

# Relationer mellan grundvatten- magasin och geologiska strukturer i samband med tunnel- borrning genom Hallandsås, Skåne

***Angelica Mikkelsen***

Examensarbeten i Geologi vid  
Lunds universitet - Berggrundsgeologi, nr. 215



Geologiska institutionen  
Centrum för GeoBiosfärsvetenskap  
Lunds universitet  
2007

# Relationer mellan grundvattenmagasin och geologiska strukturer i samband med tunnelborrning genom Hallandsås, Skåne



Examensarbete  
Angelica Mikkelsen

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2007

# Innehåll

<b>1 Inledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Områdets geologi</b> .....	<b>5</b>
<b>3 Förutsättningar och metoder</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Geologi längs tunnelsträckningen</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Dokumenterade grundvattenrörelser</b> .....	<b>9</b>
5.1 Brunnarnas avsänkning och återhämtning	9
<b>6 Diskussion</b> .....	<b>14</b>
6.1 Begränsning och identifiering av akvifärer	14
6.2 Tidsaspekt för brunnarnas avsänkning och återhämtning	14
<b>7 Slutsatser</b> .....	<b>15</b>
<b>8 Tack</b> .....	<b>15</b>
<b>9 Referenser</b> .....	<b>15</b>
<b>10 Bilagor</b> .....	<b>16</b>
Bilaga 1	16
Bilaga 2	17
Bilaga 3	19
Bilaga 4	22

**Omslagsbild:** Utsikt mot nordost över norra delen av området och de dammar som dränerats under tunnelbygget och nu är helt torrlagda.

# Sammanfattning

ANGELICA MIKKELSEN

Mikkelsen, A., 2007: Relationer mellan grundvattenmagasin och geologiska strukturer i samband med tunnelborring genom Hallandsås, Skåne. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr 215, 22 sid. 20 poäng.

**Sammanfattning:** Vid tunnelbygget genom Hallandsås i nordvästra Skåne har man stött på tre större vittringszoner och har periodvis haft problem med stort inflöde av vatten till tunnarna. Detta vatten kommer från de ovan- och omkringliggande akvifärerna och dräneringen registreras som sjunkande grundvattennivåer i kontrollbrunnar på åsen. För att försöka skapa en bild av sprickakvifärernas utbredning i området ovanför bormaskinen studerades tio kontrollbrunnar i anslutning till Södra Randzonen, en av de större vittringszonerna. Grundvattennivåernas förändring under tolv månader undersöktes. Även geologin i området undersöktes för att få ytterligare en variabel till utredningen. De huvudsakliga bergarterna i området är gnejs, amfibolit och diabas med varierande sprickfrekvens och vittringsgrad. Efter dessa undersökningar har fem sprickakvifärer kunnat urskiljas. I ett par fall begränsas akvifärerna av bergartsgränser, till exempel så utgör en diabas i den södra delen av området definitivt en akvifärgräns, precis som en större amfibolitkropp. På grund av att geologin i området inte undersökts utanför tunnellen är det svårt att avgöra huruvida så är fallet med alla akvifärgränser eller om de begränsas av till exempel vittringszoner. Akvifärerna verkar vara till viss del sammankopplade men relationerna mellan dem är mycket komplexa och fler mätpunkter hade behövts för att få en bättre bild av interaktionen mellan och utbredningen av dem.

**Nyckelord:** Hallandsås, hydrogeologi, sprickakvifärer, grundvatten.

*Angelica Mikkelsen, Geologiska institutionen, Centrum för GeoBiosfärsvetenskap, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: a\_mikkelsen@hotmail.com*

# Abstract

ANGELICA MIKKELSEN

Mikkelsen, A., 2007: Relations between ground water and geological structures in connection with a tunnel boring project through Hallandsås, Skåne. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr 215, 22pp. 20 poäng.

**Abstract:** During the tunnel boring project through Hallandsås in the northwestern part of Skåne, large-scale weathering zones have been encountered and there have periodically been problems with great amounts of water leaking into the tunnels. This water comes from the above and surrounding aquifers and the drainage is registered as sinking groundwater levels in control wells on the ridge. In an attempt to create a picture of the aquifer's extension in the area above the tunnel boring machine, ten control wells adjacent to the South Border Zone, one of the weathering zones, were studied. The change in groundwater levels were studied for about twelve months. Also the geology in the area was studied to add another variable to the investigation. The main rock types in the area are gneiss, amphibolites and dolerite with varying crack frequency and degree of weathering. After these investigations, five aquifers have been identified. In some cases the aquifers are limited by the limitations of different rock types, for example a dolerite in the south part of the area definitely represents a boundary, as does a bigger amphibolite body. Because the geology outside the tunnel has not been investigated it is hard to determine whether this is the case with all the aquifer boundaries or if some of them maybe are limited by weathering zones. The aquifers seem partly connected but the relations between them are complex and more control wells would have been necessary to get a full picture of the interaction and relations between them.

**Keywords:** Hallandsås, hydrogeology, aquifers, ground water

*Angelica Mikkelsen, Department of Geology, GeoBiosphere Science Centre, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: a\_mikkelsen@hotmail.com*

# 1. Inledning

År 1975 lade Statens Järnvägar (SJ) fram ett förslag om en järnvägstunnel genom Hallandsås, en horst mellan Halland och Skåne, men först efter 1988 då riksdagen beslutade om tre huvudmål för Sveriges totaltrafik kunde planerna utvecklas. Dessa mål var att trafiken skulle bli säkrare, effektivare och miljövänligare. För att uppnå målen fastställdes att fler transporter bör ske med järnvägstrafik. Sträckan över Hallandsås har länge varit en flaskhals med branta stigningar, tvära kurvor och ett tiotal plankorsningar. Idag kan godstågen inte gå fullastade och på grund av enkelspåret kan maximalt fyra tåg per timme passera. Med en tunnel genom åsen kan den siffran stiga till 24.

Banverket fick 1991 uppdraget att bygga en tunnel genom Hallandsås. Den första entreprenören, Kraftbyggarna, använde sig av en öppen tunnelbormaskin som omgående fastnade i det vittrade och spruckna berget. 1996 tog Skanska över och använde sig följande år av tättningsmedlet Rhoca Gil för att minska det stora vattenläckaget. Tättningsmedlet polymeriserades inte fullständigt utan rann tillbaka in i tunneln och vidare ut med läckvattnet. Detta ledde till höga halter av akrylamid i de bäckar till vilka läckvattnet fördes ut och tunnelbygget stoppades därför i oktober 1997. I mars 1999 friskförklarade Livsmedelsverket åsen och meddelade att vattnet i bäckarna kunde användas som vanligt igen. Efter sex år av utredningar fick tunnelbygget klartecken att fortsätta bygget och den här gången var det Skanska ihop med det franska byggföretaget Vinci som tog över i mars 2004.

Vid tunnelborrningen dräneras de ovan- och omkringliggande akvifererna vilket registreras i kon-

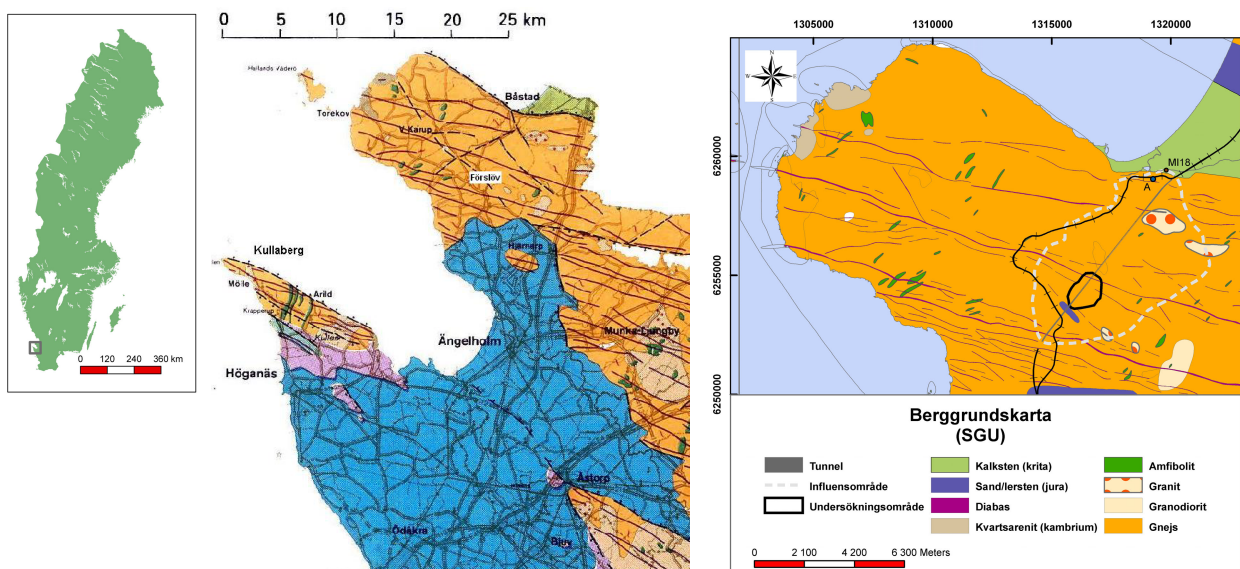
trollbrunnar som sjunkande vattennivåer. Eftersom Hallandsås på grund av sin höga sprickfrekvens är en stor grundvattenreservoar är den inläckande vattenmängden till tunnarna avsevärd.

Syftet med detta arbete är att under tunnelborrnings framskridande dokumentera grundvattennivåer och geologi för att tolka relationerna mellan bergakviferer och storskaliga geologiska strukturer. Målet är att resultaten ska kunna utgöra en del av underlaget för kommande prognoser kring grundvattnets respons vid den fortsatta drivningen av tunneln.

# 2. Områdets geologi

Skånes geologi är starkt präglad av tektoniska rörelser längs Tornquistzonen. Detta är en viktig sprick- och rörelsezona som sträcker sig från Svarta Havet i nordvästlig riktning, diagonalt genom Skåne, till Nordsjön (Erlström et al. 1997, fig. 1). Berggrunden i Skåne har därför utsatts för omfattande uppsprickning och krossning vid flera olika tillfällen. Det var till exempel rörelser längs Tornquistzonen som i slutet av kritperioden för ca 70 miljoner år sedan, möjligen i samband med den alpina veckningen, resulterade i Skånes typiska geomorfologi med horstar och sänkor (Erlström et al. 1997). Horstarna är urbergsryggar som blev kvar när större block av urberg gled upp eller ner längs förkastningarna (Jensen 2002). Fortfarande pågår små rörelser i förkastningar längs Tornquistzonen och orsakar då och då mindre jordbävningar (Gregersen & working group 1995).

Hallandsås, som utgör den nordligaste av horstarna i Skåne med en högsta punkt på 226 meter över



havet, består huvudsakligen av gnejs och amfibolit med inslag av diabasgångar (Fig. 1). Den begränsas i söder och norr av den Södra respektive Norra Randzonen, två starkt lervittrade förkastningszoner. Vittringen skedde i slutet av trias och jura, då klimatet på vår kontinent var subtropiskt (Ahlberg et al. 2002; Jensen 2002). Den höga graden av vittring och omvandling längs den Norra Randzonen kan studeras i dagbrottet strax utanför Båstad (Fig. 1). Ytterligare en vittringszon förekommer mellan de två randzonerna – den så kallade Möllebackzonen. Denna zon är lokaliserad någon kilometer söder om Norra Randzonen.

Berggrunden söder och norr om Hallandsås består av mesozoiska sedimentbergarter. I söder utgörs dessa av jurassiska sandstenar och lerstenar med inslag av kol. Norr om åsen återstår de som ett mindre område med kretaceisk skalkalksten (Wikman & Bergström 1987). Denna har bland annat påträffats i brunn MI18, som ligger 400–600 m norr om nordslutningen (Fig. 1).

Hittills har inga precisa åldersdateringar genomförts på bergarter från Hallandsås men ny åldersdata från snarlik berggrund på närliggande Kullaberg (Fig. 1) indikerar att de graniter som senare metamorfoserades till gnejser bildades för omkring 1.69 och 1.66 miljarder år sedan (U. Söderlund pers. komm. 2007). Protoliten till en av amfiboliterna vid Kullaberg daterades nyligen till 0.96 miljarder år, men vissa amfiboliter kan ha intruderat betydligt tidigare. Omvandlingen från diabas till amfibolit skedde under den svekonorvegiska bergskedjeveckningen för ca 0.95 miljarder år sedan (Johansson et al. 1991) och samtidigt omvandlades graniten till den gnejs som nu bygger upp berggrunden i merparten av sydvästra Sverige. Amfiboliterna stryker i antingen N-S riktning eller NO-SV riktning (Fig. 1). Efter hand som den Svekonorvegiska bergskedjan bröts ner av vittring, erosion och tektoniska krafter lyftes den metamorfoserade berggrunden upp från ca 25–35 km djup under en geologiskt sett kort tidsperiod (Wang et al. 1996; Möller & Söderlund 1997). Detta skedde möjligtvis i samband med en utdragning (extension) av jordskorpan. Upplyftningen av gnejs-amfibolitberggrunden måste ha avslutats innan tidig kambrium då havet steg över kontinenten och kvartssand (Hardebergasandsten) ackumulerade på den kraftigt vittrade berggrundsytan (Jensen 2002). De många diabasgångar som genomkorsar Hallandsås intruderade för omkring 0.29 miljarder år sedan (Klingspor 1976). Gångarna är relaterade till tensionsrörelser längs Tornquistzonen.

Ovanpå den kristallina berggrunden ligger i medeltal två meter mäktiga kvartära avlagringar som kan uppgå till över 50 meter i sänkorna mellan horstarna samt lokalt i berggrundssprickor uppe på horstarna. Områden med berg i dagen är sällsynta (Wikman & Bergström 1987).

### 3. Förutsättningar och metoder

Arbetet inleddes i januari i Banverkets lokaler i Förslöv utanför Ängelholm med insamling av information från

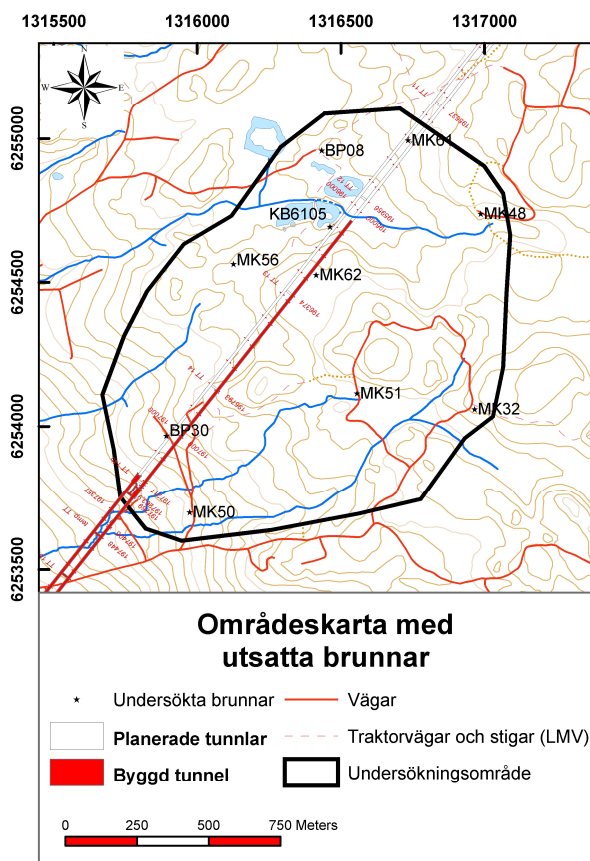


Fig. 2. De tio utvalda brunnarna i undersökningsområdet. Själva området är ca 1,7 km långt längs tunnelns sträckning med relativt varierande topografi. Dammarna i den norra delen av området har torkat ut till följd av tunnelborrningen. MK står för Miljökontrollbrunn, BP för hammarborrad brunn och KB för Kärnborrhål (modifierad från Banverkets kartdatabas).

deras databaser, borrprotokoll, kartor och kontraktshandlingar. Även egna manuella mätningar av grundvattnets tryckyta i brunnarna på åsen utfördes, detta med hjälp av ett ljud- och ljuslod.

För närvarande sker borrningen från söder mot norr med en sköldad tunnelbormaskin, en så kallad *Tunnel Boring Machine* (TBM). Genom successiv fordring (eng. *lining*) med 2,2 meter breda betongsegment monterar TBM:en successivt tunnelringar (varje ring består av åtta betongsegment) och därefter tätas utrymmet mellan ringarna och berget med betong. Därmed minimerar man området som påverkas av dränering uppe på åsen.

Avstånd angivna i detta arbete beräknas i meter (järnväg) från Göteborgs Centralstation. Detta innebär att då TBM:en rör sig norrut blir avståndssiffrorna lägre. Undersökningsområdets södra gräns går vid 197+300 m i den norra delen av Södra Randzonen och den norra gränsen går vid 195+620 m, en sträcka på 1680 m (Fig. 2). Banverkets dokumentation för detta område innehåller information om följande geologiska parametrar för varje tunnelring:

1. Bergart - Huvudsakligen gnejs, amfibolit och diabas.

2. Vittring - Omfattar fem klasser där 1 är i stort sett friskt berg och 5 är kraftigt vittrat berg (ISRM 1981) och
3. Sprickfrekvens - Anges som *Rock Quality Designation* (RQD), där <25 % är uppsprucket berg och 75-100 % motsvarar sprickfattigt berg (Deere et al. 1967).

Annan information som dokumenteras är datum för placering av ring(ar), vattenflöde ut ur tunneln angivet som ett medelvärde i liter/sekund per dag, samt hurvida borrhuvudet var stängt eller öppet (Bilaga 1). I stängt läge pumpas en blandning av bentonit och vatten in som mottryck vid borrhningen och detta tryck kan uppgå till 13 bar. Slurryblandningen som pumpas in transporterar ut bergmaterialet i en pipeline till ett reningsverk där bergmaterialet skiljs från bentoniten och deponeras. Vattnet renas och bentoniten återanvänds. Stängt läge används inte gärna då tunneldrivningen går långsammare med ökat slitage på borrhuvudet, men på grund av stort inflöde av vatten eller när berget är instabilt är det ibland nödvändigt.

Den 28 februari 2007 stängdes borren för första gången på grund av högt vattenflöde. Då hade ring 534 monterats. Då det i många fall är svårt att avgöra exakt vilket datum avsänkning och återhämtning för en viss brunn påbörjats har parametrarna (ovan) undersökts för de aktuella datumen och ringarna. Detta för att se om det skett någon markant parameterförändring som kan ligga till grund för nivåförändringarna i brunnarna.

I undersökningsområdet finns endast ett fåtal bergborrade brunnar där vattennivån kan mätas kontinuerligt, förutom i den södra delen som gränsar mot Södra Randzonen där antalet brunnar är stort. För denna studie valdes tio bergborrade brunnar ut med utgångspunkt från deras geografiska placering i förhållande till tunneln (Bilaga 2). Inom undersökningsområdet finns det förutom dessa tio brunnar endast ytterligare två eller tre bergborrade brunnar och dessa är lokaliserade i den sydvästra delen av området. Samtliga valda brunnar ligger mellan 10 och 400 m från tunnelsträckningen, utom MK32 som ligger ca 730 m därifrån (Fig. 2). Anledningen till att den brunnen togs med i undersökningen var för att försöka avgöra hur långt i sidled sprickakvifererna sträcker sig. Grundvattennivåkurvorna studerades för att avgöra vid vilken tidpunkt de började avsänkas och i vissa fall återhämta sig (Bilaga 3). Datumet för förändringen noterades och relaterades till placeringen av en viss tunnelring och geologin som TBM:en genomborrade. Därefter skapades tabeller och illustrationer av hur vattennivån förändrats i de olika brunnarna vid olika tidpunkter.

Vid arbetets början bedömdes det att en tvärgående diabas som korsar tunnelsträckningen längre fram potentiellt kunde utgöra en barriär så att brunnarna norr om denna inte skulle påverkas förrän TBM:en gick igenom diabasen. BP08, MK48 och MK61 valdes därför som referensbrunnar norr om diabasen.

Alla värden är offentligt material och hämtade från Banverkets databas. En del värden på vattennivåerna i brunnarna fick extrapoleras eller tas bort då in-

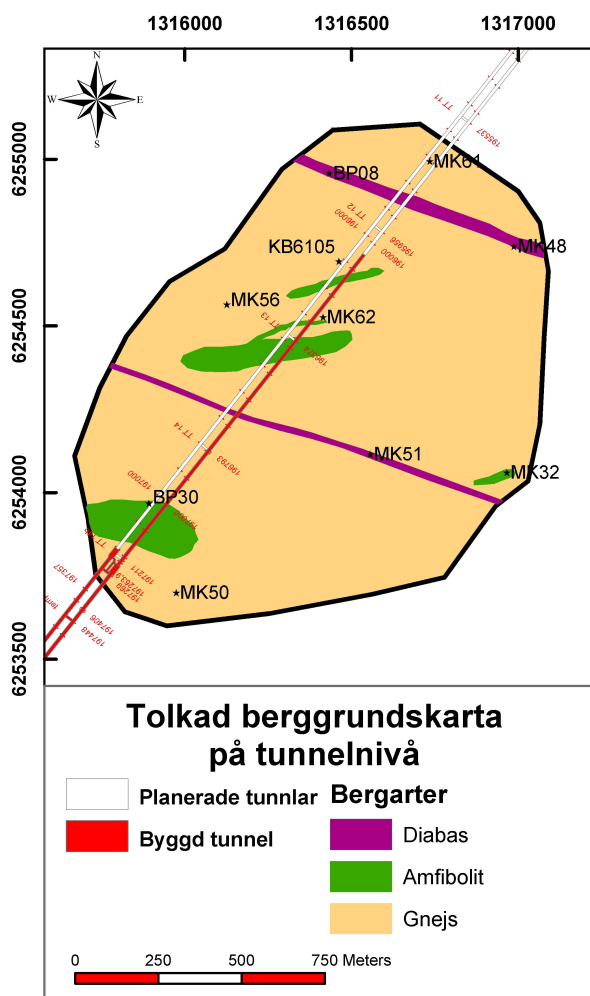


Fig. 3. Berggrunden på tunnelnivå har tolkats utanför tunnelns sträckning och i området framför borren. Ett flertal större amfibolitkroppar och en ca 20 m bred diabasgång har påträffats. Den norra diabasgången är tolkad från flygmagnetisk karta (Wikman & Bergström 1987) och läget i tunnelsträckningen svår att avgöra då TBM:en ännu inte nått dit. Amfiboliten vid MK32 är tolkad från borrhprotokoll (modifierad från Banverkets kartdatabas).

formation saknas för vissa tidsperioder. Detta kunde bero på att vattnet frusit, att brunnen var artesisisk eller att brunnen avsänkts så mycket att mätinstrumentet hängde i luften. Kartorna redigerades i ArcMap och profilbilderna över tunnelsträckningen samt borrhlogarna gjordes i Illustrator.

## 4. Geologi längs tunnelsträckningen

Längs den undersökta tunnelsträckningen består berggrunden av ca 60 % gnejs och 30 % amfibolit (Figs. 3 och 4). De resterande ca 10 % utgörs av diabas och i vissa fall mindre förekomster av pegmatit. Två diabasgångar har dokumenterats varav en endast är 3 m bred. Den har därför inte markerats på kartan eller i profilen. Den norra diabasgången i Figur 3 är tolkad



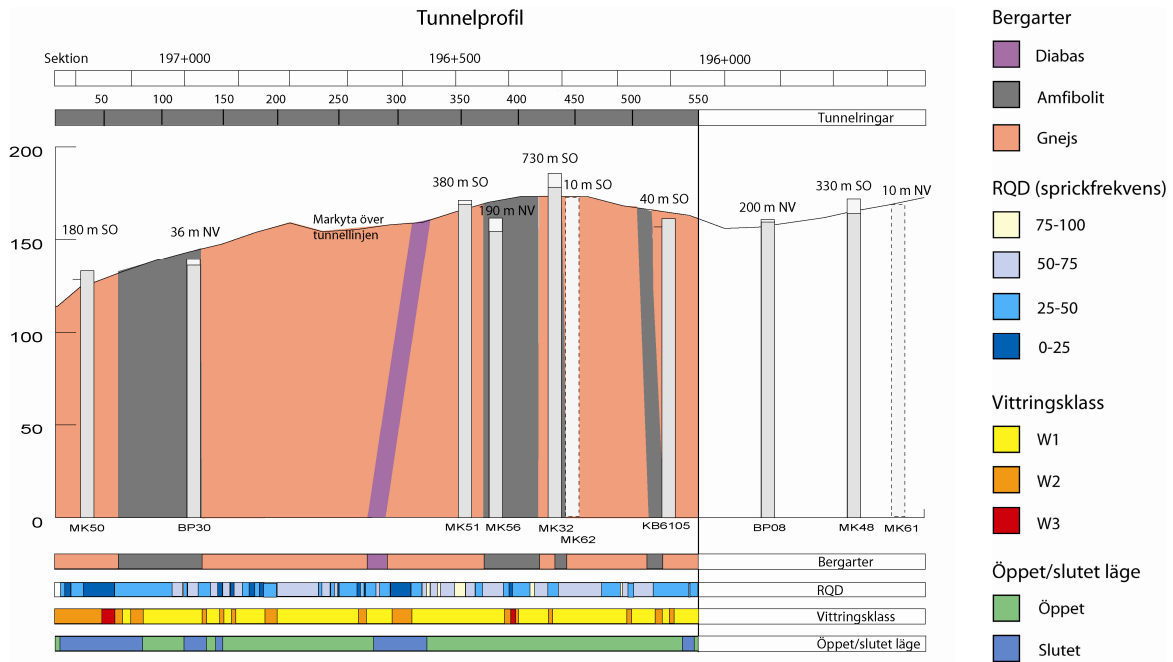


Fig. 4. Profil längs tunnelns sträckning med brunnarna utsatta. Var 50:de ring är markerad. Observera att brunnarna ligger på ett avstånd från tunnelns sträckning. Under profilen visas bergarter, RQD (sprickfrekvens), vittringsklass och öppet/slutet läge för TBM:en. Alla värden kommer från Banverkets databas.

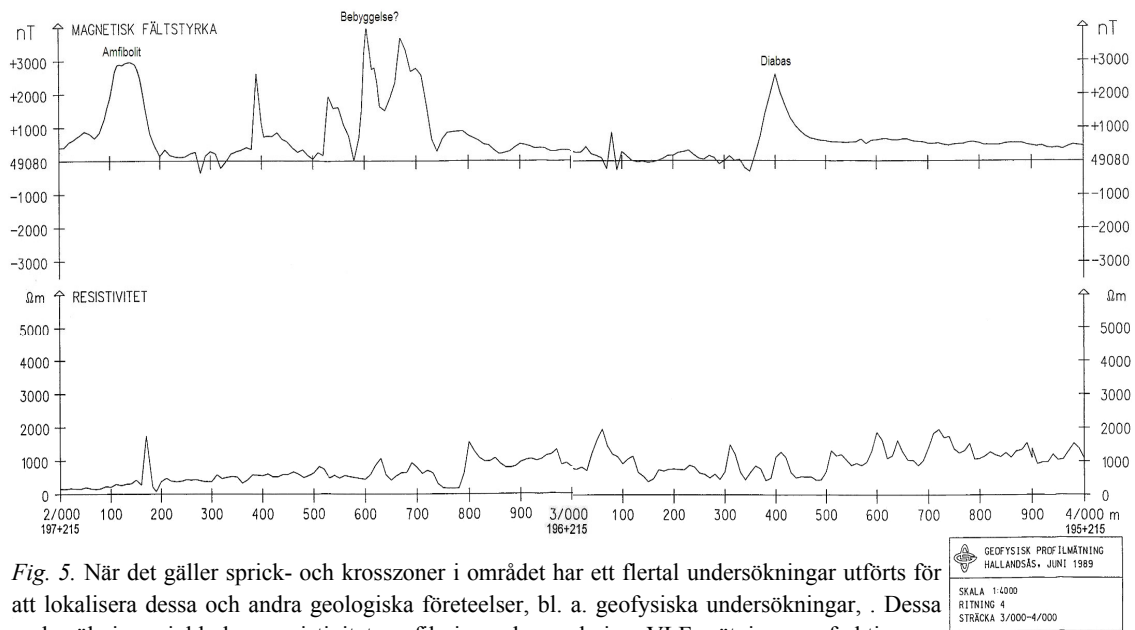


Fig. 5. När det gäller sprick- och krosszoner i området har ett flertal undersökningar utförts för att lokalisera dessa och andra geologiska företeelser, bl. a. geofysiska undersökningar. Dessa undersökningar inkluderar resistivetsprofilering och -sondering, VLF-mätningar, refraktionsseismik och magnetometri. Här visas kurvor från magnetometrimätningar och resistivetsprofilering genomförda längs tunnelsträckningen 1989 av Geosigma på uppdrag av Banverket. Tre större toppar har markerats på kurvan för magnetisk fältstyrka. Den första motsvarar en större amfibolitkropp och topparna därefter är tolkade som orsakade av bebyggelse. Den högsta toppen skulle dock kunna motsvara en diabasgång. Den högra toppen stämmer med iakttagelserna av en större diabasgång i området norr om TBM:en.

från den flygmagnetiska kartan (Halmstad SV, SGU Af 133) av SGU och har påträffats i både MK48 och BP08 (Bilaga 4). De vittrings- och krosszoner, med mer eller mindre vattenförande sprickor, som förekommer längs tunnelsträckningen har dokumenterats med hjälp av geofysiska metoder (Figs. 5 och 6). Dessa

återfinns oftast längs bergartsgränser. I ett par sprickzoner har gnejsen vittrat så mycket att berggrunden lokalt är helt leromvandlad. De vittrade sprickzonerna fungerar dels som transportvägar för grundvattnet och dels som impermeabla barriärer för vattentransport.

Den första tunnelringen är satt vid 197+253,2

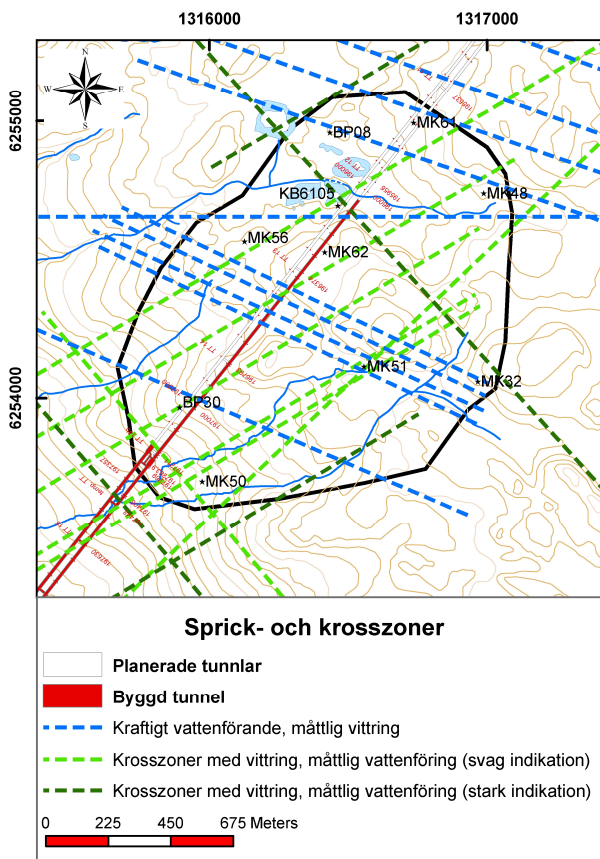


Fig. 6. Med hjälp av de geofysiska metoderna har olika sprick- och krosszoner kunnat identifieras längs tunnelsträckningen. De kraftigt vattenförande sprickzonerna med måttlig vittring är mest frekvent förekommande följt av de svagt indikerade vittrade krosszonerna med måttlig vattenföring. Vittrade krosszoner med måttlig vittring som är starkt indikerade är sällsynta (modifierad från Banverkets databas).

m, vilket är i den norra delen av Södra Randzonen, i en gnejs med vittringsklass 2 (Fig. 4). Gnejsen övergår vid ring 62 till en större amfibolitkropp med vittringsklass 3 i kontakten. Större delen av amfiboliten har vittringsklass 1 med viss vittring i kontakten även med den efterföljande gnejsen. Amfiboliten sträcker sig till ring 134. Mellan ring 135 och 269 utgörs berggrunden på nytt av gnejs med inslag av amfibolit. Vittringsklassen för denna gnejs är klassificerad som 1. Vid ring 270 övergår gnejsen i diabas, som sträcker sig till ring 280. Kontakten mellan gnejs och diabas är vittrad. Gnejsen övergår vid ring 369 till vad som kan vara en större amfibolitkropp med en mindre apofys (utskott) (Fig. 3) som sträcker sig till ring 437. I amfiboliten finns endast ett mindre parti med vittringsklass 3. Efter amfiboliten följer relativt homogen gnejs fram till ring 506. Därefter följer en mindre amfibolitkropp fram till ring 518. Mellan ring 519 och 537 består berggrunden huvudsakligen av sprickfattig gnejs med inslag av amfibolit. En ca 3 m bred diabasgång förekommer i gnejsen mellan ring 538 och 549. Ring 550 monterades i en gnejs med inslag av amfibolit (Fig. 4).

## 5. Dokumenterade grundvattenrörelser

Tunnelbormaskinen monterade den första ringen den 6 september 2005 och 14 ringar till fram till den 24 oktober 2005. Efter ett uppehåll monterades ring 16 den 14 januari 2006 och framdriften har sedan dess fortsatt med längre och kortare uppehåll. Detaljerad information om brunnarna och diagram över deras avsänkning och återhämtning finns i Bilaga 3 och illustreras i Figur 7a-l. Nedan beskrivs grundvattenytans förändringar i kronologisk ordning under perioden 3 februari 2006 till den 7 mars 2007.

### 5.1 Brunnarnas avsänkning och återhämtning

Både MK50 och BP30 börjar avsänkas omkring den 3 februari 2006. Vid denna tidpunkt befann sig TBM:en i Södra Randzonen och ringarna 23-25 monterades. Vad gäller de geologiska parametrarna minskar sprickfrekvensen mellan ring 23 och 24 (Bilaga 1). Detta innebär troligtvis att man stött på en större spricka som stod i kontakt med både MK50 och BP30 och därför började avsänkas samtidigt. Vid det tillfället var borrhuvudet emellertid stängt och vattenflödet ut ur tunneln var minimalt. Detta skulle förklara varför avsänkningen skedde relativt långsamt. Det kan även vara så att man gått på mindre sprickor tidigare som tillhörde samma spricksystem och vid just det här tillfället nådde man gränsen för vad systemet kunde upprätthålla och avsänkning påbörjades.

MK51 började avsänkas i mitten/slutet av maj 2006 då ringarna 133-135 monterades, ring 133 den 14 maj, ring 134 den 18 maj och ring 135 den 23 maj. I detta område övergår amfibolit till mindre vittrad gnejs och RQD är konstant (Bilaga 1). Den 18 maj öppnas borren efter att ha varit stängd en kortare period. Dock stängs den igen den 1 juni 2006, efter ring 142, och därefter påbörjas en mycket snabbare avsänkning av MK51. Vattenflödet under den öppna och den stängda perioden är i stort sett detsamma, vilket innebär att man inte haft lika stort mottryck på borren som vattentrycket, då man stängt borrhuvudet på grund av instabiliteten i berget, inte på grund av vattenflödet. Med andra ord bör stängningen av borrhuvudet inte ha inverkat på avsänkningen, vilken i så fall bör bero på något annat. Vid den här tidpunkten går tunnelbormaskinen in i en mindre amfibolitgång och det kan ha varit den som tidigare hindrat brunnen från att avsänkas så mycket.

De tre ovan nämnda brunnarna (MK50, BP30 och MK51) påbörjar sin återhämtning ungefär samtidigt i september 2006 (Bilaga 3): BP30 den 9 september, MK50 den 18 september och MK51 den 29 september. Detta kan troligtvis sättas i relation till att borren den 10 september gick in i en diabas och att den på grund av detta fick stängas den 18 september (ring 269-272). Den 29 september passerade borren diabasgången och fortsatte i gnejs på andra sidan. Diabasen påverkade alltså bara BP30 även om avsänkningen för

Fig. 7a-l. Bildsekvens som illustrerar förändringarna i brunnarna över tid. Ett intervall på 50 ringar har använts och avsänkning-  
 en sedan ring 1 har markerats med rött. Vid ring 450 och 500 finns inga värden för MK62 då mätinstrumentet vid det tillfället  
 hängde i luften. Notera att fram till februari 2007 påverkades området runt och bakom borren och efterhand som borren avance-  
 rat norrut har delar av passerade områden börjat återhämta sig. Ett större område framför borren började avsänkas i februari (vid  
 ring 508-509) och denna avsänkning pågår fortfarande.

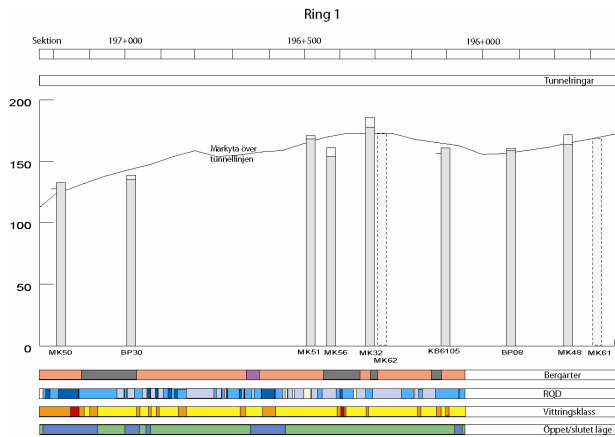


Fig. 7a. När den första ringen sattes var varken MK62 eller MK61 borrade och resterande brunnars grundvattennivåer hade ej börjat påverkas.

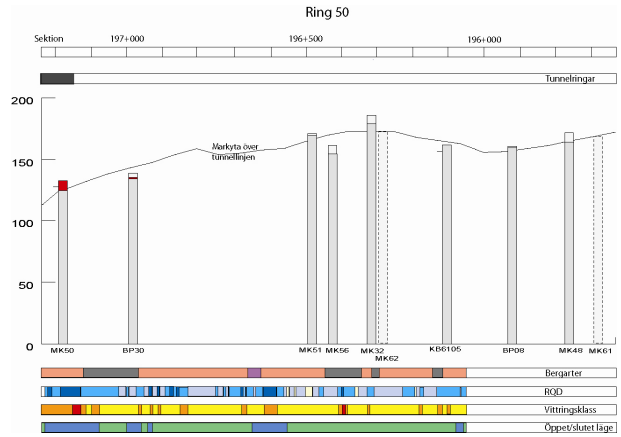


Fig. 7b. Ring 50 sattes den 16 februari 2006 och vid den tidpunkten hade MK50 och BP30 börjat påverkas. Borren befann sig vid det tillfället fortfarande i Södra Randzonen.

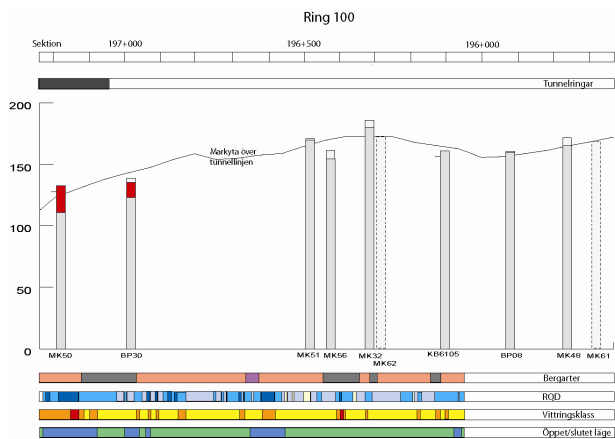


Fig. 7c. Den 6 april 2006 monterades ring 100 i en amfibolit och inga fler brunnar hade börjat påverkas.

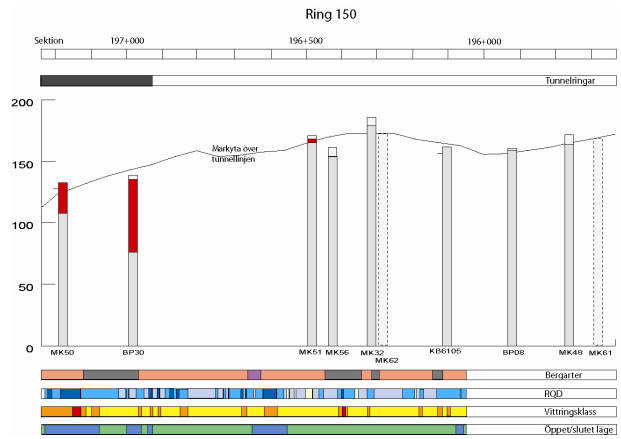


Fig. 7d. Vid monterandet av ring 150 den 6 juni 2006 har avsänkning påbörjats i MK51 och MK56, även om förändringen i MK56 precis påbörjats och därmed knappt syns ännu.

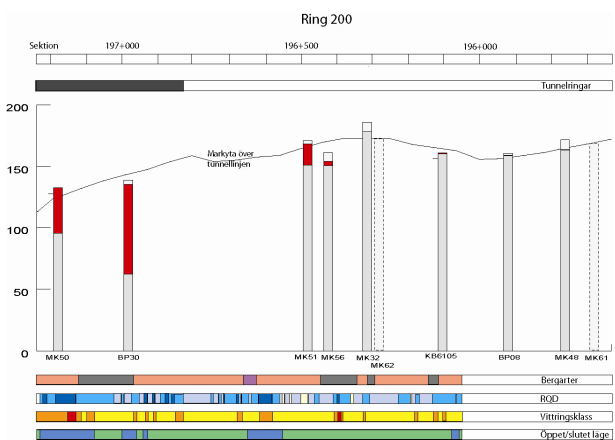


Fig. 7e. Ring 200 monterades den 11 juli 2006 och de fyra hittills påverkade brunnarna har fortsatt avsänkas. En liten förändring i KB6105 skulle kunna bero på torrperioden.

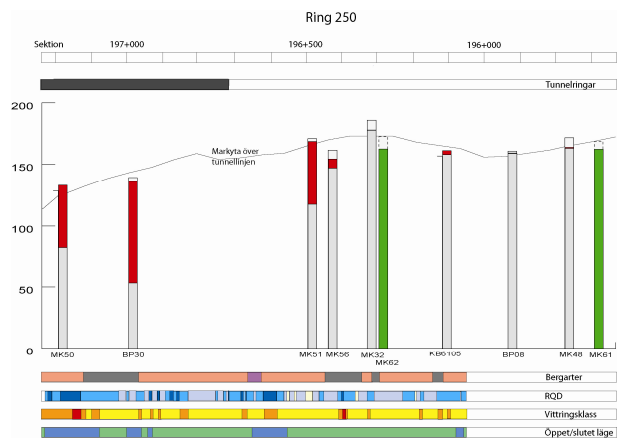


Fig. 7f. För första gången finns värden för MK61 och MK62 och därför är dessa grönmarkerade. KB6105 har börjat avsänkas mer och då ringen monterades den 2 september syns en viss påverkan i många brunnar på grund av torrperioden.

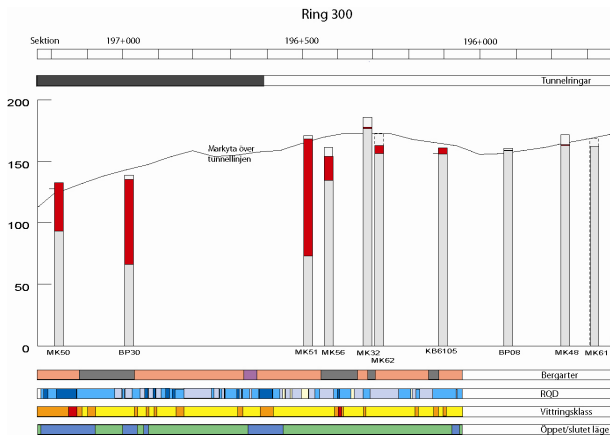


Fig. 7g. Vid ring 300, som monterades den 10 oktober 2006 hade MK50 och BP30 börjat återhämta sig, vilket troligtvis beror på att bormaskinen passerat en diabasgång. Avsänkningen i MK51 har accelererat och påbörjats i MK62.

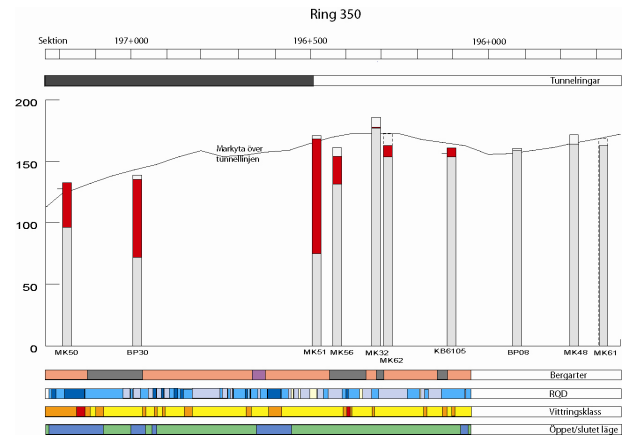


Fig. 7h. Nivån i MK51 började återhämta sig vid ring 350 som monterades 8 november 2006, likaså i MK56. Avsänkningen i MK62 och KB6105 fortsatte långsamt.

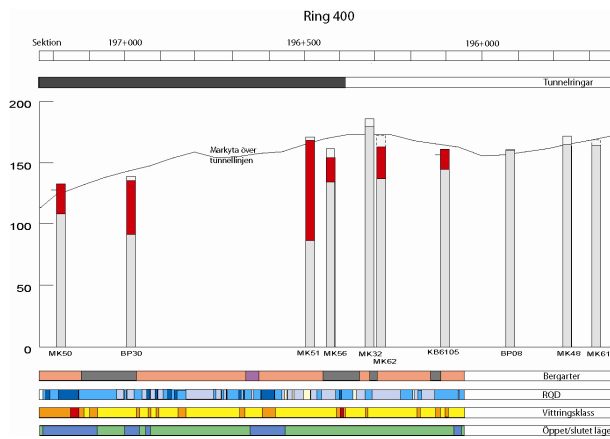


Fig. 7i. Ring 400 monterades den 4 december 2006 och återhämtning pågick i MK50, BP30, MK51 och MK56. Avsänkning fortsatte i KB6105 och MK62.

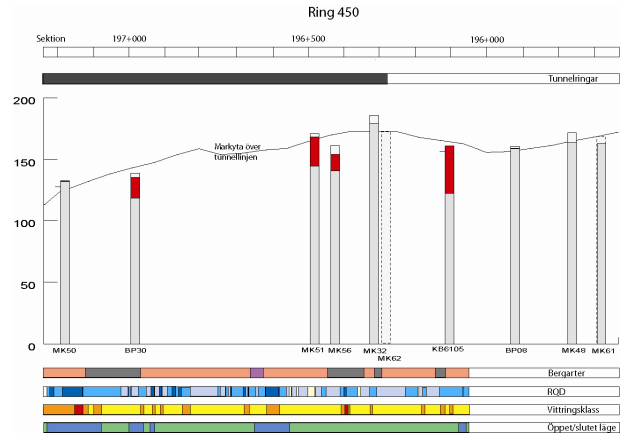


Fig. 7j. Vid ring 450 som monterades den 28 januari 2007 var vattennivån i MK62 så låg att mätinstrumentet hängde i luften och därför finns inga värden för den brunnen under en period. Nivåerna i MK50, BP30 och MK51 var i stort sett återhämtade.

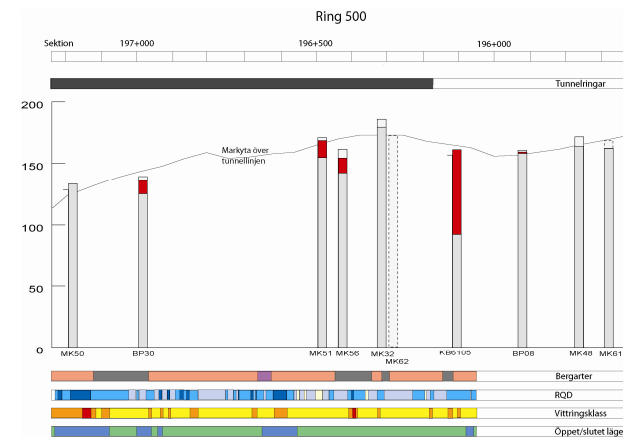


Fig. 7k. Inte heller vid ring 500 som monterades den 13 februari 2007 finns något värde för MK62. KB6105 har avsänkts mycket och en liten påverkan syns i BP08, MK48 och MK61 även om den är väldigt liten i de två sistnämnda. Vid ring 508-509 påbörjas en större avsänkning av nivåerna i de norra brunnarna som avstannar och återhämtas efter ring 534 då borrhuvudet stängdes på grund av det höga vattenflödet.

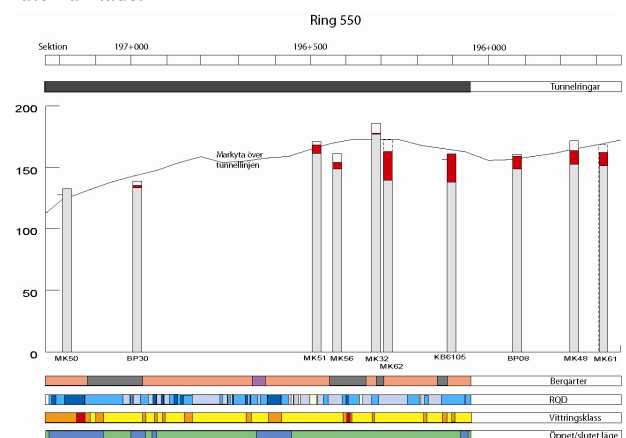


Fig. 7l. Ring 550 sattes den 26 mars 2007 och då var de södra brunnarna i stort sett återhämtade. Det finns åter igen värden för MK62 och i de tre norra brunnarna har avsänkning definitivt påbörjats. Det syns även en liten förändring för MK32 som dock var något större i slutet av februari.

MK50 vid denna tidpunkt också började avta. Det var dock inte förrän den 18 september som återhämtningen för MK50 påbörjades, när borrhuvudet stängdes. Detta kan innebära att diabasen markerar gränsen för spricksystemet som försörjer BP30 men att en del sprickor på andra sidan om den fortfarande försörjer MK50. Eftersom MK56, som ligger på norra sidan av diabasen (se Fig. 3 och nedan), påbörjar en tydlig avsänkningstrend redan i juni är diabasen troligtvis inte helt tät, men på grund av att avsänkningen av MK50 strax efter att borren gått in i diabasen avstannar helt kan man anta att den utgör en viktig hydraulisk gräns. Återhämtningen för MK50 avstannar något när borrhuvudet öppnas men fortsätter med samma hastighet när borren går in i ett område med högre sprickfrekvens. Därefter syns inga större fluktuationer i brunns mätvärden, vilket styrker hypotesen att diabasen är en hydraulisk gräns. För MK51 avstannar avsänkningen den 29 september, då diabasen passerats och övergår till gnejs igen. Inte förrän i början av november påbörjas en ordentlig återhämtning, vilket borde innebära att de sprickor som försörjer MK51 sträcker sig längre än för de två andra brunnarna, även om de har många sprickor gemensamt. Det kan alltså vara så att MK51 försörjs av två sprickkvifärer som ligger intill varandra och delvis överlappar varandra.

MK56 började långsamt avsänkas i början av juni 2006, då ring 150-151 monterades, endast 15 ringar efter att MK51 började avsänkas. Vid den här övergången mellan tunnelringar förändrades RQD till ett högre värde, d v s indikerande färre sprickor (Bilaga 1). Detta kan som i fallet med ovan nämnda brunnar innebära att så många sprickor genomborrats att det ger utslag i brunnen. Avsänkningen är liten (ca 20 m) och långsam i jämförelse med de ovan nämnda brunnarna och brunnen skulle kunna vara kopplad till samma sprickkvifär som MK51. Det som stöder den teorin är att återhämtningen påbörjas i början av november, i stort sett samtidigt som återhämtningen för MK51 accelererar. Sedan januari har värdet för MK56 fluktuerat något, men hållit sig relativt stabilt i jämförelse med tidigare avsänkning och återhämtning. En viss påverkan i början av februari kan urskiljas.

Eftersom återhämtningen påbörjas för MK51 och MK56 ungefär samtidigt kan vissa sprickor som går söderut mot MK51 även sträcka sig upp mot MK56, men dessa är relativt små. I november har alltså dessa sprickor tätats framgångsrikt. Som indikerat ovan kan skillnaden i avsänkning förklaras med att MK56 ligger på norra sidan av den diabas som markerar gränsen för A1 (Fig. 8).

MK32 är den brunn som ligger längst från tunnelsträckningen. På grund av avståndet kan det diskuteras huruvida förändringar i brunnen beror på bormaskinens framdrivning eller om de beror på naturliga orsaker. En avsänkning omfattande ca 4 m kan iaktas från början av april till mitten av oktober 2006 (Bilaga 3). Mellan den 19 mars och 4 april stod bormaskinen stilla och under den perioden ökade grundvattennivån i brunnen något, men den ökningen kan även bero på

omfattande snösmältning under perioden. I MK48, MK61 och BP08 syns samma respons vilket styrker snösmältningsteorin eftersom dessa brunnar inte annars visar på någon påverkan från bormaskinen. Den 5 april återupptogs borringen igen och samtidigt påbörjades en avsänkning omfattande totalt ca 4 m under sex månader i MK32. Denna avsänkning berodde antingen på bormaskinen eller på att det blivit torrare. MK32 påbörjar återhämtning omkring den 24 oktober vid ring 313-314, där gnejsen har ett högre innehåll av amfibolit och borren öppnas igen efter att ha varit stängd ungefär en månad. Det är möjligt att det ökade inslaget av amfibolit även innebär att spricksystemet som försörjer MK32 upphör i detta område och därav återhämtningen. En annan möjlighet är att det regnade mycket under perioden vilket gjorde att vattennivån höjdes. Den 28 februari påbörjas en mindre återhämtning efter avsänkningen som skedde i början av månaden (diskuteras nedan).

Kurvorna för MK62 och KB6105 följer varandra mycket bra från det datum som det finns data från (vilket för MK62 är början av september 2006). För KB6105 påbörjades en långsam avsänkning i slutet av september, troligtvis i samband med att bormaskinen penetrerade den ovan nämnda diabasen. Denna avsänkning accelererade i slutet av november. Accelerationen syns även i MK62 (Bilaga 3). Den ökade avsänkningen kan sättas i relation till ringarna 390-391 då en amfibolit övergick till att få ett visst pegmatitnehåll och RQD minskade (Bilaga 1). MK62 och KB6105 visar fram till februari 2007 ingen definitiv återhämtning, däremot avstannar avsänkningen mellan den 17 december 2006 och 21 januari 2007. Detta stämmer väl överens med det faktum att borren stod still mellan ring 426 och 427, 15 december till 23 januari. Dock sker ingen återhämtning under denna period, men grundvattenytan behåller en i stort sett konstant nivå under en månad. När borren sätts igång sjunker nivåerna igen.

Det är svårt att avgöra exakt vid vilket tillfälle (vilken ring) i början av februari 2007 som brunnarna MK48 MK61 och BP08 började påverkas, då det under perioden monterades relativt många ringar per dag. Dock började alla tre påverkas samtidigt och kurvorna för dem stupar brant efter den 17 februari. Vad gäller geologin som genomborrades under dessa dagar övergår gnejs till amfibolit med inslag av gnejs den 15:e februari (ring 506-507). Den 16 februari har gnejsinnehållet avtagit (ring 508-509) (Bilaga 1). I samband med detta började även jordakvifärerna påverkas och några dammar i nära anslutning till området började tömmas på vatten. Även i MK62, KB6105, MK56 och MK32 kunde man se avsänkning omkring det datumet även om MK32 och MK56 inte påverkades så mycket. Den lilla påverkan i de senare två brunnarna beror i fallet med MK32 troligtvis på avståndet till borren. För MK56 kan den mindre påverkan bero på att de sprickor som ansluter MK56 till den stora sprickkvifären förmodligen inte är så

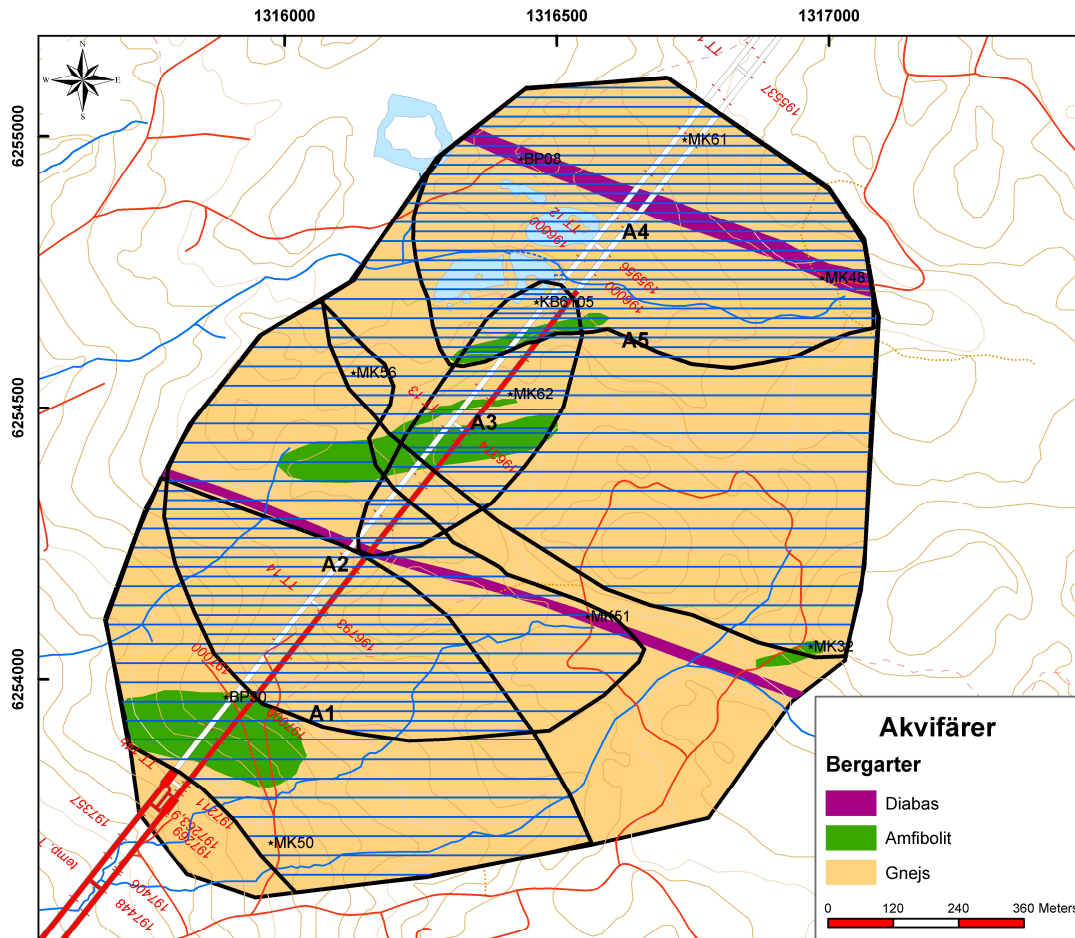


Fig 8. De identifierade akvifärerna och deras utbredning. I bakgrunden syns bergarterna i tunnelns sträckning för att lättare åskådliggöra hur geologin påverkar akvifärernas utbredning. Fem större akvifärer kunde urskiljas, till viss del sammankopplade. A1 begränsas av den mindre diabasgången, A2 sträcker sig norr om den. A3 verkar vara orsakad av tunnelbygget då den ligger i tunnelsträckningen. A4 och A5 är de två nordligaste akvifärerna där A4 innefattar de tre referensbrunnarna (modifierad från Banverkets kartdatabas).

många och inte så vattenförande. Dock ser man i kurvorna att avsänkning påbörjas i brunnarna runt den 8 februari men att den inte blir tydlig och accelererar förrän den 17 februari 2007 i de flesta av dem. För MK62 finns inga pålitliga värden för just denna period då mätinstrumentet inte längre befann sig under vatten och därmed gav felaktiga värden.

En ny, i stort sett ögonblicklig, återhämtning sker den 28 februari på grund av att borrhuvudet stängs och vattenläckaget då minskar drastiskt. Detta påverkar alla sju brunnar i större eller mindre omfattning. BP30, MK50 och MK51 visar ingen påverkan under denna period. Allteftersom borren fortsätter i stängt läge tätar man bakom den och eftersom återhämtningen för brunnarna verkar vara relativt stabil kan man anta att tätningen lyckats. Borrhuvudet öppnades helgen efter stängningen, d v s den 3-4 mars 2007, för service och byte av kuttrar vilket resulterade i ett knappt märkbart avstannande av återhämtningen.

Omkring den 7 mars gick tunnelborrmaskinen

in i en mindre diabas och de sju brunnarna som återhämtats påvisar åter igen avsänkning. Med andra ord har man möjligtvis stött på fler sprickor som tillhör samma spricksystem men som tidigare blockerades av diabasen. Borrhuvudet var stängt men mottrycket från TBM:en mot berget var inte lika stort som vattentrycket mot borren vilket innebar ett visst inflöde till tunneln. Anledningen till det lägre trycket var att den sprickakvifär man gick in i i början av februari är väldigt stor och innehåller mycket vatten.

## 6. Diskussion

MK51 är den brunn som avsänks mest av alla brunnar, ca 100 m på 5 månader, trots att den ligger nästan 400 m sydost om tunnelsträckningen. För MK56, som ligger i samma område men ca 200 m nordväst om tunnelsträckningen, är motsvarande siffra cirka 20 m. Detta indikerar att sprickakvifärerna har större hyd-

raulisk kontakt med de södra områdena än med de norra. Ett problem med den hypotesen är att MK32 knappt påverkas alls, trots att den ligger endast ca 300 m från MK51. MK32 är borrade till största delen i en amfibolit och MK51 till största delen i en diabas och både diabas och amfibolit är ofta tätare än gnejsen, vilket kan förklara skillnaden i avsänkning. Dock påverkas MK32 av februariavsänkningen trots att den ligger i amfibolit vilket kan tyda på att berget mellan de två brunnarna är mycket tätt. Även KB6105 har avsänkts ca 100 m på omkring 6 månader, men den brunnen ligger i stort sett i tunnelsträckningen vilket gör det lättare att förstå avsänkningens storlek.

Om man jämför de fysiska förutsättningarna för brunnarna (Bilaga 4) så är MK51 och MK56 ungefär lika djupa och gav ungefär lika mycket vatten vid blåsningen efter borrningen. Dock är MK51 till största delen borrade i diabas och MK56 i gnejs. MK56 har dessutom högre sprickfrekvens i den övre delen av brunnen. Denna högre andel sprickor kan vara orsaken till att brunnen inte avsänktes så mycket och även MK32 och MK48 har sprickor och dessa två brunnar har inte avsänkts särskilt mycket. Däremot har inte heller MK61 avsänkt nämnvärt men där finns inga sprickområden dokumenterade och dessutom var vattenmängden vid blåsning efter borrningen minst av alla MK-brunnar: 11,4 l/min. Detta motsäger hypotesen att avsänkningen beror på en enda parameter. Brunnen i fråga måste, för att avsänkas, vara i kontakt med en större sprickakvifär eller åtminstone ha en större spricka genom vilken vattnet kan rinna ut. Den bör inte heller ha alltför många vattenförande sprickor som transporterar vattnet till den, dvs. den måste ligga högt upp i terrängen.

## 6.1 Begränsning och identifiering av kvifärer

När det gäller grundvatten i berg är det svårt att begränsa sprickakvifärerna, även om de oftast till stor del begränsas av naturliga vattendelare om inga vattentäta barriärer förekommer, vilket dock verkar vara fallet på ett flertal ställen på Hallandsås. Tätningen bakom betongsegmenten kan spela roll när det gäller avsänkning och återhämtning då en lyckad tätning innebär mindre vattenflöde längs tunneln och därmed också mindre avsänkning. Därför spelar sprickor med lägre vattenflöde mindre roll då de är lättare att täta. Sprickor med högre vattenflöde är svårast att täta på grund av att det höga vattenflödet ofta riskerar spola bort tätningen innan den härdat. Det är när man borrar genom de stora sprickorna som avsänkningen i brunnarna ökar markant, men de små spelar ändå roll. En del av återhämtningen hos vissa brunnar kan dessutom bero på de vattenmassor som transporteras bakåt längs med tunneln.

MK50 och BP30 börjar reagera samtidigt och kan därför anses tillhöra samma sprickakvifär, här kallad Kvifär 1 (A1) (Fig. 8). MK51 börjar påverkas senare än dessa men återhämtningen startar samtidigt för alla tre. Detta tyder på interaktion mellan dessa sprickakvifärer (A1 och A2), möjligtvis att de genom tunnelbör-

ningen kopplas samman i mitten av maj (då avsänkningen för MK51 påbörjas) och därför också återhämtar sig samtidigt. MK56 visar liten överensstämmelse med andra brunnar men förefaller tillhöra samma sprickakvifär som MK51. Brunnen påbörjar återhämtning i november, samtidigt som avsänkningen börjar accelerera KB6105 och MK62. Alla fyra brunnar skulle kunna tillhöra samma sprickakvifär men eftersom det är en viss fördröjning och MK51 och MK56 börjar påverkas först efter att amfiboliten passerats anser jag det vara mest troligt att det är två sprickakvifärer. Avsänkningen i februari visar att alla brunnar som påverkas gör det i stort sett samtidigt varför en fördröjning i påverkan borde påvisa skilda sprickakvifärer.

MK62 och KB6105 tillhör en och samma sprickakvifär (A3) vilket även de tre norra brunnarna MK48, MK61 och BP08 gör (A4). MK32 ligger så långt från tunnelsträckningen och uppvisar så liten påverkan att det är svårt att säga vilken av de fyra sprickakvifärerna den tillhör.

Den plötsliga avsänkningen i början av februari visar att fler brunnar än förväntat tillhör samma sprickakvifär. Med utgångspunkt från hur brunnarna påverkats vid olika tillfällen drar jag slutsatsen att de sju brunnar som ligger längst norrut tillhör samma sprickakvifär. Denna koppling syntes inte förrän i februari, vilket innebär att någon slags hydraulisk gräns passerades och resultatet blev en sammankoppling av flera sprickakvifärer. De enda brunnarna som inte påverkades var de som började återhämta sig när den södra diabasen genomborrats. En slutsats är då att mitt undersökningsområde kan avdelas i två större sprickakvifärer av diabasen och att det inom dessa områden finns gemensamma spricksystem. Det som möjligen motsäger den slutsatsen är att MK62 och KB6105 började avsänkas redan när bormaskinen gick in i diabasen men den sprickakvifären (A3) verkar ligga parallellt med tunneln och kan mycket väl vara skapad av tunneln. Då det saknas brunnar öster om både MK62 och KB6105 är det svårt att avgöra men MK56 påvisar ingen överensstämmelse med någon av dessa brunnar förrän i februari vilket innebär att A3 har en begränsad utbredning i den riktningen.

## 6.2 Tidsaspekt för brunnarnas avsänkning och återhämtning

För sex av brunnarna ligger avsänkningstiden på 5-7 månader innan återhämtningen påbörjas. MK50 har återhämtat sig så mycket att grundvattenytan i brunnen har återgått till samma nivå som vid påbörjandet av mätningarna, vilket har tagit cirka sex månader sedan nivån började återhämta sig. För BP30 och MK51 är nivåerna på god väg att stabiliseras, vilket ger dem cirka sju månaders återhämtning för att återgå till ursprungsnivån. För de tre brunnarna längst norrut har inte återhämtning startat än. För MK62 är det svårt att säga när återhämtningen påbörjades men eftersom den i övrigt följer kurvan för KB6105 kan det antas att tiden mellan avsänkning och återhämtning för brunnen är cirka sju månader. När det gäller

MK56 och MK32 så påverkas de fortfarande av den stora sprickakvifären. Totalt är tidsperioden från det att avsänkningen påbörjas tills nivån är tillbaka i ursprungsläget ca 12-14 månader för de brunnar som ligger längst söderut i undersökningsområdet.

## 7. Slutsatser

Syftet med detta arbete var att under tunnelborrningen genom Hallandsås dokumentera hur grundvattennivåer varierade samt att utifrån dessa data och geologi tolka relationerna mellan bergakvifärer och storskaliga geologiska strukturer. De huvudsakliga slutsatser som kunnat dras är:

1. Det undersökta området i anslutning till Södra Randzonen är uppdelat i två separata huvudsprickakvifärer. Dessa verkar indelade i mindre kvifärer begränsade av områden med väldigt låg hydraulisk konduktivitet. Totalt har fem sammankopplade sprickakvifärer identifierats.
2. Både amfibolit och diabas är tätare än gnejsen men kan lokalt vara av sämre kvalitet som tillåter vattenläckage. Den södra diabasen delar av området och är därmed den tätaste bergarts-kroppen i undersökningsområdet.
3. Den totala tiden mellan avsänkning och fullständig återhämtning för en brunn är inom området ca 12 - 14 månader.
4. Relationerna mellan sprickakvifärerna är mycket komplexa. Det kan även vara så att tunnelborrningen bidrar till komplexiteten genom att skapa kvifärer längs tunneln, vilket kan vara fallet med A3.
5. Fler mätpunkter hade behövts, helst i den östra och sydöstra delen av undersökningsområdet, för att få en bättre förståelse för interaktionen mellan och utbredningen av sprickakvifärerna.

## 8. Tack

Tack till Håkan Asmoarp på Banverket som lät mig göra mitt examensarbete hos dem. Tack till mina handledare Mikael Calner och Ulf Söderlund på Geocentrum för hjälp med genomläsning och redigering av arbetet samt Magnus Gynnemo och Johnny Sangskär på Banverket för hjälp med information och exkursioner på åsen. Tack även till Kristian Annertz och Robert Gauss som tog med mig ner i tunnarna.

## 9. Referenser

- Ahlberg, A., Arndorff, L. & Guy-Ohlson, D., 2002: Onshore climate change during the Late Triassic marine inundation off the Central European Basin. *Terra Nova* 14, 241-248.
- Deere, D.U., Hendron A.J. Jr., Patton, F.D. & Cording E.J., 1967: Design of surface and near-surface construction in rock. In C. Fairhurst (ed.): *Failure and breakage of rock. Eight Symposium on rock mechanics*, 237-302. The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.
- Erlström, M., Thomas, S.A., Deeks, N. & Sivhed, U., 1997: Structure and tectonic evolution of the Tornquist Zone and adjacent sedimentary basins in Scania and the southern Baltic Sea area. *Tectonophysics* 271, 191-215.
- Gregersen & working group., 1995: Recent crustal movements and earthquakes in the area of the Tornquist Zone. *Studia Geophysica et Geodaetica* 39, 257-261.
- International Society For Rock Mechanics, 1981: Basic geotechnical description of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts* 18, 85-110.
- Jensen, E., 2002: Skåne genom 1.800 millioner år. *VARV* 1. 3-31.
- Johansson, L., Lindh, A. & Möller, C., 1991: Late Sveconorwegian (Grenville) high-pressure granulite facies metamorphism in southwest Sweden. *Journal of Metamorphic Geology* 9, 283-292.
- Klingspor, I., 1976: Radiometric age-determination of basalts, dolerites and related syenite in Skåne, southern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 98, 195-216.
- Möller, C. & Söderlund, U., 1997: Age constraints on the regional deformation within the Eastern Segment, S. Sweden: Late Sveconorwegian granite dyke intrusion and metamorphic-deformational relations. *GFF* 119, 1-12.
- Söderlund, U., Isachsen, C.E., Bylund, G., Heaman, L.M., Patchett, P.J., Vervoort, J.D. & Andersson, U.B., 2005: U-Pb baddeleyite ages and Hf, Nd isotope chemistry constraining repeated mafic magmatism in the Fennoscandian Shield from 1.6 to 0.9 Ga. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 174-194.
- Wang, X.-D., Page, L.M. & Lindh, A., 1996:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints from the southeasternmost part of the Eastern segment of the Sveconorwegian orogen: Implications for timing of granulite-facies metamorphism. *GFF* 118, 1-8.
- Wikman, H., & Bergström, J., 1987: Beskrivning till berggrundskartan Halmstad SV. *Sveriges Geologiska Undersökning Af* 133, 1-79.



## Bilaga 1

Tabellen visar parametrarna för var 50:e ring och de ringar där påverkan kunnat påvisas i kontrollbrunnarna. Där en förändring är dokumenterad har de omgivande ringarna redovisats för att lättare åskådliggöra parameterskillnaderna.

Tunnelring	Datum	Huvudsaklig bergart	Mindre förekommande bergart	RQD (sprickfrekvens)	Vitringsklass	Slutet läge	Vattenflöde (l/s) (Dag)
23	2006-02-02	Gnejs		0-25	2	Ja	7,3
24	2006-02-02	Gnejs		25-50	2	Ja	”
25	2006-02-03	Gnejs		25-50	2	Ja	7,2
50	2006-02-16	Gnejs		0-25	3	Ja	25
94	2006-03-19	Amfibolit		25-50	1	Nej	24,9
95	2006-04-05	Amfibolit		25-50	1	Nej	18,2
100	2006-04-06	Amfibolit		25-50	1	Nej	14,3
133	2006-05-14	Amfibolit		25-50	2	Ja	27,8
134	2006-05-18	Amfibolit	Gnejs	25-50	1	Nej	28,4
135	2006-05-23	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	19,4
150	2006-06-07	Gnejs	Amfibolit	0-25	2	Nej	35
151	2006-06-07	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	”
200	2006-07-11	Gnejs		50-75	1	Nej	29,2
244	2006-08-31	Gnejs	Amfibolit	0-25	1	Nej	23,2
245	2006-08-31	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	”
250	2006-09-02	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	28,9
269	2006-09-09	Gnejs		0-25	2	Nej	28,9
270	2006-09-10	Diabas		25-50	1	Nej	34,2
271	2006-09-10	Diabas		25-50	1	Nej	34,2
272	2006-09-18	Diabas		25-50	1	Ja	6,5
300	2006-10-10	Gnejs		0-25	2	Ja	16,1
313	2008-10-18	Gnejs		50-75	1	Ja	29,5
314	2006-10-24	Gnejs	Amfibolit	50-75	1	Nej	59,1
328	2006-11-01	Gnejs		50-75	1	Nej	26,5
329	2006-11-02	Gnejs		75-100	1	Nej	30,4
350	2006-11-08	Gnejs		75-100	1	Nej	27,1
359	2006-11-11	Gnejs		50-75	1	Nej	34,4
360	2006-11-11	Gnejs		25-50	1	Nej	”
390	2006-11-30	Amfibolit		25-50	2	Nej	20,1
391	2006-12-01	Amfibolit	Pegmatit	0-25	3	Nej	”
400	2006-12-04	Amfibolit	Gnejs	25-50	1	Nej	21,3
426	2006-12-15	Gnejs	Amfibolit	25-50	2	Nej	31,5
427	2007-01-23	Gnejs		25-50	1	Nej	17,5
450	2007-01-28	Gnejs		50-75	1	Nej	59,7
500	2007-02-13	Gnejs		50-75	1	Nej	18,4
506	2007-02-15	Gnejs	Amfibolit	50-75	1	Nej	46,2
507	2007-02-15	Amfibolit	Gnejs	50-75	1	Nej	”
508	2007-02-16	Amfibolit	Gnejs	50-75	1	Nej	50,3
509	2007-02-16	Amfibolit		50-75	1	Nej	”
534	2007-02-28	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	74,6
535	2007-03-02	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Ja	15,2
538	2007-03-07	Gnejs	Diabas	25-50	1	Ja	52,4
550	2007-03-26	Gnejs	Amfibolit	25-50	1	Nej	60,5

## Bilaga 2

### Brunnarna (information från borrprotokollen)

MK står för Miljökontrollbrunn, BP för hammarborrade brunnar och KB för Kärnborrhål. Referensnivån är höjden i meter över havet där röröverkanten befinner sig, oftast 2-3 dm ovanför markytan (se bilder).

#### MK50

Bergborrad brunn, 100 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 180 m sydost om tunnelsträckningen och borrarad 2004-03-11. Brunnen är tätad ner till 42 m.  
Geologi: Ca 6,5 m morän och därefter amfibolit och gnejs med olika vittringsgrader.  
Vattenflöde: Ca 300 l/min vid 100 m (artesiskt 60 l/min).  
Referensnivå: 128,16 m ö h.



#### BP30

Hammarborrhål borrarad med riktningen 30 grader och med 17 graders lutning från vertikallinjen. Hållängden är 94 m och vertikaldjupet är 90 m. Ligger på ett avstånd av ca 36 m nordväst om tunnelsträckningen. Borrarad 1994.  
Geologi: Ca 10 m kvartära avlagringar och därefter gnejs med olika vittringsgrad ner till 94 meters djup.  
Referensnivå: 140,5 m ö h.



#### MK 51

Bergborrad brunn, 121 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 378 m sydost om tunnelsträckningen och borrarad 2005-08-17.  
Geologi: Ca 7 m kvartära avlagringar. Diabas ner till 93,0 m, sedan omväxlande gnejs och diabas ner till 121 m.  
Vattenflöde: 40 l/min vid 121 m.  
Referensnivå: 170,95 m ö h.



#### MK56

Bergborrad brunn, 130 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 192 m nordväst om tunnelsträckningen och borrarad 2005-07-05.  
Geologi: Ca 7 m kvartära avlagringar. Resten ner till 130 m är olika variationer av gnejs med vittringsgrad mellan 1 och 2.  
Vattenflöde: 30 l/min vid 130 m.  
Referensnivå: 161,5 m ö h.



#### MK32

Bergborrad brunn, 55 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 730 m sydost om tunnelsträckningen och borrarad 2005-08-18.  
Geologi: Ca 3,5 m kvartära avlagringar och därefter gnejs och amfibolit.  
Vattenflöde: 150 l/min vid 55 m.  
Referensnivå: 185,86 m ö h.



#### MK62

Bergborrad brunn, 70, 0 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 12 m sydost om tunnelsträckningen, borrarad 2006-08-30.  
Geologi: 8 m kvartära avlagringar och sedan gnejs ner till 70 m. Gnejsen har vittringsgrad 2 och mellan 28 och 60 m lokalt lerigt med en vittringsgrad på 5.  
Vattenflöde: 11,4 l/min vid 70, 0 m.  
Referensnivå: 171,87 m ö h.



### KB6105

Kärnbrorrhål borrar med riktningen 216 grader och med 20 graders lutning från vertikallinjen, 159,05 m lång (ca 145 m djup). Hålet ligger på ett avstånd av ca 42 m nordväst om tunnelsträckningen och borrades vintern/våren 2001/2002.

Geologi: Morän ner till 9 m, därefter gnejs med mindre partier av amfibolit och diabas.

Vattenflöde: Artesiskt vatten vid 48,5 m.

Referensnivå: 156,71 m ö h.



### BP08

Hammarborrhål borrar med riktningen 35 grader och med 10 graders lutning från vertikallinjen. Hållängd är 140 m och vertikaldjup är 138 m. Ligger på ett avstånd av ca 202 m nordväst om tunnelsträckningen. Borrade 1990.

Geologi: Ca 6-7 m morän och därefter ca 85 m diabas och därefter omväxlande gnejs med inslag av diabas.

Vattenflöde: 360 l/s vid 138 m (140 m).

Referensnivå: 160,73 m ö h.



### MK48

Bergborrad brunn, 139 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 330 m sydost om tunnelsträckningen och borrade 2005-04-08.

Geologi: Ca 11 m morän och därefter diabas med avtagande vittringsgrad.

Vattenflöde: 100 l/min vid 139 m.

Referensnivå: 171,67 m ö h.



### MK61

Bergborrad brunn, 61 m djup. Ligger på ett avstånd av ca 12 m nordväst om tunnelsträckningen och borrade 2006-08-28.

Geologi: Kvartära avlagringar ner till ca 7 m. Därefter omväxlande gnejs och amfibolit av varierande vittringsgrader.

Vattenflöde: Vid 61 m ett flöde på 133 l/min.

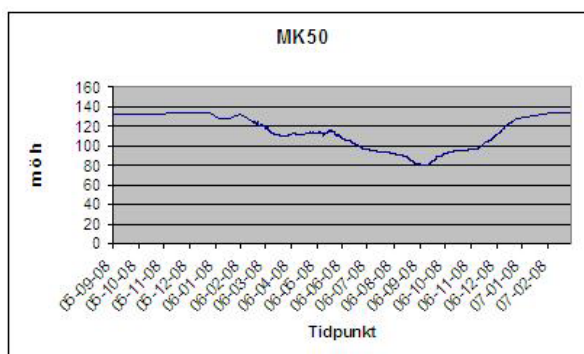
Referensnivå: 168,08 m ö h.



## Bilaga 3

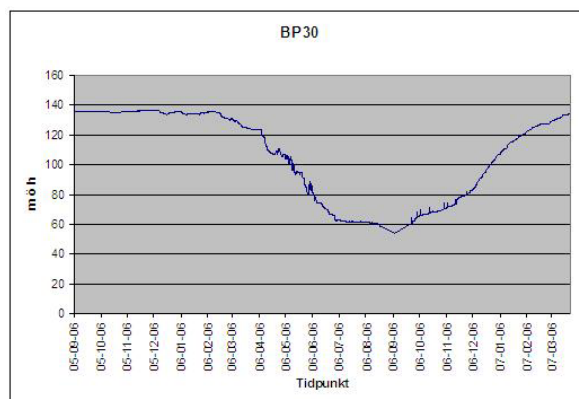
### MK50

Referensnivån för MK50 ligger 128,16 m ö h vilket innebär att brunnen i normalfall är artesisk. Avsänkning påbörjas i början av februari 2006 och pågår fram till och med slutet av september (ca 50 m). Därefter påbörjas återhämtning och brunnen är idag helt återhämtad.



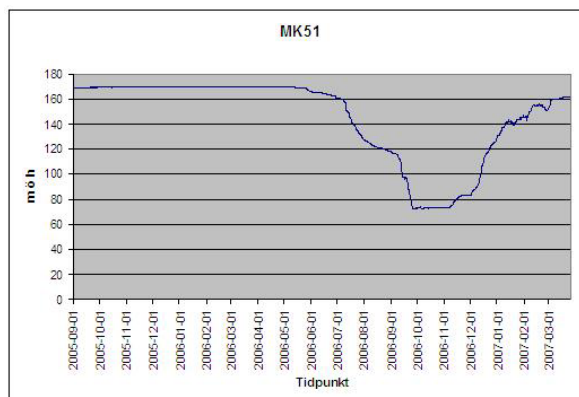
### BP30

Referensnivån ligger 140,5 m ö h, vilket innebär att tryckytan ligger några meter under markytan. Avsänkningen påbörjades i början av februari 2006 och pågick fram till och med början av september samma år. Därefter skedde återhämtning i ungefär samma takt som avsänkningen och den pågår fortfarande. Totalt avsänktes brunnen ca 75 m på sju månader.



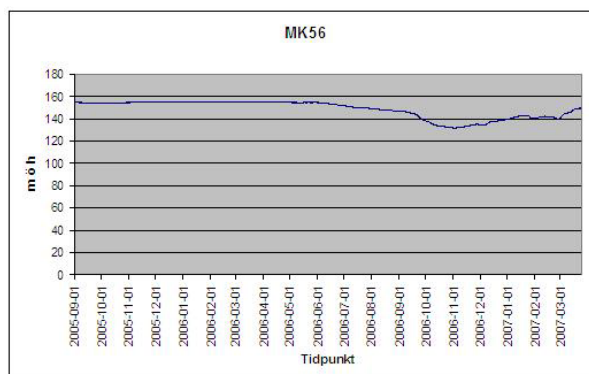
### MK51

Referensnivån för MK51 ligger 170,95 m ö h vilket är strax över den normala trycknivån för grundvattnet. Avsänkning påbörjades i mitten av maj 2006 och planade ut i slutet av september samma år, totalt ca 100 meters avsänkning på ca fem månader. Återhämtning påbörjades i slutet av september 2006, precis som MK50, men nivån i brunnen började inte öka nämnvärt förrän i början av november. I februari/mars fluktuerar nivåerna något.



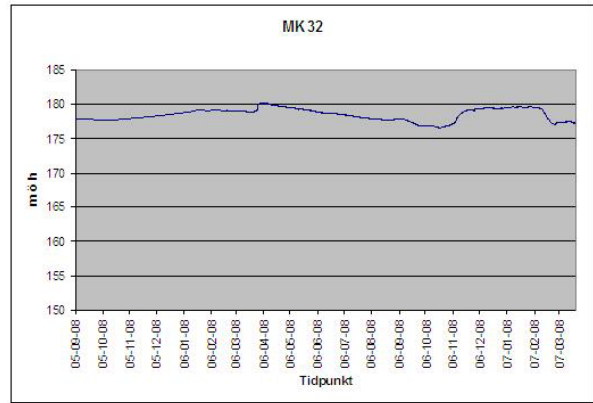
### MK56

Referensnivån ligger 161,5 m ö h och tryckytan för grundvattnet några meter därunder. Långsam avsänkning påbörjades i början av juni 2006 och pågick till början av november samma år då återhämtningen påbörjades. Återhämtningen har dock avstannat något omkring 140 m ö h och har sedan januari fluktuerat runt den nivån. Den totala avsänkningen var ca 20-25 m på sex månader.



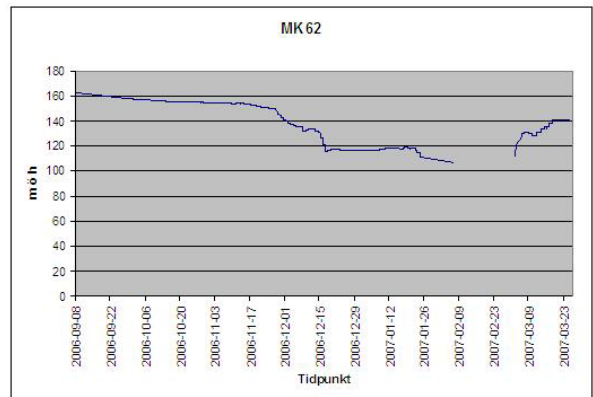
### MK32

Brunnens referensnivå ligger 185,86 meter över havet och tryckytan ligger omkring 178-179 m ö h när den är opåverkad. Brunnen visar ytterst lite påverkan i jämförelse med andra brunnar och är också den brunn som ligger längst från tunnelsträckningen. Den största avsänkningen sker mellan början av april och början på oktober 2006, 4 m på ca sex månader, vilken har föregåtts av en viss nivåhöjning upp till strax över 180 m ö h. Efter avsänkningen sker återhämtning på ca 2,5 m på två månader (oktober-december) och grundvattenytan har sedan dess legat stabilt runt 179 m ö h. I början av februari har en ny avsänkning påbörjats åtföljd av en viss återhämtning i slutet av samma månad, (observera skalan i diagrammet).



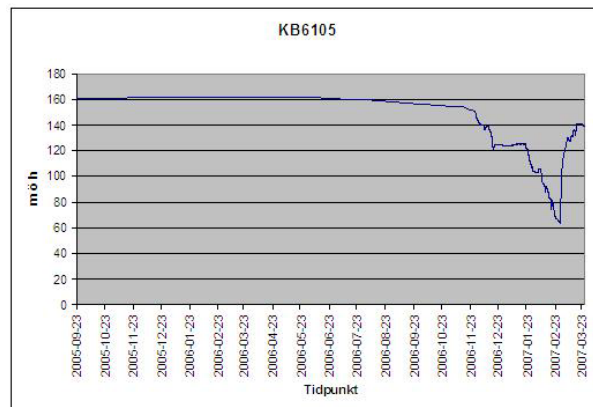
### MK62

Brunnens referensnivå ligger 171,87 m ö h och på grund av att brunnen inte borrades förrän i slutet av 2006 kan grundvattennivån vid mätstart redan vara påverkad av borrhningen. Därmed kan en normalnivå av tryckytan inte beräknas. Att vattennivån skulle vara påverkad indikeras av att kurvan redan från början visar på en långsam avsänkning. Denna avsänkning accelererar i slutet av november 2006 men avstannar i mitten av december och planar ut. Vattennivån ligger på en relativt stabil nivå fram till slutet av januari 2007 då avsänkning påbörjas igen. Mellan den 7:e februari och den 3:e mars finns inga tillförlitliga värden då vattennivån sjönk under mätinstrumentets nivå, vilket därmed gav felaktiga värden.



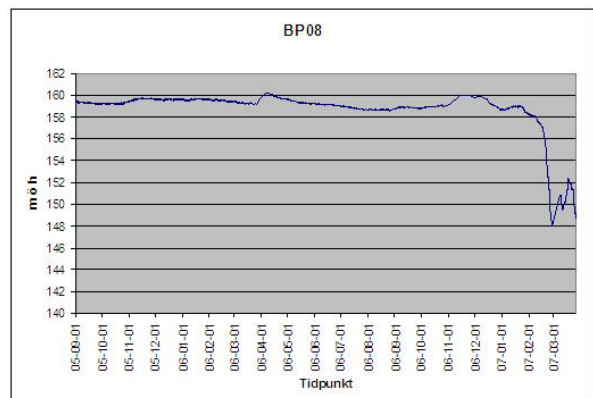
### KB6105

Referensnivån för KB6105 ligger 156,71 m ö h vilket innebär att brunnen normalt är artesisisk. Vid jämförelse med kurvan för MK62 från början av september 2006 syns en bra överensstämmelse i påverkan. Detta innebär att det finns en bra hydraulisk kontakt mellan dessa två brunnar. Det är svårt att avgöra när avsänkningen påbörjades då det inte finns några värden mellan 1 augusti och 28 september 2006 men troligtvis har den startat i slutet av september. Sedan accelererar avsänkningen i slutet av november, avstannar i mitten av december och accelererar igen efter den 7 februari. Totalt sänktes vattennivån i brunnen ca 95 m. Återhämtningen påbörjades 28 februari.



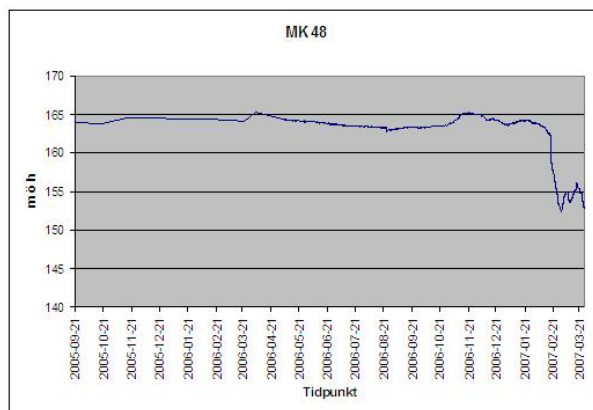
### BP08

Referensnivån för denna brunn ligger 160,73 m ö h och i normalfallet ligger tryckytanivån strax under den siffran. Brunnen är opåverkad fram till början av februari 2007, omkring den 7:e, då avsänkning påbörjas. Avsänkningen är totalt på ca 12 m. Därefter påbörjas återhämtning 28 februari, (observera skalan i diagrammet).

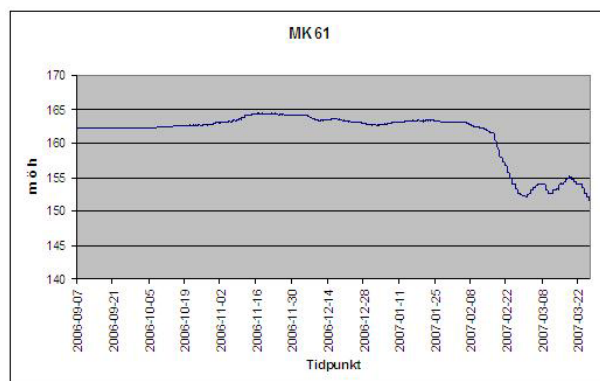


### MK48

Referensnivån för MK48 ligger 171,67 m ö h och i normalfallet befinner sig tryckytan 5-7 m under denna. Precis som BP08 visar MK48 ingen påverkan förrän i början av februari 2007. Kurvorna följer varandra väl, vilket tyder på att de tillhör samma sprickakvifär. Dock börjar MK48 avsänkas 7 mars efter återhämtningen som liksom vid BP08 påbörjades 28 februari och avsänkningen är även här ca 12 m, (observera skalan i diagrammet).

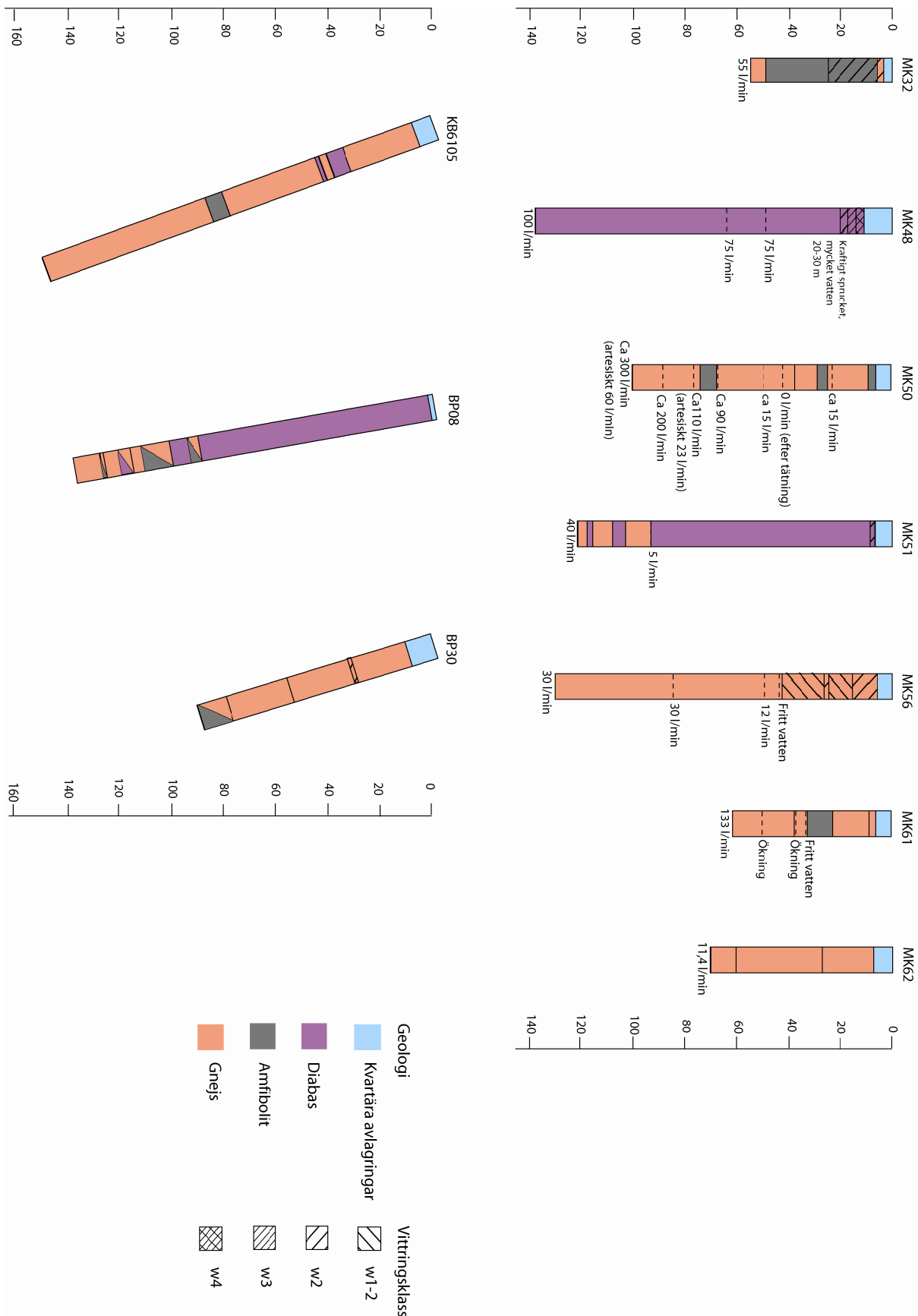


**MK61** Referensnivån för MK61 ligger 168,08 m ö h och normalnivån för grundvattentryckytan är här 162-165 m ö h. Precis som MK62 är MK61 borrat slutet av 2006 men är däremot inte påverkad förrän senare. Som för både BP08 och MK48 ses här en påverkan först i början av februari 2007 och avsänkningen avstannar efter ca 12 m. Kurvan börjar slutta neråt efter den 7 februari men accelererar inte förrän den 17. Avsänkningen avstannar i slutet av februari som för de andra brunnarna i området men påbörjas igen den 7 mars efter viss återhämtning, (observera skalan i diagrammet).



## Bilaga 4

Borrloggar för de tio brunnarna, ritade efter borrprotokoll. Det är enbart MK-brunnarna som har värden för vattenflöde då blåsning ej utförts i de tre andra brunnarna.



**Tidigare skrifter i serien  
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds  
Universitet”:**

167. Jönsson, Emma, 2003: En pollenanalytisk studie av råhumusprofiler från Säröhalvön i norra Halland.
168. Alwmark, Carl, 2003: Magmatisk och metamorf petrologi av en mafisk intrusion i Mylonitzonen.
169. Pettersson, Ann, 2003: Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise.
170. Axelsson, Katarina, 2004: Bedömning av potentiell föroreningsspridning från ett avfallsupplag utanför Löddeköpinge, Skåne.
171. Ekestubbe, Jonas, 2004:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geokronologi och implikationer för tolkningen av den Kaledoniska utvecklingen i Kebnekaise.
172. Lindgren, Paula, 2004. Tre sensveko-fenniska graniter: kontakt- och åldersrelationer samt förekomst av metasedimentära enklaver.
173. Janson, Charlotta, 2004. A petrographical and geochemical study of granitoids from the south-eastern part of the Linderödsåsen Horst, Skåne.
174. Jonsson, Sara, 2004: Structural control of fine-grained granite dykes at the Äspö Hard Rock Laboratory, north of Oskarshamn, Sweden.
175. Ljungberg, Carina, 2004: Belemnites stabila isotopsammansättning: paleomiljöns och diagenesens betydelse.
176. Oster, Jessica, 2004: A stratigraphic study of a coastal section through a Late Weichselian kettle hole basin at Ålabodarna, western Skåne, Sweden.
177. Einarsson, Elisabeth, 2004: Morphological and functional differences between rhamphorhynchoid and pterodactyloid pterosaurs with emphasis on flight.
178. Anell, Ingrid, 2004: Subsidence in rift zones; Analyzing results from repeated precision leveling of the Vogar Profile on the Reykjanes Peninsula, Southwest Iceland.
179. Wall, Torbjörn, 2004: Magnetic grain-size analyses of Holocene sediments in the North Atlantic and Norwegian Sea – palaeoceanographic applications.
180. Mellgren, Johanna, S., 2005: A model of reconstruction for the oral apparatus of the Ordovician conodont genus *Protospanderodus* Lindström, 1971.
181. Jansson, Cecilia, 2005: Krossbergskvalitet och petrografi i den kambriska Hardebergasandstenen i Skåne.
182. Öst, Jan-Olof, 2005: En övergripande beskrivning av malmbildande processer med detaljstudier av en bandad järnmalm från södra Dalarna, Bergslagen.
183. Bragée, Petra, 2005: A palaeoecological study of Holocene lake sediments above the highest shoreline in the province of Västerbotten, northeast Sweden.
184. Larsson, Peter, 2005: Palynofacies och mineralogi över krita-paleogengränsen vid Stevns Klint och Kjølby Gaard, Danmark.
185. Åberg, Lina, 2005: Metamorphic study of metasediment from the Kangilinaaq Peninsula, West Greenland.
186. Sidgren, Ann-Sofie, 2005:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -geokronologi i det Rinkiska bältet, västra Grönland.
187. Gustavsson, Lena, 2005: The Late Silurian Lau Event and brachiopods from Gotland, Sweden.
188. Nilsson, Eva K., 2005: Extinctions and faunal turnovers of early vertebrates during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden.
189. Czarniecka, Ursula, 2005: Investigations of infiltration basins at the Vomb Water Plant – a study of possible causes of reduced infiltration capacity.
190. G<sup>3</sup>owacka, Ma<sup>3</sup>gorzata, 2005: Soil and groundwater contamination with gasoline and diesel oil. Assessment of subsurface hydrocarbon contamination resulting from a fuel release from an underground storage tank in Vanstad, Skåne, Sweden.
191. Wennerberg, Hans, 2005: A study of early Holocene climate changes in Småland, Sweden, with focus on the ‘8.2 kyr event’.
192. Nolvi, Maria & Thorelli, Gunilla, 2006: Extraterrestrisk och terrestrisk kromrik spinell i fanerozoiska kondenserade sediment.
193. Nilsson, Andreas, 2006: Palaeomagnetic secular variations in the varved sediments of Lake Gołci<sup>1</sup>, Poland: testing the stability of the natural remanent magneti-



- zation and validity of relative palaeo-intensity estimates.
194. Nilsson, Anders, 2006: Limnological responses to late Holocene permafrost dynamics at the Stordalen mire, Abisko, northern Sweden.
  195. Nilsson, Susanne, 2006: Sedimentary facies and fauna of the Late Silurian Bjärsjölagård Limestone Member (Klinta Formation), Skåne, Sweden.
  196. Sköld, Eva, 2006: Kulturlandskapets förändringar inom röjningsröseområdet Yttra Berg, Halland - en pollenanalytisk undersökning av de senaste 5000 åren.
  197. Göransson, Ammy, 2006: Lokala miljöförändringar i samband med en plötslig havsyteförändring ca 8200 år före nutid vid Kalvövik i centrala Blekinge.
  198. Brunzell, Anna, 2006: Geofysiska mätningar och visualisering för bedömning av heterogenitetens utbredning i en isälvsavlagring med betydelse för grundvattenflöde.
  199. Erlfeldt, Åsa, 2006: Brachiopod faunal dynamics during the Silurian Ireviken Event, Gotland, Sweden.
  200. Vollert, Victoria, 2006: Petrografisk och geokemisk karaktärisering av metabasiter i Herrestadsområdet, Småland.
  201. Rasmussen, Karin, 2006: En provenansstudie av Kågerödformationen i NV Skåne – tungmineral och petrografi.
  202. Karlsson, Jonnina, P., 2006: An investigation of the Felsic Ramiane Pluton, in the Monapo Structure, Northern Moçambique.
  203. Jansson, Ida-Maria, 2006: An Early Jurassic conifer-dominated assemblage of the Clarence-Moreton Basin, eastern Australia.
  204. Striberger, Johan, 2006: En lito- och biostratigrafisk studie av senglaciala sediment från Skuremåla, Blekinge.
  205. Bergelin, Ingemar, 2006:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of basalts in Scania, S Sweden: evidence for two pulses at 191-178 Ma and 110 Ma, and their relation to the break-up of Pangea.
  206. Edvarsson, Johannes, 2006: Dendrokronologisk undersökning av tallbestånds etablering, tillväxtdynamik och degenerering orsakat av klimatrelaterade hydrologiska variationer på Viss mosse och Åbuamossen, Skåne, södra Sverige, 7300-3200 cal. BP.
  207. Stenfeldt, Fredrik, 2006: Litostratigrafiska studier av en plåtformad sand- och grusavlagring i Skuremåla, Blekinge.
  208. Dahlenborg, Lars, 2007: A Rock Magnetic Study of the Åkerberg Gold Deposit, Northern Sweden.
  209. Olsson, Johan, 2007: Två svekofenniska graniter i Bottniska bassängen; utbredning, U-Pb zirkondatering och test av olika abrasionstekniker.
  210. Erlandsson, Maria, 2007: Den geologiska utvecklingen av västra Hamrängesyklinallens suprakrustalbergarter, centrala Sverige.
  211. Nilsson, Pernilla, 2007: Kvidingedeltat – bildningsprocesser och arkitektonisk uppbyggnadsmodell av ett glacifluvialt Gilbertdelta.
  212. Ellingsgaard, Óluva, 2007: Evaluation of wireline well logs from the borehole Kyrkheddinge-4 by comparison to measured core data.
  213. Åkerman, Jonas, 2007. Borrkärnekartering av en Zn-Ag-Pb-mineralisering vid Stenbrånet, Västerbotten.
  214. Kurlovich, Dzmitry, 2007: The Polotsk-Kurzeme and the Småland-Blekinge Deformation Zones of the East European Craton: geomorphology, architecture of the sedimentary cover and the crystalline basement.
  215. Mikkelsen, Angelica, 2007: Relationer mellan grundvattenmagasin och geologiska strukturer i samband med tunnelborring genom Hallandsås, Skåne.



# LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Gentrum för GeoBiosfärsvetenskap  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund