

## Bilaga F6. Provpumpningsrapport

Stockholm Vatten VA AB

## Stockholms Framtida Avloppsrening

Stockholm 2015-06-15

## Bilaga F6. Provpumpningsrapport

Datum 2015-06-15

Darienummer 13SV150

Utgåva/Status Tillståndshandling

Jan Salomonson

Uppdragsledare

Christina Jenkins

Handläggare

Marcus Heinke

Granskare

Uppdragsnummer 1320000111

Ramböll Sverige AB  
Box 17009, Krukmakargatan 21  
104 62 Stockholm

Telefon 010-615 60 00  
Fax 010-615 20 00  
[www.ramboll.se](http://www.ramboll.se)

Organisationsnummer 556133-0506

## Innehållsförteckning

1.	Inledning .....	4
2.	Bakgrund .....	4
3.	Utförda undersökningar .....	5
3.1	Installation av brunnar och observationsrör .....	5
3.2	Vattenförlustmätningar kärnbrorrhål .....	6
3.3	Provpumpning .....	7
4.	Resultat och tolkning .....	7
4.1	Vattenförlustmätningar i kärnbrorrhål .....	7
4.2	Förutsättningar inför provpumpning .....	8
4.3	Provpumpning i jord, 14RBR01 .....	9
4.4	Provpumpning i berg, 14RHBH01 .....	10
5.	Slutsatser provpumpning i jord och berg .....	14

## Bilagor

Bilaga 1. Karta med läge för brunn samt observationsrör

Bilaga 2. Grafer från utvärdering av pumptest i 14RBR01

Bilaga 3. Grafer från utvärdering av pumptest i 14RHBH01

## 1. Inledning

Inför förestående projektering och tillståndsansökan för projekt Stockholms Framtida Avloppsrening Ledningsnät (SFAL) utförs kompletterande undersökningar samt provpumpningar för att utgöra underlag till bl.a. grundvattenmodellering i syfte att fastställa ett s.k. påverkansområde kring den planerade tunneln och bergrummet vid Sickla.

För att beräkna inläckage och utbredning av påverkansområde i berg kring tunneln upprättas tvådimensionella "tvärsnittsmoeller" längs med typiska delsträckor, kompletterat med en tredimensionell specialmodell vid bergrumsanläggningen i Sickla.

Syftet med modellerna är att få fram ett värde på inläckaget och påverkansområdets utbredning i berg som ett underlag för den slutliga bedömningen av påverkan på omgivningen. Samtidigt utgör modelleringsarbetet underlag för val av tätningskoncept längs med tunneln. Vid särskilt sättningskänsliga områden kan s.k. lining bli aktuellt även om förinjektering är den metod som i huvudsak avses nyttjas längs med tunneln.

För att med större noggrannhet kunna avgränsa det beräknade påverkansområdet för att ge ett fullgott underlag för tillståndsansökan samt med större säkerhet bedöma behov av lining har provpumpningar utförts i både jord och berg i Bromma (Drottningholmsvägen). Utförda hydrogeologiska undersökningar och analys av resultaten presenteras i följande rapport.

## 2. Bakgrund

Området i Bromma domineras av ytliga lerlager vilka underlagras av friktionsmaterial på berg. Berget kan ställvis vara uppsprucket i ytan.

Området har i den byggnadsgeologiska kartan utpekats som kraftigt påverkat av dränering till befintliga tunnlar och dagvattensystem. Enligt byggnadsgeologiska kartan korsar också planerad tunnel en större krosszon som löper parallellt med Drottningholmsvägen.

Resultat från utförd provtagning av leran och sättningsberäkningar samt mätserier från grundvattenrör visar dock på att detta endast gäller delar av området runt planerad tunnel.

### 3. Utförda undersökningar

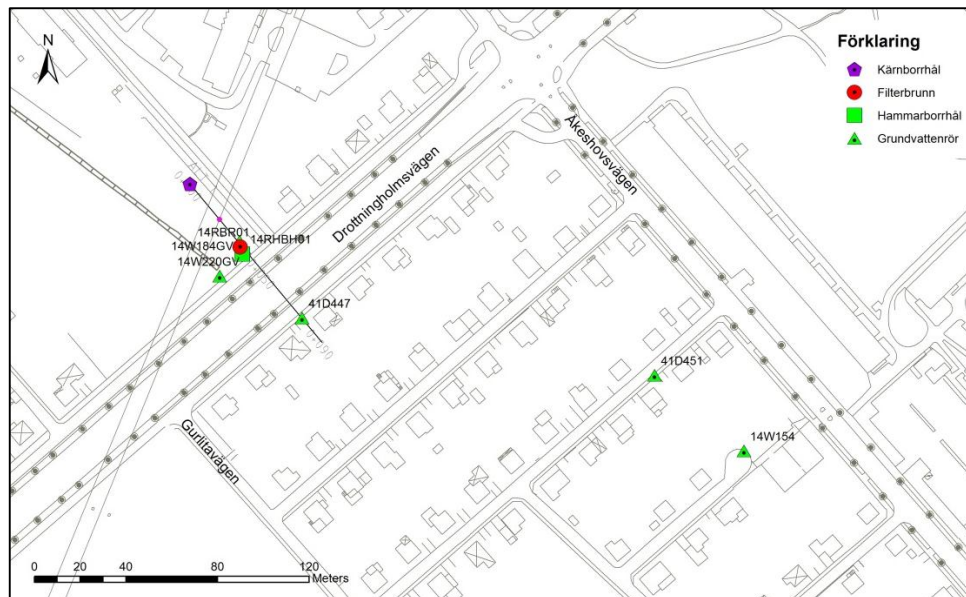
#### 3.1 Installation av brunnar och observationsrör

En pumpbrunn installerades över planerad tunnelsträckning. Brunnen borrades som filterbrunn och avslutades 0,5 meter i berg. Optimering av pumpbrunnens och observationsrörens placering utfördes efter befintligt geotekniskt underlag samt under april 2014 kompletterande borrningar. Ett hammarborrhål borrades till 40 meters djup.

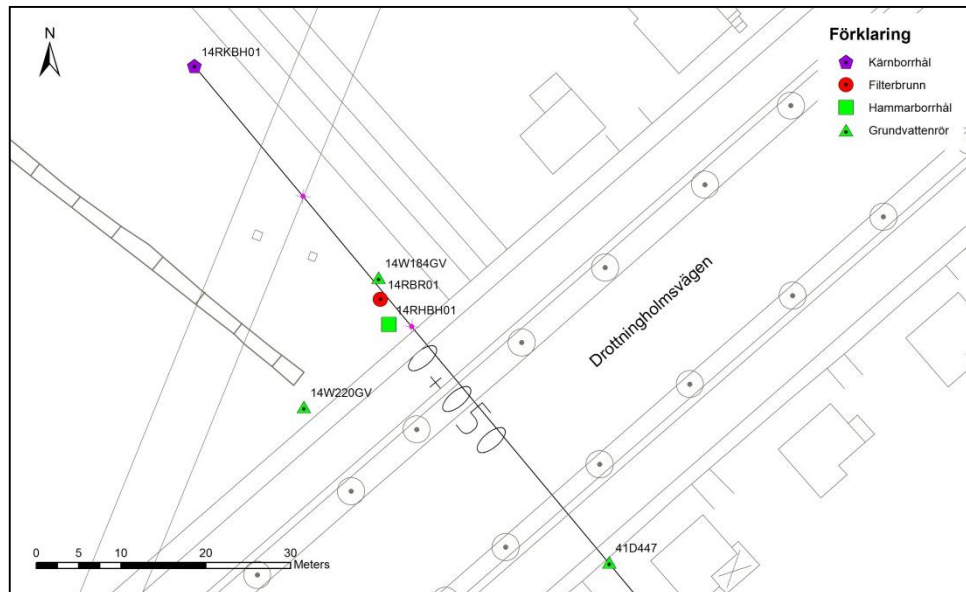
Två av observationsrören i friktionsjorden placerades på ca 2 respektive 15 m avstånd från pumpbrunnen. Övriga placerades i områden som utpekats som sättningskänsliga.

Två kärnborrhål har installerats, 14RKBH01 på ca 35 m avstånd från filterbrunnen 14RBR01, detta har använts som observationsrör under provpumpningarna. Ett andra kärnborrhål, 14RKBH02, har installerats på större avstånd från filterbrunnen, detta har inte använts vid pumpningarna men som input till utförd modellering.

Brunnars och rörens läge presenteras i karta i Figur 1 och Figur 2 samt i bilaga 1. En sammanställning av brunn, hammar- och kärnborrhål samt obsrör presenteras i Tabell 1 nedan.



Figur 1. Karta rörlägen, översikt.



Figur 2. Karta rörlägen. Fokus på området runt pumpbrunnen.

Tabell 1. Sammanställning av information brunnar och obsrör, Bromma

Rör	Djup	Spetsnivå/ bottennivå	Dimension (mm)	Filter	Nivå rök	Nivå mark
14RBR01	9.54	+0	168/134	1.0	9.54	9.25
14RHBH01	40.32	-30.65	168/137	-	9.67	9.36
14RKBH01	110.5	-55.12	55	-	8.89	8.47
14RKBH02	143.4	-58.16	55	-	6.05	5.82
14W184GV	10.00	+0.32	25	0.5	10.32	9.17
14W220GV	7.50	+2.60	25	0.5	10.10	9.30
41D451	15.50	-8.48	25	0.1 (?)	7.02	6.02
14W154GV	24.50	-17.92	25	0.5	6.58	5.58

\* 14RKBH01: borrarad längd 110,5 m, 35,4 grader, bäring 140.

14RKBH02: borrarad längd 143,4 m, 26,6 grader, bäring 109,6.

### 3.2

#### Vattenförlustmätningar kärnbröhl

Vattenförlustmätning har genomförts i borrarade kärnbröhl, KBH01 samt KBH02. Mätningarna utfördes av ESC AB under augusti till oktober 2014. Mätningarna utfördes med dubbelmanschett i sektioner om 3 m och pålagt övertryck 2 bar, 4 bar samt 2 bar. I 14RKBH02 har även helhålmätning med enkelmanschett utförts.

### 3.3 Provpumpningar

Ett pumpförsök har genomförts i friktionsjord i en filterbrunn, 14RBR01, placerad ovan planerad tunnel. Under pumpning har nivåförändringen med tiden utöver pumpbrunnen registrerats i fem grundvattenrör, i ett kärnbrorrhål samt i ett hammarborrhål. Digital data har insamlats med sk Divers i flertalet rör, manuella mätningar har utförts i samtliga rör utom kärnbrorrhålet där mätning varit svår att utföra.

Uttagsbrunnen 14RBR01 pumpades i sju dygn med ett uttag om i medeltal 10 l/min. Flödet var inledningsvis högre men då pumpen sög luft ströps flödet efter ca två dygns pumpning. Fortsatta justeringar av flödet var nödvändiga för att kunna upprätthålla kontinuerlig pumpning. Efter drygt sex dygn började pumpen slå av och på med jämna intervall, efter ytterligare ett dygn avslutades pumpningen. Pumpning inleddes 2014-10-09 11:00 och avslutades 2014-10-16 09:40.

Ett pumptest utfördes även i berg i hammarborrhålet 14RHBH01, men brunnens kapacitet var så låg att testet avbröts kort efter pumpstart. Ett nytt försök gjordes efter att man genom spräckning försökt förbättra brunnens kapacitet. Detta försök utfördes mellan 2014-10-28 10:00 och 2014-11-10 13:40 med ett medeluttag på 4,6 l/min under pumpperioden. Flödet kunde hållas relativt jämnt under uttagsperioden.

Barometerdata insamlades under pumptesten och uppmätta grundvattennivåer har kompenserats med avseende på variationer i lufttryck. Nederbördsdata för närmast liggande station, SMHIs station *Stockholm*, togs hem i syfte att bättre kunna tolka uppmätta grundvattennivåvariationer då det periodvis regnat mycket under testperioden.

## 4. Resultat och tolkning

### 4.1 Vattenförlustmätningar i kärnbrorrhål

Utförda vattenförlustmätningar i 14RKBH01 och 14RKBH02 visar på att berget inte är särskilt genomsläppligt. Det är endast fyra testsektioner som ger en mätbar respons för KBH01 och åtta sektioner för KBH02.

Vid helhålmätningen i 14RKBH02 var uppmätt flöde så litet att det inte gått att utvärdera. Mätning har utförts med utrustning med ett lägsta mätbart flöde på ca 0,1 l/s vilket kan översättas till en lägsta mätbar konduktivitet på ca  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s. Detta medför att för de sektioner i testade kärnbrorrhål där flödet är för lågt för att kunna mätas kan konduktiviteten endast sägas vara mindre än  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s.

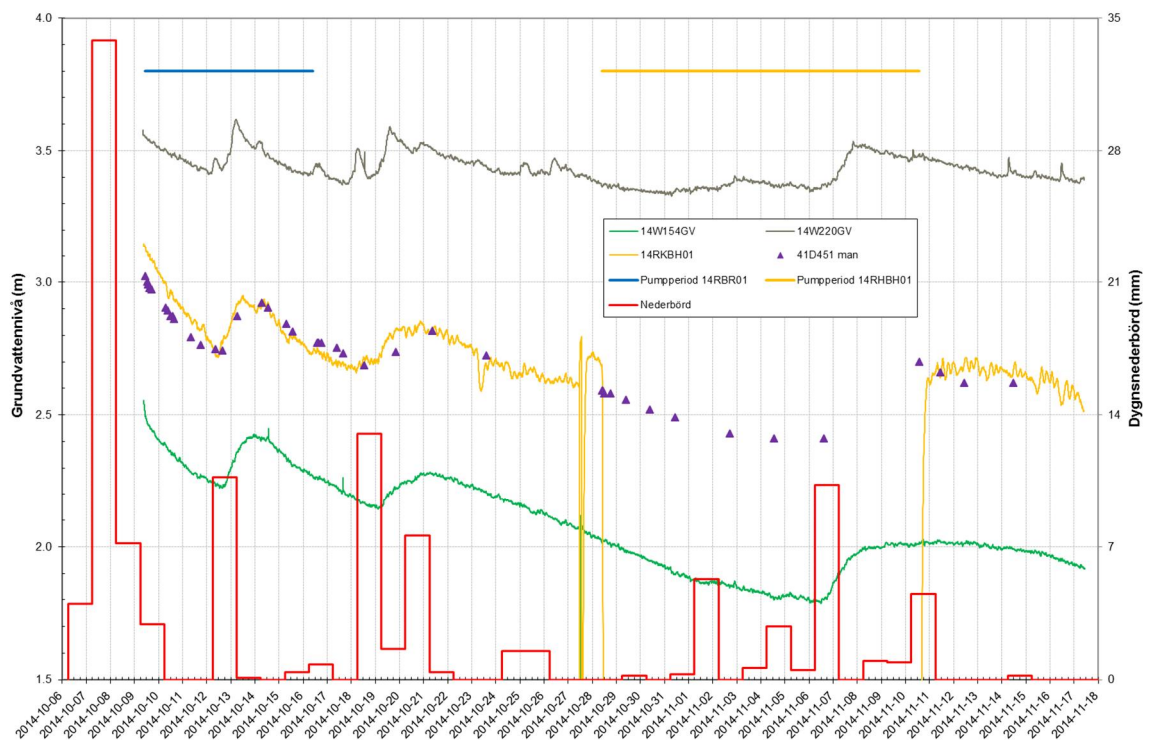
Beräkning av konduktivitet från vattenförlustmätningarna har utförts med Moyes formel. Resultaten av utförda vattenförlustmätningar i kärnborrhålen är sammanställda i Tabell 2.

Tabell 2. Sammanställning av resultat från utförda vattenförlustmätningar, Bromma.

	14RKBH01	14RKBH02
Antal utvärderade mätsektioner	4	8
Medelvärde på framräknat k, (m/s)	$1,1 \times 10^{-7}$	$7,3 \times 10^{-7}$

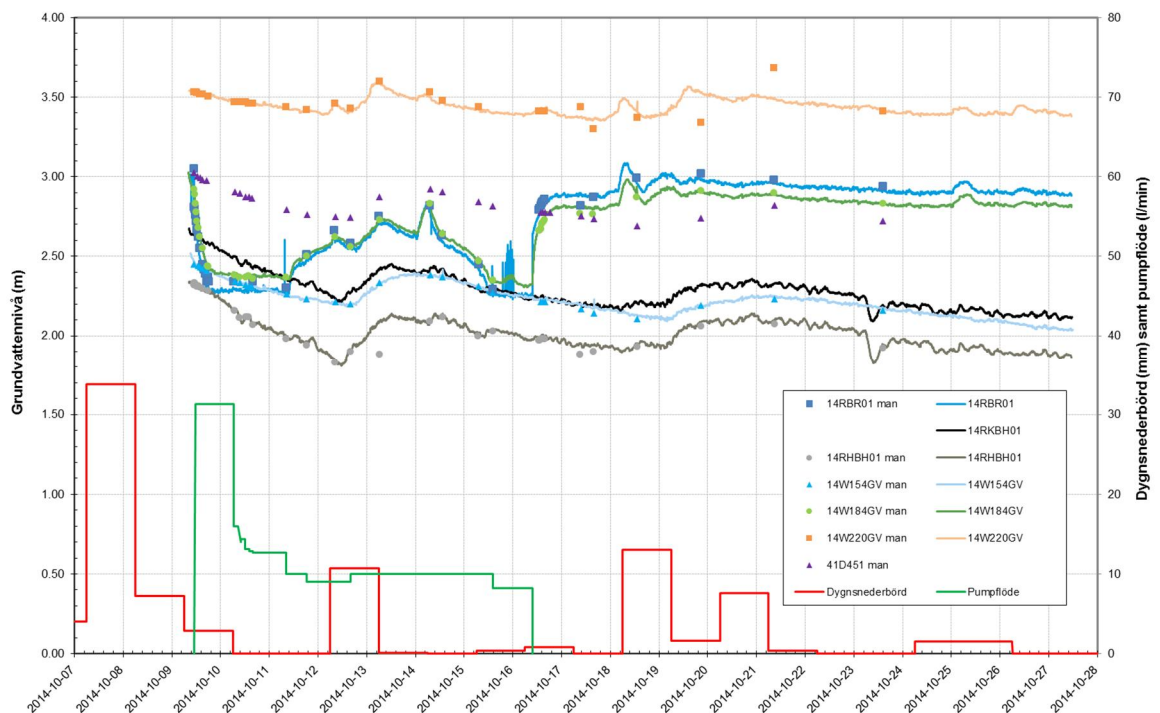
#### 4.2 Förutsättningar inför provpumpning

De sjunkande grundvattennivåer som noterats i samtliga rör vid pumpstart av brunn 14RBR01 beror på att nivåerna vid start var förhöjda till följd av det kraftiga regn (33 mm under ett dygn) som föll mellan den sjunde och åttonde oktober, röda staplar i Figur 3 nedan. Även regnen mellan den 12-13 oktober, 18-19 oktober samt 6-7 november orsakar en tillfälligt stigande grundvattennivå. Detta illustreras i figuren nedan, där också pumpperioderna för 14RBR01 och 14RHBH01 är inritade som horisontella streck.



Figur 3. Nederbördens påverkan på grundvattennivåerna i utvalda brunnar och observationsrör under testperioden för pumpningarna i Bromma





Figur 4. Uppmätta grundvattennivåer i brunnar och obsrör under pumpning i 14RBR01

#### 4.3

#### Provpumpning i jord, 14RBR01

I Figur 4 visas uppmätt grundvattennivå i pumpbrunn och obsrör samt pumpflöde och dygnsnederbörd under mätperioden för pumptestet i 14RBR01.

Som nämnts i ovanstående stycke så inleds pumptestet efter en period med kraftig nederbörd och som följd därav fallande grundvattennivåer. På grund av detta är det svårt att urskilja eventuell påverkan av pumptestet i brunnar på lite större avstånd från pumpbrunnen från de sjunkande nivåerna till följd av regnet. Likaså maskeras de stigande nivåerna vid pumpstopp av den allmänt sjunkande trenden.

En sammanställning av uppmätta grundvattenvariationer under pumptestet i de rör där diverdata finns tillgänglig redovisas i Tabell 3. Man har i samtliga brunnar uppmätt en lägre grundvattennivå vid mätperiodens slut än före pumpstart och även i många fall en lägre nivå vid avslutad återhämtning än vad man hade vid pumpstopp. Utöver de i Tabell 3 listade obsrören har manuella mätningar utförts i 41D447, för denna brunn finns mätdata för de första två dyggen, då ingen påverkan noterats avslutades sedan mätningarna.

Analys av provpumpningsdata har trots den sjunkande trenden kunnat utföras för både pumpbrunnen och den närmast liggande obsbrunnen, 14W184GV i programmet AquiferTest. Både avsänkingsdata och återhämtningsdata har analyserats, resultaten presenteras i Tabell 4 nedan. Avsänkingsförloppet

utvärderas med Theis- och Cooper-Jacob-analyser och återhämtningsförloppet med Theis recovery- samt Theis-Agarwal-analys. För somliga analysmetoder har inte god passning erhållits för data från pumpbrunnen, dessa data har därför utelämnats. Grafer från samtliga utvärderingar presenteras i bilaga 2.

Tabell 3. Sammanställning av uppmätta grundvattenvariationer under testperioden i 14RBR01 (gråmarkerad kolumn är pumpbrunnen) För rör med asterisk finns endast manuella mätdata.

	14RBR01	14RKBH01	14RHBH01	14W154GV	14W184GV	14W220GV	41D451 *
Ostörd nivå	3,00	2,67	2,32	2,46	2,93	3,53	3,02
Nivå vid pumpstopp	2,38	2,24	1,97	2,24	2,33	3,40	2,81
Avsänkning under provpumpning (m)	0,62	0,43	0,35	0,22	0,60	0,13	0,21
Nivå avslutad återhämtning	2,89	2,12	1,87	2,04	2,81	3,38	2,72
Lägsta uppmätta nivån under mättiden	2,24	2,09	1,81	2,03	2,32	3,38	2,69
Max avsänkning hela mätperioden (m)	0,76	0,58	0,51	0,43	0,61	0,15	0,33

Tabell 4. Sammanställning av beräknade T- och S-värden från provpumpning i 14RBR01. Resultat i de två första gråa raderna är avsänkingsdata och de efterföljande tre vita är återhämtningsdata.

Analysmetod	14RBR01	14W184GV	
	T (m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s)	S (-)
Theis	$3,8 \times 10^{-4}$	$0,93 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-2}$
Cooper-Jacob	-	$0,71 \times 10^{-4}$	$5,6 \times 10^{-2}$
Theis recovery	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$	-
Theis Agarwal (recovery)	-	$0,93 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-2}$
Theis Jacob correction+Agarwal (recovery)	-	$0,85 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-2}$

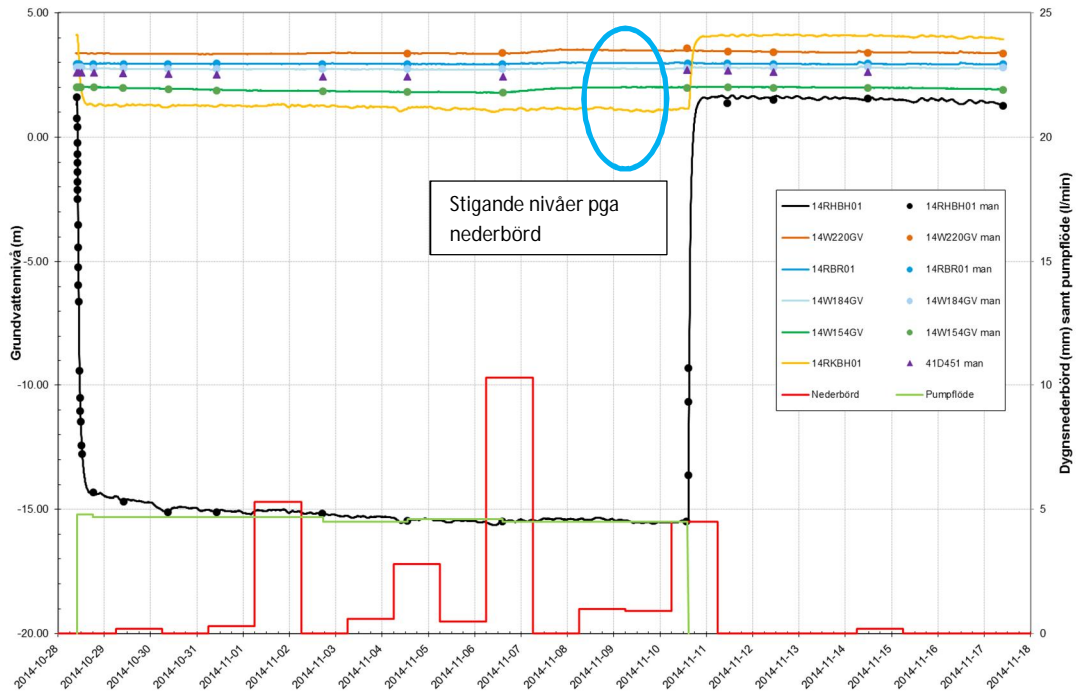
Vid utvärdering av data medför den sjunkande trenden på grundvattennivåerna att avsänkningen under pumpning överkattas samt att återhämtningens storlek underskattas. Då avsänkning samt återhämtning ger resultat i samma storleksordning görs bedömningen att den sjunkande trenden är så liten i förhållande till den påverkan som orsakats av pumpning att effekten blir försumbar.

#### 4.4

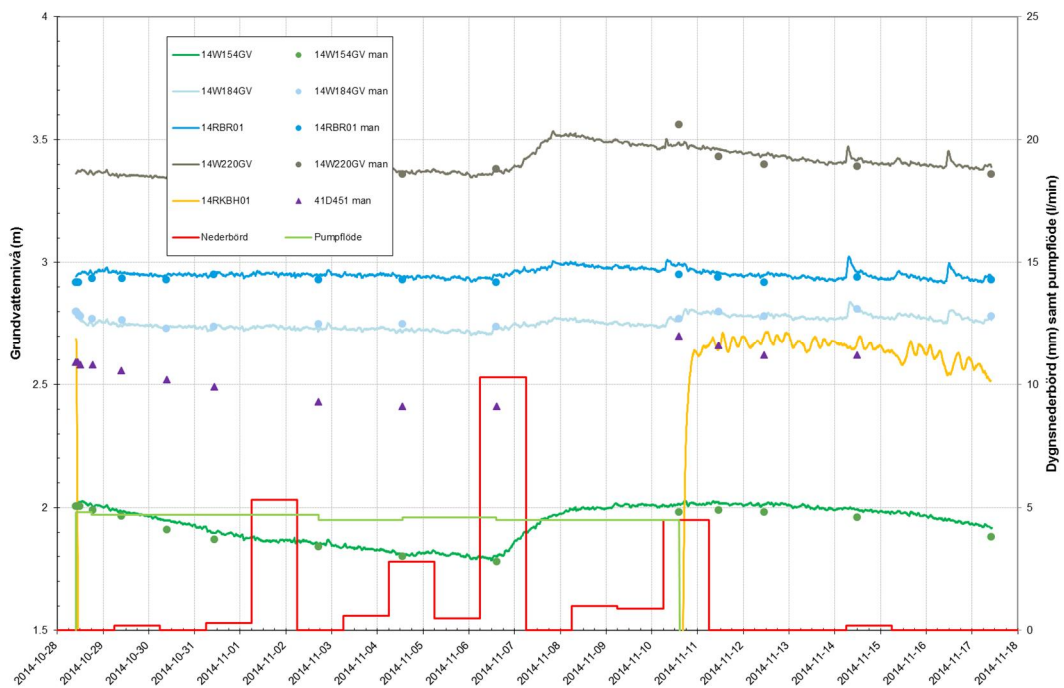
##### Provpumpning i berg, 14RHBH01

I Figur 5 visas uppmätt grundvattennivå under pumptest i 14RHBH01 från pumpbrunnen och obsrör samt pumpflöde och dygnsnederbörd under mätperioden. I diagrammet i Figur 5 syns en nederbördstopp mellan den 6-7 november. Det orsakar en stigande grundvattennivå i samtliga observationsbrunnar, vilket illustreras i Figur 6 där y-axeln plottas i en anpassad

skala. En sammanställning av uppmätta grundvattenvariationer under pumpstestet i 14RHBH01 redovisas i Tabell 5.



Figur 5. Uppmätta grundvattennivåer i brunnar och obsrör under pumpning i 14RHBH01



Figur 6. Nederbördens påverkan på uppmätta grundvattennivåer i obsrör under pumpning i 14RHBH01

Tabell 5. Sammanställning av uppmätta grundvattenvariationer under testperioden i 14RHBH01 (gråmarkerad kolumn är pumpbrunnen). För rör med asterisk finns endast manuella mätdata.

	14RHBH01	14BR01	14RKBHH01	14W154GV	14W184GV	14W220GV	41D451 *
Ostörd nivå	1,53	2,95	6,92	2,03	2,78	3,38	2,59
Nivå vid pumpstopp	-15,5	2,99	3,94	2,01	2,76	3,49	2,41
Avsänkning under provpumpning (m)	17,03	-0,04	2,98	0,02	0,02	-0,11	0,18
Nivå avslutad återhämtning	1,28	2,95	3,75	1,92	2,77	3,11	2,62
Lägsta uppmätta nivån under mättiden	-15,58	2,92	3,81	1,78	2,76	3,11	2,41
Max avsänkning hela mätperioden (m)	17,11	0,03	3,11	0,25	0,02	0,27	0,18

För pumpningen i 14RHBH01 har endast avsänkingsdata kunnat utvärderas då regnet tre dagar innan pumpstopp orsakade en tillfälligt stigande grundvattenyta vilket illustreras i Figur 6. Analys av provpumpningsdata har utförts för både pumpbrunnen och samtliga obsbrunnar, i programmet AquiferTest.

Återhämtningen efter denna stigning, då nivåerna åter sjunker, maskerar återhämtningen efter pumpstopp, då grundvattennivån förväntas stiga och utvärdering av återhämtningsdata är således ej möjlig. Resultaten av utvärderingen presenteras i Tabell 6 nedan. Avsänkingsförloppet utvärderas med Theis- och Cooper-Jacob-analyser. För de brunnar där god passning inte erhållits har data utelämnats. Samtliga utvärderingar presenteras i bilaga 3., och data visar att man har en mindre avsänkning vid pumpstopp än den maximalt uppmätta avsänkningen under mätperioden. Detta beror på det regn som föll mellan den 6 och 7 november som orsakade stigande nivåer under slutet av pumpperioden. Ett fåtal manuella mätningar från pumpningens inledande dygn finns även från obsbrunn 41D447, men dessa data har utelämnats i figur samt tabell då de ej visat respons på pumpning.

Tabell 5. Sammanställning av uppmätta grundvattenvariationer under testperioden i 14RHBH01 (gråmarkerad kolumn är pumpbrunnen). För rör med asterisk finns endast manuella mätdata.

	14RHBH01	14BR01	14RKBHH01	14W154GV	14W184GV	14W220GV	41D451 *
Ostörd nivå	1,53	2,95	6,92	2,03	2,78	3,38	2,59
Nivå vid pumpstopp	-15,5	2,99	3,94	2,01	2,76	3,49	2,41
Avsänkning under provpumpning (m)	17,03	-0,04	2,98	0,02	0,02	-0,11	0,18

	14RHBH01	14BR01	14RKBH01	14W154GV	14W184GV	14W220GV	41D451 *
Nivå avslutad återhämtning	1,28	2,95	3,75	1,92	2,77	3,11	2,62
Lägsta uppmätta nivån under mättiden	-15,58	2,92	3,81	1,78	2,76	3,11	2,41
Max avsänkning hela mätperioden (m)	17,11	0,03	3,11	0,25	0,02	0,27	0,18

För pumpningen i 14RHBH01 har endast avsänkingsdata kunnat utvärderas då regnet tre dagar innan pumpstopp orsakade en tillfälligt stigande grundvattenyta vilket illustreras i Figur 6. Analys av provpumpningsdata har utförts för både pumpbrunnen och samtliga obsbrunnar, i programmet AquiferTest.

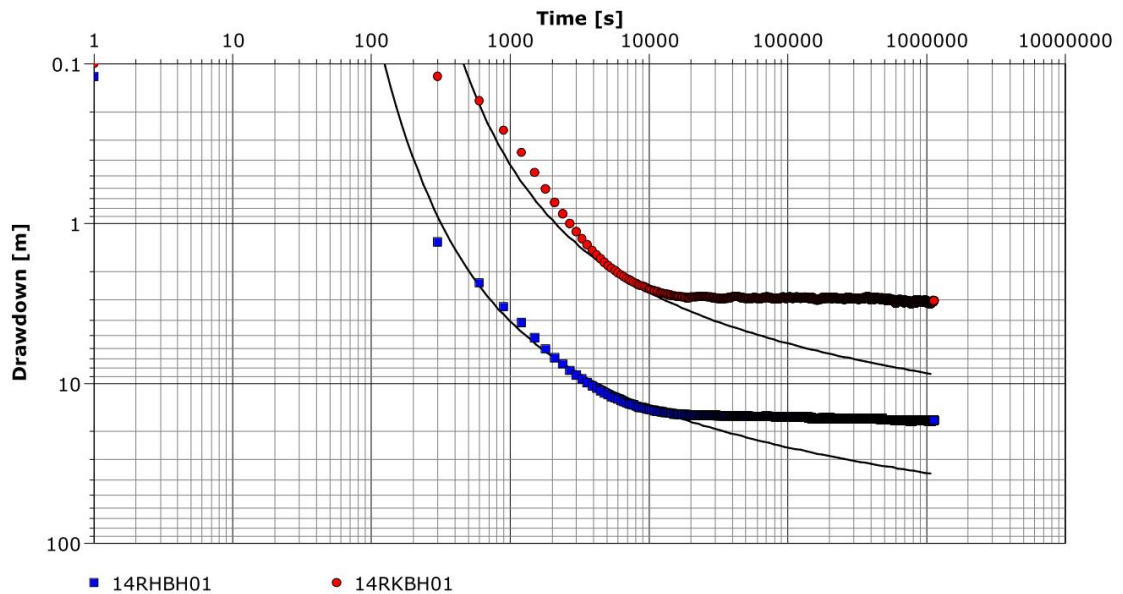
Återhämtningen efter denna stigning, då nivåerna åter sjunker, maskerar återhämtningen efter pumpstopp, då grundvattennivån förväntas stiga och utvärdering av återhämtningsdata är således ej möjlig. Resultaten av utvärderingen presenteras i Tabell 6 nedan. Avsänkingsförloppet utvärderas med Theis- och Cooper-Jacob-analyser. För de brunnar där god passning inte erhållits har data utelämnats. Samtliga utvärderingar presenteras i bilaga 3.

Tabell 6. Sammanställning av beräknade T- och S-värden från provpumpning i 14RHBH01. Resultat i de gråa raderna är avsänkingsdata.

Analysmetod	14RHBH01	14KBH01	
	T (m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s)	S (-)
Theis	1,3 × 10 <sup>-6</sup>	4,7 × 10 <sup>-6</sup>	8,7 × 10 <sup>-6</sup>
Cooper-Jacob	1,3 × 10 <sup>-6</sup>	4,8 × 10 <sup>-6</sup>	8,8 × 10 <sup>-6</sup>
Theis recovery	5,1 × 10 <sup>-7</sup>	2,3 × 10 <sup>-6</sup>	1,5 × 10 <sup>-7</sup>

I Theisanalysen för pumpbrunnen 14RHBH01 samt kärnbrorrhålet 14RKBH01, vilken presenteras i Figur 7, uppvisar kurvorna en relativt god passning mot Theiskurvan under de första tre timmarna. Därefter uppvisar kurvorna tecken på en positiv hydraulisk gräns, dvs avsänkingen avstannar med tiden. Detta kan förklaras med att avsänkningstratten har brett ut sig och nått en vattenförande zon, tex en spricka/tunnel eller uppnått tydlig kontakt med yttligare jordlager, dvs annan struktur som kan tillföra vatten vilket medför att avsänkingen avstannar/dämpas.

Man ser en tydlig respons i berget vid nederbörd, det går dock inte att säga något om den hydrauliska kontakten mellan jord och berg. Detta beror delvis på ett förhållandevis litet uttag i kombination med kraftig nederbörd.



Figur 7. Passning av uppmätta grundvattennivåer i HBH01 och KBH01 mot Theiskurvan.

## 5. Slutsatser provpumpning i jord och berg

Vid pumpning med 10,0 l/min i filterbrunnen 14RBR01 dominerar störningen av grundvattenytan till följd av den kraftiga nederbörden. I pumpbrunnen och närmast liggande obsrör (på 2,4 m avstånd), 14W184GV kan dock påverkan ses. Vid pumpstopp stiger nivån snabbt, medan övriga rör inte visar något tecken på respons. Detta kan möjligen tolkas som att responsen är begränsad till brunnens absoluta närområde.

Grundvattenytan i både kärnbrorhålet och hammarborrhålet, vilka är installerade i djupt berg, svarar på liknande sätt som de rör som är installerade i jordlagren. Detta visar att det åtminstone ställvis finns en relativt god kontakt mellan infiltrationsområden i närområdet och moränen som ligger under leran. För jordakviferen råder ej helt slutna förhållanden. Responsen i de bergborrade brunnarna visar även att det finns en kontakt mellan det undre magasinet (moränen) och bergakviferen.

Vid pumpning i det bergborrade hammarborrhålet, 14RHBH01, har brunnen endast haft kapacitet att ge 4,6 l/min, men detta uttag ledde till en avsänkning om ca 17 m i pumpbrunnen. Respons har även uppmätts i 14RKBH01 på 38 m avstånd från brunnen. I jordrören uppmäts ingen respons på det måttliga uttaget i pumpbrunnen.