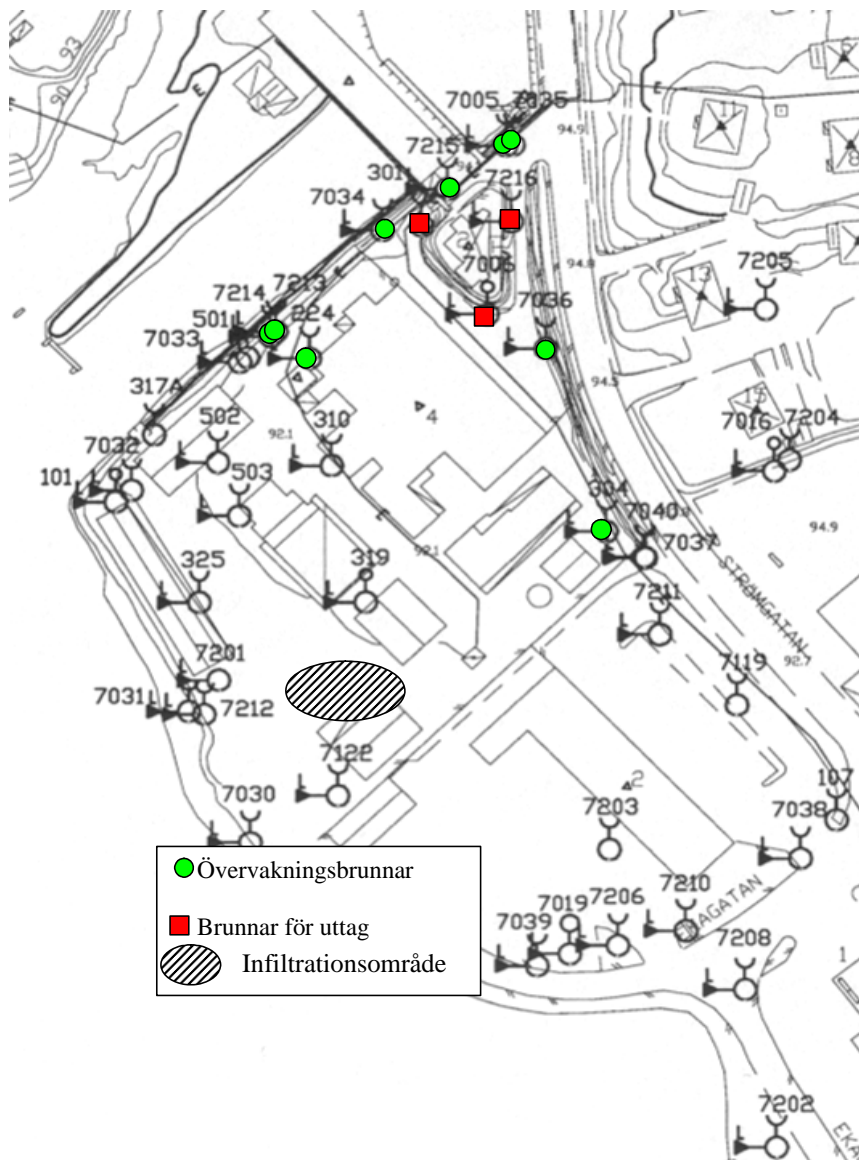
Provpumpning genomfördes såsom interferenstest i tre brunnar i Lelångs närhet under juli och augusti 2005. De tre brunnarna som användes var de ytliga 7006 och 301 samt den djupare belägna 7216 (figur 5). Vid pumpningen användes en sugpump (figur 4) eftersom den begränsade rördiametern omöjliggjorde användandet av dränkbara pumpar med tillräcklig kapacitet. Avsänkings- och återhämningsförlopp observerades med hjälp av tryckgivare med loggningsenhet, s.k. Divers, och manuellt med ljuslod. Försöket finns i detalj beskrivet i bilaga 4.

Vattnet från punkterna 301 och 7006 behandlades med en sedimentationsanläggning som bestod av två containrar genom vilka vatten kunde flöda långsamt så att partiklar och kolloider innehållande bl.a. kvicksilver kunde sedimentera. Vattnet avleddes sedan till ett delområde med låga föroreningshalter där det läts infiltrera, området finns markerat i figur 5. Eftersom vattnet i 7216 ej var förorenat leddes det direkt till Bengtsbrohöljen. Långtidsprovpumpningen genomfördes i nära samarbete med Bengtsfors kommuns miljökontrollanter.



Figur 4. Vid pumpningen användes en sugpump, nivåer övervakades förutom med tryckgivare med logger även manuellt med ljuslod.

Uttagsmängderna från de tre punkterna avpassades till de egenskaperna som utvärderats vid tidigare undersökningar, inklusive den nämnda kortvariga interferensundersökningen. För 7006 gjordes ett enhålstest eftersom tidigare resultat gällande hydraulisk konduktivitet var motsägelsefulla. För brunn 301 och 7006 beräknades uttag på 600 l/h respektive 150 l/h att ge önskad avsänkning. För 7216, som är installerad i ett mer genomsläppligt jordlager, ökades uttaget gradvis till 3600 l/h för att kunna konstatera om turbulent flöde genom brunnsfiltret förelåg.



Figur 5. Brunnar som ingick i långtidsprov pumpningen vid Lelång.

3.4 SPÅRÄMNESFÖRSÖK - FLÖDESVÄGAR

Två olika fluorescerande spårämnen injicerades i januari 2005 i två övervakningsbrunnar i områdets nordostligaste hörn. Vid försökets initiering injicerades 37 g uranin i brunn 7216 och c:a 25 g rhodamin i brunn 7005. Avsikten var att injicera en större mängd rhodamin, men med anledning av den ofördelaktiga väderlek och hydrologiska situation som rådde vid injiceringen var detta ej genomförbart.

Efter injiceringen uppmättes koncentrationen av spårämnen i grundvattenprover från valda övervakningsbrunnar i området. Detta gjordes genom grundvattenprovtagning med s.k. bailer, varpå koncentration av spårämnen mättes med en fältfluorometer. I punkt 301 användes en automatisk provtagare för att kunna provta med en hög och regelbunden frekvens.

3.5 ÖVERVAKNING AV GRUND- OCH YTVATTENNIVÅER

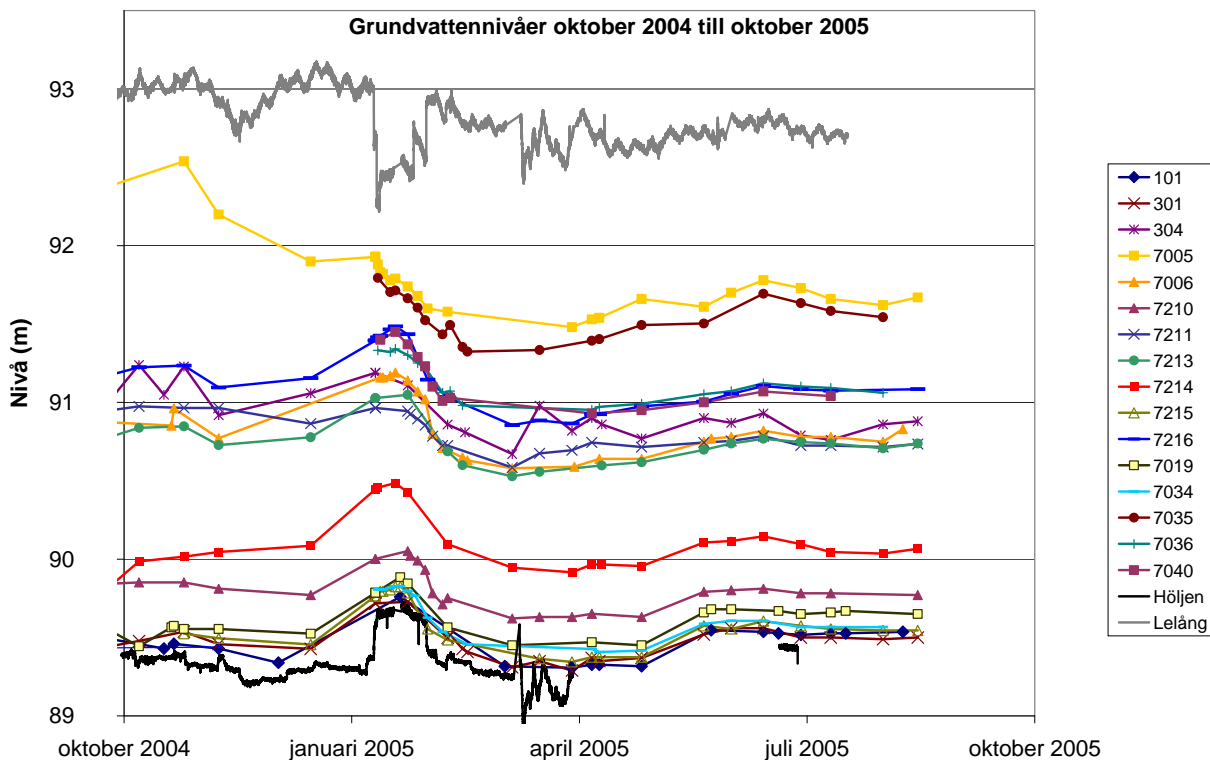
Variationen i grundvatten- och ytvattennivå övervakades kontinuerligt under försöksperioden av Bengtsfors kommuns miljökontrollanter. De flesta brunnar mättes manuellt med ett s.k. ljus-

lod en till två gånger per månad. Sjönivåer samt grundvattennivåer i tre till fyra brunnar övervakades kontinuerligt med portabla tryckloggrar, s.k. divers.

4 RESULTAT OCH DISKUSSION

4.1 GRUND- OCH YTVATTENNIVÅVARIATION

Enligt figur 6 som illustrerar grundvattennivåvariationer vid undersökningsperioden var nivåerna relativt stabila under perioden då hydraulförsök genomfördes i november 2004 samt juli och augusti 2005. Under första halvan av januari 2005 orsakade en kraftig regnperiod stigande grundvattennivåer, detta inträffade vid initieringen av spårämnesförsöket. Övervakningsbrunn 7005 visar vid undersökningsperioden en kontinuerlig sjunkande grundvattennivåutveckling under perioden oktober 2004 till april 2005. Orsaken är oklar eftersom den närliggande sjön Lelång inte har något liknande mönster, däremot verkar det nyinstallerade röret 7035 som ligger intill 7005 ha en liknande trend. Efter den för undersökningsperioden initiella nivåminskningen har de båda rören en fluktuation som påverkas av både Lelång och Bengtsbrohöljen.



Figur 6. Grundvattennivåvariationer under perioden oktober 2004 till september 2005. En kraftig regnperiod i början av januari orsakade höjda grundvattennivåer medan Lelångs nivå sänktes av stort flöde genom kraftverket.

Figur 6 visar att i ett par fall där intilliggande brunnar har filter installerat på olika djupnivå är trycknivån högre i den djupliggande brunnen, ett förhållande som verkar vara stabilt över tiden. I grafen visas t.ex. att den djupliggande 7213 har en grundvattennivå som konsekvent är högre än den i den grundare 7214.

4.2 GEOTEKNIK OCH PULSTESTER –TÄTANDE SKIKT

På den norra delen av EKA-tomten (f.d. trävaruaffär) har den geotekniska undersökningen visat liknande förhållanden på de fem punkter längs Bengtsbrohöljens och kraftverkskanalens

strand som undersökts. I samtliga punkter noterades ett fyllnadslager som var mellan 3 m och 4,3 m mäktigt. Fyllnadsmaterialet underlagras enligt den geotekniska undersökningen direkt av ett heterogent oorganiskt naturligt jordlager i alla punkter. Enligt de pulstester som gjorts i vad som ansågs vara den tätaste nivån, är den hydrauliska konduktiviteten approximativt 10^{-6} m/s. Resultaten från den geotekniska undersökningen finns presenterade i bilaga 1 och 2.

På den östra sidan av EKA-tomten längs Strömgatan är fyllnadsmaterialets mäktighet mycket mindre, runt en meter. Fyllnadsmaterialet är i det här området vanligen svårt att särskilja från underlagrande naturliga jordlager. Vid Lelångs strand vid kraftstationen indikerar pulstest att det naturliga jordlagret är relativt impermeabelt, med konduktivitetvärden mindre än 10^{-6} m/s. I de två punkter som är belägna längs Strömgatan mellan Brandts bil och den f.d. trävaruaffärens verkstad indikerar pulstest att de ytliga naturliga jordlagren är ganska genomsläpplig med konduktivitetvärden större än 10^{-5} m/s. Vid undersökning av punkt 7037/7040 (se figur 1) upptäcktes ett lager på större djup som verkade något mindre permeabelt. Vid pulstest efter rörsättning i detta skikt uppskattades en konduktivitet på $2 \cdot 10^{-6}$ m/s.

I den södra delen i punkt 7038 och 7039 återfanns naturlig jord på 3,6 m resp. 5,8 m djup. I båda punkterna hittades vattenavsatta sediment av siltig lera resp. lerig silt i lager som var mellan 1,6 m och 3 m mäktiga. De vattenavsatta sedimenten underlagrades av ett heterogent, moränliknande jordlager. I punkt 7038 indikerar pulstest att lerlagret har låg konduktivitet, mindre än 10^{-8} m/s.

4.3 PROVPUMPNINGAR

Samtliga punkter som undersöktes i den kortvariga provpumpningen ligger i den östra halvan av området eftersom det var olämpligt att genomföra interferenstester i områdets mest förorenade del. I långtidsförsöket provpumpades brunnar i Lelångs närhet.

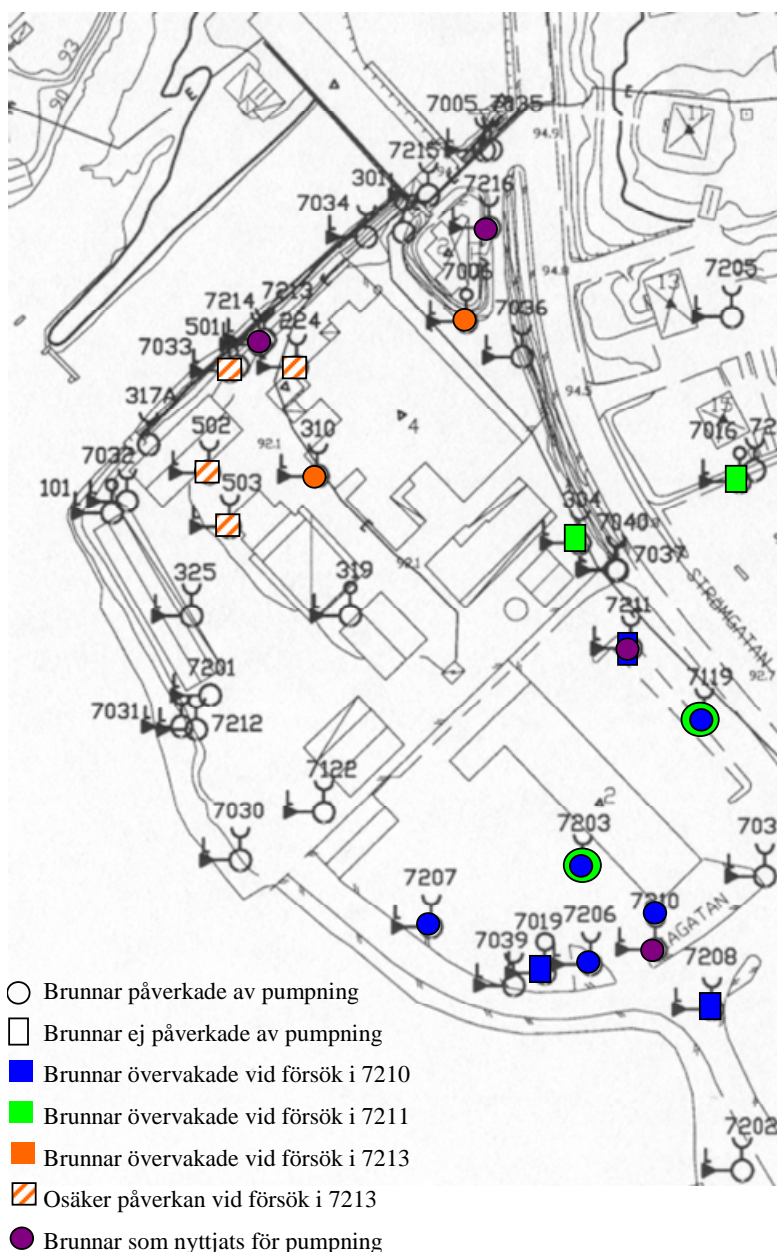
4.3.1 Kortvariga interferensförsök

De brunnar som interferenstestades var 7210, 7211, 7213, 7214, 7215 och 7216. De punkter som användes för pumpning och de som övervakades finns presenterade i figur 7. Försöken med utvärderingar finns i detalj beskrivna i bilaga 3.

Vid pumpning i de djupliggande brunnarna 7210 och 7211 påverkades intilliggande ytliga observationsbrunnar. För 7210 noterades en snabb påverkan i 7119, medan 7207 och 7203 nåddes av en grundvattennivåsänkning i ett senare skede. Punkterna 7019, 7208 och 7211 påverkades ej av detta interferenstest. En djupliggande brunn intill 7019, 7206 påverkades markant av pumpningen i 7210 enligt observation i fält. Vilka rör som påverkades av de olika försöken finns presenterat i figur 7.

Den geotekniska undersökningen observerade ett tätande lager bestående av lera och silt i den sydliga delen av området enligt bilaga 1. Dess existens styrks av resultaten från interferensförsöken eftersom 7019 är opåverkad under försöket medan brunn 7206 har noterat avsänkning. En fördröjning av påverkan i 7203 och 7207 jämfört med den i 7119 ger också en sådan indikation då det antagna tätande lagret skulle förlänga trycksänkningens väg.

Vid pumpning av 7211 påverkades 7119 och eventuellt 7203, vilka även noterades ovan ha påverkats av pumpning i 7210. Detta innebär att djupt och ytligt grundvatten står i kontakt inom nästan hela Brandts område. Enligt bilaga 3 är transmissiviteten för de flesta brunnar där avsänkning noterats till mellan 10^{-4} till 10^{-3} m²/s, 7211 är däremot installerat i ett ganska impermeabelt naturligt jordlager med en approximativ transmissivitet på 10^{-6} m²/s.



Brunn	Överkant filter (m.ö.h)	Avsänkning vid pumpstopp (cm)
Uttag från brunn 7210, 19 l/min		
7210	+79,14	483
7019	+88,58	0
7119	+89,12	2
7202	+88,41	0
7203	+88,62	1
7207	+87,64	1
7208	+87,38	0
7211	+85,26	0
Uttag från brunn 7211, 1-2 l/min		
7211	+85,26	247
304	+90,40	0
7016	+87,07	0
7119	+89,12	3
7203	+88,62	2
Uttag från brunn 7213, 19-25 l/min		
7213	+80,89	366
7033	+87,36	1
224	+90,24	3
310	+86,93	6
503	+89,35/+81,15	5
7006	+88,59	3
7214	+86,87	5

Figur 7. Punkter som ingick i interferensförsök. Påverkade brunnar är markerade såsom cirklar medan de ej påverkade representeras av rektanglar. Färgkod skiljer de olika försöken åt, brunnar som påverkats av provpumpning har markerats med cirkel medan brunnar som ej påverkats har markerats med rektanglar. Vid pumpning i 7216 orsakades ingen avsänkning i närliggande brunnar. Data från pumpningarna finns presenterade i den i figuren inkluderade tabellen.

När interferenstestet av 7213 genomfördes blev resultaten påverkade av att nederbörd föll såsom regn under försöket.. Tydliga hydrauliska kontakter kunde trots detta observeras från 7213 till brunnarna 7006 och 310. Transmissiviteten till dessa var från 7213 relativt hög, $6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ respektive $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Väderlekens inverkan gör det svårt att med säkerhet fastställa att någon av de intilliggande punkterna ej påverkades av försöket. Från avsänkningen utvärderades en transmissivitet till 7213 på mellan $3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ och $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Vid installationen av brunn 7216 noterades brunnen vara satt i ett relativt vattenförande skikt, något som bekräftas av pumpningsförsöket. Enligt bilaga 3 uppskattas transmissiviteten i punkt 7216 till $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ med ett vertikalt flöde, d.v.s. läckagekoefficient, på $0,035 \text{ s}^{-1}$. Med tillgänglig pumpkapacitet gick det inte att skapa en större avsänkning än 20 cm i 7216. De hydrogeologiska egenskaperna vid brunnen skapade av ett permeabelt sandigt gruslager är orsaken till att ingen avsänkning med säkerhet kunde noteras i intilliggande observationsbrunnar.

4.3.2 Långvarig provpumpning i Lelångs närhet

Vid provpumpning i brunn 301 påverkades enbart med säkerhet det närliggande området närmast kraftverkskanalen. Från hålet gjordes ett uttag på 600 liter per timme under sju dagar. Resultat från tidigare undersökningar gällande hydrauliska egenskaper för brunn 301 bekräftades av den avsänkning som erhöles under pumpningen. Från brunn 301 utvärderades en transmissivitet på $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ till den intilliggande brunnen 7034. Nivåavsänkningar noterades i ett flertal rör i området under pumpperioden, men denna förändring härrör antagligen från yttre faktorer såsom nederbörd och nivåvariationer i de intilliggande sjöarna. Vid pumpningens början sjönk nivån i Lelång med flera centimeter. Resultat från denna undersökning finns i detalj presenterade i bilaga 4.

Vid initieringen av uttag i 7216 ökades pumpningen stegvis till pumpens maximala kapacitet på $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Den stegvisa ökningen gjordes för att kunna konstatera om brunnsfiltrets kapacitet överskreds. Pumpningen i den djupa brunnen 7216 gav avsänkning i en stor del av EKA-området. Ett delområde som inte påverkades var den del som ligger närmast kraftverkskanalen vid brunn 301, 7215 och 7034. Detta delområde fungerar enligt undersökningen hydrologiskt oberoende av övriga delar av området. För de övriga brunnarna utvärderades liknade transmissiviteter, se tabell 1. De höga och relativt jämna transmissiviteterna indikerar en utbredd, genomsläpplig formation. Utvärderingen av återhämtningsförloppet efter att uttaget upphörde visar på transmissiviteter mellan $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ till $6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Eftersom försöket i 7216 pågick under en vecka och mätintervallet i tryckgivaren ställdes in för att täcka hela mätperioden erhöles för glesa mätvärden för att avsänkning i 7216 skulle kunna utvärderas. Den totala avsänkning 0,5 m vid ett uttag på $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ indikerar en transmissivitet runt $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ vilket ligger nära den transmissivitet på $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ som utvärderades i det kortvariga interferensförsöket.

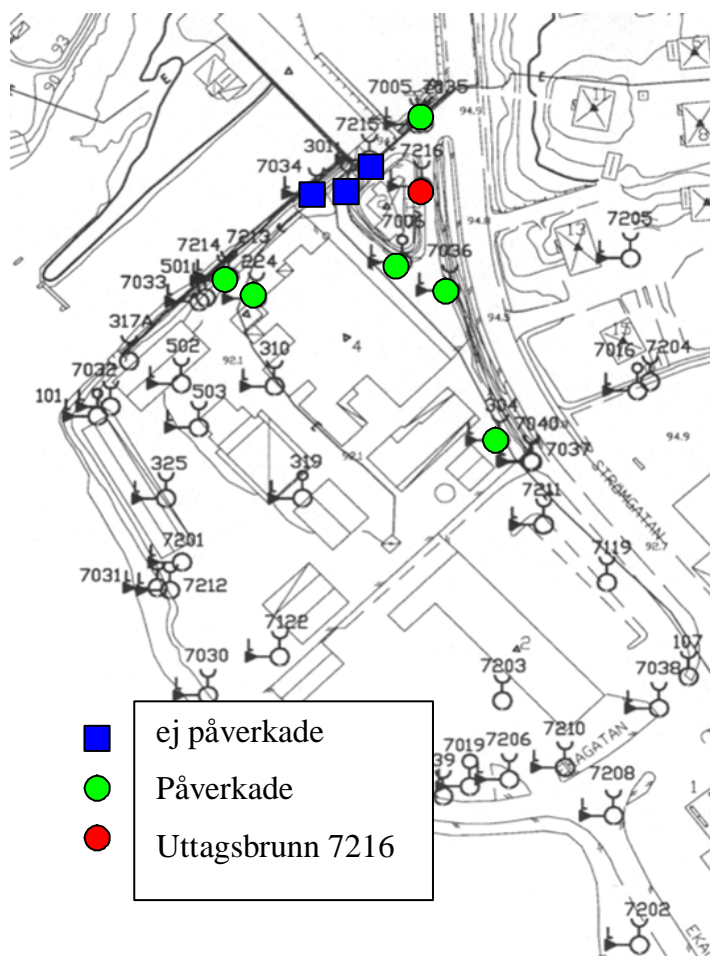
Enligt tabell 1 fick den djupt belägna 7213 större avsänkning än den intilliggande ytligare brunnen 7214. En avsänkning i ett djupbeläget grundvattenrör antas kunna minska det högre grundvattentrycket i den djuptbelägna akviferen jämfört med den ytliga i detta område.

Avsänkings- och återhämtningsförlopp i de till Lelång närliggande brunnarna 7005 och 7035 indikerar ej närhet till positiv eller negativ hydraulisk rand. En positiv rand innebär en oändlig tillgång till vatten (t.ex. en sjö) medan en negativ innebär ett impermeabelt lager (t.ex. lera). En sådan rand skulle kunna utgöras av Lelång eller eventuell tätning i dess strandlinje. För brunn 7216 indikerar återhämtningsförloppet kontakt med en positiv hydraulisk rand då avsänkingsförloppet går mot ett stationärt förhållande innan det vertikala flödet kunnat motsvara uttaget.

Tabell 1. Erhållen avsänkning och utvärderad transmissivitet från pumpning i 7216 under en vecka.

Observationspunkt	Grundvattennivå Viloläge (m ö h)	Nivå, överkant filter	Avsänkning vid pumpstopp (cm)	Utvärderad transmissivitet (m ² /s)
224	91.64	90.24	4	*
301	89.49	89.58	0	-
304	90.89	90.40	5	4•10 ⁻³
7005	91.65	91.44	11	3•10 ⁻³
7006	90.66	88.59	9	2•10 ⁻³
7034	89.56	89.27	0	-
7035	91.57	90.96	11	3•10 ⁻³
7036	91.10	88.33	12	2•10 ⁻³
7213	90.72	80.89	8	6•10 ⁻³
7214	90.05	86.87	3	*
7215	89.42	89.00	1	-
7216	91.07	83.87	50	

* Punkt 224, 7035 och 7214 är endast handmätta, 224 och 7214 utvärderades ej.



Figur 8. Brunnar påverkade efter uttag i 7216 under en veckas tid.

4.3.3 Sammanställning hydrogeologiska undersökningar

I tabell 2 finns resultat från samtliga brunnar inom EKA-området där hydrogeologisk undersökning genomförts och utvärderats. För brunnar som undersökts vid mer än ett tillfälle har resultat från den undersökning som bedömts som mest tillförlitlig använts. Pumptest har generellt prefererats framför pulstest vid detta urval, i övrigt har den bedömning som använts i rapport EKA 2002:1 nyttjats.

Tabell 2. Sammanställning av resultat från hydrogeologiska undersökningar i EKA-området.

Rör	Hydraulisk Konduktivitet (m/s) (Transmissivitet (m ² /s))	Undersök- ningsmetod	Anmärkning	Genomföran- de, år och referens
101	5•10 ⁻⁴	Pulstest		2003, 3
224	2•10 ⁻⁶	Pulstest		2003, 2
301	2•10 ⁻⁴	Pulstest		2003, 2
304	3•10 ⁻⁶	Pulstest		2003, 3
310	1•10 ⁻⁵	Pulstest		1998 & 2003, 1 & 2
317A	2•10 ⁻⁴	Pulstest		2003, 3
319	1•10 ⁻⁵	Pump- och pulstest		2002 & 2003, 2 & 3
501	4•10 ⁻⁵	Pulstest		2003, 3
502:1	3•10 ⁻⁵	Pumptest	Avser ytligt belä- get filter	2003, 3
502:2	5•10 ⁻⁷	Pumptest	Avser djup- beläget filter	2003, 3
503	2•10 ⁻⁶	Pulstest		2003, 3
504	5•10 ⁻⁵	Pulstest		2003, 3
7005	1•10 ⁻⁵	Pulstest		2003, 3
7006	2•10 ⁻⁶	Pumptest		2003 & 2005, 3 & 5
7016	5•10 ⁻⁷	Pumptest		2003, 3
7019	5•10 ⁻³	Pulstest		2003, 3
7023	1•10 ⁻⁴	Pulstest		2002/2003, 2
7030	3•10 ⁻⁸	Pulstest		2004, 5
7031	5•10 ⁻⁶	Pulstest		2004, 5
7032	1•10 ⁻⁶	Pulstest		2004, 5
7033	2•10 ⁻⁶	Pulstest		2004, 5
7034	4•10 ⁻⁶	Pulstest		2004, 5
7035	6•10 ⁻⁷	Pulstest		2004, 5
7036	3•10 ⁻⁵	Pulstest		2004, 5
7037	2•10 ⁻⁶	Pulstest		2004, 5
7038	~10 ⁻⁹	Pulstest		2004, 5
7040	1•10 ⁻⁵	Pulstest		2004, 5
7119	5•10 ⁻⁶	Pulstest		2003, 3
7122	1•10 ⁻⁵	Pulstest		2002/2003, 2

Forts. tabell 2. Sammanställning av resultat från hydrogeologiska undersökningar i EKA-området.

Rör	Hydraulisk Konduktivitet (m/s) (Transmissivitet (m ² /s))	Undersök- ningsmetod	Anmärkning	Genomföran- de, år och referens
7201	$3 \cdot 10^{-4}$	Pulstest		2002/2003, 2
7202	$5 \cdot 10^{-3}$	Pump- och pulstest		2002/2003, 2
7203	$3 \cdot 10^{-4}$	Pumptest		2003, 2
7204	$5 \cdot 10^{-3}$	Pulstest		2003,2
7205	$5 \cdot 10^{-5}$	Pulstest		2002/2003, 2
7210	($1 \cdot 10^{-4}$)	Pumptest		2004, 3
7211	($3 \cdot 10^{-6}$)	Pumptest		2004, 3
7212	$\sim 10^{-4}$	Pulstest		2004, 3
7213	($3 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$)	Pumptest		2004, 3
7215	$7 \cdot 10^{-5}$	Pulstest		2004, 4
7216	($3 \cdot 10^{-3}$)	Pumptest		2004 & 2005, 3 & 5

Referenser

- 1 Sundberg et al., 1998.
- 2 Sundberg & Myrhede, 2003
- 3 Bilaga 3
- 4 Bilaga 1
- 5 Bilaga 4

4.4 SPÅRÄMNESFÖRSÖK - FLÖDESBANOR

Spårämnet har från sina injiceringspunkter under en tvåveckorsperiod noterats sprida sig till områdets södra del och mot kraftverkskanalen, vilket är beskrivet i figur 8. Uranin, som injicerades i 7216, har enligt mätresultat och observationer huvudsakligen rört sig söderut mot Brandts bilförsäljning. Efter fem dagar noterades uranin i övervakningsbrunn 7006 och återfanns en dag senare även i brunnarna 304, 7037 och 7040. Dessa resultat indikerar genom den snabba transporten att jordlagret har en hög hydraulisk konduktivitet. Förenklade beräkningar ger en konduktivitet på 10^{-3} m/s mellan 7216 och 7040/7037. Dessa beräknade värden liknar de som erhållits från hydrauliska interferensförsök av brunnar med ett filterdjup som är större än tio meter (7210, 7216). Provtagningen genomfördes efter ett i förväg bestämt provtagningsprogram. Detta skulle i något fall kunna innebära en snabbare spridningstid än vad som är redovisat.

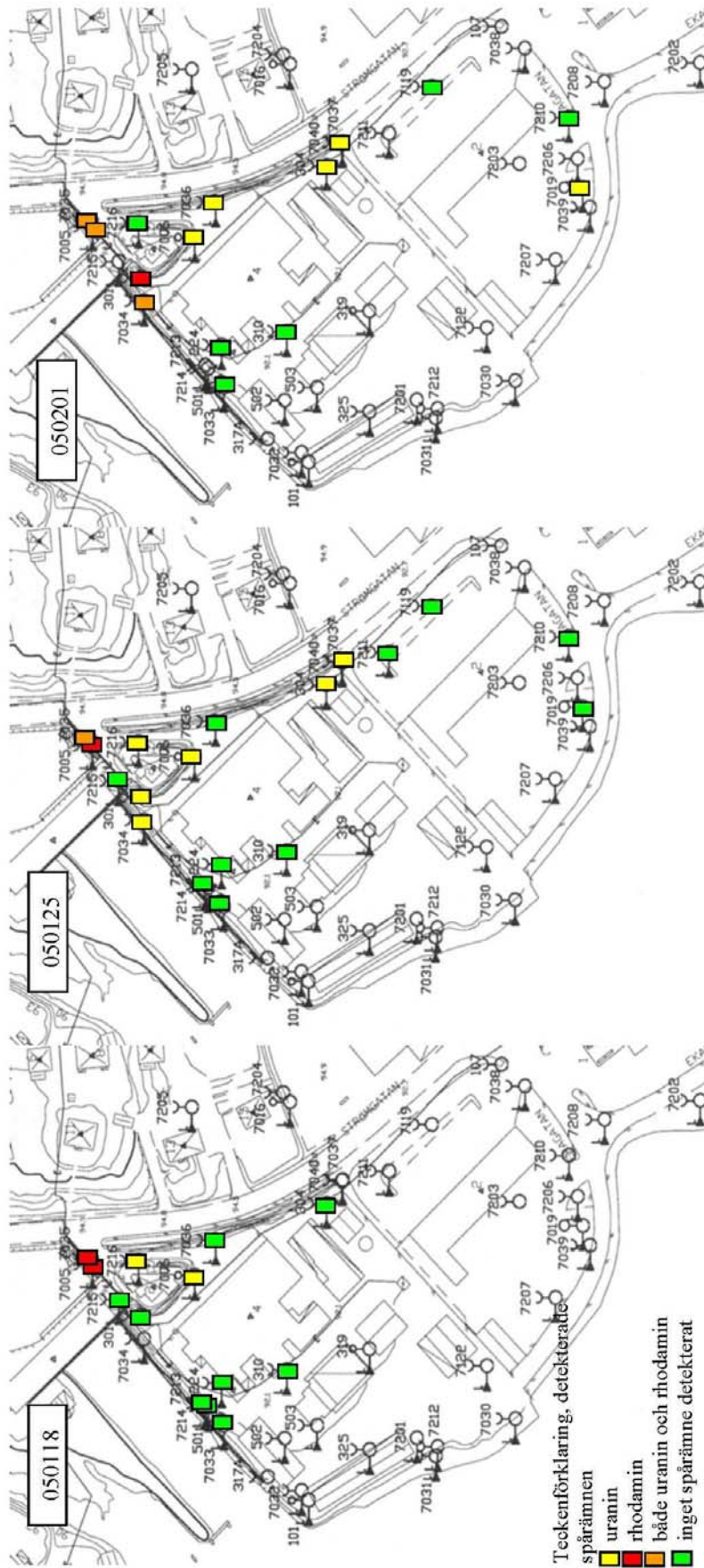
Resultat från försöket indikerar också att uranin transporteras mot de vid kraftverkskanalen belägna punkterna 301 och 7034. Rhodamin som injicerades i 7005 verkar också transporteras mot dessa två punkter vilket kan förväntas eftersom tryckgradienten är riktad från de två injiceringsbrunnarna mot kanalen. För uranin, som injicerades på en djupare nivå, är denna transportväg mindre väntad men inte osannolik. Uranin har enligt undersökningarna transporterats

söderut. En förklaring skulle kunna vara att en del av spårämnesplymen av uranin genom uppåtriktat flöde nått en djupnivå där det huvudsakliga flödet inte går söderut utan mot kanalen.

Både okulär bedömning och mätresultat visar att rhodamin transporterats från 7005 mot den närbelägna 7035. Det finns även indikationer från mätresultat och okulär bedömning att uranin transporterats till 7035. Det är svårt att finna någon naturlig förklaring till denna transportväg eftersom trycknivån i 7005 generellt är mellan en halv och en meter högre än i 7216. En eventuellt möjlig förklaring skulle kunna vara att detta beror på varierande strömriktningar i olika djupt belägna akviferer.

Under försökets slutskede visade mätresultat att spårämnet uranin som injicerades i 7216 försvunnit från 7006 och 7036. Dessa brunnar ligger i injektionsbrunnens närhet, resultatet visar att spårämnet transporterats bort från injiceringsplatsens närhet.

Resultaten från spårämnesförsöket stärker den bild som noterats i interferenstestet i bilaga 3 att en huvudsaklig strömning längs Strömgatan i sydlig riktning föreligger. Eftersom det spårämne som injicerats i relativt djupliggande grundvatten i punkt 7216 och senare enbart noterats i ytligare belägna brunnar verkar även en uppåtriktad tryckgradient förekomma. Vidare indikerar spårämnesförsökets resultat att ett relativt permeabelt lager finns på djup längs den ovan nämnda spridningsriktningen med en konduktivitet uppskattad till 10^{-3} m/s.



Figur 8. Noterad förekomst av de två spårämnena uramin och rhodamin i grundvatten inom Eka-området. Spårämnet uramin transporterades efter injiceringen 050113 snabbt söderut mot Brandt och nådde 7040/7037 redan efter sex dagar. Förekomst av spårämne i 7019 har bara noterades vid ett mätillfälle.

5 KONCEPTUELL MODELL

Framtagna resultat i föreliggande undersökning har tillsammans med tidigare undersökningresultat (Sundberg & Myrhede, 2003) tolkats för att kunna presentera en konceptuell modell över hydrogeologiska förhållanden i området. Resultat från de olika undersökningarna har använts för att skapa en bild om hur området fungerar ur ett geologiskt och hydrogeologiskt perspektiv. Modellen bygger på punktvis information från genomförda undersökningar. Beroende på undersökningsmetod föreligger dessutom en osäkerhet i tillförlitlighet till använda data. Modellen är en förenkling av geologiska och hydrogeologiska förhållanden.

5.1 GEOLOGISK BAKGRUND

Området präglas av en sprickdalgång som fördjupats och breddats under perioder med glaciation. I dalgången har troligen en tidigare glaciär gradvis avsatt morän i mäktiga lager. Under istiden har stora smältvattenflöden bildats och transporterat av isen eroderat material. Smältvatten söker sig till lågpunkter och rinner således i dalgångarna. När en smältvattenkanal når iskanten minskar flödes hastigheten abrupt och en stor del av det transporterade jordmaterialet sedimenterar. Under perioder då isfronten stått still i det aktuella området avsattes därför stora mängder material på samma plats. Vid höga vattenhastigheter under varmare perioder då mycket smältvatten bildades avsattes grovt material såsom stenar, grus och sand. I perioder med låga vattenhastigheter (kallare perioder) avsattes finkornigare material, finsand och silt. I stillastående vatten avsattes lera. Om isälven mynnar i vatten, såsom den antagligen gjorde i Bengtsfors, har även avståndet till isranden betydelse för vattenhastigheten och sedimentation av material. Det undersökta området ligger under den högsta kustlinjen (hk) och har därför varit havsbotten, kustområde och sjö- eller flodbotten under processen då markytan stigit i förhållande till havsnivån.

I Bengtsfors finns ett sjösystem som bildas av Lelång och Bentsbrohöljen. En höjdskillnad på mellan 1,5 m och 2 m finns mellan sjöarna som nyttjas för att driva ett kraftverk. Orsaken till höjdskillnaden mellan sjöarna bedöms bero på att stora jordmassor avsatts här som dämmer sjön Lelång. Detta material antas både ha avsatts direkt av den tidigare glaciären (morän) och genom vattentransport under is (isälvsmaterial).

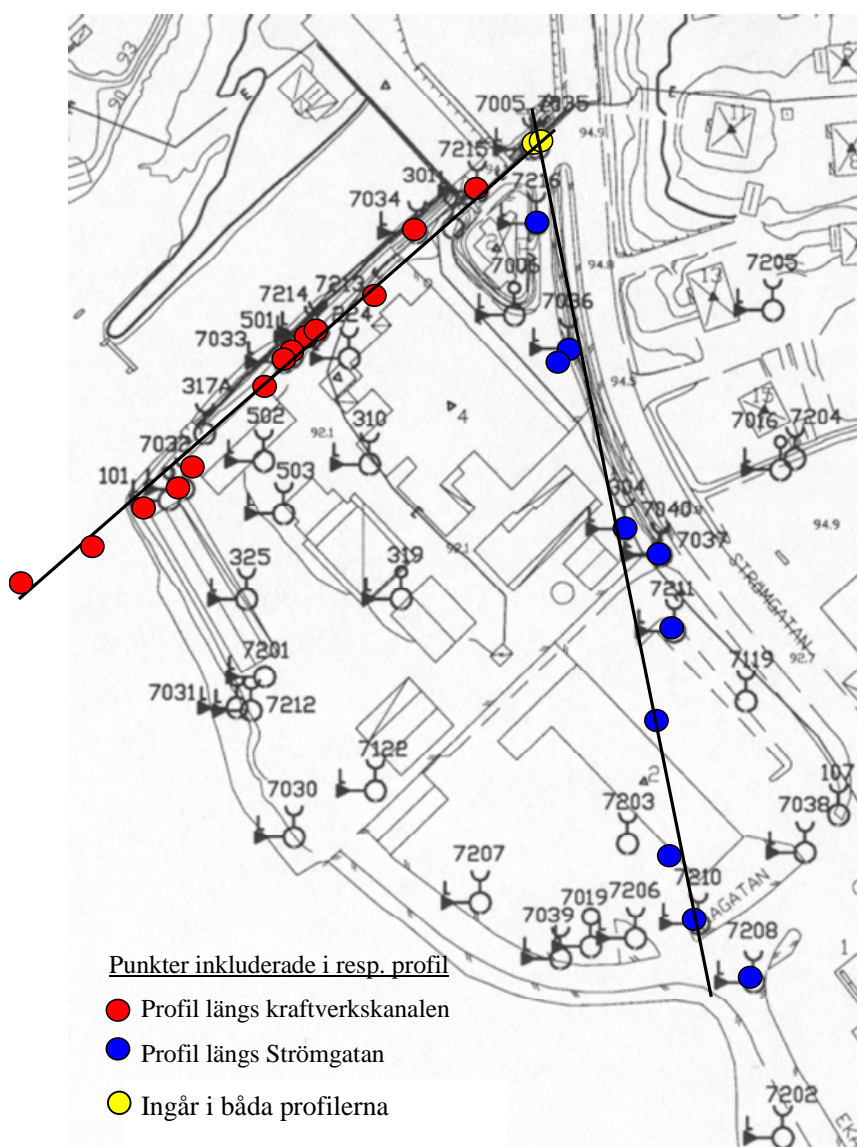
5.2 GEOLOGISK MODELL

I de tolkningar av förenklade jordlagerföljder som presenteras i figur 10 och 11 illustreras de geologiska förhållanden som råder i området. Två schematiska profiler har upprättats genom tolkning av data från geotekniska undersökningar och brunnsinstallation. Den ena profilen sträcker sig längs Strömgatan och den andra längs kraftverkskanalen, profilernas sträckning och de punkter som utgjort underlag är presenterade i figur 9.

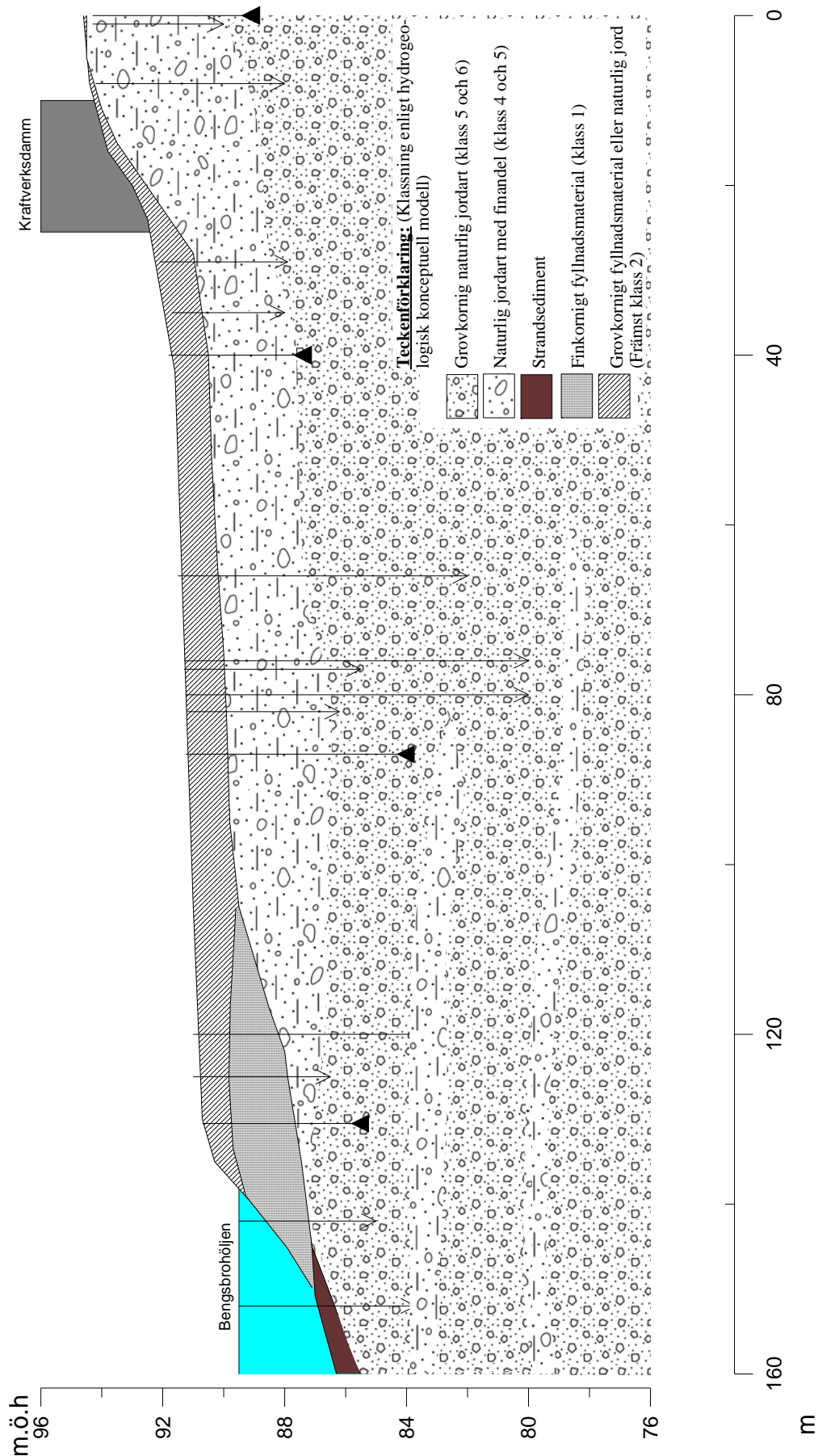
Kvaliteten av information varierar beroende på vilken undersökningsmetod som använts på olika platser. Delar av området har inte varit tillgängligt för undersökningar. I de fall information från brunnsinstallation nyttjats är osäkerheten överlag större än vid geoteknisk undersökning. Det är av vikt vid användandet av profilerna att vara medveten om att de är tolkningar av information och ej nödvändigtvis i överensstämmelse med verkligheten.

I den profil som sträcker sig längs kraftverkskanalen har lager med finare (tätare) material tolkats vara beläget i ett lager med varierande tjocklek som är beläget från markytan till 8 m under markytan. Profilen längs Strömgatan indikerar ett finare kontinuerlig skikt längs profil-längden, även här föreligger en osäkerhet i skiktets geometri. Pulstest i 7037 indikerar att det vid denna punkt finns tätare jordmaterial på ett större djup än det tätare skiktets utbredning enligt profilen.

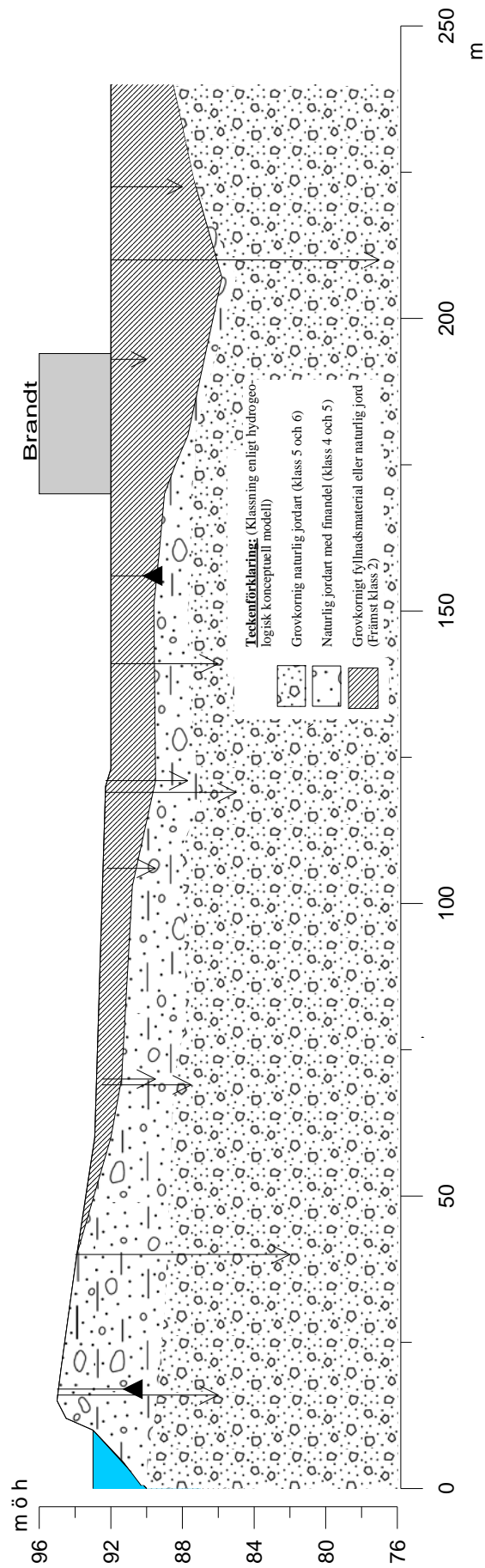
I båda profilerna har grovkornigare material tolkats vara dominerande under de tätare skikten. Merparten av tillgänglig information indikerar detta, men även här råder stor osäkerhet i mäktighet och utbredning. Fyllnadslagret i profilen längs kraftverkskanalen är upprättad med den profil som har publicerats i tidigare rapport (Sundberg och Myrhede, 2003) som grund.



Figur 9. Sträckning av de två profilerna samt position för de rörinstallationer och undersökningar som utgör underlag för profilerna.



Figur 10. Profil längs kraftverkskanalen. Den i teckenförklaringen nämnda klassningen finns beskriven i kapitel 5.4.



Figur 11. Profil längs Strömögatan. Den i teckenförklaringen nämnda klassningen finns beskriven i kapitel 5.4.

5.3 TRYCKGRADIENTER OCH INTERPOLERADE NIVÅER

Genom den frekventa mätningen av nivåer i övervakningsbrunnar i området en överblickbar bild erhållas. Figur 12 och 13 visar isolinjekartor av grundvattennivåer som är resultat från en interpolering av grundvattennivådata från mätningar 2005-04-28. Figur 14 som visar nivåer i djupliggande jordlager har skapats manuell interpolering eftersom det enbart finns ett fåtal brunnar.

Bilderna visar att tryckgradienten är riktad mot sydväst inom området men även mot Eka-tomtens udde och mot kraftverkskanalen. Dessa interpolerade nivåkartor uppvisar likhet med dem som presenterats i den tidigare rapporten om mark- och grundvattenförhållanden i området (Sundberg & Myrhede, 2003).

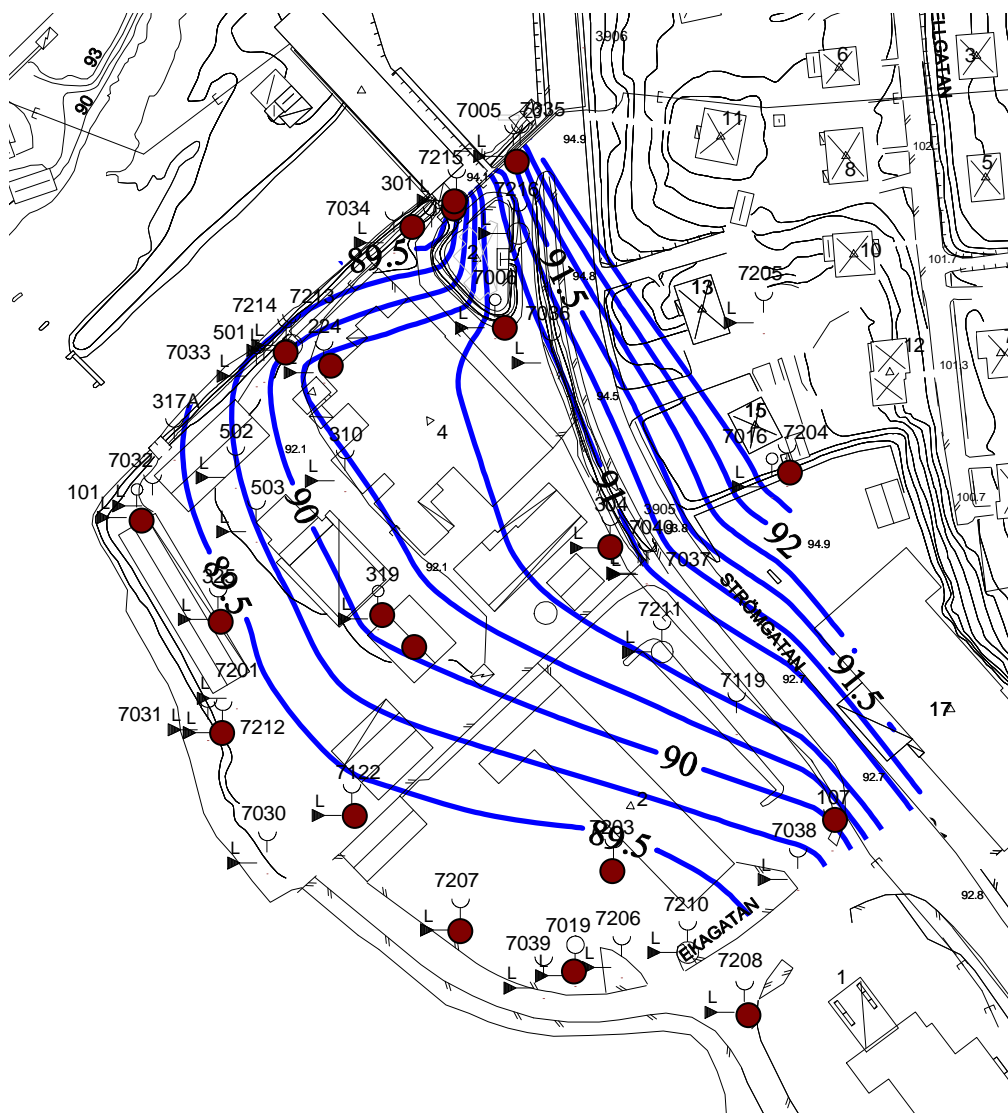
I spårämnesförsöket noterades en transport söderut från 7216, vidare indikerar hydraultester och borringar att det förekommer ett grovt genomsläppligt material på djupet längs Strömngatan. Dessa resultat medför att en interpolation med nivålinjer vinkelrätt med den i spårämnesförsöket noterade flödesriktningen skulle kunna förväntas. Flödet i djupa jordlager (figur 14) antas därför vara riktat från Lelång in i området.

Vid en jämförelse mellan nivåer i djupa och grunda brunnar kan ibland en tydlig skillnad noteras. I tabell 4 är de djupa brunnarna 7210, 7212 och 7213 jämförda med intilliggande grunda brunnar. Vid brunn 7210 och 7213 uppträder en tryckskillnad mot grunda brunnar på flera decimeter när ett aritmetiskt medelvärde av nivåer för första halvåret 2005. Denna tryckskillnad mellan ytligt och djupt grundvatten skulle innebära ett uppåtriktat flöde i delar av områdets jordlager. Denna skillnad noterades även i figur 4 där grundvattennivåernas tidsberoende variation illustreras. I området kring 7212 kunde under för den jämförda perioden ingen påtaglig tryckskillnad mellan olika djup noteras.

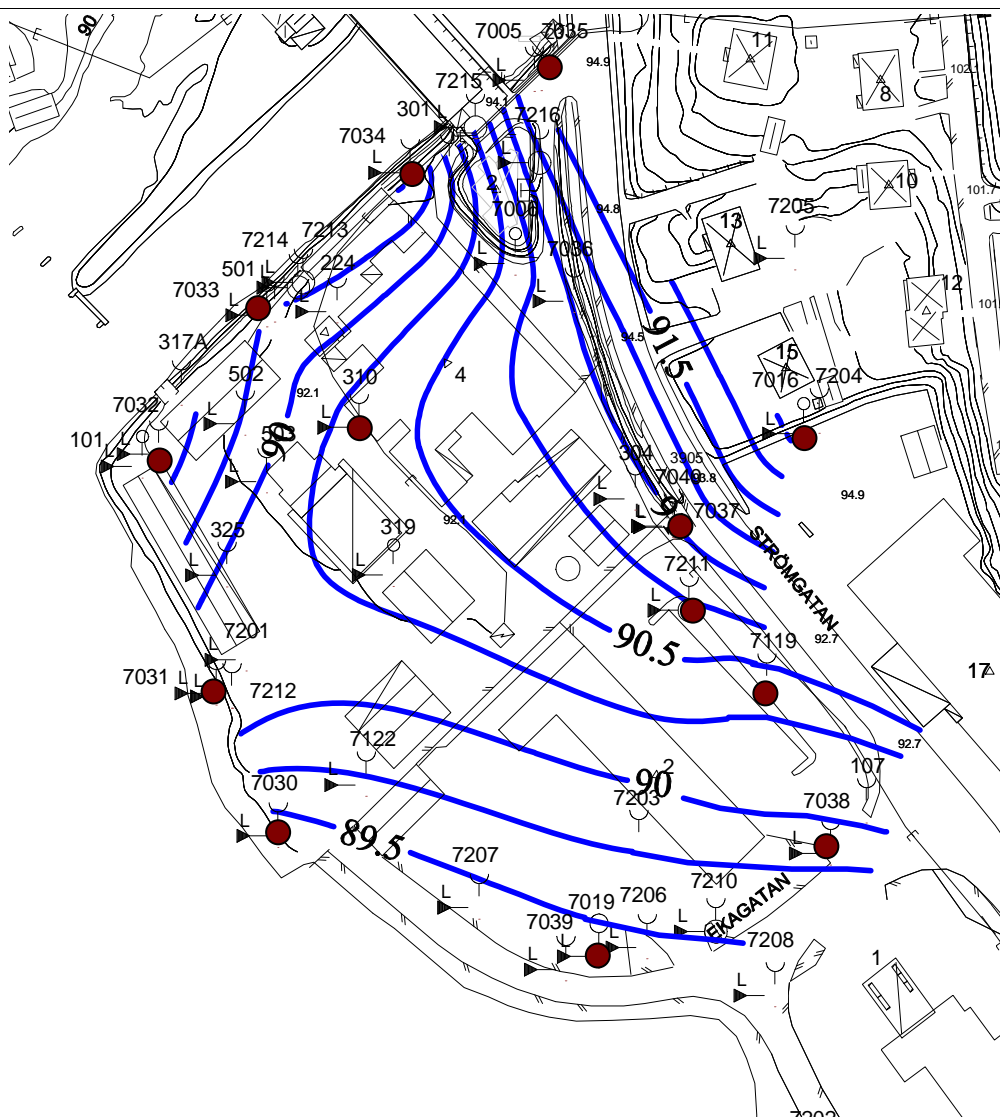
Vid 7216 saknas ytliga brunnar varför ingen jämförelse med ytliga brunnar gjorts. De interpolerade kartorna indikerar ett högre tryck i ytliga lager än djupliggande i detta område, men en sådan slutsats är osäker då den flödesmässigt nedströms belägna brunn 7006 har ett lägre tryck än 7216 (figur 6). Anledningen till den lokalt stora tryckskillnaden är det i figur 10 och 11 indikerade mellanliggande lagret innehållande kohesivt jordmaterial. Detta lager har följaktligen låg konduktivitet och utgör ett semipermeabelt skikt som motverkar vertikalt flöde och bidrar till en tryckskillnad mot djupet.

Tabell 4. Genomsnittlig grundvattennivå under januari till augusti 2005 i djupbelägna brunnar jämfört med respektive intilliggande grunda brunnar.

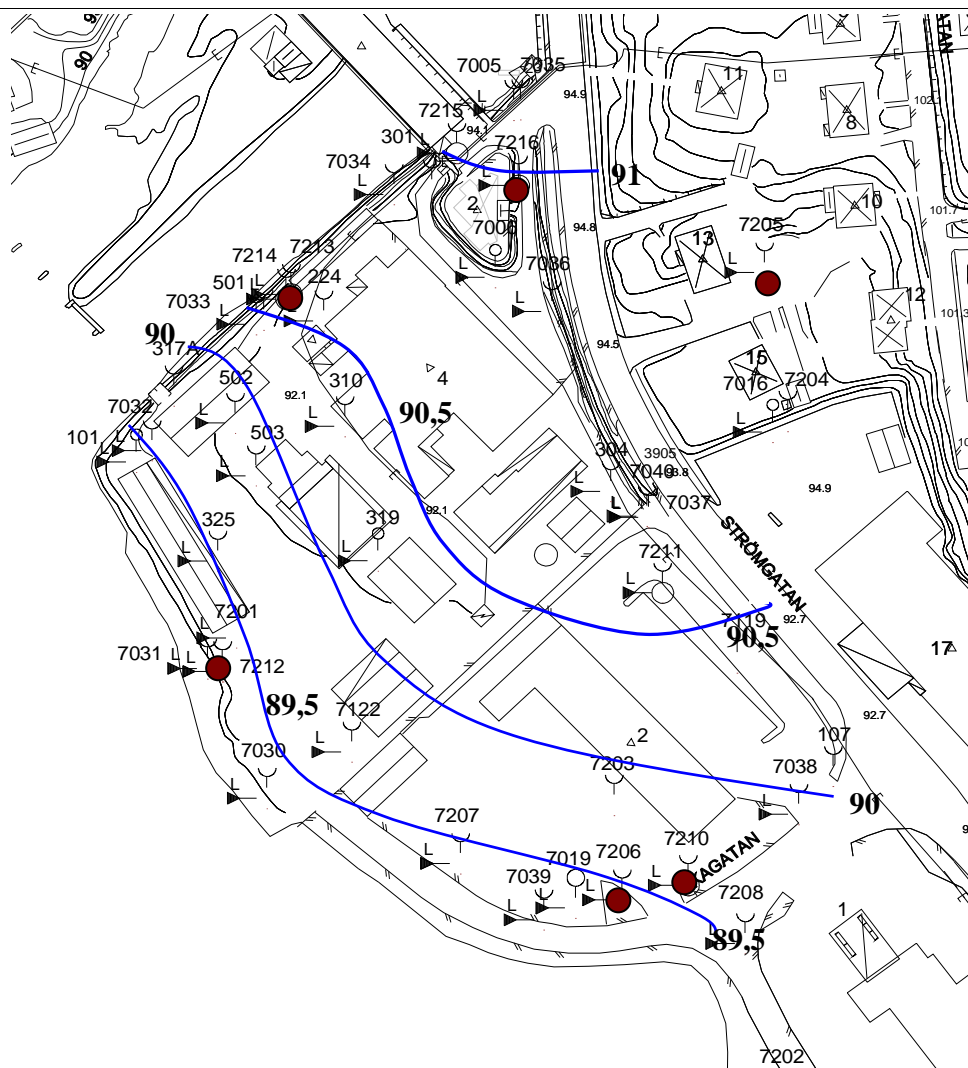
Djupbelägen brunn	Medelnivå	Närliggande ytbelägen brunn	Medelnivå
7210	89.80	7208	89.47
		7203	89.46
		7019	89.52
7212	89.43	7201	89.48
		7031	89.44
7213	90.73	7214	90.15
		224	90.61
		7033	89.84



Figur 12. Interpolerade grundvattennivåer i ytliga grundvattenrör i slutet av april 2005. Den interpoleringsmetod som använts är 'natural neighbor'. De punkter som använts vid interpolationen är i figuren markerade med rött.



Figur 13. Interpolerade grundvattennivåer för brunnar i det mellanliggande jordlagret inom Eka-området. Nivåer från slutet av april 2005. De punkter som använts vid interpolationen är markerade med rött i figuren.



Figur 14. Manuellt upprättad grundvattenkarta för djupliggande jordlager med mätta nivåer från april 2005 som grund. Figuren har skapats utifrån data från de i figuren rödmarkerade punkterna.

5.4 HYDROGEOLOGISK KONCEPTUALISERING

Ett av undersökningens syften var att skapa förståelse av jordlagrens olika beskaffenhet med avseende på djupet. Avsikten var att avgöra om det fanns någon djupnivå som kunde anses mindre genomsläppligt. I denna konceptuella modell har en övergripande förenklad bild försökt skapas av området. Avsikten har varit att skapa en indelning av området i ett fåtal greppbara enheter där hydrauliska undersökningsresultat knyts an till den geologiska modell som presenterades i kapitel 5.2.

För att konceptualisera geologiska förhållanden i området har en klassning skapats av de olika jordlagren. Den konceptuella modellen innefattar 6 olika klasser beroende på sammansättning och hydrogeologiska egenskaper. Klassernas lagerföljd presenteras i figur 10 och 11 medan utbredningen presenteras i figur 15-17. En sammanställning av den sammansättning och den hydrogeologiska egenskap varje klass motsvarar finns presenterat i tabell 3.

Tabell 3. Sammanställning av hydraulisk modell av EKA området. Klassernas spatiella utbredning är presenterad i figur 15-17.

Djup	Indelning (klass)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Jordmaterial
< 4.5 m	1	$5 \cdot 10^{-4}$	Fy
	2	$9 \cdot 10^{-6}$	siSa
4.5-8 m	3	$3 \cdot 10^{-6}$	saSi
	4	$5 \cdot 10^{-9}$	Si, Le
<8 m	5	10^{-3}	saGr
	6	10^{-4}	grSa

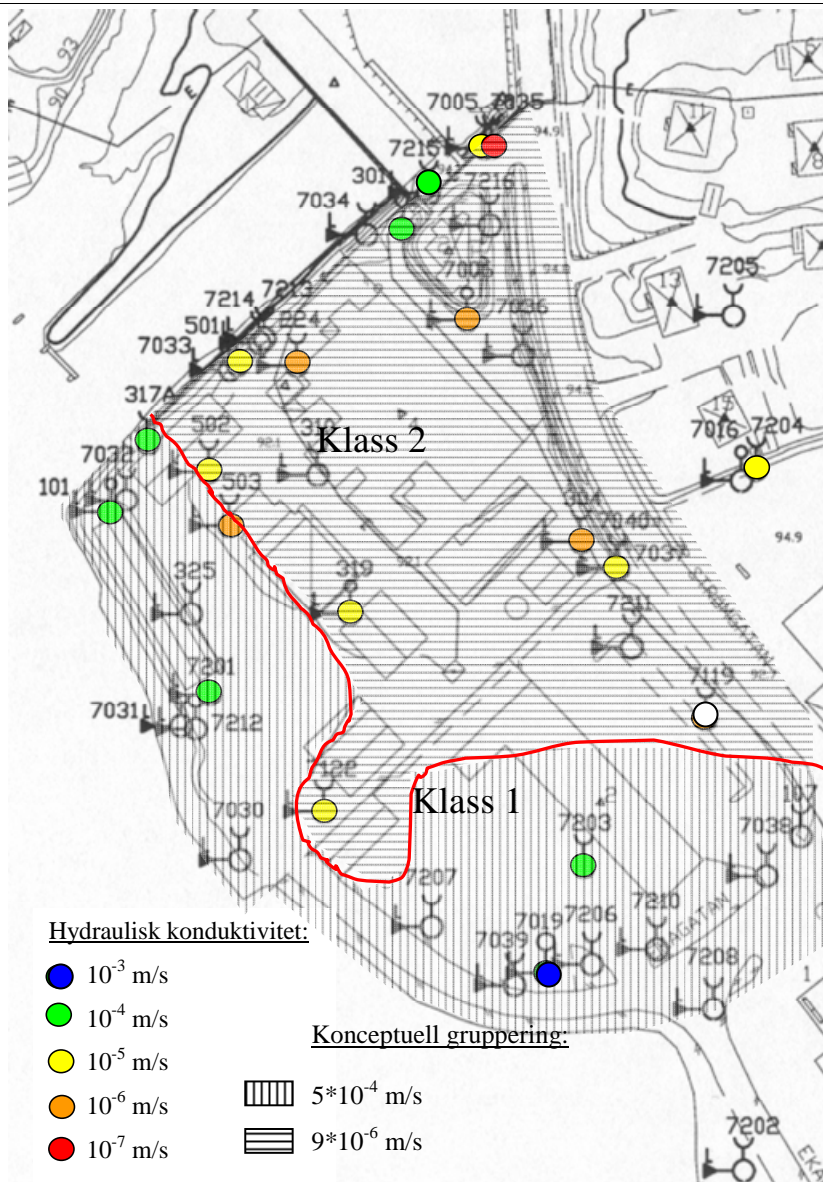
Vid försöken som har genomförts för att karakterisera de hydrogeologiska egenskaperna har tester gjorts över den längd och på den nivå som filter eller perforering installerats. Det föreligger en osäkerhet i det försök som syftade till att lokalisera tätare lager, om den nivå som testats motsvarar det tätaste skiktet och om det tätaste skiktet sträcker sig längs hela filterlängden. Genom rörinstallationens utformning har främst den horisontella permeabiliteten undersökts vilket kan ge en överskattning av den vertikala om något anisotropa förhållanden föreligger. För beräkningar av medelvärden har därför geometriskt medelvärde använts för att få ett konservativt värde på hydraulisk konduktivitet.

För att illustrera olika djupnivåers hydrogeologiska egenskaper har kartor upprättats som visar uppmätt hydraulisk konduktivitet i grundvattenbrunnar belägna på olika djup. Brunnarna har grupperats enligt den geologiska modellen som framställts i kapitel 5.2. Figur 15-17 visar att den hydrauliska konduktiviteten generellt är lägre i ett mellanliggande lager än i ytligare och djupare nivåer. Detta tätare skikt har noterats på ett djup under markyta mellan 4 m och 8 m, i något fall sträcker sig detta lager till markytan. Skillnaden mellan det ytliga och mellanliggande lagret är emellertid liten innanför den i figurerna indikerade strandlinjen, jämför klass 2 med klass 3 i figur 15 och 16.

Sammanställningen av ytligt belägna brunnar i figur 15 ger en komplex bild av markens beskaffenhet. Denna nivå består i huvudsak av fyllnadsmaterial med varierande sammansättning. Det ytliga fyllnadslagret är undersökt tidigare och resultat finns presenterade i en rapport av Sundberg & Myrhede (2003). Den hydrauliska konduktiviteten varierar enligt gjorda undersökningar mellan $6 \cdot 10^{-7}$ m/s och $5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

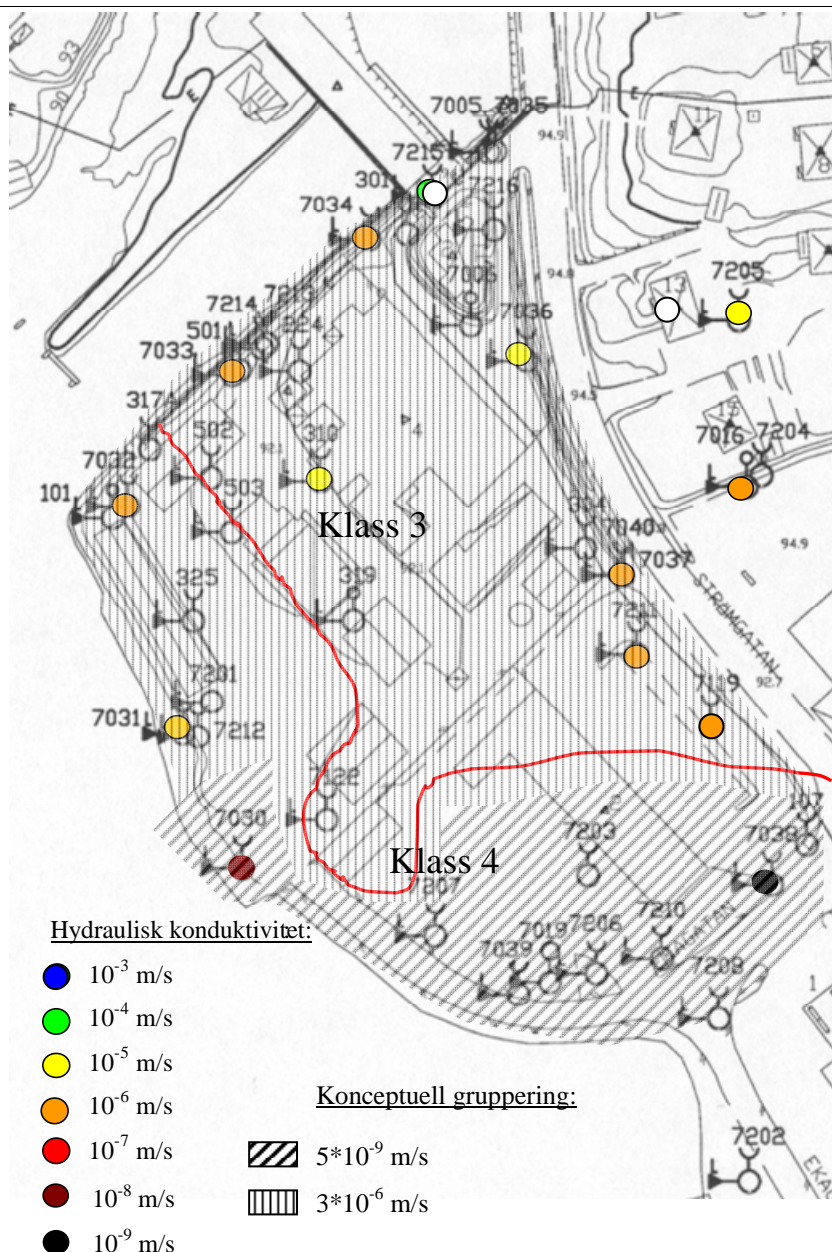
I dessa ytliga jordlager finns två tydliga grupperingar beroende på hur de är lokaliserade i förhållande till tidigare strandlinje. I det relativt mäktiga fyllnadslager som påträffats utanför ursprunglig strandlinje har den hydrauliska konduktiviteten uppmätts till ca 10^{-4} m/s till 10^{-3} m/s. Ett geometriskt medelvärde uträknades för dessa brunnar till $5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Innanför strandlinjen bedöms fyllnadsdjupet vara relativt ytligt och har ofta bara någon meters tjocklek. De flesta av de ytligt belägna brunnarna sitter därför installerade i naturlig jord. Ett geometriskt medelvärde för den hydrauliska konduktiviteten har beräknats till $9 \cdot 10^{-6}$ m/s. En bedömd spatiell indelning mellan de två hydrauliska egenskaperna finns illustrerad i figur 15.



Figur 15. Hydraulisk konduktivitet i ytliga jordlager, mindre än 4.5 m djup. Tidigare strandlinje är indikerad med rött streck.

Enligt figur 16 varierar den hydrauliska konduktiviteten i det antagna mellanliggande lagret i huvudsak mellan 10⁻⁶ m/s till 10⁻⁵ m/s. Ett par brunnar som är centralt placerade på EKA-tomten har konduktiviteter som ligger över 10⁻⁵ m/s, medan det i områdets södra del vid Eka-gatan finns tätare jordlager. På detta djup utgörs jorden i de flesta fall av den översta delen av de naturliga jordlagren som underlagrar fyllnadsmaterial.

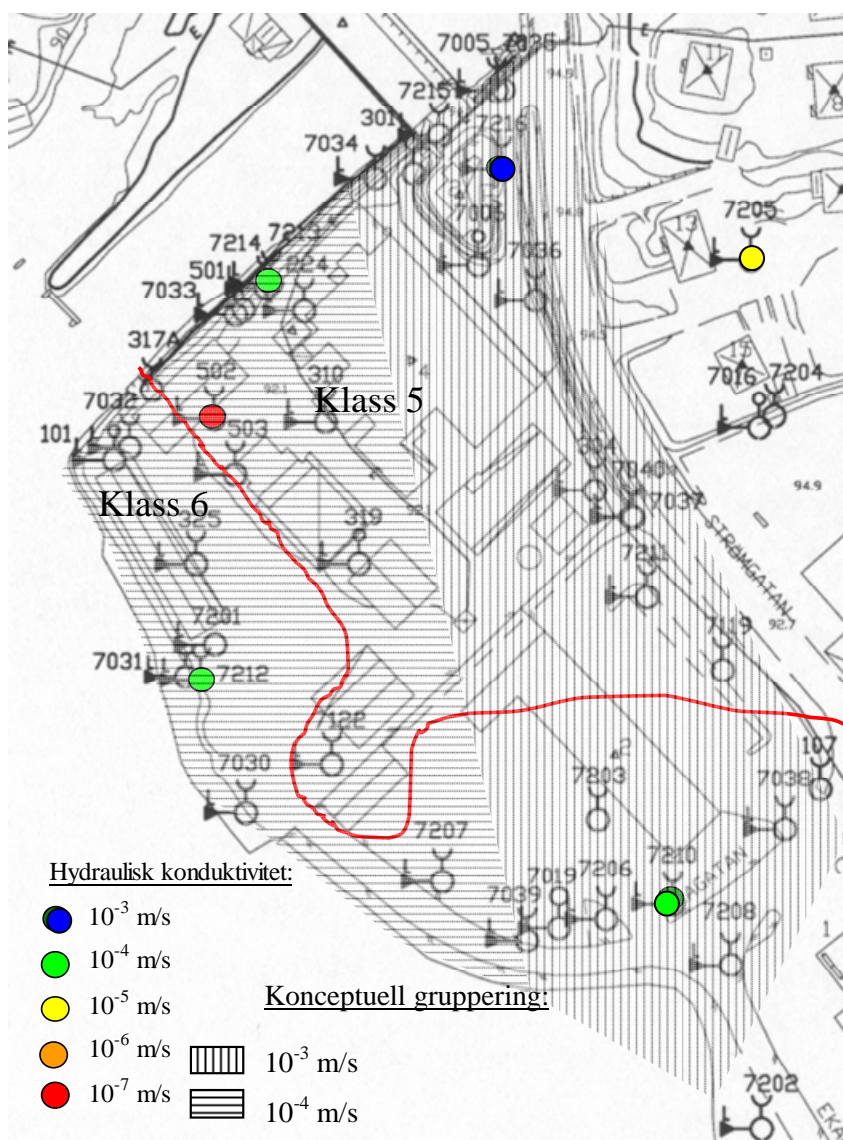


Figur 16. Hydraulisk konduktivitet på djupnivå 4.5 m till 8 m under markytan. Den röda linjen markerar tidigare strandlinje.

I områdets sydligaste del visar tre punkter, 7030 och 7038 enligt figur 16 samt 7039 enligt bilaga 1, att det finns jordlager av tätare material med konduktiviteter ned mot 10^{-8} m/s. Vid Ekagatan fanns tidigare en vik vars innersta punkt låg i korsningen mellan Strömgatan och Ekagatan (figur 16). Här har tidvis varit lugnt vatten och finkornigt material har kunnat avsättas. Enligt genomförda borrhningar har lera, silt och gyttja påträffats på 6-8 m djup under nuvarande markyta. Detta innebär att det här finns ett relativt tätt lager, vid hydraultester har dess konduktivitet uppmätts till mellan ca 10^{-9} m/s och $3 \cdot 10^{-8}$ m/s. I andra delar av området består jorden på denna nivå av ett osorterat material vars kornstorleksfördelning påminner om morän. I den förenklade konceptuella modellen har området delats in såsom beskrivs i figur 16.

Figur 17 illustrerar den hydrauliska konduktiviteten i djupt belägna brunnar. Fyra av de punkter som undersökts på större djup indikerar hög genomsläpplighet med konduktiviteter upp till

$3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Resultat från interferenstester i 502 med mätdata från filter på djup 10-12 m visar däremot att vid denna punkt har låg konduktivitet, under 10^{-6} m/s. Variationen av hydrogeologisk konduktivitet belyser att jordlagret är skiftande på djupare nivåer.



Figur 17. Hydraulisk konduktivitet i djupa (>8 m u m y) inom Eka-området i Bengtsfors.

Undersökningar har visat att grus förekommer ca 10 meter under markytan framförallt längs med Strömgatan och söderut bort mot Ekagatan, mitt för infart till Brandts bil. Genom provtagning från flote har kärnor innehållande grovsilt och finsand tagits upp ur Bengtsbrohöljen. Resultaten från borrhningarna indikerar att grovt material, eventuellt en åskärna, avsatts intill östra kanten av dalgången och att något finkornigare lager avlagrats längre ut åt väster. Siltigare lager har i den västliga delen påvisats på större djup i punkt 501 och 504. Omväxlande finkornigare och grövre lager har avsatts med varvighet, något som är karakteristiskt för material som avsatts i strömmande vatten. Bedömningen är att materialet gradvis blir finkornigare västerut mot Bengtsbrohöljen. Den presenterade konceptuella modellen delar in området i en östlig och en västlig del på detta djup. Den östliga delen mot Strömgatan bedöms ha en hydraulisk konduktivitet enligt figur 17 på 10^{-3} m/s, medan den västliga bedöms ha en konduktivitet på 10^{-4} m/s.

6 VÄRDERING OCH SLUTSATSER

6.1 TÄTARE SKIKT

Från både geologiska och hydrauliska undersökningar indikeras att det finns ett något tätare jordlager innehållande silt i större delen av området. Lagret verkar ligga på ungefär fem meters djup längs strandlinjen, medan det i öster mot Strömgatan finns ett sådant skikt på något större djup. Skiktets geometri och kontinuitet är osäker eftersom undersökning bara är genomförd punktvis. Det kan däremot anses ha tillräcklig utbredning för att minska vertikalt flöde. I områdets södra del är det djupt belägna grovkornigare jordlagret överlagrat av ett vattenavsatt silt- eller lerlager, detta har antagligen låg hydraulisk konduktivitet och kan vara kontinuerligt. I övriga delar består detta skikt av ett heterogent moränliknande material som har kohesionsandel och skiljer sig inte avsevärt från ytligare och mer djupliggande jordlager.

6.2 HYDROGEOLOGISKA EGENSKAPER

Resultaten från undersökningarna belyser den heterogena och komplexa karaktären som området besitter. Vid interferensförsöken kunde förutom de hydrogeologiska egenskaperna bestämmas, även potentiella flödesvägar i området studeras genom observation i omkringliggande grundvattenrör.

Interferensförsöken som gjordes av djupt belägna brunnar visar i merparten av de undersökta punkterna på att det tätare skiktet underlagras av jord som har hög genomsläpplighet, främst i områdets östra del. I ett par punkter noterades en hydraulisk konduktivitet som var ca 10^{-3} m/s, vid brunnsinstallation noterades jorden bestå av sandigt grus eller grusig sand. Genomförda undersökningar indikerar att det jordmaterialet gradvis blir mer finkornigt och således mindre genomsläppligt mot väster.

Resultaten från pumpning i den södra delen av området vid Ekagatan påvisar att det relativt täta skikt av silt och ler, som där påvisats av den geotekniska undersökningen och pulstester, över- och underlagras av jord med mer permeabel beskaffenhet. Undersökningsresultaten visar också att det täta lagret har en begränsad utbredning då kommunikation mellan djupbelägna och ytliga brunnar verkar ske runt detta skikt. I övriga delar där det antagna tätare jordlagret består av moränliknande material med finandel är dess kontinuitet ej bekräftad.

Grundvattennivåmätningar i området indikerar ett, i delar av området, högre grundvattentryck i djupare liggande grovkorniga jordlager än ytliga. Detta innebär att en uppåtriktad flödeskomponent finns fyllnadslagren.

6.3 FLÖDESVÄGAR

Spårämnesförsöket visar på en flödesriktning söderut längs den på djupet noterade grovkorniga formationen i områdets östra del. Transporthastigheten är hög trots relativt liten tryckgradient, vilket bekräftar att det finns jordlager som är kontinuerliga och väl sorterade. Detta bekräftas av hydraultest och av observationer vid brunnsinstallation som gjorts i djupliggande brunnar. Det spårämne som injicerades i en relativt djup brunn har återfunnits i ytliga jordlager, vilket bekräftar bilden av ett uppåtriktat flöde.

5.4 EFFEKT AV INDUCERAD GRUNDTVATTENSÄNKNING

Pumpförsök som genomfördes under en vecka i den djupliggande brunnen 7216 visar att ett intensivt uttag i undre grundvattenmagasin kan minska det uppåtriktade flödet. Ett uttag av

drygt 3 m³/h minskade tryckskillnaden mellan djupliggande och ytliga magasin i en stor del av EKA-tomten. En grundvattensänkning i ytliga jordlager utanför åtgärdsområdet hade begränsad eller ingen effekt på det uppåtriktade flödet.

6.5 KONCEPTUELL MODELL

För att skapa överblick av de heterogena geologiska förhållandena i området har en konceptuell modell upprättats. Området har utifrån hur dess geologiska och hydrogeologiska beskaffenhet varierar spatiellt delats in i sex olika delar. Modellen finns presenterad i figur 14 till 16 samt i tabell 3.

5.5 SLUTSATSER

- Det finns en djupnivå i jordlagren som har lägre genomsläpplighet än över- och underlagrande nivåer. Dess mäktighet och kontinuitet och sammansättning varierar och är osäker. I söder längs Ekagatan består detta skikt av täta ler- och siltmaterial medan det i övrigt består av ett grövre material som dock innehåller kohesionsandel.
- Markförhållandena är ur grundvattensynpunkt mycket skiftande i alla djupnivåer. I områdets östra del sträcker sig en formation av relativt ensgraderat grovkornigt material i nordsydlig riktning på ca 10 m djup.
- Längs den genomsläppliga formationen i öster finns en tydlig flödesbana åt söder.
- På större djup (>8 m u m y) finns genomsläpplig jord med ett i delar av området högre hydraulisk tryck jämfört med ovanförliggande skikt. Tryckskillnaden i vertikalled orsakar ett uppåtriktat grundvattenflöde som sannolikt främst kommer från Lelång.
- En avsänkning i djupliggande jordlager kan minska det uppåtriktade flödet i området. En lokal avsänkning i ytliga jordlager utanför åtgärdsområdet hade liten påverkan.

Göteborg och Linköping, dag som ovan



Elke Myrhede



Fredrik Mossmark



Jan Sundberg

REFERENSER

Sundberg J., Hammar M., Ouacha M., Fällman A.-M., Lindmark P. och Burman F., 1998. Kompletterande undersökning samt förslag till efterbehandlingsåtgärd. Statens geotekniska institut, dn3 2-9706-292.

Sundberg J. och Myrhede E., 2003. Mark- och grundvattenförhållanden vid Eka-området i Bengtsfors. Rapport nr EKA 2002:1. Bengtsfors kommun

Bilaga 1

Geoteknisk undersökning samt pulstester

Bilaga 1

I denna bilaga är resultaten från den geotekniska undersökningen med efterföljande pulstester sammanställda. Sammanlagt 10 punkter har undersökts med antingen JB-sondering, skruv eller CPT i syfte att hitta lager i jordtäcknet som har låg hydraulisk konduktivitet. För att verifiera lagrets egenskaper har perforerade stålrör som nyttjats för pulstester installerats i undersökningspunkterna.

Resultaten från geotekniska undersökningen bygger på rapportering från GF-konsult. Den hydrauliska konduktiviteten från pulstest är utvärderad enligt Hvorslevs metod.

Borrhål 1 (7030)

Punkten har undersökts med JB-sondering och skruv. Vid undersökning på en första plats hittades inget lager med finare material. Denna plats låg ungefär 4 m från stranden jämfört med det satta röret 7030.

Plats 7030
0-4,2 m Fy sa st gr
4,2- Sa si Mn

Rör installerat på 6 m med 0,5 m perforeringslängd

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=3 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Borrhål 2 (7031)

Undersökt med JB-sondering och cpt.

0-4 m Fy st gr sa
4,0-4,7 "relativt ensgraderat fint material"
4,7- Mn

Rör installerat med odex. Rördjup 4,6 m, perforeringslängd 0,1 m.

Konduktivitet undersöktes med slug-test. Preliminär konduktivitet är för de två pulserna $1 \cdot 10^{-6}$ resp. $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Borrhål 3 (7032)

Undersökt med JB-sondering och cpt i tidigare provgrop (provgropsdjup c:a 2 m enligt Åsa Svensson, personlig kommunikation)

0,0-3.0 m Fy sa gr

3,0- Mn sa si

Rör installerat till 5,0 m djup, perforeringslängd 0,5 m.

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=1*10^{-6}$ m/s.

Borrhål 4 (7033)

Undersökt med JB-sondering och cpt

0-4,3 m FY sa gr st (spån)

4,3- Mn

Rör installerat med odex till 4,65 m u m y med 0,1 m perforering.

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=2,2*10^{-6}$ m/s.

Borrhål 5 (7034)

Undersökt med JB-sondering och skruv.

0-3,0 m Fy sa gr (mu)

3,0- gr sa mn

Rör installerat till 4,0 m med 0,3 m perforering

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=4*10^{-6}$ m/s.

Borrhål 6 (7035)

Undersökt med JB-sondering och skruv

0,0-1,0 m Fy gr sa

1,0- m gr sa mn

Rör installerat till 4,0 m med 0,5 m perforering

Fick upp spolvatten när djupet 9,0 m undersöktes

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=6*10^{-7}$ m/s.

Borrhål 7 (7036)

Undersökt med JB-sondering och skruv

0,0- 1,0 m Fy sa st gr

1,0-4,0 sa si mn

4,0- gr sa si mn

Det djupare lagret verkar innehålla något mer finmaterial

Rör installerat till 5,0 m djup med 0,5 m perforering

Konduktivitet undersöktes med vattenpuls $K=3*10^{-5}$ m/s.

Borrhål 8a, 8b (7037, 7040)

Undersökt med JB och skruv

0,0-1,0 Fy Mu sa

1,0-4,0 sa si mn

4,0- sa gr mn

Det djupare lagret verkade vid undersökning vara något tätare eftersom spolvatten kom upp vid c:a 7 m djup (samma nivå som i punkt 6)

Det ytligare röret var installerat till djup 4,5 m, det djupare till 7,0 m.

Båda rören undersöktes med vattenpuls

Det ytligare fick $K=1*10^{-5}$ m/s.

Det djupare fick $K=2*10^{-6}$ m/s.

Borrhål 9 (7038)

Undersökt med JB-sondering, skruv och cpt-sondering.

0,0-1,0 m Fy sa mu

1,0-2,0 m Fy st gr

2,0-3,6 m Fy st sa si

3,6-4,1 m torv

4,1-7,0 m si le

Rör installerat till 6,0 m med 0,5 meter perforering.

Perforeringen är installerad i det siltiga lerlagret, vilket innebär en förväntat låg hydraulisk konduktivitet. Vid pulstest med vatten tog det mycket lång tid för nivån att återgå till sin ursprungliga nivå. Den hydrauliska konduktiviteten uppskattas till 10^{-9} m/s.

Borrhål 10 (7039)

Undersökt med JB-sondering och skruv

0,0-5,5 m Fy
5,5-5,8 m sa gr st
5,8-7,4 m le si
7,4- mn

Rör först installerat till 7,0 m. Vid pulstest var konduktiviteten oändlig, kontakt med underliggande morän misstänktes. Röret ominstallerades på grundare djup.

Undersökning med vattenpuls indikerar att den perforerade delen av röret står i kontakt med mer permeabelt material än det tätare lager som noterats vid den geotekniska undersökningen.

Pulstest 7215

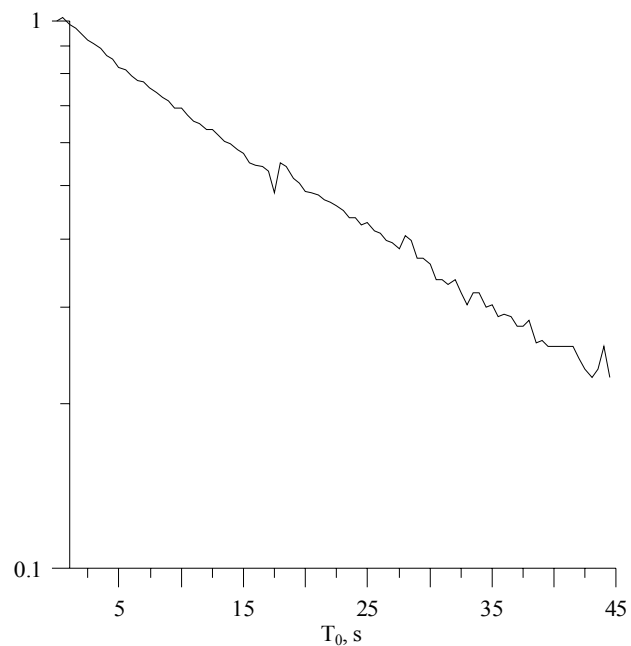
Vid pulstest i 7215 erhöles ett avsänkingsförlopp enligt figur 1. Utvärdering enligt Hvorslevs metod med följande ingående parametrar:

$L_e = 1$ m
 $R, r = 0.035$ m

Från figur 1 erhöles $T_0 = 30$ s

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e / R)}{2L_e T_0}$$

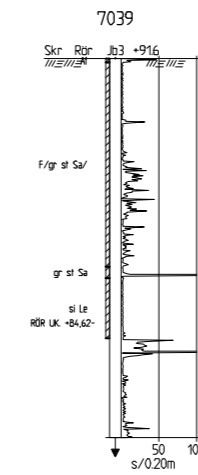
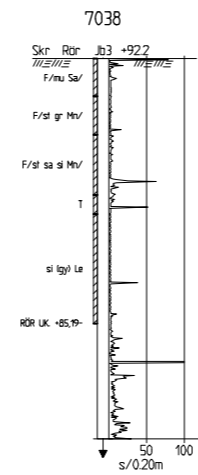
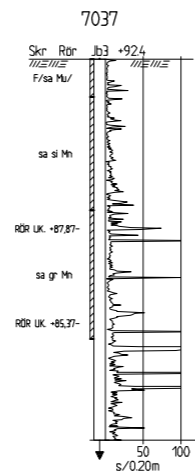
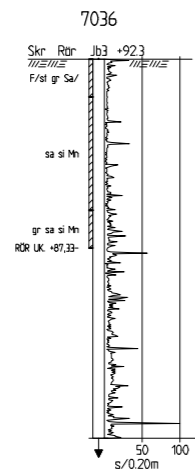
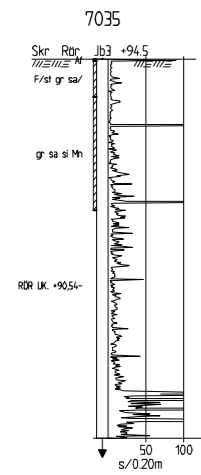
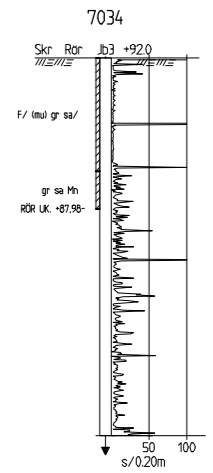
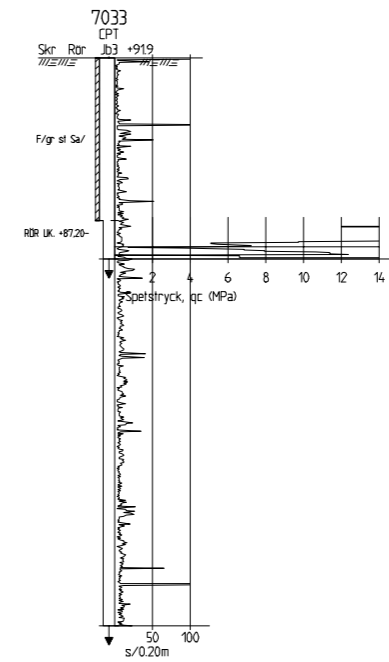
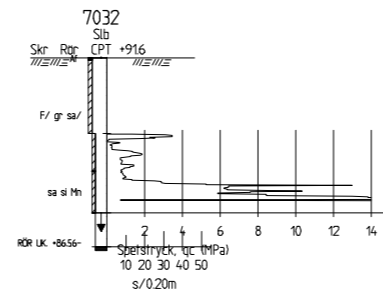
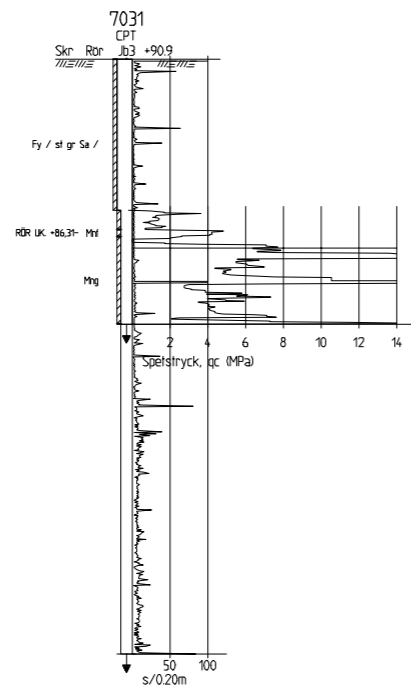
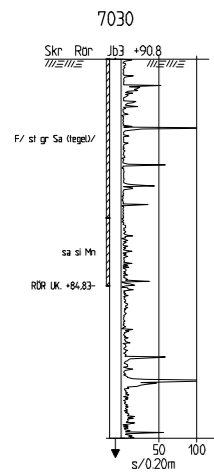
$$\Rightarrow K = 7 \cdot 10^{-5}$$



Figur 1. Avsänkingsförlopp vid pulstest i 7215.

Bilaga 2

Resultat från geoteknisk undersökning –profiler



BET	ANT	ÄNDRING AVSER	SIGN	DATUM
 				
				
UPPDRAG NR	RITAD/KONSTR AV	HANDLAGGARE		
657 004 10	TOMAS BACKMAN	ELKE MYRHEDE		
DATUM	ANSVARIG			
2005-03-07				
BENGT'S FÖRS KOMMUN EKA PROJEKTET				
SONDERINGSRESULTAT				
SKALA	NUMMER	BET		
1:100 (A1)	G301			

Bilaga 3

**Kortvariga provpumpningar av grundvattenrör
11-12 november, 2004**

PM

EKA Bengtsfors Etapp 2

**Provpumpningar av grundvattenrör
11 – 12 november, 2004**



Göteborg den 18 mars 2005

AQUALOG AB

Postadress: Järntorget 3, 413 04 Göteborg
Telefon: 031-775 45 50
Telefax: 031-775 45 59

Dokument: S:\Projekt\04018 EKA Bengtsfors etapp 2\Text\Färdig\Rapport provpumpning 041111-12 rev1OG.doc

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	2
2	FÖRUTSÄTTNINGAR	3
3	RESULTAT	4
	PUMPNING I BRUNN 7210	6
	PUMPNING I BRUNN 7211	8
	PUMPNING I BRUNN 7213	9
	PUMPNING I BRUNN 7216	11
4	SLUTSATS	13

1 Inledning

Geo Innova AB har i uppdrag av Bengtsfors kommun att ansvara för hydrogeologi, geologi och geoteknik i samband med sanering av det svårt förorenade markområdet vid den gamla klor-alkalifabriken. Uppdraget innefattar även beskrivning av föroreningssituationen, spridning av föroreningar och åtgärder för att minska dessa.

Mot bakgrund av projektets erfarenheter finns förslag att avgränsa det förorenade området med hydrauliskt tät barriär mot, i huvudsak, Bengtsbrohöljen. För att säkerställa barriärens funktion skall inom föreliggande undersökning utredas den hydrauliska möjligheten till vertikal strömning av förorenat vatten från ovanliggande fyllnadsmaterial till underliggande friktionsjord.

Utredningen har omfattat CPT-sondering och hydraulisk testning för att identifiera eventuellt tätande lager och om möjligt klarlägga lagrets vattenförande förmåga. Testerna skall även användas för att delvis ompröva tidigare upprättad trycknivåkarta samt grundvattnets strömningsbild.

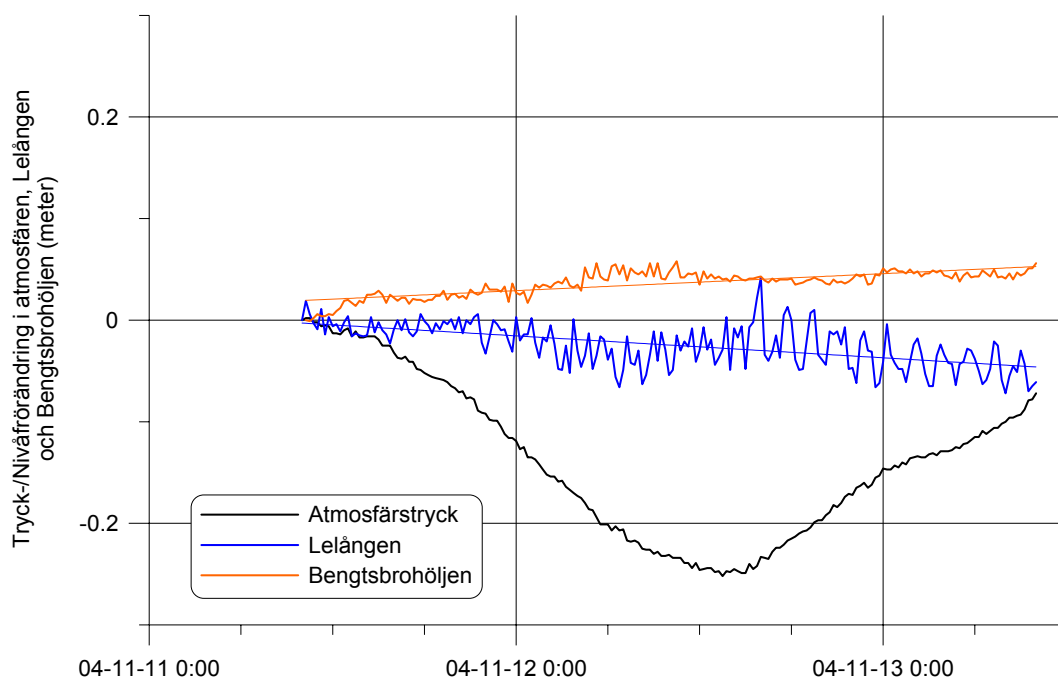
Undersökningen har omfattat provpumpning i ett urval av grundvattenrör installerade i den djupare delen av marken, med samtidiga observationer i närliggande rör (interferenstest). Undersökningen utfördes främst i avsikt att beskriva förutsättningarna för vertikal strömning, både kvalitativt och kvantitativt.

Otto Graffner på Aqualog AB har ansvarat för genomförande och utvärdering av interferenstester/provpumpningar i ett urval av grundvattenrör. Urvalet är gjort i överenskommelse med Geo Innova AB.

2 Förutsättningar

De hydrauliska undersökningarna har genomförts under en period med stora svängningar i atmosfärstryck, **Figur 1**. Under ett dygn från klockan 10:00 den 11 november sjönk atmosfärstrycket med ca 23 mBar, vilket motsvarar knappt 1 cm vattenpelare varje timme. Därefter ökade atmosfärstrycket under det följande dygnet med ca 16 mBar. Vid utvärderingen av pumptesterna har kompensation utförts för dessa lufttrycksvariationer.

Under samma två dygn sjönk Lelångens nivå med ca 6 cm och Bengtbrohöljens nivå steg med ca 6 cm. Dessa vattennivåer bedöms styra grundvattentrycket i omgivande jordlager och variationer kan därför överlagra effekter av hydraultester i strandnära undersökningshål.



Figur 1 Tryck- och nivåvariationer atmosfären, Lelången och Bengtbrohöljen under perioden för provpumpning.

Flera av undersökningsbrunnarna är konstruerade av s.k. PEH-rör vilka försetts med täta lock med gummiring. Avlägsnandet av locket medförde förändrade tryckförhållanden i röret, varvid vattenytans läge påverkades. För brunnar med låg hydrauliska kapacitet, sker denna förändring långsamt vilket kan ha påverkat testanalyserna.

I flera av provpumpningarna har påverkan i omgivande brunnar varit liten. Alltjämt är dessa utvärderade och det skall nämnas att osäkerheten i analysresultaten från dessa kan vara hög.

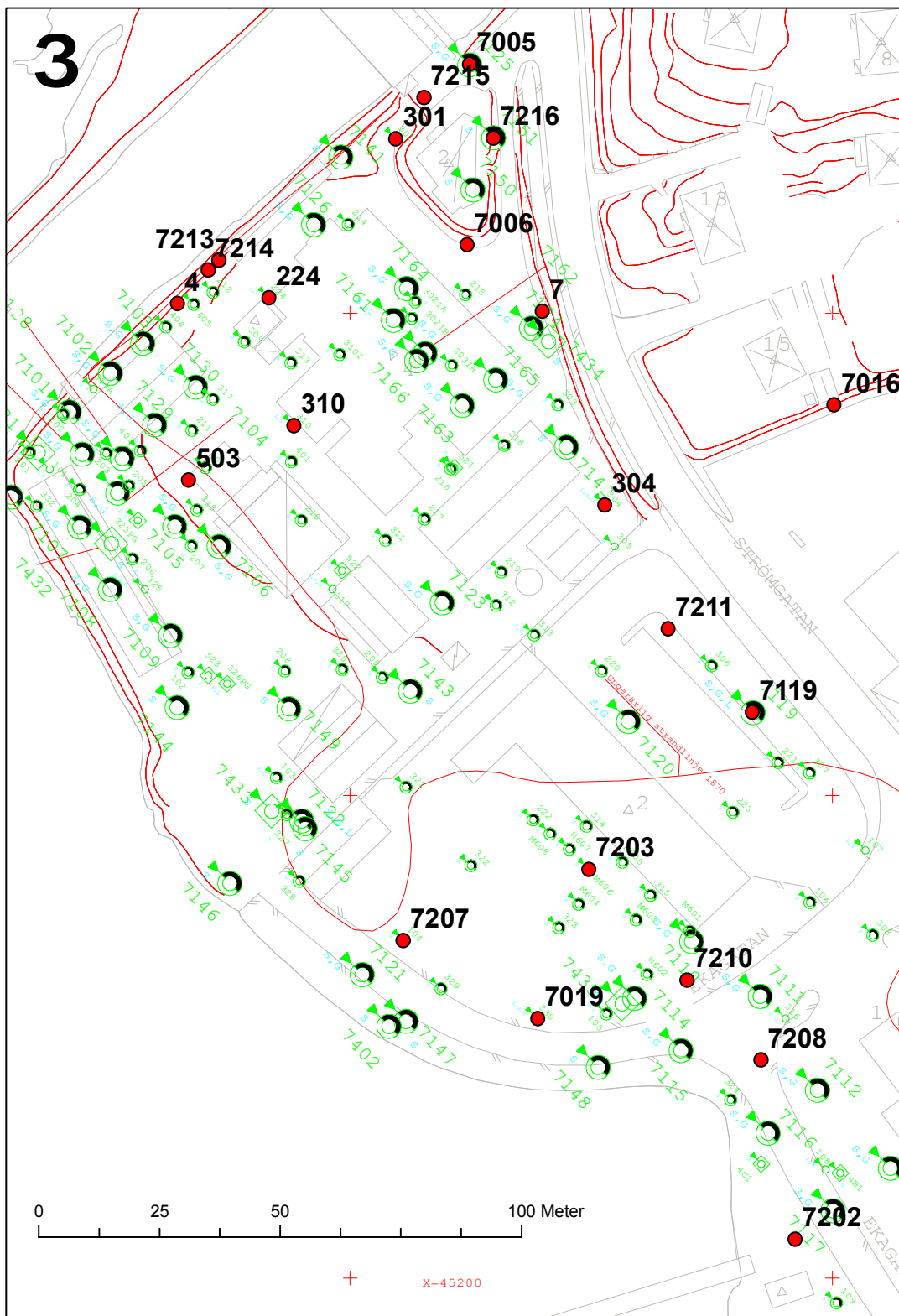
3 Resultat

Utvärdering och analys av provpumpningen är genomförd i två steg, dels kvalitativ och dels kvantitativt. Inledningsvis genomfördes en kvalitativ analys som syftar till att identifiera vilken flödesregim som styr avsänkings- resp. återhämtningsförlopp. Med denna avsikt plottas avsänkingsdata i diagram med log/log-skala och lin/log-skala. Ur dessa diagram har flödets dimensionalitet identifierats samt testförloppets utveckling mellan olika flödesregimer samt eventuell påverkan från hydrauliska ränder. Registreringar från fältmoment har utgjort viktig tillskottsinformation i den kvalitativa analysen.

När provpumpningsförloppet karakteriserats, bedömdes förutsättningar för bestämning av transmissivitet eller hydraulisk konduktivitet. Vid analys av exempelvis radiellt flöde har Jakobs metod använts.

Provpumpningar utförda i brunn 7210, 7211, 7213 och 7216 är utvärderade avseende interferens i omgivande observationsbrunnar samt i pumpbrunn. Pumpningen i brunn 7214 var ofullständigt genomförd och har inte utvärderats.

Undersökningshålens läge visas i **Figur 2**.



Figur 2 Översiktskarta med ungefärliga lägen för undersökningshål.

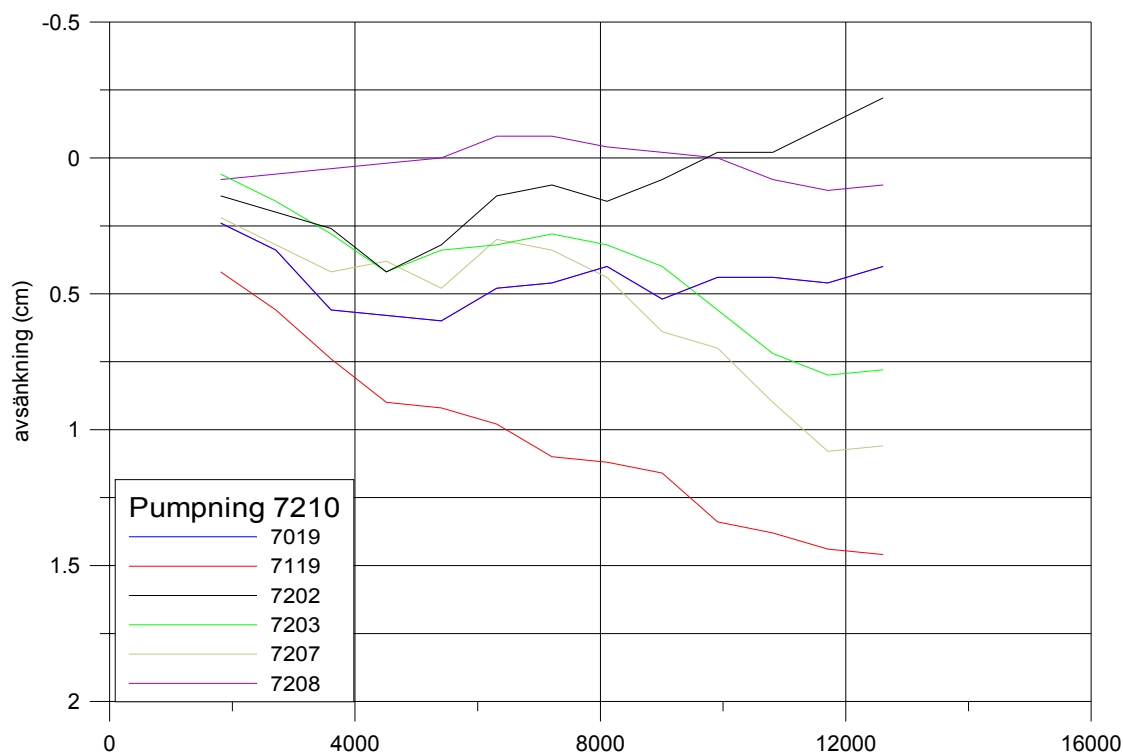
Pumpning i brunn 7210

Pumpning utfördes den 12 november 2004 under perioden 16:00 – 20:00, med ca 19 l/min. Därefter följdes återhämtningen under knappt åtta timmar.

Brunnar	Nivå			Avsänkning vid pumpstopp (cm)
	Överkant rör	Överkant filter	Grundvatten (vila)	
7210	+92,14	+79,14	+90,80	483
7019	+91,68	+88,58	+89,55	0
7119	+91,92	+89,12	+90,44	2
7202	+90,61	+88,41	+89,46	0
7203	+91,82	+88,62	+89,39	1
7207	+91,59	+87,64	+89,44	1
7208	+91,32	+87,38	+89,39	0
7211	+92,26	+85,26	+90,84	0

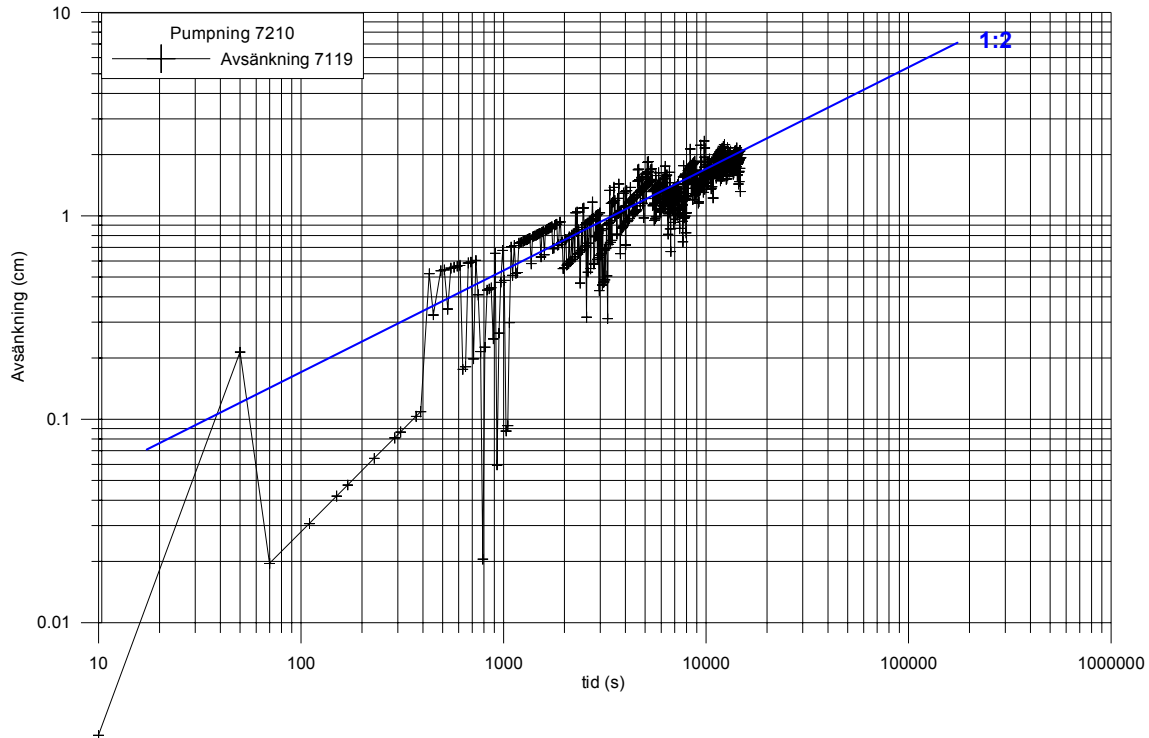
Vid pumpningen i 7210 sjönk vattennivån snabbt med ca 0,48 m varefter följde en långsam avsänkning, som i slutet avbröts av en stigande nivå. Från avsänkingsförloppet utvärderas en transmissivitet på $6 - 10 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pumpning i 7210 medförde snabb avsänkning i brunn 7119 (**Figur 3**). Avsänkningen är begränsad till knappt två centimeter. Radiellt flöde har inte kunnat bekräftas, snarare följer avsänkningen ett förlopp motsvarande endimensionellt 'kanalflöde' (1:2 i log/log-diagram) (**Figur 4**).



Figur 1 Avsänkning i omgivande observationspunkter. Glidande medelvärde omfattande fem 15-minuters värden.

Hydraulisk transmissivitet har inte kunnat bestämmas med säkerhet. Motsvarande avsänkning under radiella förutsättningar skulle resultera i en transmissivitet på i storleksordningen $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket bedöms kunna vara rimligt även under gällande förutsättningar.



Figur 2 Log/log-diagram med avsänkning i brunn 7119 vid pumpning i 7210.

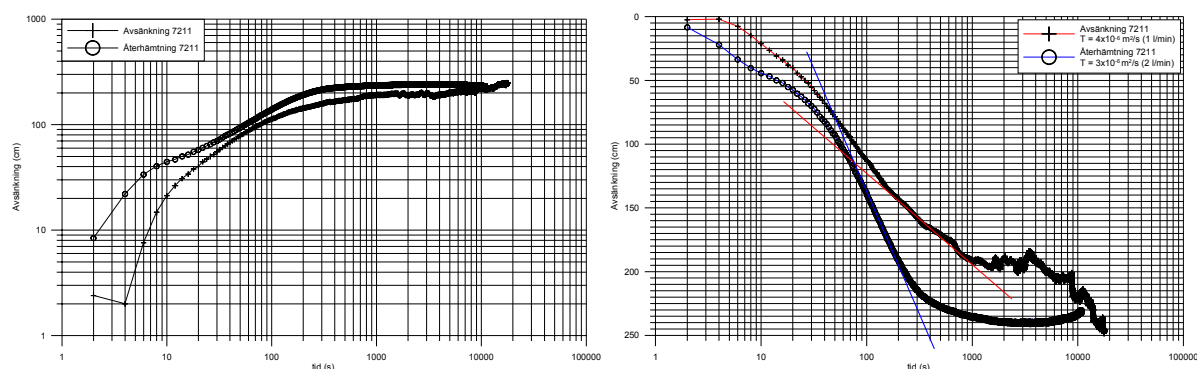
Efter en tids pumpning i 7210 erhöles avsänkning även i brunn 7203 och 7207 (**Figur 3**). Avsänkningen i brunnarna är samtidig, varför brunnarna bedöms vara placerade i gemensam akvifer med hög permeabilitet. Från interferensen från 7210 är beräknat ett värde på hydraulisk transmissivitet av $4 - 9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Flera rör nära pumpbrunnen förblev opåverkade under testet. Anledningen kan vara en heterogen miljö med omväxlande täta och mer permeabla delar.

Pumpning i brunn 7211

Pumpning utfördes den 11 november 2004 under perioden 17:30 – 22:30, med 1-2 l/min. Därefter följdes återhämtningen under 7,5 timmar.

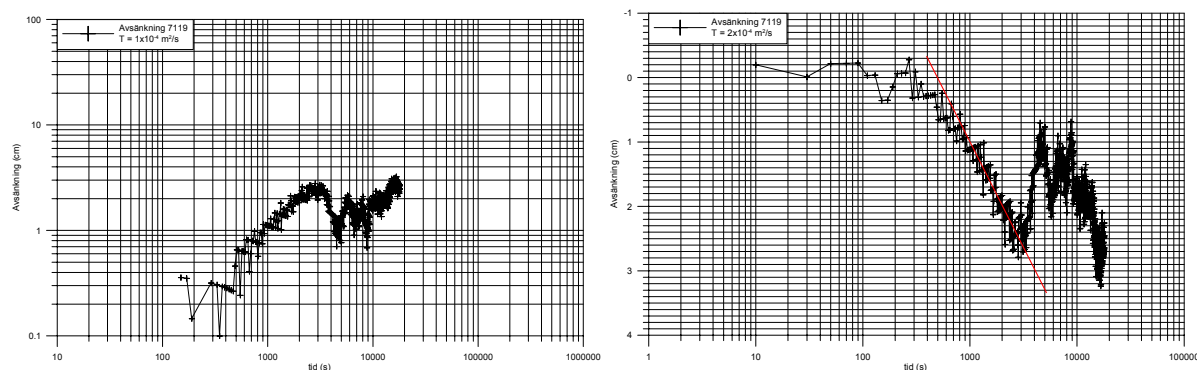
Brunnar	Nivå			Avsänkning vid pumpstopp (cm)
	Överkant rör	Överkant filter	Grundvatten (vila)	
7211	+92,26	+85,26	i.u.	247
304	+92,80	+90,40	+90,92	0
7016	+93,17	+87,07	+92,20	0
7119	+91,92	+89,12	+90,44	3
7203	+91,82	+88,62	+89,39	2

Testet i brunn 7211 inleddes med ett pumpflöde på ca 1 l/min, vilket ökades efter en tid. Avsänkningen och återhämtningen indikerar radiellt flöde med en transmissivitet på $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (**Figur 3**). Undantaget 7119, förblev grundvattennivån i omgivande observationspunkter opåverkade av pumpningen.



Figur 3 Avsänkings- och återhämtningsförlopp i pumpbrunn 7211.

En begränsad avsänkning erhöles i observationspunkt 7119, ca 25 meter åt sydost. Effekten är begränsad till ca tre centimeter, och förloppet indikerar radiellt flöde (**Figur 4**). Beräknad transmissivitet är ca $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket är lägre än utvärderat värde från pumpningen i brunn 7210. Magasinskoefficienten beräknas till ca 10^{-4} .



Figur 4 Avsänkning i observationsbrunn 7119.

Pumpning i brunn 7213

Pumpning utfördes den 12 november 2004 under perioden 10:10 – 13:40, med flöde minskande från 25 l/min inledningsvis, till 19 l/min från kl. 10:50. Därefter följdes återhämtningen under 40 minuter.

Brunnar	Nivå			Avsänkning vid pumpstopp (cm)
	Överkant rör	Överkant filter	Grundvatten (vila)	
7213	+91,89		+90,73	366
pkt 4	+92 (antaget)		+90,25	1 ¹
224	+92,04	+90,24	+90,59	3
310	+92,13	+86,93	+90,52	6
503	+91,85	+89,35/+81,15	+89,71	5
7006	+92,09	+88,59	+90,64	3
7214	+91,87	+93 (antaget)	+90,01	5 ¹

¹ Nivå påverkad av inflöde av regnvatten.

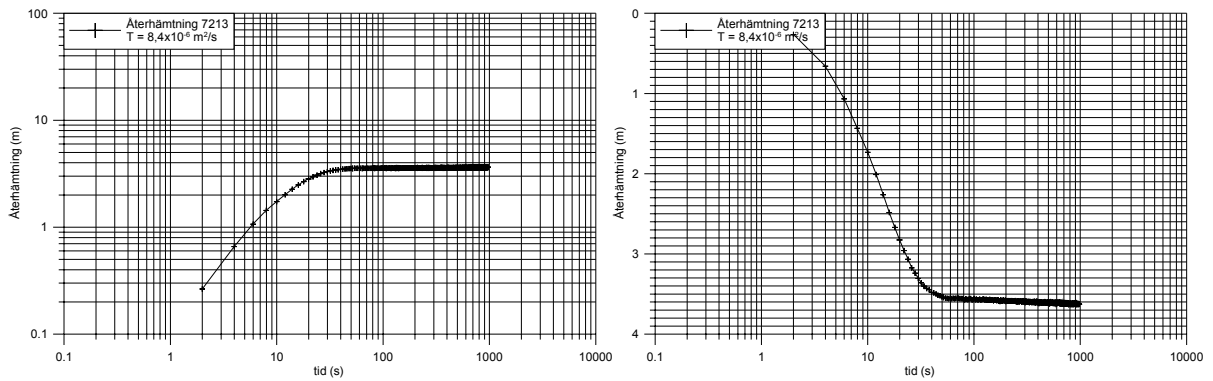
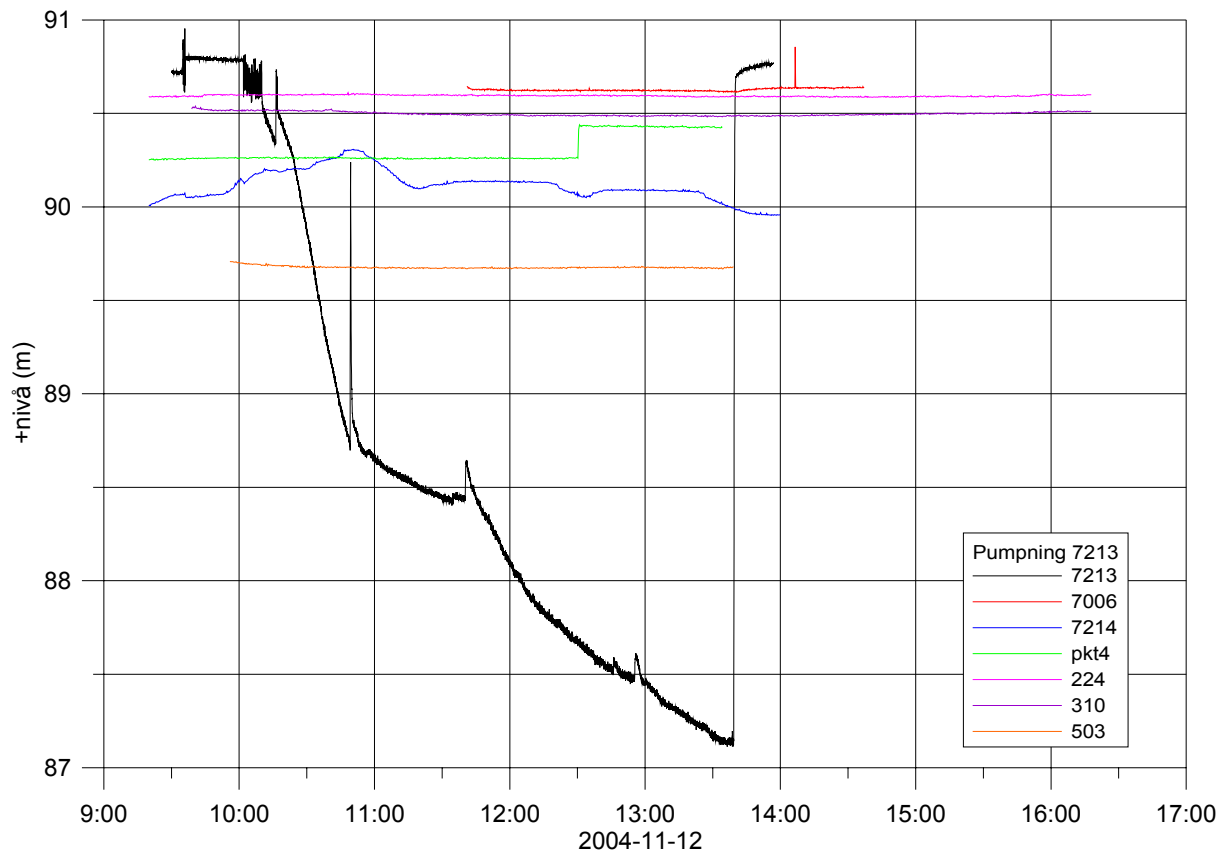
Avsänkningen i pumpbrunn 7213 indikerade inte radiellt flöde. Mot bakgrund av avsänkingsförloppet var återhämtningsförloppet omotiverat snabbt (**Figur 5**), vilket kan förklaras av att tillflödet till brunnen i huvudsak sker via ett mycket permeabelt avsnitt ytligt i brunnen i kontakt med Bengtsbrohöljen. Denna tolkning stöds av återhämtningsförloppet som tyder på inläckning via en konduktiv del i brunnen över nivån +89,1. Pumpningens påverkan på grundvattenmagasinet i övrigt verkar därför ha varit begränsad. Undre delen av brunnen har mycket låg hydraulisk kapacitet. Med anledning av brunnens hydrauliska funktion kan inte transmissivitet runt 7213 med säkerhet bestämmas. Utförd test tyder på att den konduktiva övre delen av brunnen har en transmissivitet i storleksordningen $3 - 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Brunn 7006 påverkades av pumpning i brunn 7213. Nivåmätningarna inleddes tyvärr sent och avsänkingsförloppet är ofullständigt registrerat. Transmissiviteten för det vattenförande avsnittet mellan 7213 och 7006 är från återhämtningen i 7006 bestämd till $6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Brunn 310 påverkades av pumpning i brunn 7213. Avsänkingsförloppet indikerar radiellt flöde utan ränder, med transmissiviteten mellan brunnarna beräknad till $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

I brunn 503 pågick avsänkning redan före pumpstart. Orsaken till denna påverkan är inte känd och någon utvärdering kan inte utföras.

Nivåerna i undersökningspunkt 4 och brunn 7214 var påverkade av nederbörd. För punkt 4 varierade nivån under pumptiden över ett 1,5 centimeters intervall. I brunn 7214 steg nivån under den första timmen med 15 cm varefter den sjönk 25 centimeter före pumpstopp. Någon påverkan från pumpningen har inte noterats.



Figur 5 Överst: Avsänkings- och återhämtningsförlopp i pumpbrunn 7213. Nedre: Återhämtningsförloppet i 7213.

Pumpning i brunn 7216

Pumpning utfördes den 11 november 2004 under perioden 10:31 – 14:31, med 26 l/min under fyra timmar. Därefter följdes återhämtningen under 2,5 timmar.

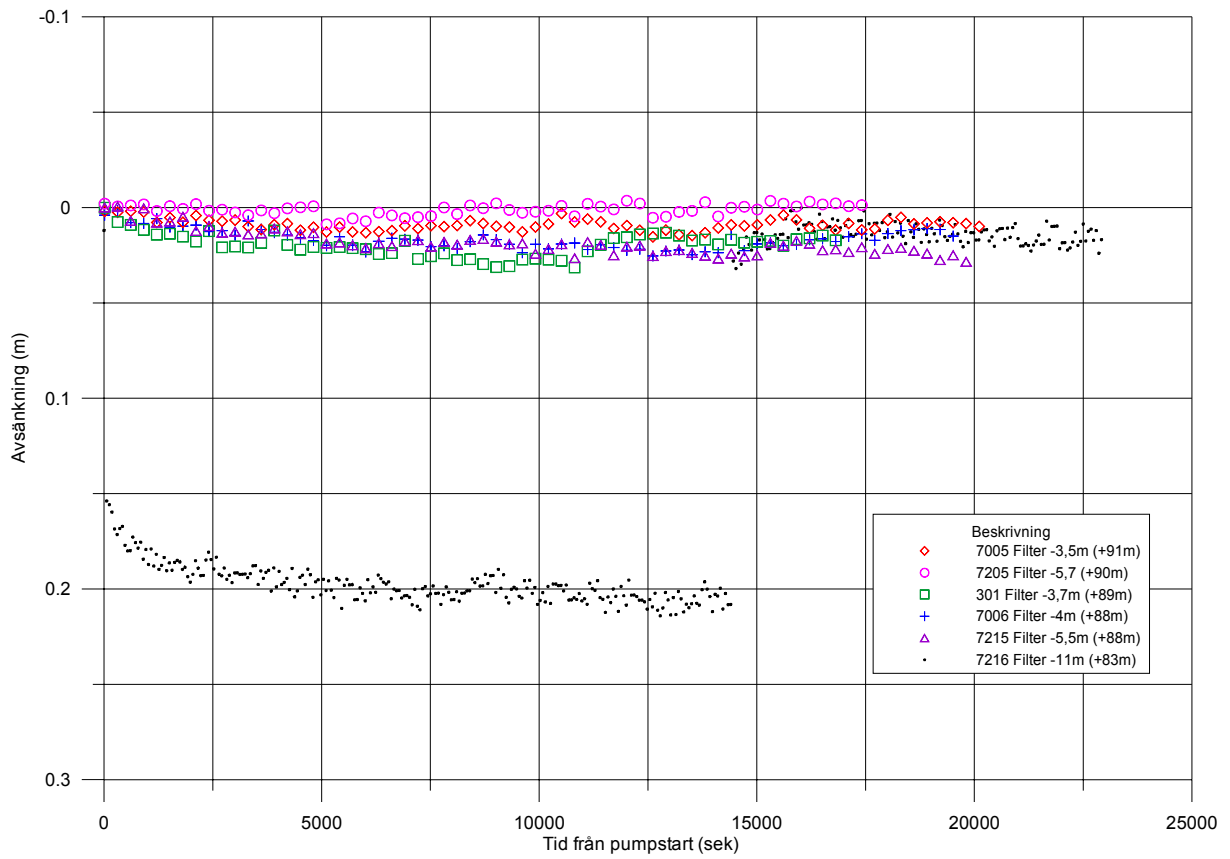
Brunnar	Nivå			Avsänkning vid pumpstopp (cm)
	Överkant rör	Överkant filter	Grundvatten (vila)	
7216	+94,00	+84,00	+91,04	20
301	+92,78	+89,58	+89,46	-2
7005	+94,45	+91,45	+92,18	1
7006	+92,09	+88,59	+90,65	2
7205	+95,37	+90,17	+94,10	0
7215	+93,86	+88,86	+89,36	2

Avsänkningen i pumpbrunn 7216 indikerar inte radiellt flöde. Efter en mycket snabb inledande avsänkning fortgick avsänkningen med ett betydligt långsammare linjärt förlopp med lutningen 1:12 med ytterligare ca 8 cm. Det är rimligt att avsänkningen sker i delvis slutet system men med stort läckage från ovanliggande jordar.

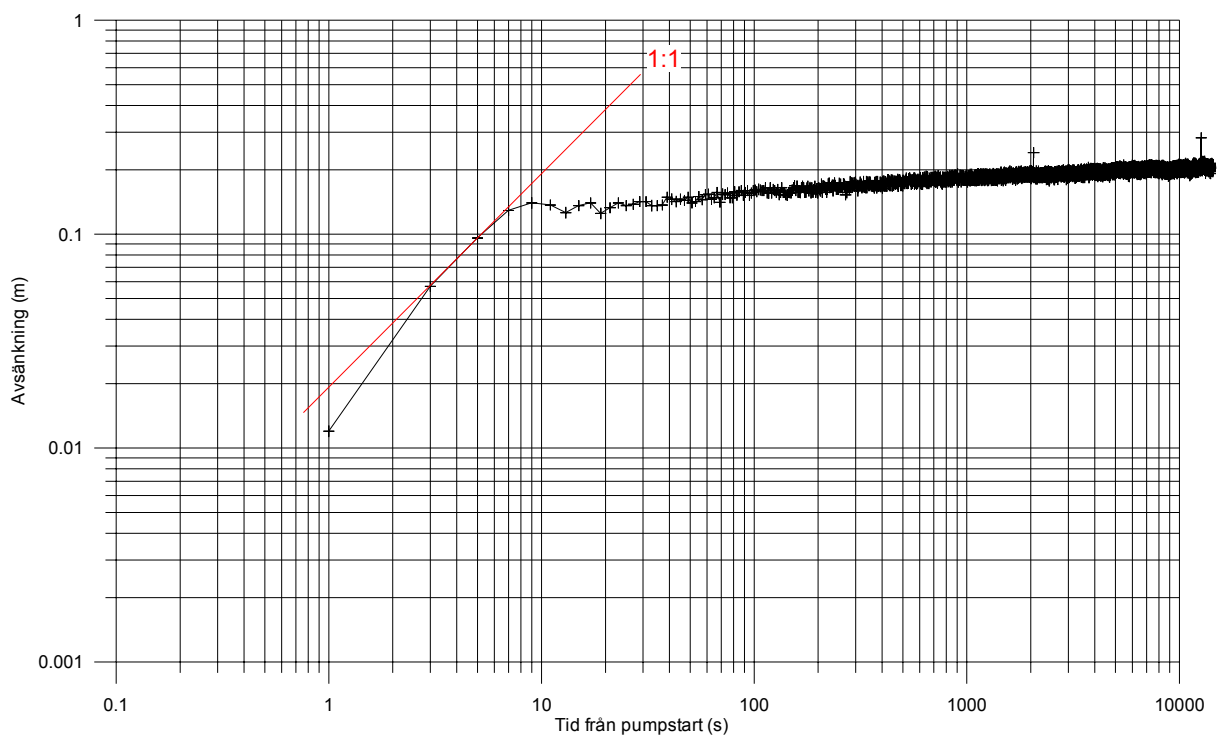
Under pumpperioden sjunker Lelången med 1,5 cm och Bengtbrohöljen med ca 2,5 cm. Det är därför möjligt att avsänkningen i pumpbrunnen är överlagrad och påverkad av flera orsaker. Avsänkningar i omkringliggande observerade brunnar är begränsad till som mest 3 cm, och kan inte avskiljas som effekt av enbart provpumpningen (**Figur 6**). Det är inte möjligt att identifiera hydrauliska gränser från pumpningen.

Beräknad transmissivitet i 7216 är uppskattad från pumptest till $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ med en mycket hög läckagekoefficient på $0,035 \text{ s}^{-1}$ (**Figur 7**).

Pumpningen är genomförd under en period med sjunkande barometertryck av cirka 0,65 cm/timme. Detta förlopp är kompenserat för vid utvärderingen.



Figur 6 Avsänkningar i pump- och observationsbrunnar vid pumpning i brunn 7216



Figur 7 Log/log-plot med avsänkingsförloppet i pumpbrunn 7216.

4 Slutsats

Områdets markförhållanden består av såväl naturliga jordar med varierande permeabilitet samt fyllnadsmassor. Detta innebär en kraftigt heterogen miljö med komplicerad hydraulik. Flera indikationer finns på icke-radiellt flöde till pumpbrunnarna. Detta kan innebära att jordlagrens avsättningsmiljö har varierat, kombinerat med senare omlagringar (t.ex. svallning av moränen). Förloppet skulle innebära att finare och grövre sediment påträffas skilda åt – något som bekräftas av provpumpningsresultaten.

Motsvarande effekt kan även uppnås med ojämn fördelning av olika sorters fyllnadsmaterial. Även ledningar och ledningsgravar kan påverka områdets hydraulik. Heterogeniteten identifieras från testutvärderingen som endimensionella flöden genom s.k. *preferential paths* (fördelaktiga strömningsvägar), t.ex. mellan 7210 och 7119 samt mellan 7213 och 7006.

Mätning av grundvattentrycket på olika djup i lägen nära varandra har resulterat i högre tryck i underliggande lager. Dessa förhållanden är mer vanligt nära strandkanten. Effekten kan förklaras av bl.a. följande två resonemang:

1. Strandkanten har under åren flyttats utåt genom att fyllnadsmassor lagts ut. Det är möjligt att fyllnadsmassorna i vissa lager är mindre permeabla än underliggande och överliggande material. Därmed skulle den hydrauliska kommunikationen med Bengtsbrohöljen begränsas och ett grundvattentryck kunna byggas upp under och bakom denna 'tätning'. Motsvarande resultatet skulle erhållas med en naturligt ler-/siltlager underlagrande fyllnadsmassorna.
2. Undersökningsområdet utgör utströmningsområde för ett mer regionalt grundvattenflöde. Det relativt branta berg- och moränområdet i nordost utgör inströmningsområde för grundvatten och den hydrauliska kommunikationen med berget är relativt god. Trycknivålinjerna för grundvattenflödet på större djup kan inom undersökningsområdet vara nära horisontella med ett uppåtriktat flöde som följd.

Det är i övrigt svårt att uttrycka sig mer generellt angående flödesförhållanden inom området. I tidigare utredningsfaser har föreslagits att huvudsaklig strömningsriktning sker mot sydväst, vilket även bekräftas från denna undersökning. Från denna utredning bedöms området därtill utgöra utströmningsområde med ett uppåtriktat vertikalflöde från den djupare liggande moränen och berget. Nära strandkanten, där mäktigheten av fyllnadsmaterial och jord är som störst, finns tryckskillnad mellan övre och undre lager. Mot bakgrund av den stora heterogeniteten bedöms orsaken till denna tryckskillnad i huvudsak kunna förklaras av områdets läge som utströmningsområde.

Bilaga 4

**Långvariga provpumpningar av grundvattenrör,
2005.**

Hydrogeologisk undersökning Långtidspumpning vid Lelång

PM

Bengtsfors kommun

2005-08-08

Författad av

Fredrik Mossmark, Geo Innova AB¹



¹ Geoteknik, geologi och geohydrologi

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
1 BAKGRUND	2
2 SYFTE	2
3 GENOMFÖRANDE	2
4 RESULTAT, UTVÄRDERING OCH DISKUSSION	6
4.1 FÖRUTSÄTTNINGAR.....	6
4.2 PUMPFÖRSÖK.....	6
4.2.1 Pumpning i brunn 301.....	6
4.2.2 Pumpning i 7006.....	9
4.2.3 Pumpning i 7216.....	10
4.3 BERÄKNING AV FLÖDE I DRÄNERING.....	13
5 SLUTSATSER	15
REFERENSER	15

1 BAKGRUND

Vid tidigare undersökningar i Eka-området i Bengtstors har det delområde som ligger närmast Lelång och kraftverksdammen noterats ha en hög genomsläpplighet i jordlager på större djup än 10 m. Ett större läckage från Lelång kan befaras som har betydelse för bl.a. vattentransporten genom området.

2 SYFTE

Försöket har följande syften:

- Skapa ett bättre dataunderlag för beräkning av läckage från Lelång till Eka-området, av betydelse för bedömning av vattenbalansen och indata till den grundvattenssimulering som genomförs av nuläge och åtgärder.
- Skapa ett underlag för prognostisering av den volym vatten som dräneras vid en nivåsenkning orsakad av en dränering i den antagna övre akviferen.
- Skapa ett underlag för prognostisering av dränerad vattenvolym vid en nivåsenkning i den antagna undre akviferen samt undersöka om en trycksänkning är möjlig som kan medföra minskad vattengenomströmning genom området. .
- Bekräfta resultat från tidigare undersökningar.

3 GENOMFÖRANDE

Pumpningarna genomfördes som s.k. interferenstester där påverkan från en uttagsbrunn observerades i intilliggande observationsbrunnar. Installation av utrustning, utvärdering och rapportskrivning utfördes av Geo Innova. Bengtstors kommuns miljökontrollanter skötte det omfattande fältarbetet samt assisterade vid installation inför de olika pumpförsöken.

Vid pumpningen användes en sugpump från ABS-pumps (figur 1) eftersom den begränsade rördiametern gjorde det svårt att använda dränkbara pumpar. Avsänkings- och återhämtningsförlopp observerades med hjälp av automatloggrar, s.k. Divers, och med ljuslod.

Försöket inleddes med pumpning i de brunnar som ligger i den övre akviferen längs den planerade slitsmuren med tillhörande dräneringskanal, brunn 301 och 7006. Uttags- och observationspunkter finns markerade i figur 3. Vattnet från punkterna 301 och 7006 behandlades med en sedimentationsanläggning (figur 2) som bestod av två containrar genom vilka vatten kunde flöda långsamt så att partiklar och kolloider innehållande bl.a. kvicksilver kunde sedimentera. Vattnet avleddes sedan till ett delområde med låga föroreningshalter där det läts infiltrera (figur 4 och 5).

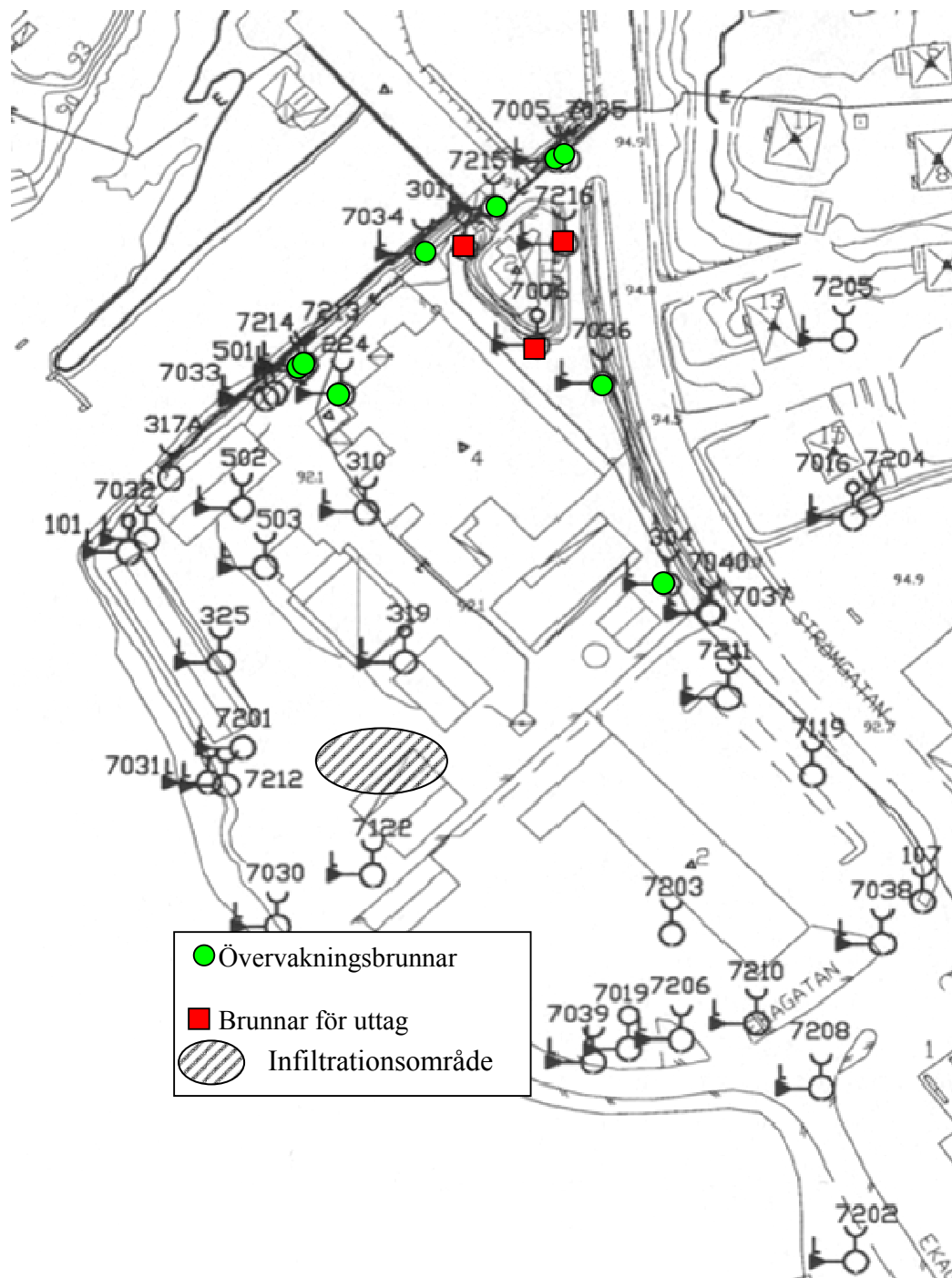
Pumpning i 7216 gjordes för att se kommunikation av djupare jordlager med Lelång och för att undersöka kommunikation mellan ytliga och djupbelägna jordlager. Pumpningen genomfördes med full pumpkapacitet. För att maximera kapaciteten och med hänvisning till den goda vattenkvaliteten släpptes det uttagna vattnet direkt till kraftverkskanalen.



Figur 1. Vid pumpningen användes en sugpump från ABS-pumps, nivåer övervakades förutom med automatloggarar även manuellt med ljuslod.



Figur 2. Sedimentationsanläggning bestående av två containrar.



Figur 3. Observations- och uttagsbrunnar vid de tre långtidspumpningarna under juli och augusti 2005.

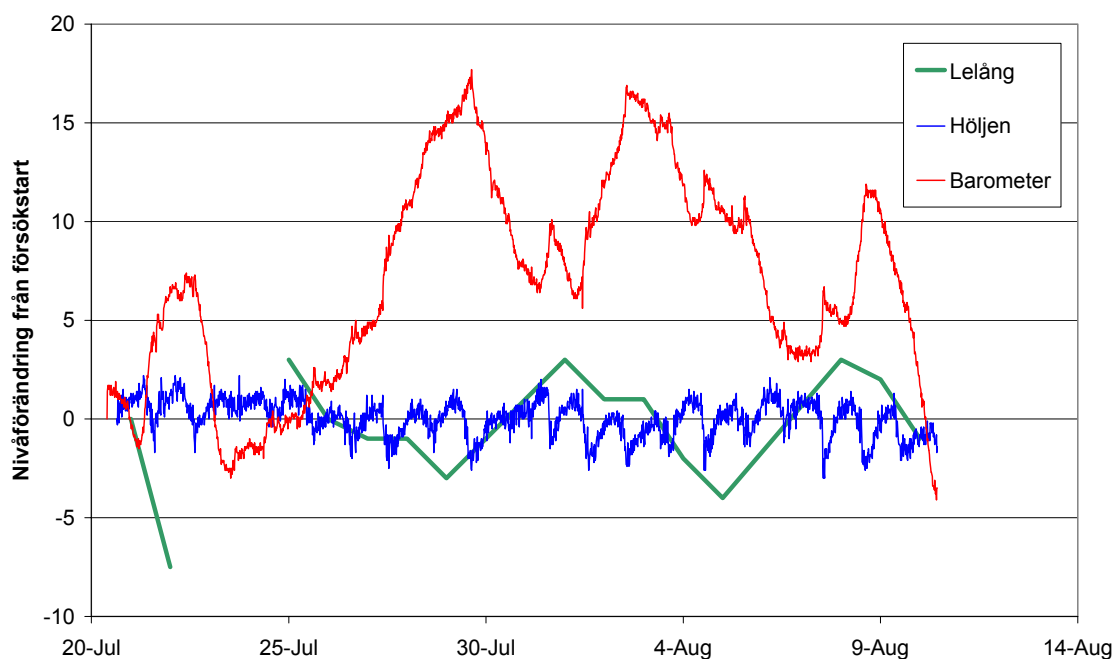


Figur 4 och 5. Det uttagna grundvattnet från 7006 och 301 återinfiltrerades i ett område med relativt låga föroreningshalter.

4 RESULTAT, UTVÄRDERING OCH DISKUSSION

4.1 FÖRUTSÄTTNINGAR

Under pumpförsöket var nivåerna i de intilliggande sjöarna Lelång och Bengtsbrohöljen relativt stabila och fluktuerade enbart ett fåtal centimeter. Den enda signifikanta fluktuationen skedde i Lelång under försökets inledning då brunn 301 pumpades (figur 6). Barometertrycket varierade enligt loggade tryck med motsvarande 20 cm vattenpelare, de största variationerna var under perioden då brunn 7006 respektive 7216 pumpades. Alla presenterade vattennivådata från automatloggrar har kompenserats med mätningar från barometermätningarna.



Figur 6. Nivåvariationer i sjöarna Lelång och Bengtsbrohöljen under perioden för pumpförsöket.

4.2 PUMPFÖRSÖK

Pumpning inleddes med försök längs den planerade dräneringslinjen i brunn 7006 och 301, vilka är installerade i relativt tätt material. Tidigare gjorda undersökningar indikerade transmissiviteter mellan 10^{-5} till $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s längs dräneringslinjen.

4.2.1 Pumpning i brunn 301

Uttag i brunnen gjordes under perioden 050720 klockan 13:45 till 050727 klockan 16:00 varefter nivåer övervakades t.o.m 050727 klockan 9:00 med automatloggrar. Brunnen pumpades med en kapacitet på 600 liter per timme under hela tidsperioden. Den avsänkning som erhöles stämde överens med vad som kunde förväntas från tidigare pulstester i brunnen.

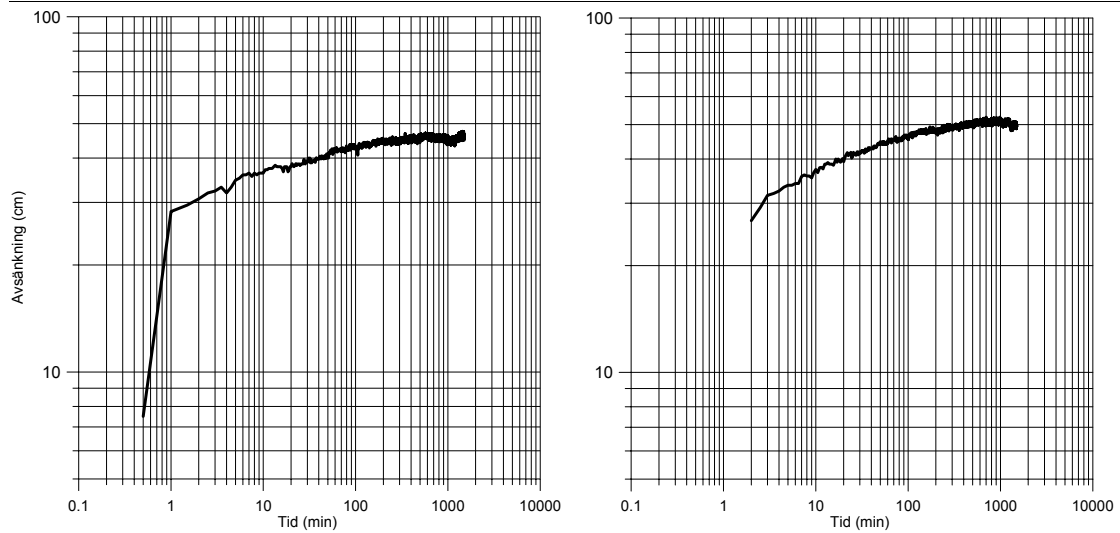
Efter att pumpförsöket inleddes närmade sig nivån i brunnen stationärt tillstånd efter c:a 10 timmar med en utveckling som visar att radiellt flöde föreligger. Det relativt snart uppnådda stationära tillståndet visar på ett vertikalt läckage från ovanpåliggande akvifer eller att avsänkningen nått en positiv hydraulisk gräns, se figur 7 och 8. Ett eventuellt avstånd till en hydraulisk gräns är svår att uppskatta då en relativt liten förändring av transmissivitet påverkar en sådan uppskattning mycket då den beräknas med en logaritmisk funktion.

För de flesta observationsbrunnar var nivåutvecklingen under provpumpningen svårtolkad och hade ingen trend som kunde sättas samman med provpumpningen. Enbart den intill 301 lokaliserade brunnen 7034 kunde utvärderas. För uttagsbrunnen 301 visar den erhållna avsänkningen att transmissiviteten för brunnen är i närheten av vad som har bestämts med tidigare pulstester och presenterats i Sundberg och Myrhede, 2003. Ingen ytterligare utvärdering görs i denna rapport av transmissivitet i 301 eftersom automatloggern var inställd på ett glest mätintervall för att minnet skulle räcka hela mätperioden. Brunnsdata och avsänkning vid pumpningens avslut finns presenterade i tabell 1.

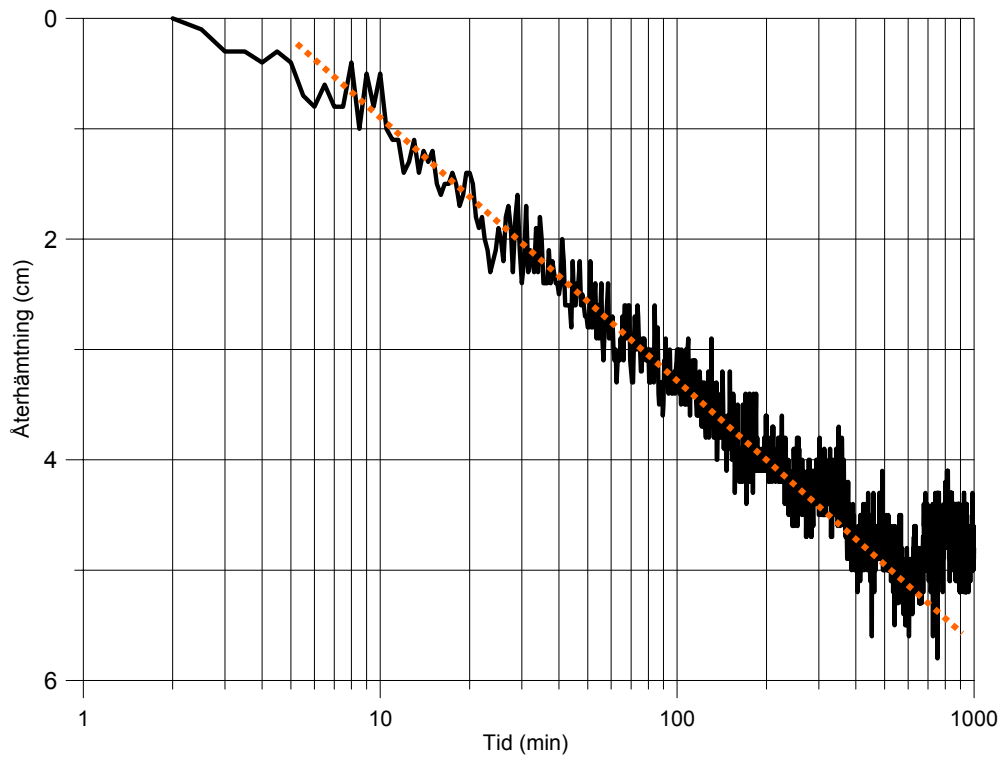
Tabell 1. Brunnsinformation, grundvattennivåer och avsänkning under pumpning i brunn 301.

Observationspunkt	Plushöjd r.ö.k.	Plushöjd ö.k. filter	Grundvattennivå viloläge	Avsänkning vid pumpstopp
301	92,78	89,58	89,52	43
7215	93,86	88,86	89,42	0
7005	94,45	91,45	92,29	0
7035	94,45	91,04	91,61	4
7216	94,00	84,00	91,26	3
7006	92,09	88,59	90,71	4
7036	93,33	87,83	90,01	?
224	92,04	90,24	89,65	?
7034	92,97	88,28	89,58	5
7213	91,87	80,95	90,75	2
7214	91,87	86,93	90,09	2

Transmissiviteten till brunn 7034 bestämdes till $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ med diagrammet i figur 9 som grund. Resultatet visar att formationen kring 301 främst är påverkat av den intilliggande Bengtsbrohöljens nivå och att avsänkningen och utbredningen begränsas av den positiva rand som sjön innebär. De i tabell 1 angivna avsänkningar från övriga brunnar kan efter studie av deras avsänkingsförlopp ej sättas i samband med pumpningen utan kan betraktas som naturliga.



Figur 7 & 8. Avsänkning och återhämtning i 301 uppvisar liknande mönster och radiellt flöde.



Figur 9. Avsänkning i 7034 från pumpning i brunn 301.

4.2.2 Pumpning i 7006

I brunn 7006, som i likhet med 301 ligger i linjen för den planerade dräneringen, gjordes grundvattenuttag mellan 050727 klockan 21:50 till 050801 klockan 11:00. Pumpning gjordes med ett konstant uttag på 150 liter per timme. Innan pumpningen startades gjordes ett pulstest i brunnen för att undersöka brunnens funktion och för att fastställa hydraulisk konduktivitet. Två tidigare undersökningar gjorda i brunnen har gett motsäggelsefulla resultat. Pulstestet uppvisade en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, utvärderad med Hvorslevs metod. Den erhållna avsänkningen under pumpningen ger med en överslagsberäkning en bekräftelse på denna hydrologiska egenskap.

Tabell 2. Brunnsinformation, grundvattennivåer och avsänkning under pumpning i brunn 301.

Observationspunkt	Plushöjd r.ö.k.	Plushöjd ö.k. filter	Grundvattennivå viloläge	Avsänkning vid pumpstopp	
301	92,78	89,58	89,50	0	
7215	93,86	88,86	89,42	0	
7005	94,45	91,45	91,67	-2	
7035	94,45	91,04	91,60	-2	
7216	94,00	84,00	91,22	0	
7006	92,09	88,59	90,67		
7036	93,33	87,83	91,10	0	
224	92,04	90,24	90,59	-6	
7034	92,97	88,28	89,57	0	
7213	91,87	80,95	90,72	0	
7214	91,87	86,93	90,06	0	
304	92,80	89,80	90,87	-2	
310	92,13	86,13			

Tabell 2 visar att interferensen till de intilliggande brunnarna är obefintlig sett under hela försöksperioden. I pumpningen inledningsskede går det att urskilja en avsänkning skönjas i några av de intilliggande hålen, 7216 och 7036. Pumpförsöket påverkades av ett lågtryck, under vilket nivån i Lelång ökade kraftigt. Dessvärre är detta delförsök känsligare än de andra för yttre då uttagkapaciteten är låg. Den erhållna avsänkningen kan bero på en yttre påverkan.

4.2.3 Pumpning i 7216

Brunn 7216 är installerad i den antagna djupare akviferen och undersöktes för att bestämma kommunikation med Lelång och för att se effekterna av en grundvattennivå-sänkning i denna akvifer.

Grundvattenuttaget i 7216 pågick från 050802 klockan 18:40 till 050808 klockan 16:45. Återhämtning övervakades sedan 050810 förmiddag. Pumpningen startades med återinfiltration i det område som finns beskrivet i figur 3 med en något strypt kapacitet på 1700 liter per timme. Uttaget ökades sedan gradvis fram till klockan 21:00 050802, men friktion i slangsystemet begränsade pumpens kapacitet till c:a 2400 liter per timme. Åtgärder vidtogs såsom byte till grövre sugslang och bortkoppling av flödesmätare vilka enbart hade marginell effekt på kapaciteten. För att ytterliga öka kapaciteten beslutade Geo Innova med kemiska analysresultat från 7216 som grund att leda vattnet med grov PEM-slang direkt till kraftverkskanalen. Klockan 11:00 050803 ökades därmed kapaciteten till 3600 liter per timme.

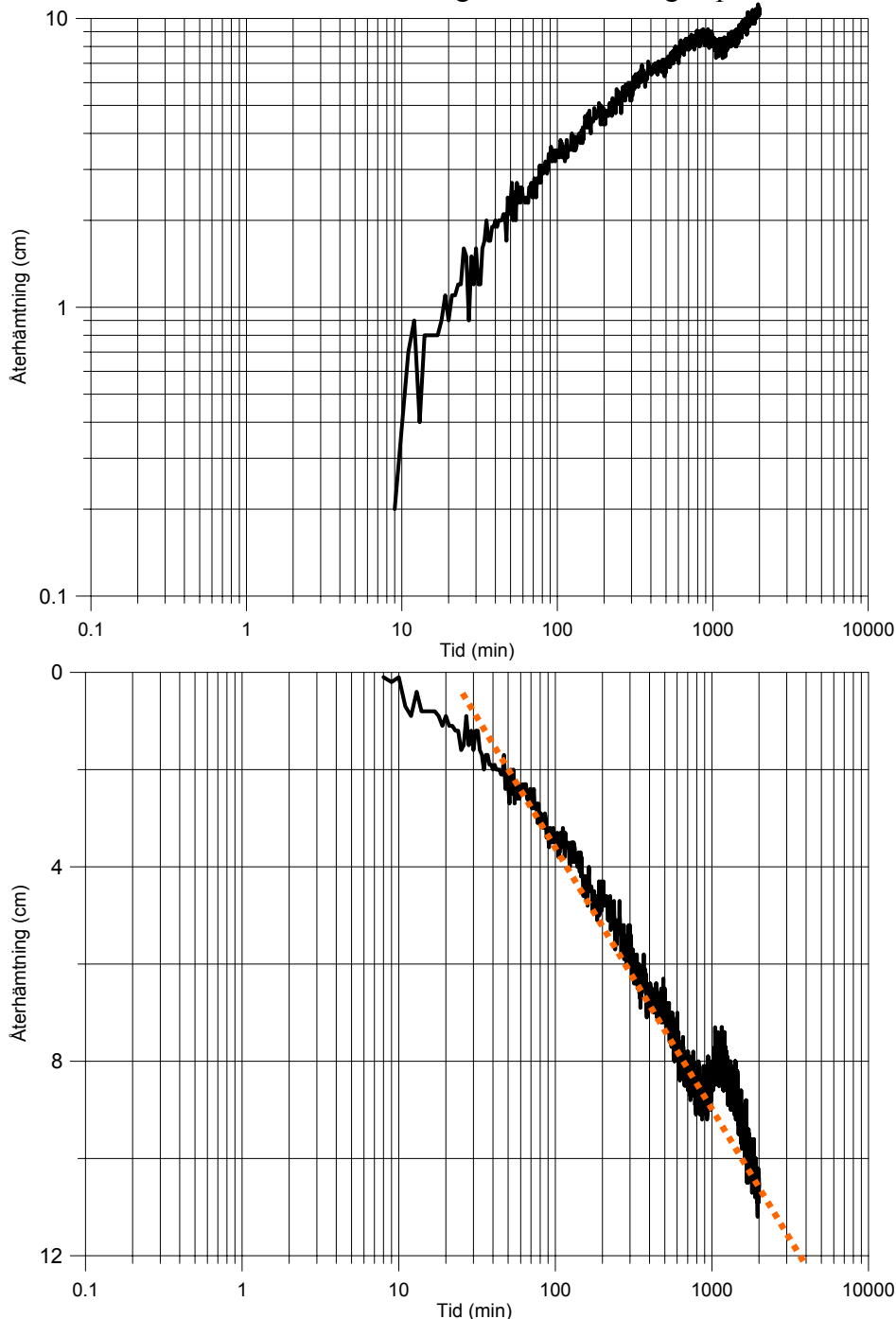
Anledningen till den försiktiga pumpningen i början av försöket var att det förelåg en osäkerhet om brunnsfiltrets kapacitet. Tillverkaren hade inte uppgett dess karaktär och preliminära beräkningar visade att turbulent flöde genom filtret riskerade att uppstå. Den gradvisa ökningen indikerar ett linjärt förhållande mellan uttag och avsänkning, vilket är karakteristiskt för laminärt flöde. Ett turbulent flöde had gett en avsänkning som är exponentiell jämfört med uttaget.

Pumpningen i 7216 skapade en tydlig avsänkning i de flesta observationsbrunnar. Enbart de som ligger i vid kraftverkskanalen närmast kraftverket förblev opåverkade. Avsänkningen som uppnåts vid pumpavstängning finns presenterad i tabell 3.

Tabell 3. Brunnsinformation, grundvattennivåer och avsänkning under pumpning i brunn 7216.

Observationspunkt	Plushöjd r.ö.k.	Plushöjd ö.k. filter	Grundvattennivå viloläge	Avsänkning vid pumpstopp
301	92,78	89,58	89,49	0
7215	93,86	88,86	89,42	1
7005	94,45	91,45	91,65	11
7035	94,45	91,04	91,57	11
7216	93,86	83,86	91,07	50
7006	92,09	88,59	90,66	9
7036	93,33	87,83	91,10	12
224	92,04	90,24	91,64	4
7034	92,97	88,28	89,56	0
7213	91,87	80,95	90,72	8
7214	91,87	86,93	90,05	3
304	92,80	89,80	90,89	5

I de flesta av de påverkade brunnarna fanns automatloggare, s.k. Divers, installerade vilket innebar att avsänkingsförloppet kan studeras på ett tydligt sätt. För 7216 utvecklades nivån på ett sätt som indikerar ett stort vertikalt läckage eller en positiv hydraulisk gräns. Både avsänkings- och återhämtningsförlopp går snabbt mot stationärt tillstånd. Vid en studie av resultat från det tidigare försöket i november 2004 sänktes trycknivåerna under pumpningen till den ungefärliga nivån för ytliga jordlager. Det högre trycket i den djupare akviferen och avsänkingsförloppets utseende i denna undersökning indikerar att nivån styrs av en intilliggande positiv hydraulisk gräns, vilken i området enbart kan utgöras av Lelång. Avsänkningens storlek i denna undersökning bekräftar den utvärderade transmissiviteten i den tidigare undersökningen på $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

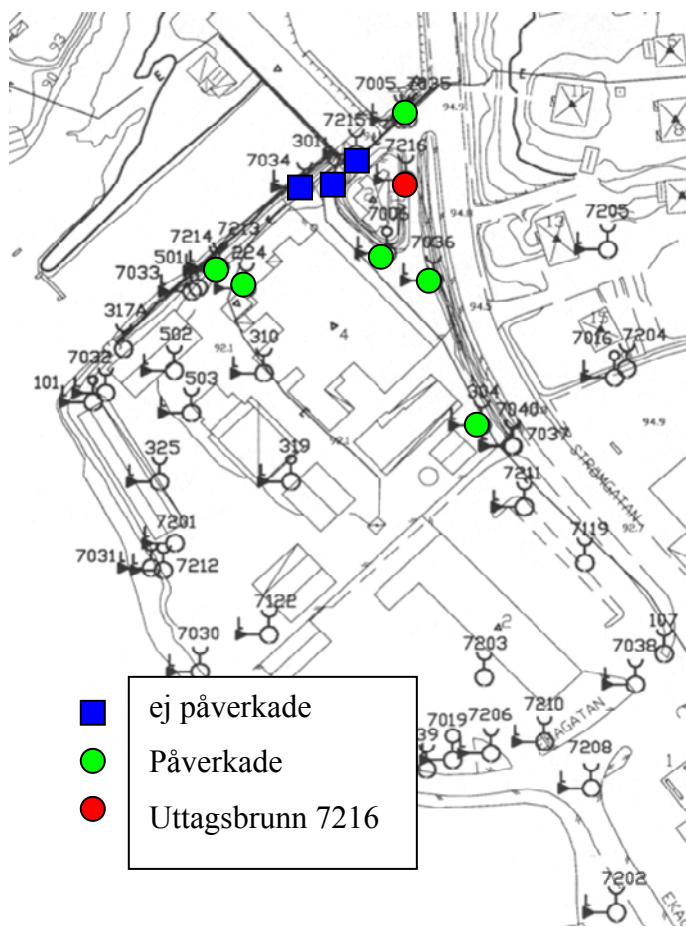


Figur 10 och 11. Återhämtning i brunn 7005 efter att uttaget i brunn 7216 avslutats.

Brunn 7005 hade en automatlogger installerad, figur 10 och 11 visar resultat från dess mätresultat efter avstängning av pumpen. Efter ett par dagar från pumpstart är mätserien i loggern störd och visar periodvis orimliga värden, därför har handmätningar fått komplettera loggervärden.

I brunn 7005 och 7035 uppvisade avsänkningsmönstret sinsemellan ett liknande utseende. Unde de sex pumpdagarna finns ej någon tendens att brunnarna skulle gå mot stationärt tillstånd trots att de är belägna i Lelångs närhet, se figur 3. Om Lelång hade fungerat som en näraliggande positiv hydraulisk gräns hade ett avsänkningsförlopp som snart avvek från en s.k. Theis-kurva, d.v.s. ett förlopp för en sluten akvifer, kunnat förväntas. En såpass näraliggande hydraulisk gräns hade också begränsat avsänkningsbetydligt. Transmissiviteten från 7216 är för 7005 utvärderad till $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, till 7035 antas den vara approximativt lika hög då ett liknande återhämtningsförlopp noterades med handmätningar.

För de ytligt belägna brunnarna utvärderades transmissiviteter med Jakobs metod enligt tabell 4. Den enda observationsbrunn belägen i de djupare jordlagren, 7213, är till dels påverkad av nivåvariationen i Bengtsbrohöljen, det är därför svårt att utifrån avsänkningsförloppet bestämma hydraulisk gräns. Samvariationen ger däremot en indikation på randens inverkan.



Figur 12. Spatiell spridning av pumpar som påverkats av pumpning i 7216.

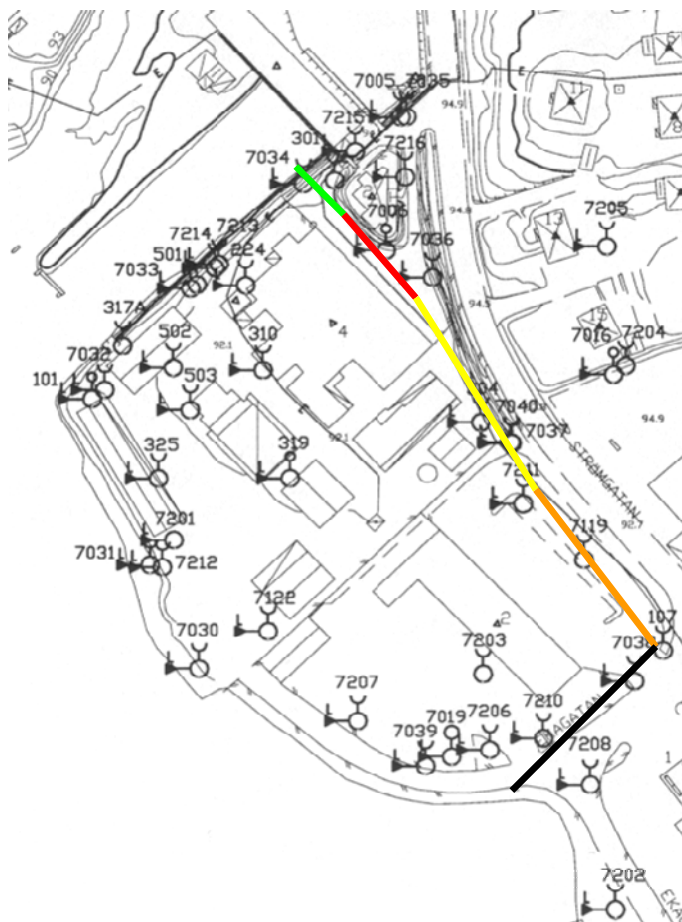
Tabell 4. Transmissiviteter till intilliggande brunnar från uttagsbrunn 7216.

Observationspunkt	Transmissivitet (m ² /s)
7005	3•10 ⁻³
7006	2•10 ⁻³
7035	3•10 ⁻³ ¹⁾
7036	2•10 ⁻³
7213	6•10 ⁻³
7214	¹⁾
304	4•10 ⁻³
224	C:a 6•10 ⁻³ ¹⁾

¹⁾Punkt 224, 7035 och 7214 är endast handmätta, 7214 utvärderades ej.

4.3 BERÄKNING AV FLÖDE I DRÄNERING

Resultatet från denna och tidigare gjorda undersökningar har tillsammans med tidserier för grundvattennivåer använts som grund för att beräkna ett maximalt, genomsnittligt, respektive årligt flöde genom den planerade dränering. De brunnar som har använts för beräkningen är 301, 7006, 304 och 7119 (figur 13). Brunnarna 7036 och 7040 är lämpligt belägna, men avsaknar tillräckliga tidserier av mätningar för att ingå.



Figur 13. De olika delsträckorna för beräkning av flöde i dräneringen.

Vid genomförandet av föreliggande undersökning var utformningen på dräneringen ej fastställd. Följande antagande har gjorts:

- 1) Dräneringen utformas med grovt material med mycket hög genomsläpplighet, t.ex. grovgrus.
- 2) Dräneringen avser att sänka av till motsvarande den lägsta nivån under torrsäsongen.
- 3) Dräneringen får en ”vattendelare” vid brunn 7036 där sträckan norrut rinner mot kraftverkskanalen, medan sträckan söderut byggs så att den sluttar mot bengtsbrohöljen.
- 4) Dräneringen vid 301 är begränsad av den låga gradienten mot bengtsbrohöljen i jordlagren och att sjön även påverkar flödet i dräneringsrännan.
- 5) Sträckan från korsningen Strömgatan/Ekagatan till bengtsbrohöljen antas ej bidra till flöde i dräneringen då den främst antas bestå av mycket finkorniga jordar som underlagrar ett väl dränerat fyllnadsmaterial.

Tabell 5. Grundvattennivådata för brunnarna som ingår i beräkning.

Brunn	Nominell sträcka	Max nivå	Min nivå	Genomsnittlig nivå	konduktivitet
301	25	89,73	89,29	89,48	$2 \cdot 10^{-4}$
7006	35	91,16	90,64	90,81	$1 \cdot 10^{-5}$
304	90	91,19	90,67	90,89	$3 \cdot 10^{-6}$
7119	55	90,63	90,40	90,51	$5 \cdot 10^{-6}$

Avsänkning från maximal respektive genomsnittlig till minimumnivå har tillsammans med undersökta transmissiviteter/konduktiviteter, vilka finns presenterade i tabell 5, använts för att göra en enkel uppskattning av framtida flöde i dräneringen. Tabell 6 illustrerar beräkningsresultaten. Beräkningen som används är av förenklad karaktär där $q=dh \cdot k$, $Q=dh \cdot k \cdot L$

Tabell 6. Förenklad beräkning av flöde i dräneringskanal.

Brunn	Nominell sträcka (m)	Max av-sänkning (m)	Genomsnittlig avsänkning (m)	Max flöde (m^3/h)	Genomsnittligt flöde (m^3/h)	Årligt flöde (m^3)
301	25	0,2	0,1	3,6	1,8	15768
7006	35	0,52	0,17	0,7	0,2	1876
304	90	0,52	0,22	0,5	0,2	1873
7119	55	0,23	0,11	0,2	0,1	954

Större delen av flödet kommer att ske lokalt i kraftverkskanalens närhet. Påverkan från en dränering är här något osäker då det befintliga jordmaterialet på denna plats har hög genomsläpplighet.

5 SLUTSATSER

Pumpningen i 7216 visar att det genomsläppliga jordlagret som konstaterats vid tidigare undersökning (Mossmark et al., 2006) är vidsträckt. De flesta inkluderade observationspunkterna påverkades av försöket. En avsänkning i djupare jordlager skapar en minskad uppåtriktad gradient, vilket var tydligt när utvecklingen i 7213 jämfördes med den i 7214. Vid en trycksenkning i djupliggande jordlager kan således ett minskat uppåtriktat flöde skapas. Avsänkingskurvorna i pumpbrunn 7216 indikerar att en kontakt med Lelång är trolig genom djupliggande jordlager. Avsänkingsförloppet som erhöles i ytligare jordlager i Lelångs närhet uppvisade ej indikationer på någon hydraulisk gräns.

Den avsänkning som gjordes genom pumpning i ytliga jordlager påverkade enbart ett begränsat område, i de djupare belägna brunnarna kunde någon säkerställd påverkan ej noteras. Uttaget som kunde göras i de ytliga brunnarna var med hänsyn till jordmaterialens beskaffenhet begränsat. De brunnar som pumpades utgör ändå de som har högst transmissivitet av dem som är belägna i den planerade dräneringens linje. Med resultat från föreliggande undersökning som grund är det svårt att förutse hur den planerade dräneringen kommer att påverka flödet in i området. Med hänsyn till resultaten från försöket i de djupliggande jordlagren kan kontakten med dessa vara avgörande för dräneringens funktion

Försöken i brunn 301 och 7216 indikerar att området som innefattar brunnarna 7215, 7034 och 301 ej samverkar med hydrologin i resten av området. De tre brunnarna har däremot en tydlig kontakt med kraftverkskanalen. Vid genomförandet av en dräneringskanal kommer eventuellt nya flödesvägar att skapas.

Hydrogeologiska undersökningar som är gjorda längs den planerade dräneringslinjen belyser heterogeniteten i jordmaterialen. I föreliggande rapport har en förenklad uppskattning av flöde i dräneringen gjorts, men resultaten av denna är mycket osäker.

REFERENSER

Sundberg J. och Myrhede E., 2003. Mark- och grundvattenförhållanden vid Ekaområdet i Bengtstors. Rapport nr EKA 2002:1. Bengtstors kommun

Bilaga 5

Protokoll från installation av grundvattenbrunnar

Rör 7210

RB A Odexborrning 140mm GV-rör 63mm					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov	Bedömning av vattenföring	
	Fältmässig bedömning	Anmärkning	m.u.my	Vattenföring l/min	Anmärkning
0-3	Fyllning sandigt grus block		nej	0	Vattenförande på 3m
3-4	Som ovan		"	3	
4-5	Som ovan	Luft ut i formation	"	15	
5-6	Som ovan		"	15	
6-6,6	grus		ja	25	
6,6-7	Grus (org.matr.bark)?	Färgat	"	25	Färg brunsvart
7-8	Grus	Moränlikt	"	25	
8-9,5	Som ovan	"	"	25	
9,5-11	Som ovan	"	"	0	Flöde ned till 0
11-12	Sandigt grus		"	10	
12-13,5	Grusig sand	13,5m grusprov	"	10	
13,5-15	Grusig sand		"	60	Klarnar snabbt

GV-rör monterat mellan 13-15 m 2 m sil 0,3mm slits.Sand 0,8-1,2mm.Fyllt 6x25kg från 15-12,5m. 12,5-11,5m bentonitfyllning 25 kg sand ovan bentonit.GVY 2.20m MY.Avslutas med borrtopp.

Rör 7211

RB_E Odex 140 obsrör 63mm					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov	Bedömning av vattenföring	
	Fältmässig bedömning	Anmärkning	m.u.my	Vattenföring l/min	Anmärkning
0-2	Fyllningsmassor		nej	0	
2-3	Sandigt grus	Lerblandat	ja	1	
3-4	Som ovan	"	"	2	
4-5	Lerigt sandigt grus		"	2	
5-6	Sandigt grus	Moränlikt	"	0	
6-9-	Som ovan	"	"	0	

Sil monterad mellan 9-7m 0,3mm slits 2x25 kg sand 25 kg bentonit. Avslutas med borrtopp. Sil 2m med 0,3mm slits

Rör 7212

RB_B Odexborrning 140mm GV-RÖR 63mm

Djup m.u.my	Jordart		Jordprov m.u.my	Bedömning av vattenföring	
	Fältmässig bedömning	Anmärkning		Vattenföring l/min	Anmärkning
0-3	Fyllning sandigt grus	Blockig	nej	1	Vattenföring 2,2m
3-7	Sandigt grus		"	2	
7-8	Lerigt sandigt grus		ja	2	
8-9	Sandigt grus		"	6	Stark färgat
9-10	Som ovan		"	10	
10-12	Finsand sandigt grus		"	20	

GV-rör monterat 10-12m 2 m sil 0,3mm slits 2x25 kg 0,8-1,2mm. 12-9,5m sand. 9,5-9 bentonit. Täckning sand.
Avslutas med borrhopp.

Rör 7213

RB-C Odex 140mm med 63mm GV-rör					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov m.u.my	Bedömning av vattenföring	
	Fältnässig bedömning	Anmärkning		Vattenföring l/min	Anmärkning
0-3	Sandigt grus	Fyllning	nej		
3-6	Sandigt grus	Övergång moränlikt	ja	0	Omlagrat?
6-8	Lerigt sandigt grus	Moränlikt	"	0	"
8-9	Finsand sandigt grus		"	0?	
9-10	Sandigt grus		"	8	
10-11	Sandigt grus		"	15	
11-12	Sandigt grus		"	50	

GV-rör monterat på 11-12m fyllt med 25 kg sand och 10 kg bentonit. Avslutas med betäckning i asfalt.
1 m sil 0,3mm slits

Rör 7214

RB-C NR2 Odex 140mm med 63mm obsrör					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov m.u.my	Bedömning av vattenföring	
	Fältnässig bedömning	Anmärkning		Vattenföring l/min	Anmärkning
0-3	Sandigt grus	Fyllning		0	
3-4	Sandigt grus	Övergång moränlikt		0	
4-6	Sandigt grus	Moränlikt		0	

Obsrör monterat mellan 5-6m med 1 m sil 0,3mm 10 kg sand 10 kg bentonit. Täckning 5kg sand.
Avslutas med betäckning i asfalt.

Rör 7215

RB-F Odex 140mm med GV-rör 63mm					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov	Bedömning av vattenföring	
	Fältnässig bedömning	Anmärkning	m.u.my	Vattenföring l/min	Anmärkning
0-1,5	Sand		nej	0	
1,5-2,2	Block	Gnejs röd finkorn	"	0	
2,2-3	Sand		ja	0	Fuktig sand
3-4	Sandigt grus		"	0	"
4-5	Sandigt grus		"	0	"
5-6	Sandigt grus		"	1	

GV-rör monterat mellan 5-6m. 1 m sil 0,3mm 25 kg sand 15 kg bentonit sand till borrhsko.
Avslutas med betäckning i asfalt.

Rör 7216

RB-D Odex 140mm med 63 mm GV-rör					
Djup m.u.my	Jordart		Jordprov m.u.my	Bedömning av vattenföring	
	Fältmässig bedömning	Anmärkning		Vattenföring l/min	Anmärkning
0-1	Grus		ja	0	
1-1,5-	Block	Från DB-gång	"	0	
1,5-2	Sandigt grus		"	0	
2-3	Sandigt grus	Ngt.ler	"	0	
3-4	Grus		"	0	
4-5,6	Lerigt sandigt grus	Moränlikt	"	0	
5,6-7	Sandigt grus	"	"	0	
7-8	Grus	"	"	0	
8-9	Sandigt grus	"	"	2	
9-10	Sandigt grus	"	"	5	
10-11	Sandigt grus	"	"	50	
11-12	Sandigt grus	"	"	70	

GV-rör monterat på 10-12m med 2 m sil 0,3mm slits 2,5x25kg sand + 1,5x25kg bentonit.
Avslutas med borrtopp.