

CHALMERS



SKREA BACKE

– Erfarenhetsåterföring och uppföljning av infrastrukturprojekt

Examensarbete inom miljö och vattenteknik

JOAKIM EKBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Teknisk geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2010
Examensarbete 2010:104



UPPSALA UNIVERSITET

EXAMENSARBETE 2010: 104

SKREA BACKE

Erfarenhetsåterföring och uppföljning av infrastrukturprojekt

Institutionen för bygg- och miljöteknik

JOAKIM EKBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Teknisk geologi

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

SKREA BACKE

Erfarenhetsåterföring och uppföljning av infrastrukturprojekt
Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik
JOAKIM EKBERG

© JOAKIM EKBERG, 2010

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA 2010:104

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Teknisk geologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Chalmers reproservice / Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2010

SKREA BACKE

Feedback of experience from an infrastructure project

Master's Thesis in the Aquatic and Environmental technique, Civil Engineering

JOAKIM EKBERG

Department of Civil and Environmental Engineering.

Division of GeoEngineering

Engineering Geology

Chalmers University of Technology

SUMMARY

Groundwater is something that is safeguarded and protected in Sweden. An interference with nature, such as an infrastructure project, causes conflicts and problems with the groundwater. Because of our water is worthy of protection many infrastructure projects are preceded of major investigations and lengthy court proceedings. This report aims to bring back some of the problems and experiences encountered in the development of the project at Skrea hill. Infrastructure projects are rarely followed-up on and this is another underlying reason for the report.

The report aims to compare the forecasts against actual results of water flow to the railway shafts and the size of the groundwater influence area. These two parameters were settled and restrained in the water appeal of the project. The forecasts were presented in the application for water appeal to Swedish Environment court.

The second section of the report analyzes how the established groundwater model for the area has been developed and deployed.

The result shows that both water flow to the excavations and the extent of influence area has been overestimated in the forecast. The main difference stems from the fact that in the application for water appeal, a worst case scenario has been simulated.

The analysis of groundwater model demonstrates that it provides an acceptable performance and design. The model gives greater credibility to forecasts of influence area than water flows. The report also states that considerable uncertainty exists regarding calculations made in the application, measurements of water flow and accuracy of model simulations.

The report is written in Swedish.

REFERAT

Grundvattnet är något som det värnas om i Sverige och ingrepp i naturen innebär ofta konflikter och grundvattenproblematik. På grund av vårt skyddsvärda vatten föregås många infrastrukturprojekt av omfattande förundersökningar samt tidskrävande domstolsförhandlingar. Denna rapport syftar till att återföra en del av de problemställningar och erfarenheter som uppkommit med i och med anläggningen vid Skrea backe. Det är sällan uppföljningar på infrastrukturprojekt genomförs och detta är ytterligare en bakomliggande anledning till rapporten.

Syftet med rapporten är att jämföra de prognoser mot verkligt utfall beträffande flöden till förskärningar samt storlek på influensområde. Dessa två reglerades i vattendomen för anläggningen och prognoserna för dem kommer från beräkningar gjorda i ansökan till densamma. Den andra delen i rapporten analyseras hur den upprättade grundvattenmodellen för området har byggts upp och utnyttjats.

Resultaten av arbetet visar att både flödena till förskärningarna och utbredningen av influensområdet har överskattats i prognoserna. Den största skillnaden härrör ifrån att man i ansökan om vattendom räknar på ett värsta fall scenario. Analysen av grundvattenmodellen visar på att den ger acceptabla resultat och är godtagbart konstruerad. Framförallt tycks den ge högre trovärdighet till beräkning av influensområden än av flöden. Rapporten påvisar att stora osäkerheter råder beträffande beräkningar i ansökan, mätningar av flöden och precision av simuleringar.

Handledarens förord

Följande examensarbete utgör en efteranalys av förundersökningar, numerisk modellering och prognoser för byggande av en järnvägstunnel, Skrea Backe, vid Falkenberg på Västkustbanan. Som sådant är det av speciellt värde eftersom retrospektiv analys och erfarenhetsåterföring från genomförda infrastrukturprojekt är alltför sällsynt. I arbetet ställs prognosen från förundersökningen mot de uppmätta förändringarna i den hydrogeologiska balansen. Här har ett antal nya tillämpningar för analys av påverkan på grundvattennivåer och avrinning vid bygge av tunnlar och förskärningar för en ny järnväg. Rapporten rekommenderas till läsning för den som önskar se analys av miljöpåverkan från grundvattendränering med ny metodik tillämpad i ett verkligt projekt.

Rapporten är välskriven och lättläst. Den är därmed ett bra examensarbete.

Göteborg i juni 2010

Gunnar Gustafson
professor

Innehåll

SUMMARY	i
REFERAT	ii
Handledarens förord	iii
1. INLEDNING	1
2. BAKGRUND	2
2.1. DOMSTOLSPROCESSEN	2
2.2. OMRÅDESBESKRIVNING	3
2.2.1. Geologi	3
2.3. HYDROLOGI OCH HYDROGEOLOGI	4
2.3.1. Nederbörd	5
2.3.2. Grundvattenytans läge	5
3. ANLÄGGNING OCH PROJEKTERADE SKYDDSÅTGÄRDER	6
3.1. FÖRSKÄRNINGAR	6
3.2. TUNNEL	6
3.3. PROJEKTERADE SKYDDSÅTGÄRDER	6
3.3.1. Fördröjnings och sedimenteringsdamm	6
3.3.2. Återinfiltration.....	7
3.3.3. Tätskärmar	7
3.3.4. Betongskärmar	8
4. TEORI	9
4.1. PROGNOTISERA INFLUENS	9
4.2. BERÄKNA INFLUENS.....	10
4.2.1. Medelinfluens	10
4.2.2. Beräkna influens med korsplottning	10
4.3. BERÄKNAD SAMVARIANS	12
4.4. GRUNDVATTENBILDNING	12
4.4.1. Använd metod i ansökan.....	12
4.4.2. Alternativ metod för beräkning av grundvattenbildning utifrån nivådata.....	12
4.5. BERÄKNA FLÖDE TILL FÖRSKÄRNINGARNA.....	14
4.5.1. Analytisk metod	14
4.5.2. Numerisk beräkning	16
4.6. GRUNDVATTENMODELLERING	16
4.6.1. Ekvationer för grundvattenflöde.....	17

4.6.2. Randvillkor.....	20
4.7. DATA.....	21
4.8. KONCEPTUELL MODELL	21
4.9. NUMERISKA METODER	21
4.10. KALIBRERING OCH VALIDERING	22
4.11. UTFÖRANDE AV MODELLRESULTAT	22
4.12. KÄNSLIGHETSANALYS.....	23
5. UTFÖRANDE	24
5.1. GRUNDTVATTENNIVÅER	24
5.1.1. Påverkan	25
5.2. BERÄKNADE FLÖDEN	29
5.2.2. Grundvattenbildning beräknad från nivåobservationer	30
5.2.3. Beräknade flödesvolymen för anläggningstid och fortvarighetstillstånd	33
5.3. UPPMÄTTA FLÖDEN.....	34
5.4. BERÄKNAD INFLUENS.....	36
5.4.1. Medelnivåer	36
5.4.2. Sommarnivåer	37
5.4.3. Höstnivåer	38
5.5. BERÄKNAD INFLUENS MED KORSPLOTTNING.....	39
5.6. KONCEPTUELL MODELL	41
5.6.1. Modellfölj.....	41
5.6.2. Utvärderad modell	42
5.7. NUMERISK MODELL.....	45
5.7.1. Grundvattenyta	45
5.7.2. Konduktiviteter.....	45
5.7.3. Randvillkor.....	47
5.8. KÄNSLIGHETSTEST	49
5.8.1. TRIAL AND ERROR.....	49
5.8.1.4. Ändring av randvillkor.....	54
5.9. VALIDERING	54
6. RESULTAT.....	56
6.1. BERÄKNAT FLÖDE MOT UPPMÄTT FLÖDE	56
6.2. BERÄKNAD INFLUENS MOT UPPMÄTT INFLUENS	56
6.3. RESULTAT AV KÄNSLIGHETSTEST	58

6.4. VALIDERINGSRESULTAT	58
7. DISKUSSION	58
8. SLUTSATSER	62
9. REFERENSER	63
APPENDIX	1

1. INLEDNING

Skrea backe ingår i den etapp av Västkustbanan, VBK, som heter Torebo-Heberg. Anledningen till utbyggnationen var att hela Västkustbanan skulle få dubbelspår och förebinda Öresundsregionen och Göteborg. Västkustbanan är en viktig länk för pendlare och transportväg för stora delar av de västra och södra delarna av Sverige. (www.banverket.se, 2009)

Delsträckan mellan Torebo-Heberg invigdes sommaren 2008. Tågen rullar nu genom den 575 m långa tunneln, som sträcker sig genom Skrea backe. Tillståndet för anläggningen förgicks av en lång och kostsam process av förstudie och många turer i vattendomstol samt senare miljödomstol och miljööverdomstol. Beslut från regeringen om utbyggnad av Västkustbanan togs redan 1997 och den första vattendomsansökan lämnades in till dåvarande Vattendomstolen 1998. Den avgörande domen föll i Miljööverdomstolen i september 2003. I den fastslogs vilka mängder av vatten som tilläts bortföras och till vilken nivå grundvattnet fick sänkas.

Ett infrastrukturprojekt, som det vid Skrea backe, där grundvattensänkning krävs, leder ofta till en omgivningspåverkan på ett eller annat sätt. Ett välkänt fall är tunneln genom Hallandsås, där försök till att minska grundvattenpåverkan har fått stora konsekvenser och stor uppmärksamhet i media. Projektet med tunneln genom Skrea backe har stora likheter med Hallandsås tunneln, men i mindre skala och mer lyckat genomförande.

För att kunna passera Skrea backe krävdes schaktning av två stora förskärningar innan och efter backen, samt en tunnel genom den. Projektet föregick av stora och omfattande konsekvensutredningar innehållande geologiska, geotekniska och hydrogeologiska undersökningar. Beräkningar för avsänkingsnivåer och ändrade grundvattenflöden gjordes med hjälp av en numerisk modell.

Under anläggningsfasen uppdagades att grundvattenflödet till förskärningarna var betydligt mindre än vad modellerna förutsade. Även grundvattensänkningen och påverkansområdet visade tecken på att vara mindre än vad som hade förutsatts. Detta faktum samt den långa och utdragna processen som föregick projektet är vad som ligger till grund för detta examensarbete.

Syftet med examensarbetet är att få en uppföljning och erfarenhetsåterföring för projektet vid Skrea backe. Arbetet är uppdelat i två olika områden.

- Jämförelsen mellan prognostiserade grundvattenflöden till tunnel och förskärningar mot verkligt uppmätta. Delen innefattar även att beräkna influensområde och jämföra det mot predikterad influens.
- Den andra delen innehåller analyser av den upprättade grundvattenmodellen för området. Analysen täcker in hur den hydrogeologiska konceptuella modellen ser ut och jämföra den med den numeriska modellen. Denna del innehåller även en känslighetsanalys samt validering av modellen.

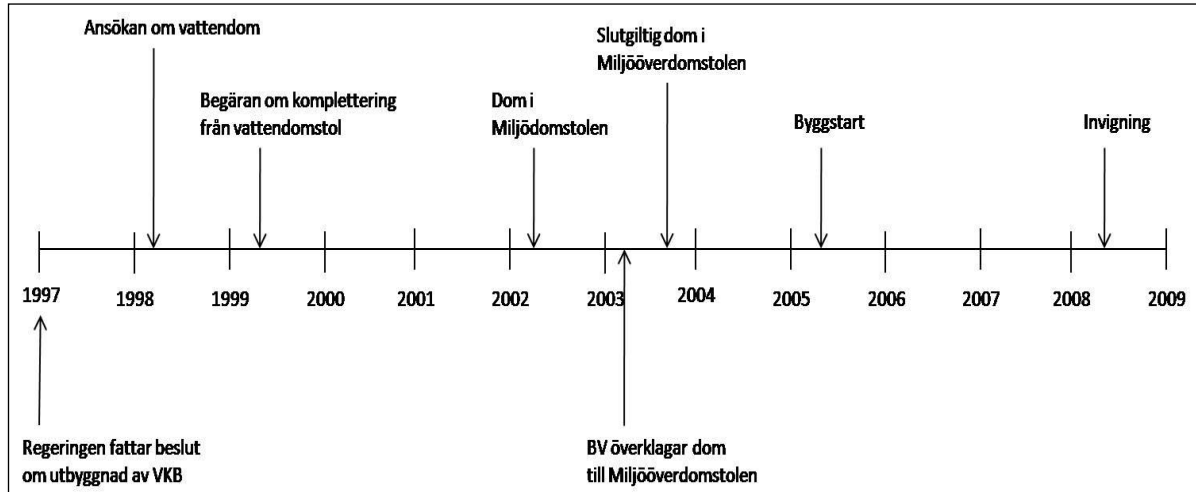
Avgränsning av examensarbetet.

- analyserna gäller endast för jordakvifär, inte bergakvifär.

2. BAKGRUND

2.1. DOMSTOLSPROCESSEN

För att genomföra projektet krävdes det av Banverket att man ansökte till Vattendomstolen, Miljödomstolen och Miljööverdomstolen om att sänka grundvattennivån och bortleda vatten från förskärningar och tunnel. Den första ansökan lämnades in till vattendomstolen i februari 1998 och domstolen begärde då in kompletteringar från Banverket om att ta fram bl.a. diverse skyddsåtgärder för att minska omgivningspåverkan på grundvattnet. Dessa skyddsåtgärder nämns kort nedan. Dom föll i ärendet 2002-01-09 och Banverket ålades att vidta de skyddsåtgärder som Miljödomstolen föreskrev. De åtgärder detta innefattade var en fördröjningsdamm på den södra sidan för att kontrollera flöden till den södra recipienten, en sedimenteringsdamm på den norra för att förebygga grumling av den norra recipienten, samt tätskärmar vid de båda schaktningarna. (Miljödomstolen, 2002) Domen överklagades av Banverket och den slutgiltiga domen föll 2003-09-02 i Miljööverdomstolen. Domen förkunnade till vilka nivåer grundvattnet fick avsänkas och vilka mängder vatten som fick bortföras, se tabell 1 nedan. Vid den norra skärningen tilläts banverket sänka grundvattenytan till 17,5 m ö h och vid den södra skärningen 14,5 m ö h. Alla ålägganden om skyddsåtgärder från tidigare dom ströks vid Miljööverdomstolens beslut. (Miljööverdomstolen, 2003)



Figur 1. Projektets utveckling från 1997 till invigningen 2008.

Tabell 1. Sammanställning av Miljööverdomstolens beslut om vilka mängder vatten Banverket tilläts bortleda under och efter anläggningstiden vid Skrea backe.

Miljööverdomstolens dom 2003-09-02				Recipienter		
	Bergtunnel	Norra skärningen	Södra skärningen	Totalt	Åtran	Dike
Anläggningsskede	122	6 170	4 295	10 600	6 300	4 300
Grundvatten	52	4 840	3 795			
Process- eller dagvatten	70 (P)	1 330 (D)	500 (D)			
				Norra skärningen		
Drift (prövotid 3år)	35	700 (max 4 555)	522 (max 3 030)	4 555	3 345	1 210
Grundvatten	35	640 (max 3 225)	500 (max 2 530)			
Dagvatten	-	60 (max 1 330)	22 (max 500)	Södra skärningen		
					-	3 030

(Volym i m³/dygn), (P) - processvatten, (D) - dagvatten

2.2. OMRÅDESBESKRIVNING

Området kring Skrea backe kännetecknas framförallt av brukad jordbruksmark. Väster om bansträckningen finns en golfbana och öster om går E6:an. Det finns en viss bebyggelse i område, framförallt uppe på backen och mot dess södra delar.

2.2.1. Geologi

Skrea backe består av en flack och långsträckt bergrygg som höjer sig 50 m över omgivande landskap. Bergryggen består av en bergskärna varpå morän och sand har avsatts på dess sidor. Formationen kallas för en drumlin.

2.2.2. Jordlager

Hela området kring Skrea backe är påverkat av de sediment som bildades efter inlandsisen tillbakagång. Detta har gett Åtrans dalgång en stor jordmaktighet som på vissa ställen kan uppgå till 60 m.

Vid den norra sidan av Skrea backe består det översta jordlagret av ett 1-3 m tjockt sandskikt. Under sanden följer friktionsjord av varierande maktighet och denna vilar på berg. Berget påträffas 3-10 m under markytan ett par hundra meter från tunnelöppningen och når ett större djup av uppemot 20 m närmare tunnelöppningen.

Ovanpå backkrönet består lagerföljden av ett mylltäcke överst, följt av morän av varierande tjocklek och sedan berg. Vid den södra tunnelöppningen är lagerföljden likartad, sand, ovanpå morän och underst återfinns berg. Längre söderut mot dalen finner man ett sammanhängande lager utav lera som uppgår till mellan 30-60 m. Denna lerbildning skapar ett tätande skikt mellan den överliggande sanden och den underliggande moränen.

2.2.3. Berggrund

Berggrunden består i huvudsak av röd till rödgrå granitisk gnejs. Det finns även lokala inslag av amfibolitlinser utspridda i området kring Skrea backe.

Sprickbildningen i berggrunden sammanfaller med den förskiffringsriktning som råder. Dessa sprick- och krosszoner bedöms vara dålig bergkvalitet och grundvattenförande. De hydrauliska konduktiviteterna för sprickzonerna, som beräknades från kärnborrhål, låg i storleksordningen $K = 10^{-8} - 10^{-7}$ m/s. Zonerna uppskattas vara 5-15 m breda. (Andersson, 2003)

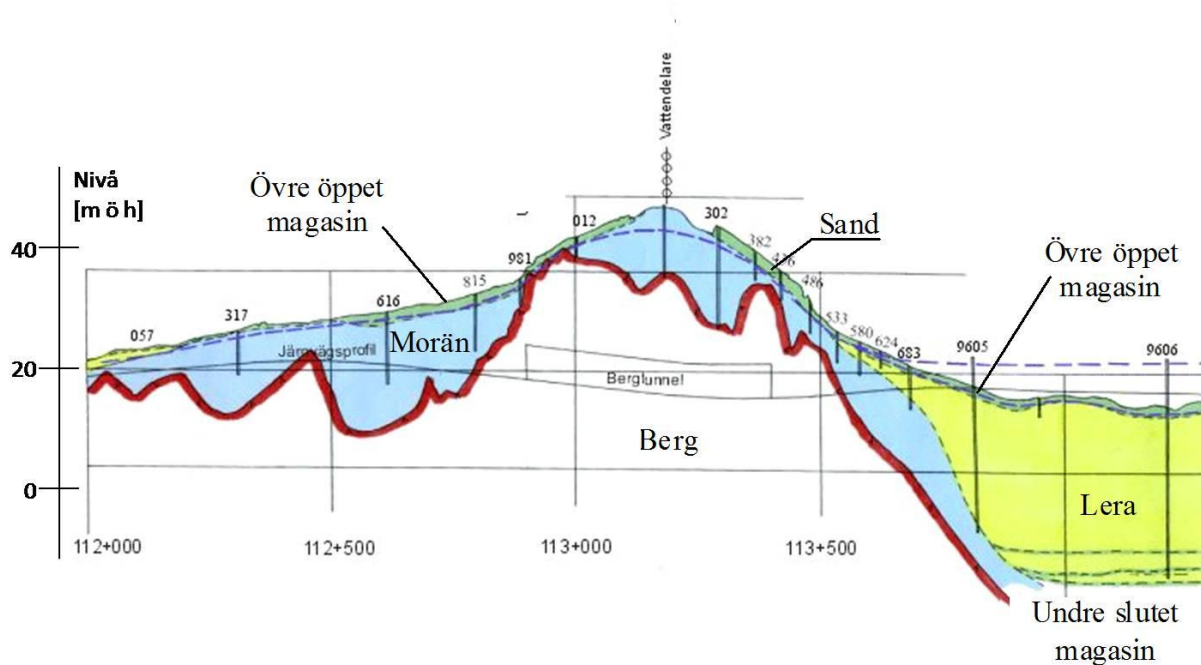
2.3. HYDROLOGI OCH HYDROGEOLOGI

Hydrologin och hydrogeologin skiljer sig mellan den norra och den södra delen av Skrea backe. Backen agerar som en vattendelare i landskapet och bildar hydrologisk gräns mellan de två områdena.

Vid den norra sidan av backen återfinns endast en grundvattenyta och akviferen betraktas vara öppen. Avrinningen sker i huvudsak norrut mot ån Ätran.

Vid den södra sidan finns två akviferer, en övre öppen och en undre sluten. Den övre akviferen återfinns i det översta sandlagret som har relativt liten mäktighet. Längre ut från backen, söderut mot dalgången, finns ett mäktigt lerlager. På stort djup under det täta lerlagret återfinns den slutna akviferen. Denna undre akvifer står under tryck och trycknivåerna kan uppgå till 6 m över markytan.

Vid den södra sidan är Suseån sekundär recipient och vattnet leds dit via dikesföretag, Skrea-Lynga.



Figur 2. Tvärsnitt av Skrea backe där de olika akvifererna åskådliggörs.

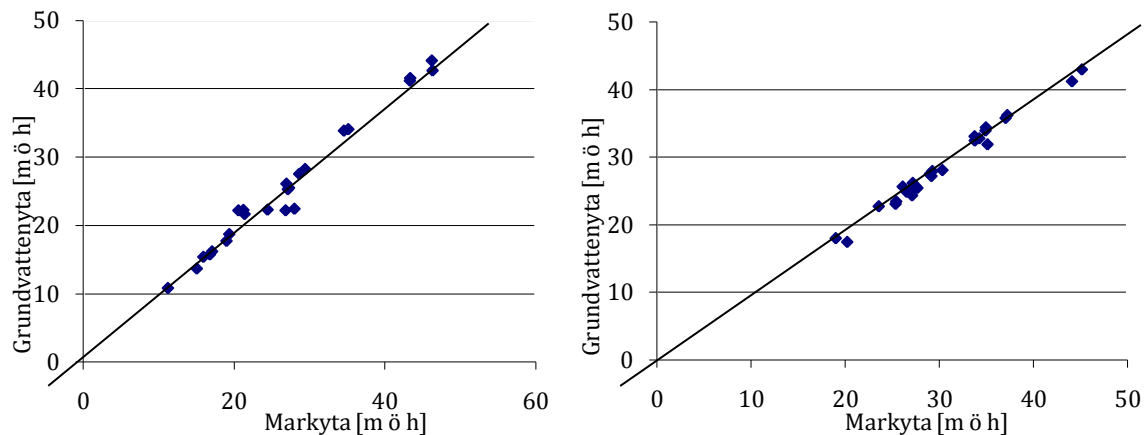
2.3.1. Nederbörd

Nederbörden över området har uppskattats med hjälp av data från SMHI:s närmast liggande mätstation. Denna heter Jonstorp och ligger ca 5 km norrut från Skrea backe. För åren 1961-1990 har årsmedelnederbörden varit 832 mm. Detta är ett okorrigerat värde vilket innebär att hänsyn ej tagits till felkällor vid mätning. Tänkbara felkällor kan vara vind, vidhäftning i mätanordning eller avdunstning. Det som är av relevans för att förutspå avrinningen och grundvattenbildning är nettonederbörden. Nettonederbörden beräknas genom att subtrahera evapotranspirationen från nederbörden. För området har nettonederbörden uppskattats av SMHI med hjälp av HBV-modellen, vilket har gett ett årsmedelvärde på 456 mm/år. (Lissel, 2000)

2.3.2. Grundvattenytans läge

Vid Skrea backes södra sida finns en övre öppen akvifer och en undre sluten. I den övre akviferen finns grundvattenytan 0,2-2 m under markytan och har en årsmedelfluktuations på 1,5 m. Grundvattenytan i den övre akviferen följer väl topografin i området, se figur 3. Den undre akviferen står under högt tryck och trycknivåer uppemot 6 m ö my är inte ovanligt. Den undre akviferens fluktuationsbredd ligger på 0,5-2 m.

Vid den norra sidan återfinns endast en öppen akvifer och grundvattenytan återfinns 0,2-9 m u my. Även här följer grundvattenytan topografin väl och årsmedelfluktuations ligger på omkring 2 m.



Figur 3. Plottning av markytan mot grundvattenytan. Den vänstra visar förhållandet vid Skrea södra och den högra Skrea norra.

3. ANLÄGGNING OCH PROJEKTERADE SKYDDSÅTGÄRDER

Skrea backe ingår i etappen Torebo-Heberg, som en del av Västkustbanan. Det krävdes stora åtgärder och ingrepp i naturen för att järnvägen skulle kunna passera denna sträckning. De förskärningar fram till tunnelpåslagen, som genomfördes skedde framförallt i jord men även till viss del i berg. Skärningarna konstruerades som öppna schakt och följden av detta blev att grundvattenytan sänktes till dikesbotten både norr och söder om tunneln.

3.1. FÖRSKÄRNINGAR

Framför det norra tunnelpåslaget genomfördes en stor förskärning i jord för att kunna komma i rätt nivå med järnvägsbanken in till tunneln. Denna jordskärning har ett varierat djup och når som djupast vid tunnelöppningen där den går ned till 17 m ö h. Längden på den norra förskärningen uppgår till 970 m.

Vid Skrea backes södra sida når jordschaktet en lägsta punkt vid 14 m ö h vid den södra tunnelöppningen. Denna förskärning har en längd på 340 m.

3.2. TUNNEL

Mellan de bägge förskärningarna, på varje sida om backen, finns idag en 560 m lång tunnel. Tunneln drevs fram med hjälp av borrhning och sprängning. Tunneldrivningen föregicks av kontinuerlig förinjektering, för att skapa en tätskärm. Tätskärmen hindrar vatten att läcka in till tunneln. Val av drivningsmetod, tättningsarbete och bergförstärkning styrdes av bergtäckning och bergkvalitet vid varje sektion.

3.3. PROJEKTERADE SKYDDSÅTGÄRDER

I samband med den långa tillståndprocessen till vattendom och projekteringen för Skrea backe framkom många krav på skyddsåtgärder för att minska påverkan på grundvattnet. Omfattande utredningar om nyttan och effekten av dessa åtgärder utfördes i samband med förstudier till projektet. Diskussion fördes även kring huruvida åtgärderna ansågs ekonomiskt försvarbara. Många av förslagen på åtgärder ströks av Miljööverdomstolen och några av dem har frångåtts under projektets genomförande. Föreslagna åtgärder samt deras eventuella genomförande diskuteras nedan.

3.3.1. Fördröjnings och sedimenteringsdamm

I tidigare domar som föregick det slutgiltiga beslutet i målet om Skrea backe ålades Banverket att vidta åtgärder för att minska påverkan på grundvattnet och recipienter. Detta innebar bland annat att man skulle anlägga en fördröjningsdamm vid den södra schaktningen. Dammen anlades för att kunna kontrollera flödet till den södra recipienten. Primärt är denna recipient ett dike genom Skrea-Lynga och sekundärt Suseån. Recipienten har kapacitetsbegränsningar och fördröjningsdammen skulle jämna ut de eventuella större momentana flödestoppar. Därmed regleras flödet och nivån i primärrecipienten. Dammen fungerar även som sedimenteringsdamm.

I Miljödomstolens beslut från 2002 beslutades även om att en sedimenteringsdamm skulle anläggas vid den norra schaktningen. Denna skulle under anläggningstiden minska grumligheten på det vatten som når recipienten Åtran.

3.3.2. Återinfiltration

En annan åtgärd som utreddes var att installera diken eller dammar där artificiell återinfiltration av vatten kunde ske. Denna åtgärd skulle ha potential att minska influensområdets utbredning och dämpa konsekvenserna av grundvattensänkningen. Enligt beräkningar av KM Bygg & Anläggningsteknik skulle påverkansområdet kunna minskas med 25 % om återinfiltration utnyttjades.

Den undersökning som låg till grund för vattendomsansökan visade på att åtgärden innebar många installations- och driftstekniska bekymmer. Den förordade tekniska lösningen innebar att man skulle låta vattnet återinfiltrera genom täckta diken. Åtgärden innebär stora drift- och underhållsproblem eftersom diken inte skulle kunna rensas.

Vattensammansättning i området visar på höga halter av järn och mangan. Båda dessa metaller förknippas med igensättningen och därmed skulle någon form av vattenrening krävas före återinfiltration. (Lissel, 2000)

Kostnaderna för återinfiltrering beräknades till 7-8 miljoner kronor. Den höga kostnaden tyckte varken Banverket eller Miljööverdomstolen stod i paritet med nyttan av åtgärden och den genomfördes aldrig.

3.3.3. Tätskärmar

Under domstolsförhandlingar framkom önskemål om att utreda effekterna av hur tätskärmar skulle kunna minska grundvattenflödet till förskärningarna. De två alternativ som beaktades var att slå ned en stålspons 20 m från släntkrönet eller en grävd slitsmur med en plastspont. Att slå ned en stålspons ansågs vara ett orimligt alternativ då jordens blockinnehåll skulle förhindra en korrekt installation. Alternativet med plastspont skulle med svårighet kunna genomföras. Grundvattnets flödesriktning i området är längs med sträckningen av järnvägen. Vid schaktning och installation av tätskärmar skulle flödesriktningen ändras och innebära att skärmarna skulle ge tydliga barriäreffekter. Strömningsriktningen skulle bli från väster till öster vilket skulle ge en dämningseffekt på uppströmssidan och en avsänkning på den östra sidan. För att lösa dessa bieffekter krävs en dränering vid den västra skärmen samt en återinfiltration vid den östra. Både dräneringen och återinfiltration ansågs vara teknisk komplicerade och av stor ekonomisk kostnad. Den totala kostnaden av åtgärdspaketet med tätskärmar uppskattades till 40 miljoner kronor.

Effekterna av eventuella skärmar beräknades genom att ta med dem i den numeriska grundvattenmodell som upprättats över området. Simuleringarna av modellen visade på en betydande minskning av influensområdet om skärmarna når ned till dräneringsnivån. Minskningen var såpass stor som 86 %. Trots denna tydliga förbättring åtgärden skulle innebära krävdes inte någon installation av tätskärmar. Anledningarna bakom att även denna åtgärd ansågs olämpligt var den höga kostnaden, den problematiska tekniska utformningen och osäkerheten av effekterna.

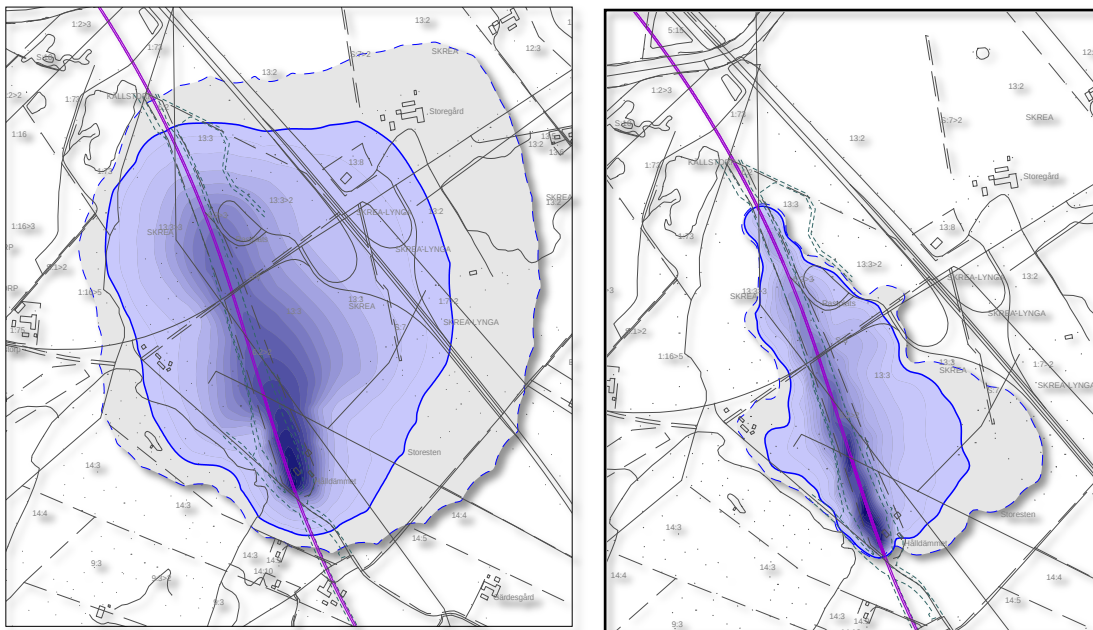
3.3.4. Betongskärmar

Även ett alternativ om att helt eller delvis konstruera täta betongtråg eller en tunnel vid förskärningarna togs upp i ansökan till Miljödomstolen. Dessa åtgärder skulle vid ett bästa utfall behålla den ursprungliga grundvattennivån och därmed inte påverka omgivningen alls. 6 olika åtgärdsalternativ togs fram där graden av täckning med betongtråg diskuterades. De olika alternativen ansågs ge ett influensområdet varierade från 0-100% och de beräknade merkostnaderna för åtgärden varierade mellan 0 och 238 miljoner kronor. Även här hävdade Banverket i sin överklagan att kostnaderna inte stod i paritet med nyttan. Miljödomstolen var av samma åsikt och åtgärden genomfördes aldrig.

4. TEORI

4.1. PROGNOTISERA INFLUENS

I den första ansökan till vattendom, som lämnades in 1998, beräknades ett influensområde som skulle uppstå i och med anläggningens genomförande. Storleken på influensen beräknades med hjälp av simuleringar i beräkningsprogrammet MODFLOW. Till underlag för dessa beräkningar låg grundvattennivåer uppmätta under hösten 1996. I ansökan nämns att nivåerna för denna period ligger något under det normala för årstiden, på grund av ringa grundvattenbildning under juli-96 till september -96. I de första modelleringarna simulerades ett värsta fall scenario. Detta för att ge en bild av hur den största påverkan på omgivningen skulle kunna bli. Det var även denna första simuleringens influensområde som vann laga kraft i Miljöverdomstolen. Kontrollområdet för influensen har bestämts till 0,1 m påverkan men även utbredningen för 0,3 m påverkan redovisas i resultatet, se figur 4.



Figur 4. Prognos för influensområde för den norra förskärningen. Den vänstra är beräknad på 1996 års värden och är symboliserar ett värsta utfall. Den högra är från en uppdaterad variant av grundvattenmodellen där naturlig dränering har lagts till modellen. Den anses vara mera trovärdig och betecknas därmed "troligaste" utfallet. Det streckade linjen visar 0,1 m avsänkning och den heldragna blå 0,3 m (Lissel, 2002).

4.2. BERÄKNA INFLUENS

För att beräkna hur stort influensområdet faktiskt blivit har två olika metoder använts. I det ena fallet används medelnivåer och den andra utnyttjas korsplottar mot referensrör.

4.2.1. Medelinfluens

För få en bild av influensen jämförs nivåerna under byggfasen mot tidigare uppmätta nivåer i varje rör, t.ex. sommarnivåer under byggfasen jämförs mot tidigare sommarnivåer för just det röret. Sommarmätningar har valts ut för att skapa influensområden, vilket ger tre olika områden: sommar -05, -06 och -07.

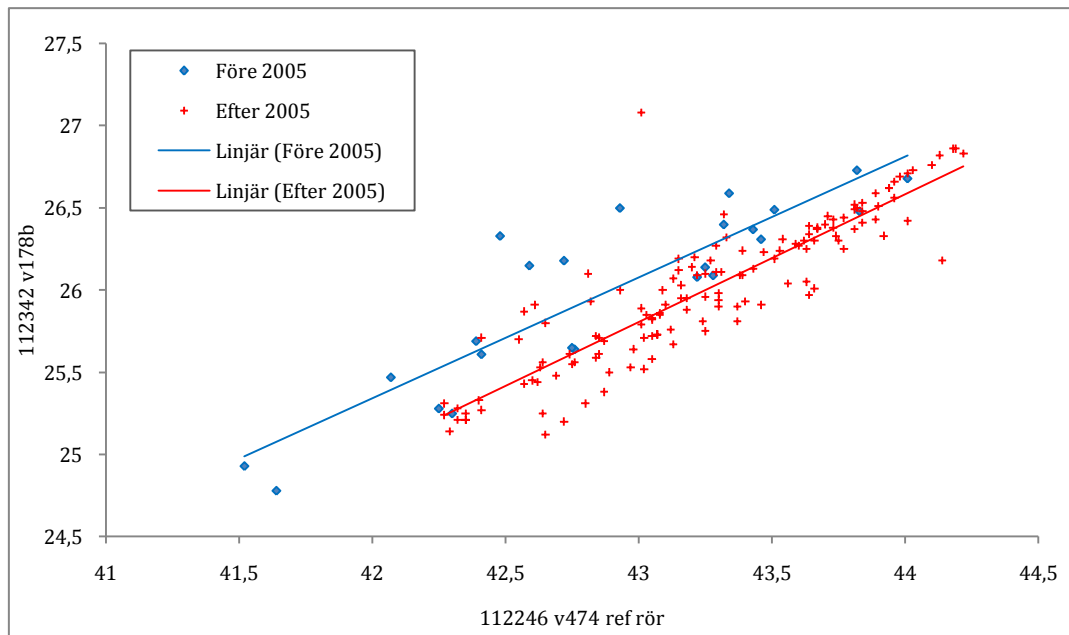
Influensberäkningar med höstnivåer har även genomförts då modellsimuleringarna av influensområde utnyttjat höstnivåer som underlag. Även helårsmedel har utnyttjats för beräkna influensområde. Metodiken var sådan att ett medelvärde skapades för varje rör för den avsedda perioden innan anläggningsstart för t.ex. sommarmånaderna juni-augusti. Endast ett värde per sommar användes för att undvika att t.ex. en nederbördsrik sommar får stort genomslag på medelvärdet. Ytterligare anledningen till att endast ett värde valdes per rör och sommar är att mätfrekvensen skiljer sig markant mellan varje sommar och varje rör.

Jämförelsen bestod i att ett medelvärde för sommarnivåerna för somrarna 2005-2008 jämfördes med sommarvärdet innan anläggningen. Skillnaden mellan före och efter värden ger avsänkningen. För att se influensen utbredning interpolerades avsänkningens värdena och en konturyta skapades för att visualisera storleken på grundvattenpåverkan. Interpolationen genomfördes i SURFER, ett program för kontur- och 3D-ytor. Interpolationsmetoden som utnyttjades var kriging. Gränser för influensen i ansökan till vattendom var 0,1 m och 0,3 m avsänkning. Dessa gränser har används i beräkningarna för att visa influensen utbredning. För att få bra interpolationer i beräkningsprogrammet lades punkter till, vilka låg långt ifrån förskärningarna. Dessa punkter ansågs vara opåverkade av anläggningen och ansattes till noll avsänkning .

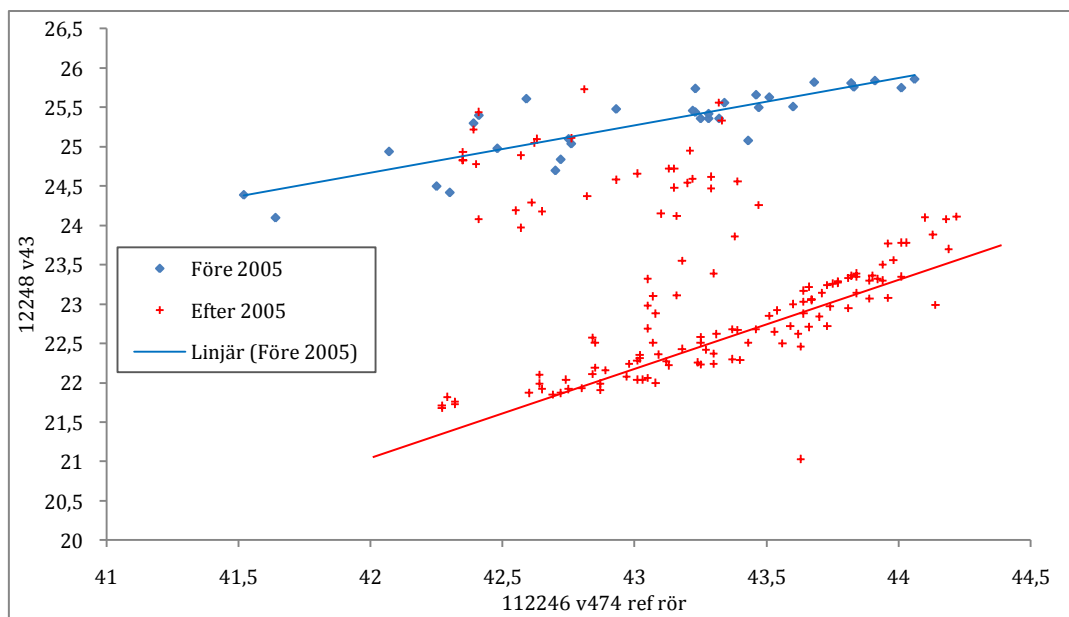
Samma metodik användes även för de beräknade höstinfluenserna samt områden som beräknats på helårsmedelvärden.

4.2.2. Beräkna influens med korsplottning

Ytterligare en metod har utnyttjats för att kunna beräkna influensområdet för grundvattensänkningen. Metoden går ut på att varje rör korsplottas mot referensröret (Svensson, 1984). Förfarandet ger en bild över hur väl det utvalda röret och referensröret samvarierar. En av fördelarna med detta är att man enklare kan få med årstidsvariationerna i beräkningen av påverkansområdet. Varje korsplott har delats upp i två serier, en innan anläggningsstart och en efter anläggningsstart. Till varje serie har även en trendlinje skapats i den mån det går och ser sannolik ut, se figur 5 och 6. För vissa serier har en beräknad trendlinje fått skevt och mindre troligt utseende. I dessa fall har en linje anpassats för hand, se figur 6. Från de båda seriernas linje har avsänkningen beräknats. Avsänkningen är skillnaden mellan de båda linjernas nivå enligt y-axeln. Endast vid en punkt på x-axeln har skillnaden mellan linjerna beräknats, vid $x = 43$ m, detta för hålla beräkning- och analystiden nere. Avsänkningarna har likt tidigare interpolerats i SURFER och en konturyta skapats.



Figur 5. Korsplott av rör 112342 178b mot referensrör. Trendlinje för varje serie är även redovisad och avsänkningen beräknad till 0,27 m.



Figur 6. Korsplott av rör 112248 v43 mot referensrör. Trendlinje för serien innan anläggningsstart är beräknad och linjen för serien efter anläggsstart är gjord för hand, detta är den heldragna röda linjen. Avsänkningen beräknad till 2,87 m.

4.3. BERÄKNAD SAMVARIANS

För att få en bild över hur rören samvarierar med referensröret har två olika korrelationsberäkningar genomförts. Den första metoden innebär att en korrelationskoefficient har beräknats fram mellan rören. För de två rören j och k beräknas korrelationskoefficienten, r, som:

$$r_{jk} = \sum x_{ji}x_{ki} / \sqrt{\sum x_{ji}^2 \sum x_{ki}^2} = \sum x_{ji}x_{ki} / N\sigma_j\sigma_k$$

där N = antalet observationsrör

x = observationstillfälle

σ = standardavvikelsen

Korrelationskoefficienten kan anta värden mellan +1 och -1. +1 representerar total samvarians medan -1 helt omvänd samvariation. En korrelationskoefficient, r = 0, innebär att inget linjärt samband kan ses. För att kunna utnyttja ett referensrör bör r = 0,9 (Svensson, 1984).

Den andra beräkningen av samvarians har gjorts med hjälp av kovariansen. Kovariansen är en del i uträkningen för korrelationskoefficienten.

$$kovar = \frac{\sum x_{ji}x_{ki}}{N}$$

Båda beräkningarna har utförts i EXCEL.

4.4. GRUNDVATTENBILDNING

4.4.1. Använd metod i ansökan

Avrinning från ett område kan ske som ytvatten och grundvatten. Det i Sverige rådande klimatet och geologin innebär att ytavrinning är sällsynt. Anledningen bakom detta är att markens infiltrationskapacitet sällan understiger nederbörden. Det vatten som inte avdunstar eller transpireras bort anses kunna infiltrera i marken och bilda grundvatten. Den specifika avrinningen i området används för att göra en uppskattning av grundvattenbildningen. Detta ansågs i ansökan vara en acceptabel metod ge en tillräckligt god uppskattning. Beräkning av grundvattenbildningen i området genomfördes med värdet på nettonederbörden samt storleken på inströmningsområde och utströmningsområde. Skillnaden mellan storleken på inströmnings- och utströmningsområde ansågs vara grundvattenbildande areal (Rodhe & Grip, 2003).

$$P_N * A_g = Q_{gv}$$

där P_N = nettonederbörd [m/dygn]

A_g = grundvattenbildande areal [m²]

Q_{gv} = nybildningen av grundvatten [m³/dygn]

4.4.2. Alternativ metod för beräkning av grundvattenbildning utifrån nivådata

För att försöka beskriva grundvattenbildningen i området runt Skrea backe har en metod utvecklad av Olin utnyttjats (Olin, 1994). Metoden består i att grundvattenbildningens storlek och tidfördelning bestäms endast utifrån grundvattennivådata. Resultatet är en grundvattenbildningsparameter, h_w , som är proportionell mot grundvattenbildningen. Utgående från grundvattennivåer skapas en recessionskurva, som visar grundvattensänkningens hastighet vid en viss grundvattennivå. De nedre punkterna i diagrammet sammanbinds till en rät linje. Dessa lägsta punkter representerar de högsta beräknade avsänkingshastigheterna vid en bestämd grundvattennivå. Där den rätta linjen korsar y-axeln är den lägsta nivå grundvattenytan kan nå vid naturliga förhållanden och betecknas som h_{01} . Lutningen på linjen ger akviferparametern, SA/H , som har dimensionen [dygn].

$$\frac{R}{H} = h_w = h + \frac{SA}{H} * \frac{dh}{dt}$$

där R = grundvattenbildningen [m/dygn]

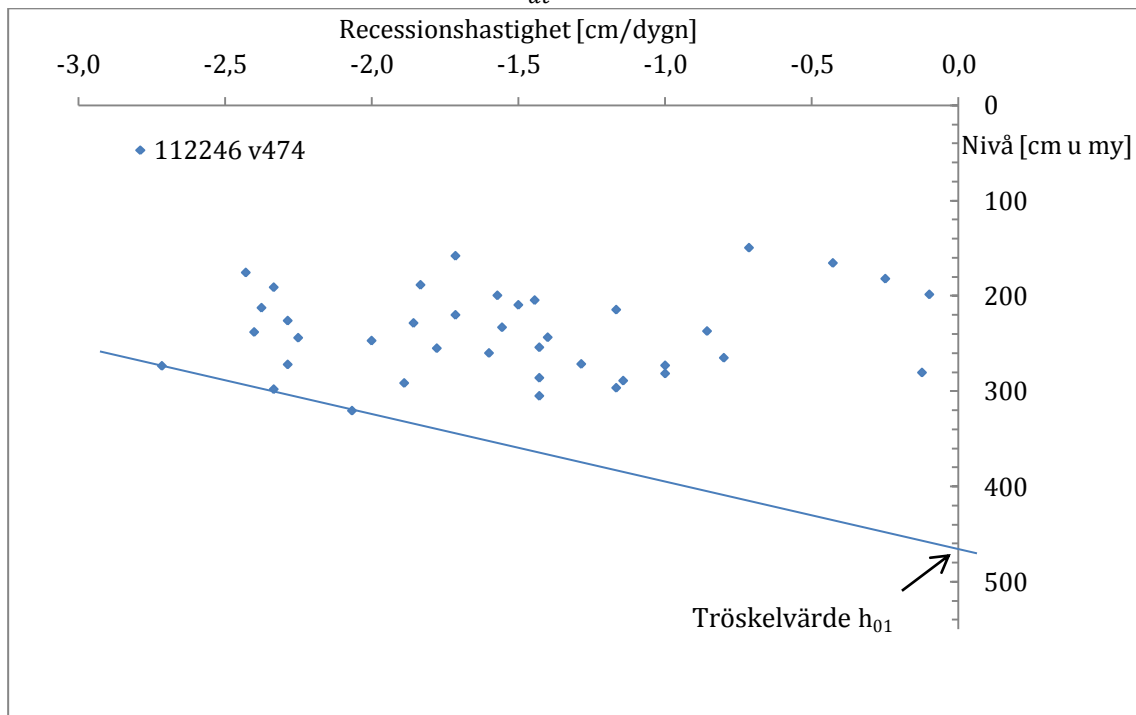
H = grundvattenavrinningskoefficient [m^2 /dygn]

h = grundvattennivå [m]

S = magasinsskoefficient [-]

A = akviferens area [m^2]

$\frac{dh}{dt}$ = ändringen av grundvattenytan med tiden [m/dygn]



Figur 7. Recessionsdiagram för referensröret 112246 v474. Skärningen med y-axeln representerar tröskelvärdet för röret.

Olin påpekar att mätintervallet är av stor vikt för att uppnå bra resultat med modellen. Variationer i grundvattenytans läge under kort tidsrymd går förlorade om mätintervallet är för långt. Om intervalltiden överskrider 15-20 dagar missas många korttidsvariationer och därför är data med högre tidsintervall inte lämpligt att använda i denna metod. Nivåmätningar för många rör kring Skrea backe finns sedan många år tillbaka, vissa har mätts sedan början av 90-talet. Dock varierar mätfrekvensen väldigt mycket mellan rören och även i tiden. Det mätintervall metoden kräver inträffar för de flesta rör i och med anläggningsstart och ofta upprätthålls mätfrekvensen endast i ca ett år. För att säkerställa att grundvattenförändringen inte beror av mänsklig aktivitet har endast rör som ansetts vara ringa eller utan påverkan från anläggningen används i utvärderingen av grundvattenbildningen.

Metoden används även till att beräkna de lägsta dräneringsnivåerna i området. Tröskelnivån h_{01} är den lägsta nivån grundvattenytan når under naturliga förhållanden.

4.5. BERÄKNA FLÖDE TILL FÖRSKÄRNINGARNA

Vid anläggning av de förskärningarna sänktes grundvattenytan undan och vatten strömmade fram till schakten. Banverket sökte i vattendomen tillstånd att leda undan inströmmande grund-, dag- och process vatten och volymerna fastslogs enligt tabell 1. Flödet till förskärningarna beräknades både analytiskt och numeriskt.

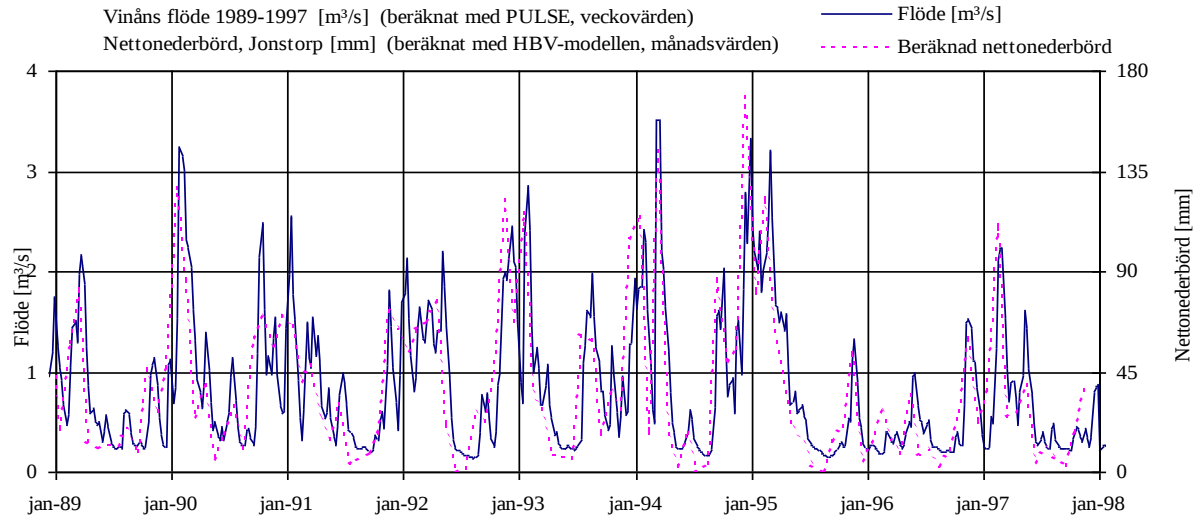
4.5.1. Analytisk metod

Beräkningar av de mängder vatten som förväntades nå förskärningarna grundar sig på nybildningen av vatten i området. Flödet till schakten beror även av storleken på det område, som förväntas avvattnas mot förskärningarna. Nybildningen beräknades genom att använda beräknade årsmedelvärden för nettonederbörden över området. Uppskattning av nettonederbörden gjordes av SMHI med hjälp av HBV-modellen och till indata användes årsmedelvärden av nederbördsmängder från åren 1965-1995. Arealernas storlek, som bidrar till inläckaget till respektive förskärning, togs fram med hjälp av den numeriska grundvattenmodellen över området. Beräkningen genomfördes enligt:

$$P_N * A_S = Q_S \quad (4.1)$$

där P_N = nettonederbörd [m/dygn]
 A_S = areal som avvattnas mot schakt [m²]
 Q_S = flöde av grundvatten till schakt [m³/dygn]

Denna analytiska metod ansågs uppskatta fortvarighetstillståndet av medelflödet till förskärningarna. I ansökan om vattendom för projektet krävdes även att maxflödet till schakten uppskattades. Maxflöden uppstår då grundvattenbildningen är som störst, som vanligtvis inträffar under våren och hösten. För att kunna beräkna maxflöden till förskärningarna jämfördes dessa hydrologiskt med Vinån, en å norr om Skrea Backe. Vinån är en hydrologisk lågpunkt i området, vilket förskärningarna även ansågs vara. Variation i nettonederbörden ansågs avspeglar sig i Vinåns avrinning och därmed antogs att samma förhållande skulle gälla för förskärningarna. Det antogs att variation i nederbörd ger en variation i Vinåns avrinning, se figur 8. Figuren visas hur sambandet mellan nettonederbörd och Vinåns avrinning bör se ut enligt utförda beräkningar.



Figur 8. Beräknat flöde i Vinån samt beräknad nettonederbörd.

Detta förfarande skulle då ge en bild av maxflöden till förskärningarna. Jämförelse mellan flödet i ån och nettonederbörden visar att dessa följs väl åt. En kvot beräknades mellan medelvärdet av flödet i ån och dess maxflöde. Maxflöde i ån ansågs inträffa vid största nettonederbörd och gav därmed även upphov till högsta avrinning till ån. Analogt ansågs kvoten mellan medelflöde och maxflöde kunna användas till att försöka prediktera maxflöde till förskärningarna med hjälp av nettonederbörden. Förhållningssättet innebar att vid högsta nettonederbörd skulle de största flödena till förskärningarna inträffa. (Lissel, 2000)

Beräkningarna genomfördes enligt:

$$\frac{\max}{\text{medel}} * P_{N,\max} * A_s = Q_{s,\max} \quad (4.2)$$

där

$P_{N,\max}$ = max nettonederbörd [m/dygn]

A_s = areal som avvattnas mot schakt [m²]

$Q_{s,\max}$ = maxflöde av grundvatten till schakt [m³/dygn]

Det uppkom även krav från Miljödomstolen på att beräkna de högsta flöden som skulle kunna uppstå under anläggningsfasen då schaktningarna genomfördes. För att kunna beräkna inläckaget under anläggningstiden användes data från fältundersökningar gjorda vid Skreas norra del, hösten 1999. Ett av syftena med undersökningen var att analysera avsänkingsförloppet för den övre sandakviferen samt den undre moränen. I undersökningen genomfördes en provschaktning för att se hur stort flöde är precis efter schaktets färdigställande samt efter hur lång tid flöde planar ut till ett basflöde, även kallat ”pseudostationärt” tillstånd. Kvoten mellan det initiella flödet och ”pseudostationära” tillståndet användes för att uppskatta flödet till förskärningarna under anläggningstiden. (Berntson & Lissel, 1999)

4.5.2. Numerisk beräkning

Flödet till förskärningarna beräknades numeriskt med hjälp av grundvattenmodellen över området.

4.6. GRUNDVATTENMODELLERING

Modeller ger en förenklad och ungefärlig bild av verkligheten. En matematisk modell simulerar indirekt grundvattenflödet i marken med avseende på de fysiska processerna i marken och med hjälp av styrande ekvationer och randvillkor. Många hydrologiska problem och modeller kan lösas analytisk. Om den analytiska lösningen anses ge ett för dåligt resultat eller att problemet är för komplext kan en numerisk lösning vara att föredra.

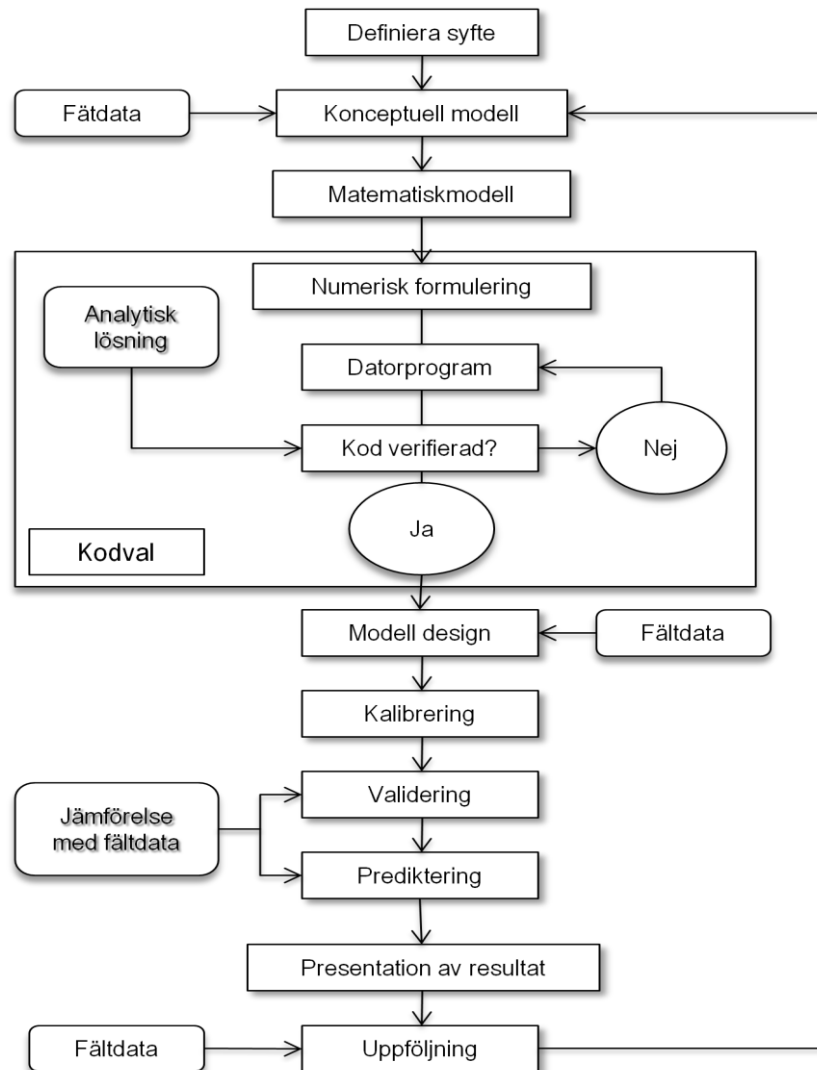
Byggandet av en grundvattenmodell startar med att en konceptuell modell upprättas över modellområdet. I den identifieras hydrologiska gränser och vilka fältdata som är nödvändiga för att kunna genomföra simuleringen.

Nästa steg i modelleringen är att överföra den konceptuella modellen till en numerisk. Detta innebär att innehållet i den konceptuella modellen översätts på så sätt att den passar modellutformningen. I detta steg konstrueras även modelldesignen och rutnätet. I översättningen mellan modellerna ansätts även preliminära randvillkor och modellparametrar. I detta skede tas beslut om vilken typ av tidsmodellering som ska genomföras. Valet står mellan att modellera över tiden, s.k. *transient* modellering, eller att utesluta tidsfaktorn, s.k. *steady-state* modellering

Modellkonstruktionen fortsätter med kalibrering av modellen. Kalibrering görs mot uppmätta fältdata i form av nivåer och flöden och modellen anpassas så att god samstämmighet mellan modellen och verklighet uppnås. Kalibreringen kan göras enligt *trial-and-error* anpassningen eller med hjälp av automatiserat parameteruppskattningsprogram.

För att uppnå större trovärdighet för modellens resultat valideras den mot ytterligare uppmätta fältdata.

Ovan beskriva angreppssätt och generella arbetsordning visualiseras i figur 9 nedan.



Figur 9. Generell arbetsgång vid grundvattenmodellering (Anderson & Woessner, 1992)

4.6.1. Ekvationer för grundvattenflöde

De styrande ekvationerna i grundvattenmodellering har sitt ursprung från grundläggande ekvationer inom grundvattenflöde. Darcys lag och kontinuitetsekvationen är de två sambanden som här redovisas för att beskriva de dominerande ekvationerna i grundvattenmodelleringen.

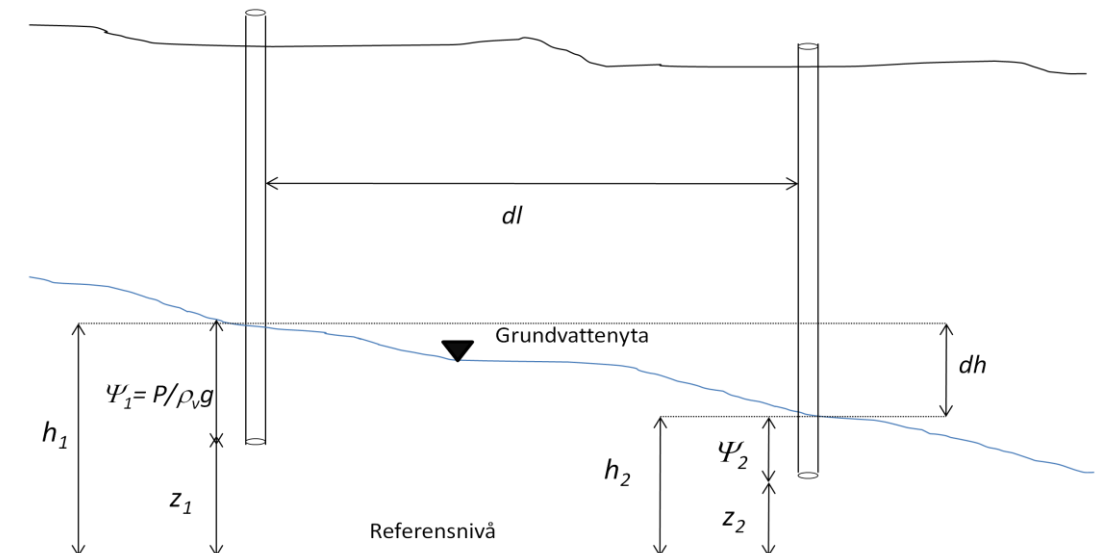
Grundvattenflödet i marken drivs av hydrauliska gradienten som råder på platsen. Gradienten uppkommer genom att det vid två skilda platser, separerade med ett visst avstånd, råder olika totalpotential. Flödet i marken sker då från hög totalpotential mot lägre. Totalpotential kan beskrivas med hjälp av Bernoullis ekvation. Bernoullis ekvation säger att den totala energin för en inkompressibel vätska är konstant vid alla lägen i flödeslinjen för ett slutet system. Detta kan uttryckas,

$$gz + \frac{P}{\rho_v} + \frac{v^2}{2} = \text{konstant} \quad (4.3)$$

där g är gravitationen, z är höjden över referensnivån, P är trycket på vattenpelaren, ρ_v är vattnets densitet och v är vattnets hastighet. Sambandet visas i figur 10 nedan. Den tredje termen i ekvation 4.3 representerar den kinetiska energin i vattnet. Eftersom hastigheten i grundvattenflöde betraktas som låg försummas denna term. Dividera ekvation 4.3 med g fås ett uttryck för totalpotentialen h ,

$$h = z + \frac{P}{\rho_v g} \quad (4.4)$$

Ekvationen beskriver nu summan av lägespotentialen z och tryckpotentialen $P/\rho_v g$ och representerar totalpotentialen, h . $P/\rho_v g$ ersätts ofta med Ψ (Domenico & Schwartz, 1997).



Figur 10. Illustration över totalpotential, tryckpotential och lägespotential.

Den hydrauliska gradienten uppstår genom skillnaden i totalpotential mellan olika punkter. Gradienten kan uttryckas som,

$$\frac{\partial h}{\partial l}$$

där dh är skillnaden i totalpotential och dl är den längdskillnaden mellan punkterna. Gradienter återfinns i alla längdriktningar x , y och z .

4.6.1.1. Darcys lag

Redan 1856 beskrev Henry Darcy hastigheten på flödet i marken är proportionell mot den rådande hydrauliska gradienten. Darcys lag kan generellt skrivas,

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial l} \quad (4.5)$$

men för alla riktningar x , y och z enligt,

$$\begin{aligned} q_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ q_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \quad (4.6)$$

där q_x , q_y , q_z = flödes hastigheten i längdriktningarna x , y och z

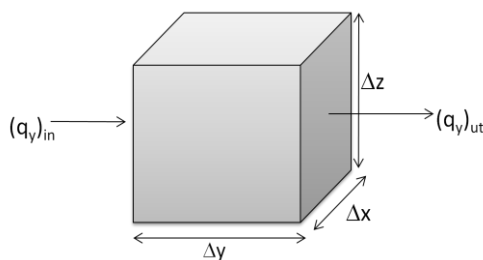
K_x , K_y , K_z = hydrauliska konduktiviteten i x -, y - och z -led

$$\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial y}, \frac{\partial h}{\partial z} = \text{hydraulisk gradient}$$

(Domenico & Schwartz, 1997)

4.6.1.2. Kontinuitetsekvationen

Kontinuitetsekvationen bygger på det mest fysiskt fundamentala för ett flöde nämligen att balans råder mellan inflöde, utflöde och lagring i en akvifer. Skillnaden mellan inflöde och utflödet är hur mycket som lagras i akviferen. För en volym med dimensionerna Δx , Δy och



Figur 11. Representativ volym varigenom flöde sker.

Δz ger detta ekvationen,

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} - R^* \right) \Delta x \Delta y \Delta z \\ &= \text{förändring i lagring} \end{aligned} \quad (4.7)$$

där

R^* = sänka eller källa

Förändringen i lagring kan uttryckas såsom,

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (4.8)$$

där

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{ändring av lagring över tiden}$$

Sätter man samman ekvation 4.7 och 4.8 ger det

$$\left(\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} \right) = -S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad (4.9)$$

där

S_s = Specifik magasinskoefficient

(Anderson & Woessner, 1992)

4.6.1.3. Styrande ekvation

Genom att kombinera ekvation 4.6 och ekvation 4.9 fås den styrande ekvationen för grundvattenflöde. Ekvationen lyder,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (4.10)$$

(Anderson & Woessner, 1992)

4.6.2. Randvillkor

Randvillkor är matematiska uttryck för hur grundvattnets flöde och nivå ska vara vid gränserna i en modell. Rätt ansatta randvillkor är ett kritiskt steg i modelluppbyggandet för att kunna återskapa en trovärdig representation av verkligheten. Randvillkoren skall med fördel ansättas vid naturliga ränder. Naturliga ränder är bland annat fysiska gränser, såsom berg och större vattendrag, och hydrologiska gränser, såsom vattendelare och flödeslinjer.

Hydrogeologiska randvillkor är representerade av tre följande matematiska villkoren,

- *Dirichlets* villkor, vilket innebär att en totalpotential ansätts till ett konstant värde.

$$h = C, \text{ där } C \text{ är ett konstant värde.}$$

- *Neumanns* villkor, vilket anger flödet över randen.

$$\frac{dh}{dN} = C, \text{ där } C \text{ är ett konstant värde och } N \text{ är normalen till gränsen.}$$

- *Cauchys* villkor, vilket är ett mixat villkor av som tar hänsyn till både nivå och flöde vid gränsen.

När gränser och ränder simuleras i modeller används olika matematiska villkoren för att efterlikna verkligheten. De tre olika randvillkoren som kommer diskuteras här kommer från programmet MODFLOW, vilket är det program som används här för simuleringar.

Specified head är det randvillkor som utnyttjar *Dirichlets* ansats och innebär att en känd trycknivå ansätts vid randen. Denna rand kan då fungera som en oändlig källa av vatten till modellen om omkringliggande celler har en lägre trycknivå eller tvärtom som en oändlig sänka om de omkringliggande cellerna har högre trycknivå. Detta randvillkor används då man känner till trycknivån vid en gräns och vet att det inte ändrar sig under tiden. Exempelvis används den för att simulera vattendrag såsom sjöar och floder som man vet är vid konstant nivå.

För att få en mera anpassningsbar men ändå bestämd gräns kan randvillkoret *General head* utnyttjas. Vid användande av detta villkor bestäms flödet över randen i förhållande till omgivande trycknivåer. Fördelen med detta randvillkor är att det kan användas då trycknivån vid randen inte är konstant i tiden utan kan ändras i förhållande till omkringliggande nivåer.

För att symbolisera att inget flöde sker över randen används ett villkor som kallas *no flow*.

Detta randvillkor utnyttjar *Neumanns* villkor då $\frac{dh}{dN} = 0$. *No flow* används vid gräns mot

ogenomträngligt berg, för grundvattendelare eller för då flödeslinjer löper parallellt med en gräns (Anderson & Woessner, 1992).

4.7. DATA

De nödvändiga data som krävs för att genomföra grundvattenmodellering kan delas in i två olika kategorier. Den första kategorin innehåller parametrar för den fysiska och geometriska strukturen i området. I denna återfinns bland annat den geografiska utbredningen av området, jord- och berglagrens tjocklek och utbredning samt topografin.

Den andra kategorin innehåller hydrogeologiska parametrar. I den ingår akviferernas egenskaper, såsom hydraulisk konduktivitet och specifik lagring, grundvattenytan, grundvattenbildning och evapotranspiration (Anderson & Woessner, 1992).

4.8. KONCEPTUELL MODELL

Innan den numeriska modellen byggs upp görs en konceptuell modell för systemet som ska simuleras. En konceptuell modell är en bildmässig representation av områdets uppbyggnad och grundvattenflöde. Det är den konceptuella modellen som ligger till grund för den numeriska modellens utformning och även dess riktighet. Syftet med en konceptuell modell är att förenkla de verkliga problemen så att en numerisk analys kan genomföras.

Generaliseringarna är nödvändiga för att en numerisk modellering ska kunna genomföras, dock är det även nödvändigt att upprätthålla en viss nivå av komplexitet i modellkonstruktionen för att få adekvata resultat. Just att den konceptuella modellen är en riktig och god representation av systemet är av stor vikt för att få bra resultat.

Första steget i en konceptuell modell är att definiera gränserna för modellen. Gränsdragningen ska i möjligaste mån dras vid för området redan naturliga hydrologiska gränser, såsom t.ex. vattendrag. (Anderson & Woessner, 1992) Ibland är detta inte möjligt att genomföra, då ska gränserna dras så att det ger minimal påverkan på de viktigaste och intressantaste delarna av modellen.

4.9. NUMERISKA METODER

De styrande ekvationerna för grundvattenflöde kan lösas både analytiskt och numeriskt. Den analytiska lösningen kräver stora förenklingar och generaliseringar, bland annat antas homogenitet och endast flöde i en eller två dimensioner. Att utnyttja en numerisk lösning är ett vanligt tillvägagångssätt för att uppnå goda resultat om komplexiteten i lösningen vill behållas.

Det finns flertalet numeriska metoder som löser ekvationerna för grundvattenflöde. De mest använda är finita elementmetoder och finita differensmetoder. I projektet Skrea backe har programmet MODFLOW används för att simulering. Detta program använder sig av en finit differensmetod för lösa algoritmerna för grundvattenflöde och därför kommer fokus ligga på att förklara denna numeriska lösningsmetod (Anderson & Woessner, 1992).

Finita differensmetoder används för att numerisk kunna lösa ordinära differentialekvationer och partiella differensmetoder med hjälp av approximerade ekvivalenta finita differenser. En finit differenslösning förutsätter att modellområdet delas in i ett antal beräkningsceller och i dess mitt finns en nod, varvid beräkningen sker. Värdet som beräknas i noden är ett medelvärde som gäller för hela den cellen (Domenico & Schwartz, 1997).

4.10. KALIBRERING OCH VALIDERING

Kalibrering av modeller görs för att visa att modellen är kapabel att producera resultat som matchar uppmätta värden från fältundersökningar. Utförandet av kalibreringen görs genom ansätta randvillkor, startvillkor och egenskaper så att modellresultaten efterliknar verkligheten. Till referens för kalibreringen används t.ex. uppmätta grundvattennivåer för ett speciellt datum eller år. Modellen körs och dess resultat jämförs med referensvärdet. Om värden skiljer sig åt ändras modellen egenskaper eller ränder och en ny körning av modellen genomförs. Denna iterativa process fortgår till önskad samstämmighet mellan modell och verklighet har uppnåtts.

När kalibreringen är avklarad testas modellen mot ett andra uppmätta data för ett annat tillfälle eller år. Denna process kallas validering och genomförs för att fästa större tilltro till modellen. En modell anses vara validerad om dess prediktiva förmåga och noggrannhet faller inom ramen för accepterade felmarginal vid jämförelse mot data skilt från kalibreringen (Anderson & Woessner, 1992).

4.11. UTVÄRDERING AV MODELLRESULTAT

Resultaten från en kalibrering kan utvärderas både kvalitativt och kvantitativt. En jämförelse mellan simulerade och beräknade flödeslinjer eller konturytor kan vara en kvalitativ utvärdering av modellens riktighet. En kvantitativ utvärdering kan vara att jämföra uppmätta trycknivåer mot simulerade. Skillnaden mellan dessa två värden är felet och det är detta som skall eftersträvas att minskas. I MODFLOW finns det i kalibreringsfunktionen ett antal inbyggda ekvationer som beräknar medelfelet mellan simulerade värden och uppmätta. Dessa är

1. Medelfelet ($ME = \text{mean error}$) mellan uppmätta och simulerade trycknivåer.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i$$

2. Absolut medelfelet ($MAE = \text{mean absolute error}$), vilket är det absoluta felet mellan uppmätta och simulerade trycknivåer.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(h_m - h_s)_i|$$

3. Kvadratisk medelvärde ($RMS = \text{root mean squared}$) är medeltalet av kvadrerade felet.

$$RMS = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i^2 \right]}$$

Där h_m är modellerad trycknivå, h_s är simulerad trycknivå och n är antalet rör. Av dessa utvärderings kriterier är RMS oftast det mest tillförlitliga hjälpmedlet, om felen anses vara normalfördelade (Anderson & Woessner, 1992).

4.12. KÄNSLIGHETSANALYS

En känslighetsanalys är ett viktigt steg i alla modelleringar. Känslighetsanalys syfte är att se på robustheten hos modellen då ingående parametrar och randvillkor ändras. Osäkerhet i parametrar och randvillkor orsakar osäkerhet i den kalibrerade modellen vilket ger osäkra resultat. Vid en känslighetsanalys ändras värden systematiskt på villkor och parametrar inom ramen för hur mycket de kan tänkas variera och felet som uppstår jämförs med felet från den kalibrerade modellen. Det nya felet ger en indikation på hur mycket just den testade parametern påverkar resultaten av modellen. Eventuellt kan två eller flera parametrar ändras samtidigt för att visa på möjliga extrema resultat (Anderson & Woessner, 1992).

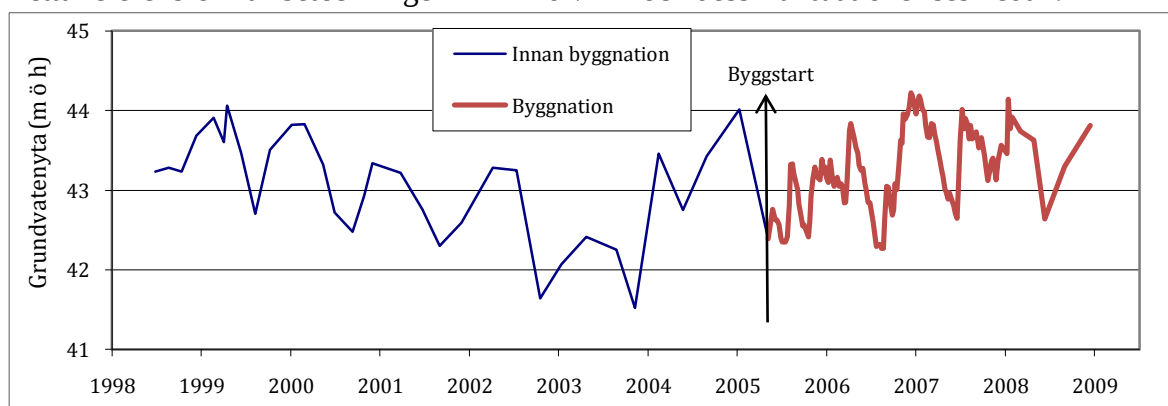
5. UTFÖRANDE

5.1. GRUNDVATTENNIVÅER

I och med vattendomens avkunnande skapades ett kontrollprogram för att övervaka grundvattennivåerna i området. Mätningar av grundvattnet har skett sedan tidigare i diverse rör och brunnar och går så pass långt tillbaka som slutet av 1980-talet. I kontrollprogrammet ingick som mest 95 st. Dessa var utspridda över hela området och nedslagna till olika djup. Det fanns även en variation av hur rören var placerade, det fanns rör i jord, rör i berg, borrhade brunnar och artesiska källor.

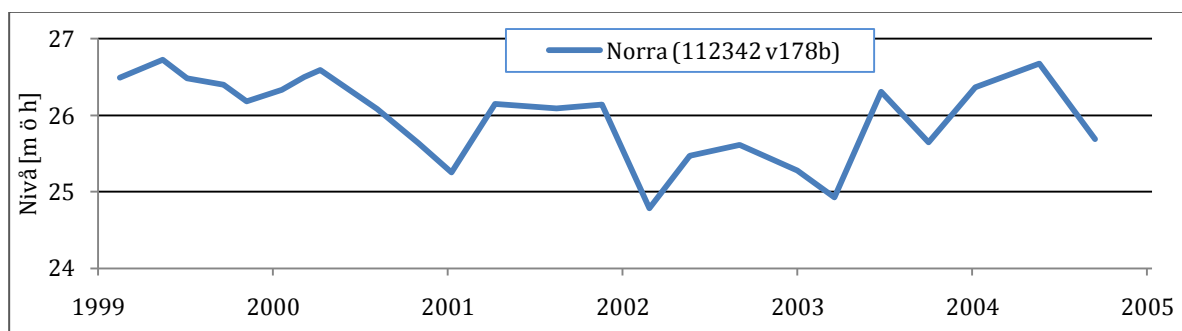
För att få en korrekt översyn av hur grundvattnet har påverkats valdes vissa representativa rör ut för analys. En del av de utvalda rören användes för kalibrering av den grundvattenmodell som upprättades i samband med vattendomsansökan. Från många utav dessa rör finns inte längre några mätvärden att tillgå. Detta då många av rören har förstörts under tidens gång och en del av dem låg så pass nära järnvägsdragningen att de försvann i och med anläggandet av förskärningar och tunnel. För att få en tydlig och representativ bild av grundvattnets fluktuationer har ett urval av rör gjorts. Dessa rör valdes med lämplighet av hur de var placerade, när de var installerade, till vilket djup de når och mätfrekvens.

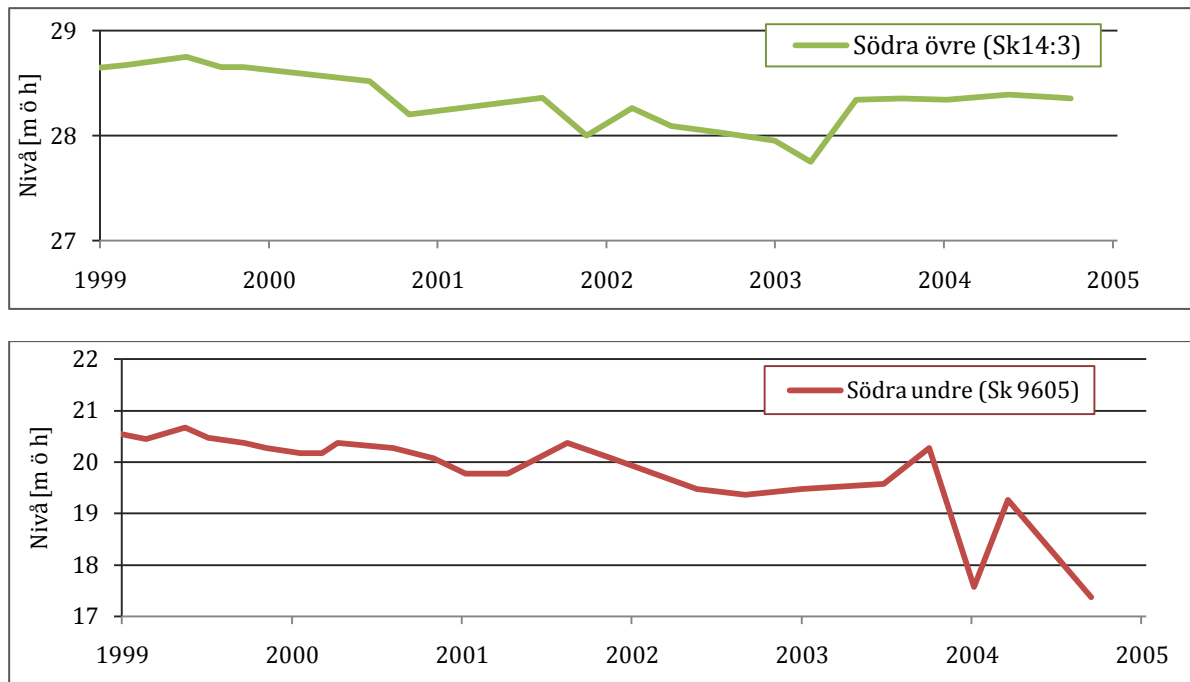
Det fanns även ett referensrör i området. Detta för att kunna särskilja fluktuationen som beror av årstid och klimat från den som eventuellt uppkommit på grund av förskärningar och tunnel. Detta referensrör har beteckningen 112 246 v474 och dess fluktuationer ses nedan.



Figur 12. Årstidsfluktuationer för referensröret 112 246 v474 vid Skrea backe.

I området runt Skrea finns tre stycken akviferer. Vid den norra sidan återfinns en öppen akvifer, och vid den södra sidan finns en sluten undre och en öppen övre akvifer. Nedan diagram visar ett utvalt rör från varje akvifer.

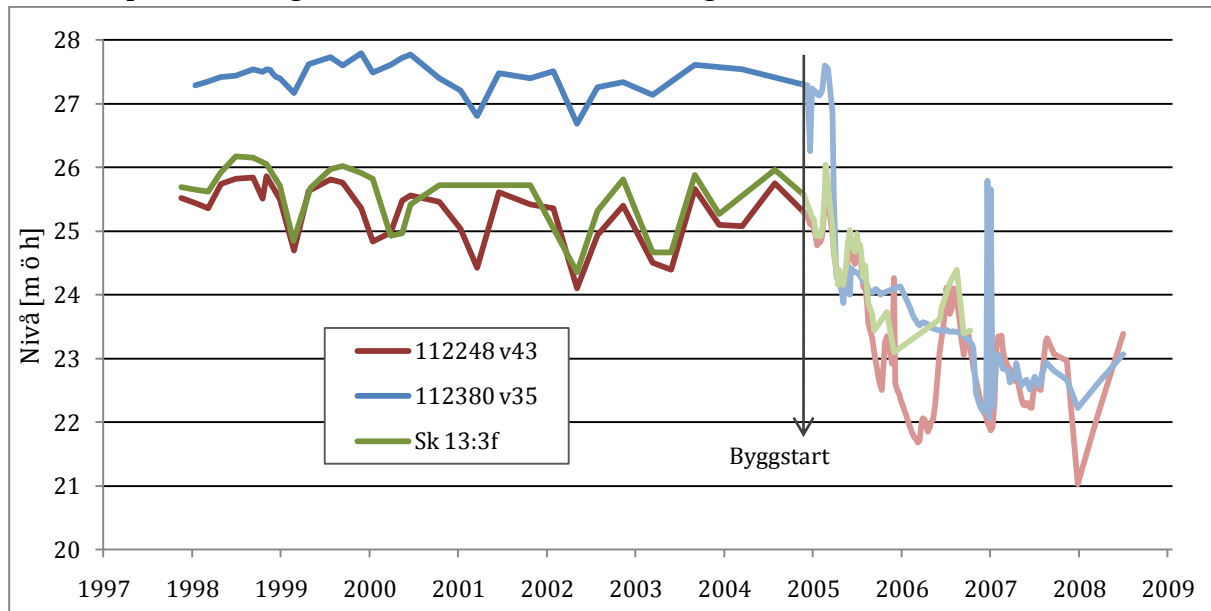




Figur 13. De tre diagrammen visar årstidsfluktuationerna för utvalda rör från de tre olika akvifererna runt Skrea backe.

5.1.1. Påverkan

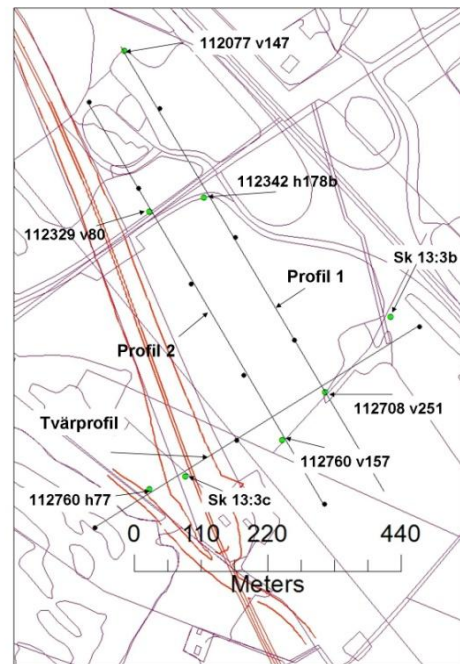
Många utav rören har ingen eller marginell påverkan på grundvattennivåerna i och med att schaktningen av förskärningarna startat. Rör placerade nära anläggningen, har fått en viss eller stor påverkan, några av dessa redovisas nedan i figur 14.



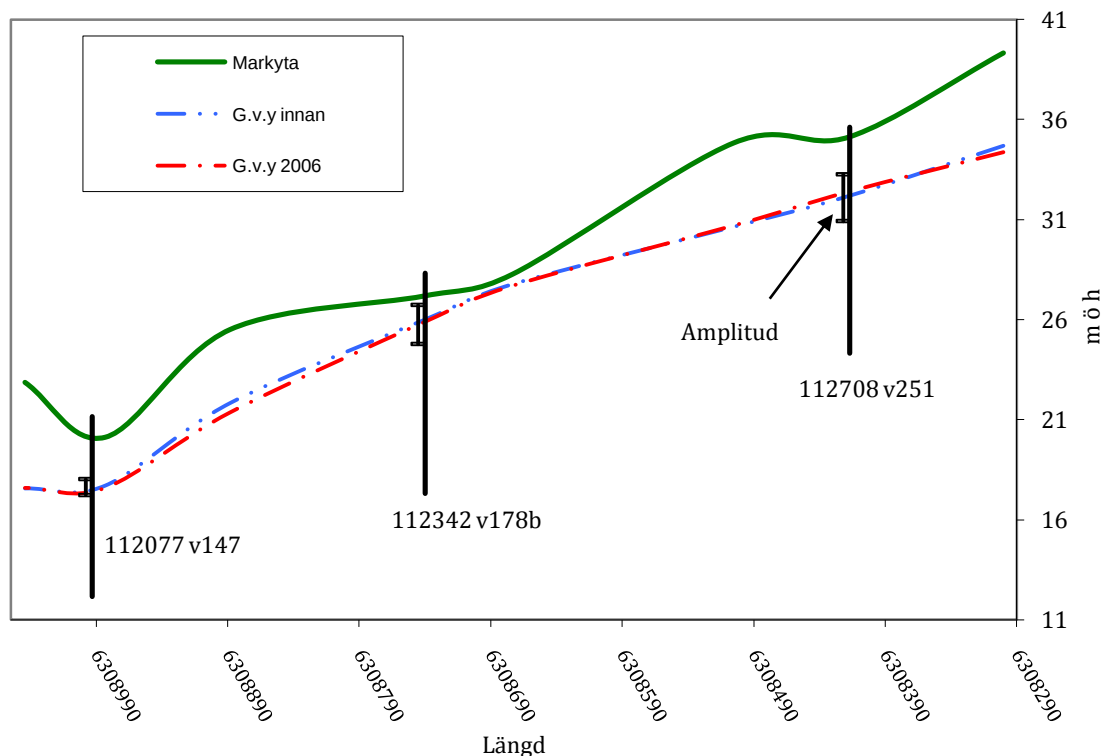
Figur 14. Nivå ändringen för tre utvalda rör vid Skrea norra där det syns tydligt vilken påverkan anläggningen haft på grundvattennivån.

För att ytterligare påvisa nivåerna vid den norra delen har två profiler skapats som visar grundvattenytans medelläge innan anläggningen och dess medelläge år 2006. Den yttersta profilen, profil 1, löper längs med den östra sidan av järnvägen på ett avstånd på mellan 140-250 m. Figur 16 visar även var och på vilket djup grundvattenrören är placerade i profilen samt deras amplitud.

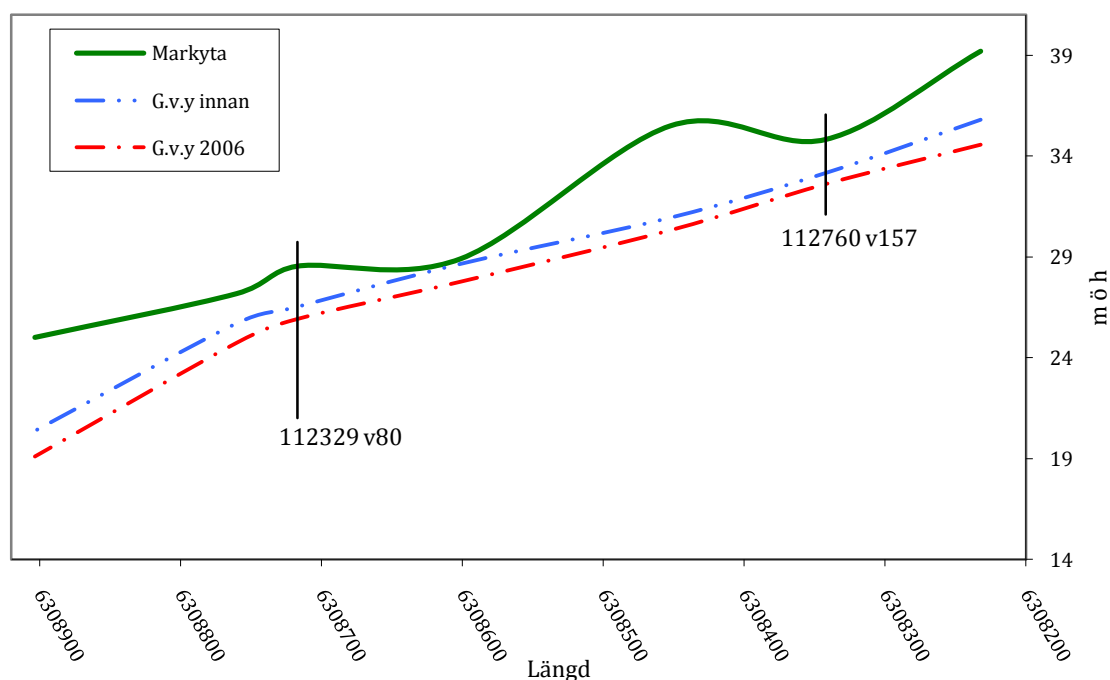
Profil 2 ligger något närmare järnvägen och visar även den grundvattenytans medelnivå innan anläggning samt dess medelnivå 2006. Även denna profil ses från norr till söder och ligger på ett avstånd på mellan 60-160 m. En sektionsbild, kallad tvärprofil, har skapats för att visa grundvattenytans läge tvärs över banvallen



Figur 15. Karta över profillinjer och sektionslinje Skrea norra.

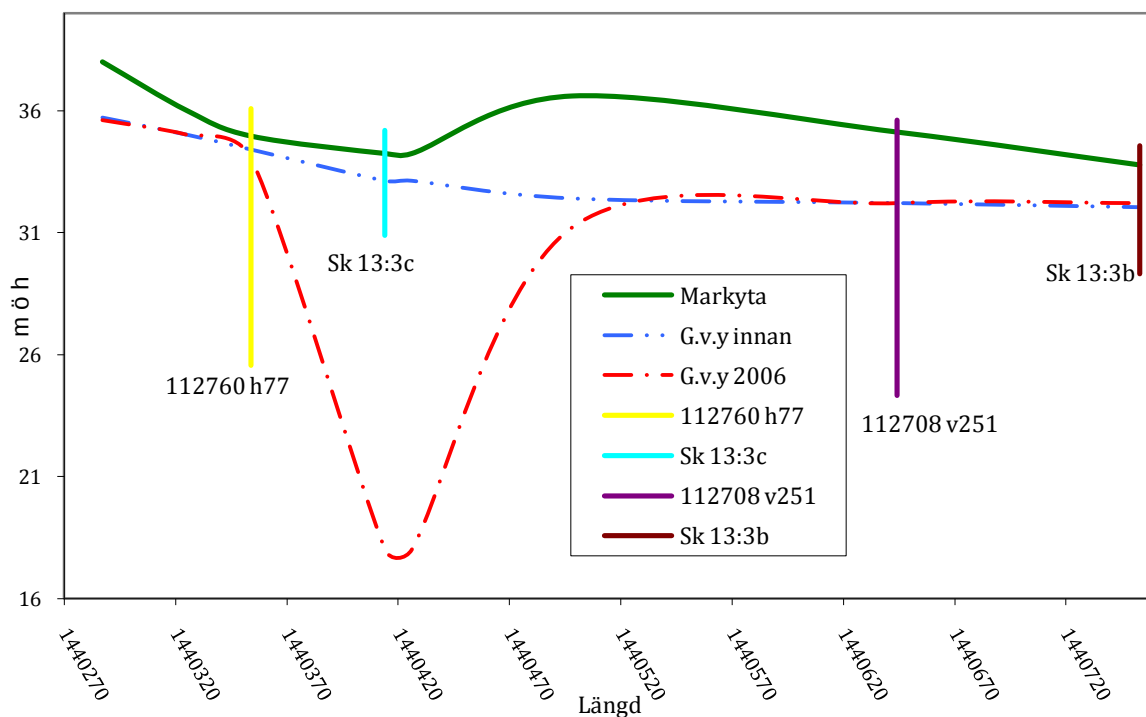


Figur 16. Profil 1 av markytan respektive grundvattenytan innan och under anläggningstiden.



Figur 17. Profil 2 visar grundvattenytans medelläge innan anläggningsstart och dess medelnivå 2006.

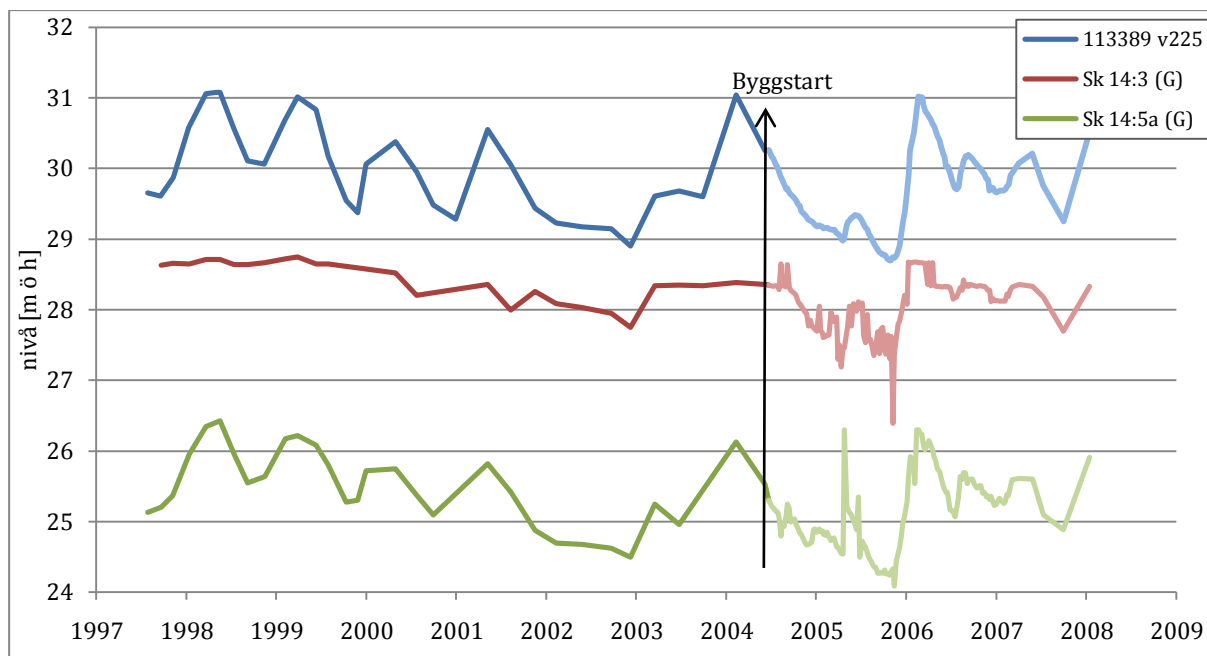
Profil 2 ligger närmare anläggningen än vad profil 1 gör och torde därför vara mera påverkad av grundvattensänkningen. Detta återspeglas även i de båda profilbilderna. I profil 2 kan man tydligt utläsa en skillnad mellan medelnivå före jämfört med 2006 års nivå. Detta syns inte alls lika markant i profil 1, där grundvattenytorna ofta sammanfaller.



Figur 18. Sektionsbild tvärs över banvallen.

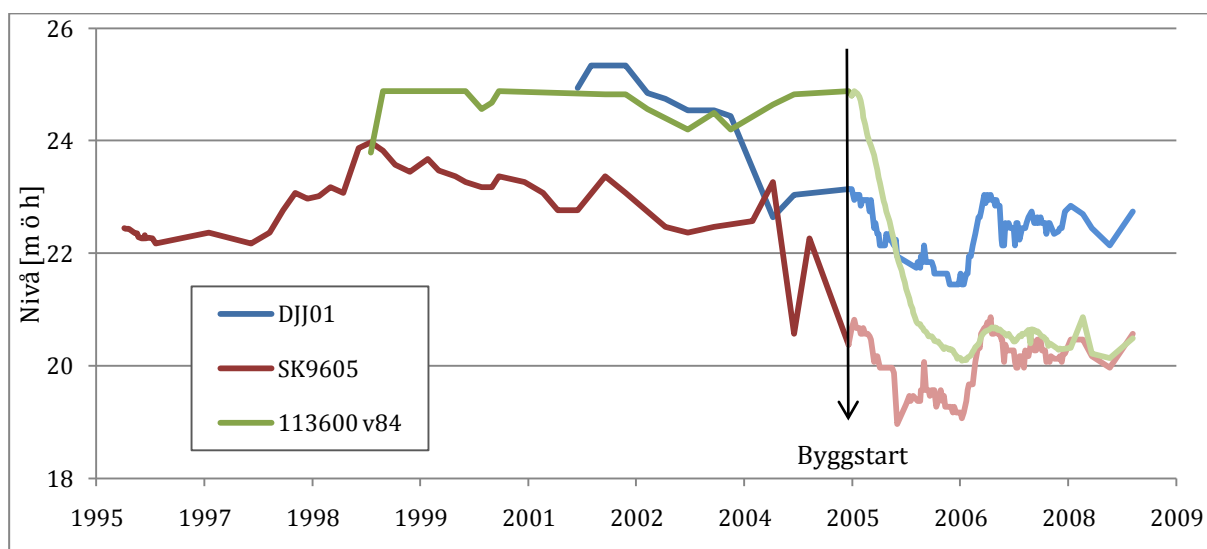
En sektionsbild tvärs emot bansträckningen visar att grundvattenytans läge ligger på samma nivå före som efter anläggningen, förutom vid och alldeles i närheten av förskärningen.

Vid den södra delen av Skrea backe fanns det färre rör som uppvisar en stor påverkan. Det fanns rör vid den södra förskärningen som med största sannolikhet hade uppvisat stor påverkan, men dessa rör stod antagligen för nära bygget och har därmed gått förlorade under anläggningstiden.



Figur 19. Påverkade rör vid Skrea södra. Enligt korsplottning mot referensrör visar dessa rör upp en avsänkning på ungefär 0,5 m.

I den undre akviferen vid Skrea södra fanns relativt få rör placerade och även här har flertalet försvunnit i samband med att anläggningsstart. Utmärkande är rör 113600 v84 vilket står relativt nära förskärningen. Detta rör var artesiskt när mätningar i röret påbörjades, vilket antyder att det är placerad i en akvifer som står under tryck. Röret uppvisar en avsänkning på över 4 m.



Figur 20. Rör från den södra slutna akviferen

5.2. BERÄKNADE FLÖDEN

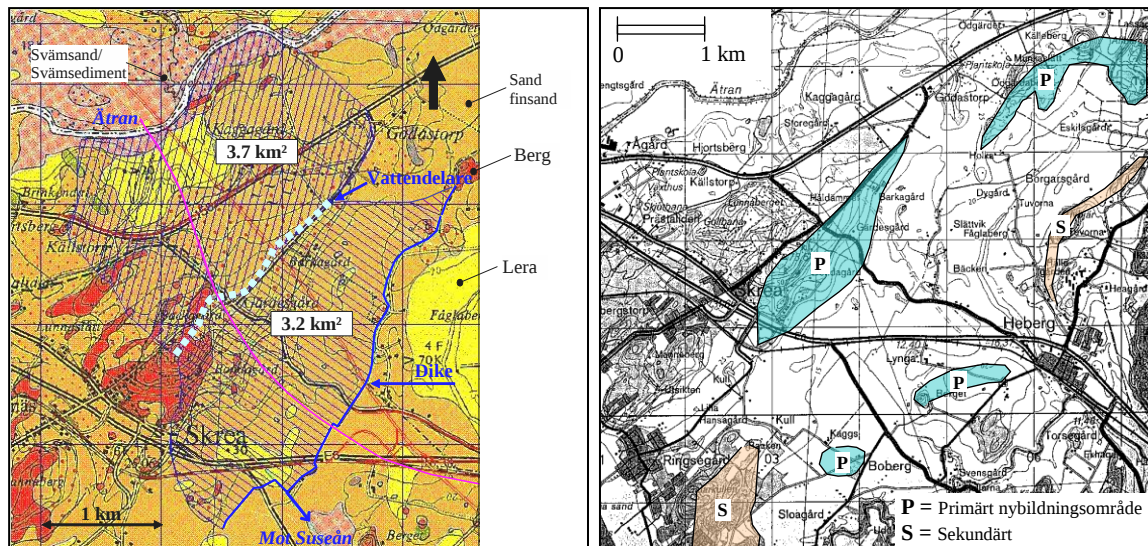
Vid anläggande av förskärningarna sänktes grundvattenytan undan och vatten strömmade fram till schakten. Banverket sökte i vattendomen tillstånd att pumpa undan de inströmmade mängder vatten och mängderna fastslogs enligt tabell 1. Beräkningarna genomfördes enligt ovan redovisad teori, se avsnitt 4.5.

5.2.1. BERÄKNAD GRUNDVATTENBILDNING

Storleken på norra sidans avrinningsområde beräknats till $3,7 \text{ km}^2$ och på den södra till $3,2 \text{ km}^2$. Med hjälp av dessa areor och värdet för nettonederbörden kan grundvattenbildningen uppskattas för de respektive avrinningsområdena. Innan beräkning har avrinningsområdenas storlek korrigerat så de endast innefattar inströmningsområden. Det innebär att storleken på utströmningsområden inom området, såsom dammar, bäckar och åar, har dragits ifrån. Det norra området area korrigeras till $3,6 \text{ km}^2$ och det södra till $3,1 \text{ km}^2$. Beräkningen av grundvattenbildningen för den norra sidan blir $3,6 \cdot 10^6 \cdot (0,456/365) \approx 4497 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och för den södra sidan $3,1 \cdot 10^6 \cdot (0,456/365) \approx 3873 \text{ m}^3/\text{dygn}$.

För den undre akviferen på den södra sidan styrs grundvattenbildningen framförallt av den hydrauliska kontakten med den överliggande akviferen. De kontaktpunkter som sannolikt finns mellan akvifererna och nybildningsområde har uppskattats i figur 21. Arealen på det område som anses ha kontakt har beräknats till $2,5 \text{ km}^2$. Dock når större delen av den nederbörd som faller över dessa områden aldrig det undre magasinet utan stannar i det övre. (Lissel, 2000)

För att kunna få en bild av det undre magasinets nybildning genomfördes provpumpningar 1994. Detta resulterade i en beräknad nybildning i den undre akviferen på minst $865 \text{ m}^3/\text{dygn}$. (Lissel, 1997)

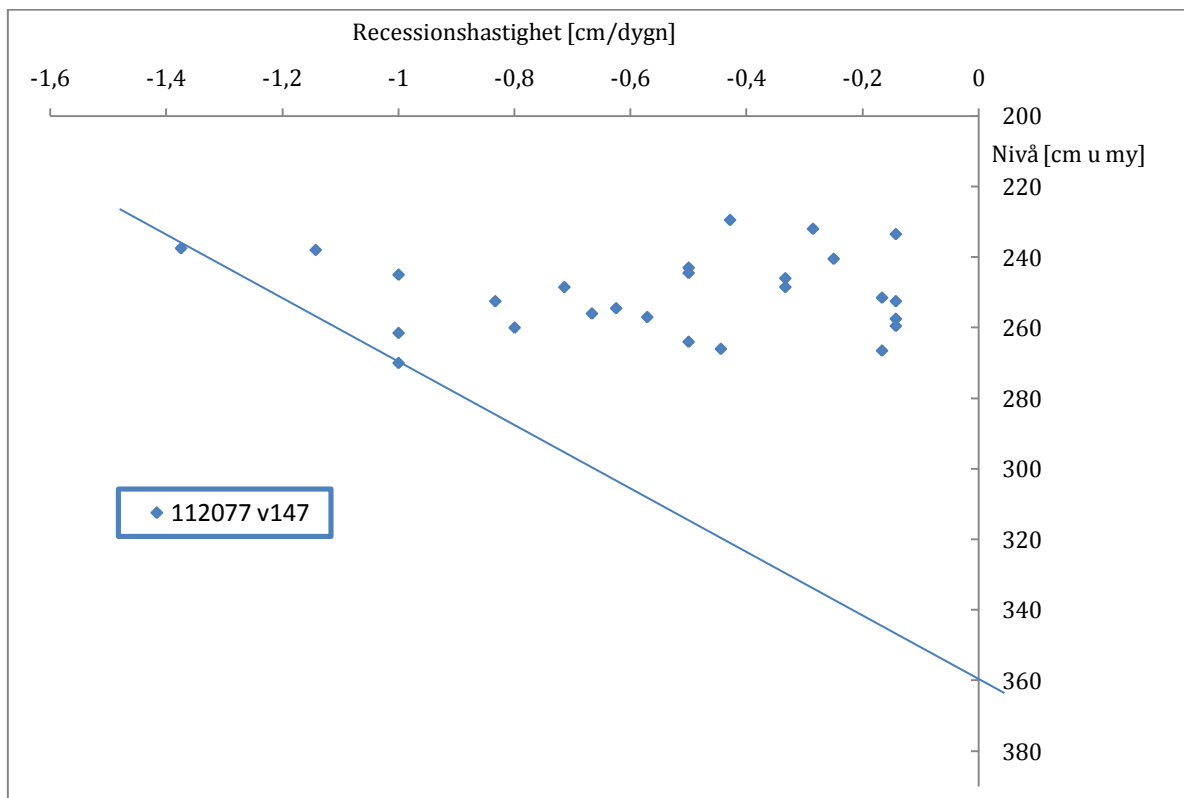


Figur 21. Vänstra figuren visar de båda avrinningsområdenas storlek. Den högra visar nybildningsområde för undre magasin vid Skrea södra.

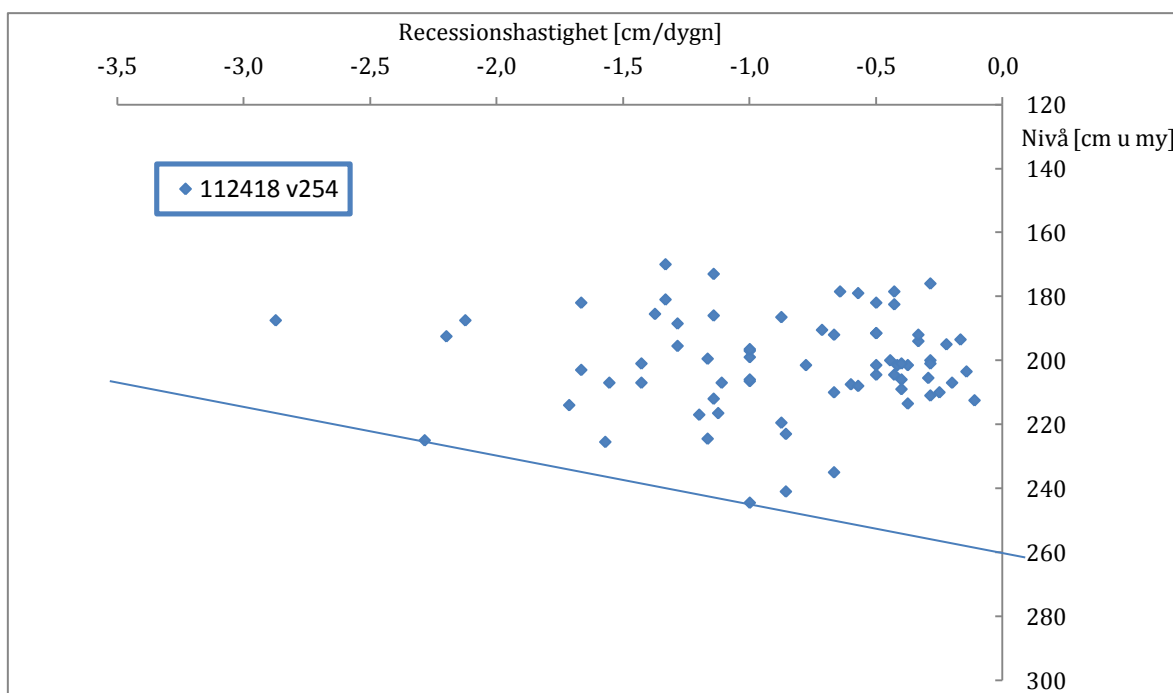
5.2.2. Grundvattenbildning beräknad från nivåobservationer

Grundvattennivåer under anläggningstiden för förskärningar och tunnel vid Skrea backe har utvärderats med avseende akviferparameter och tröskelvärde. Modellen har främst använts för att se om grundvattenbildningen i området kan uppskattas på annat sätt än att utnyttja nettonederbörden samt beräkna dräneringsnivåer. Metoden är utvecklad av Olin 1994 och är avsedd för perioder med bestämda mätintervall och långa dataserier. Grundvattenrören runt Skrea backe har väldigt skilda mätintervall. I och med anläggningsstart ökades mätfrekvensen för många utav rören varför denna period lämpar sig till utvärdering. Endast rör som har ansett vara opåverkade av anläggningen har använts i utvärderingen.

För de flesta av rören var tröskelnivån och akviferparametern svår att bestämma. De högsta avsänkingshastigheterna är sammanbundna med en linje längst ned i diagrammen. Denna linje var ofta svår att fastställa då de högsta recessionshastigheterna för olika nivåer sällan inträffade under tidsperioden. Avsaknaden av relevanta mätpunkter och det korta tidsintervallet gör att resultatet för många rör blir mycket osäkert eller helt oanvändbart. Metoden förutsätter att maximala avsänkingshastigheter har inträffat under mätperioden. Detta har möjligen skett i endast ett fåtal av rören. I figurer 22 och 23 visas svårigheterna att fastslå den undre linjen. Diagram för resterande utvärderade rör kan ses i appendix.



Figur 22. Recessionsdiagram från rör 112077 v147. $h_{01} = 360$ cm u my och $SA/H = 89$ dygn.



Figur 23. Recessionsdiagram över rör 112418 v254. $h_{01} = 260\text{ cm u my}$ och $SA/H = 15\text{ dygn}$.

Utvärdering av recessionsdiagrammen visas i tabell 2. I många av rören har en lägsta grundvattennivå uppmäts till att ligga lägre än den beräknade tröskelnivå. Detta problem beror troligtvis på att mätserien är för kort och att den snabbaste avsänkingshastigheten inte inträffat under perioden.

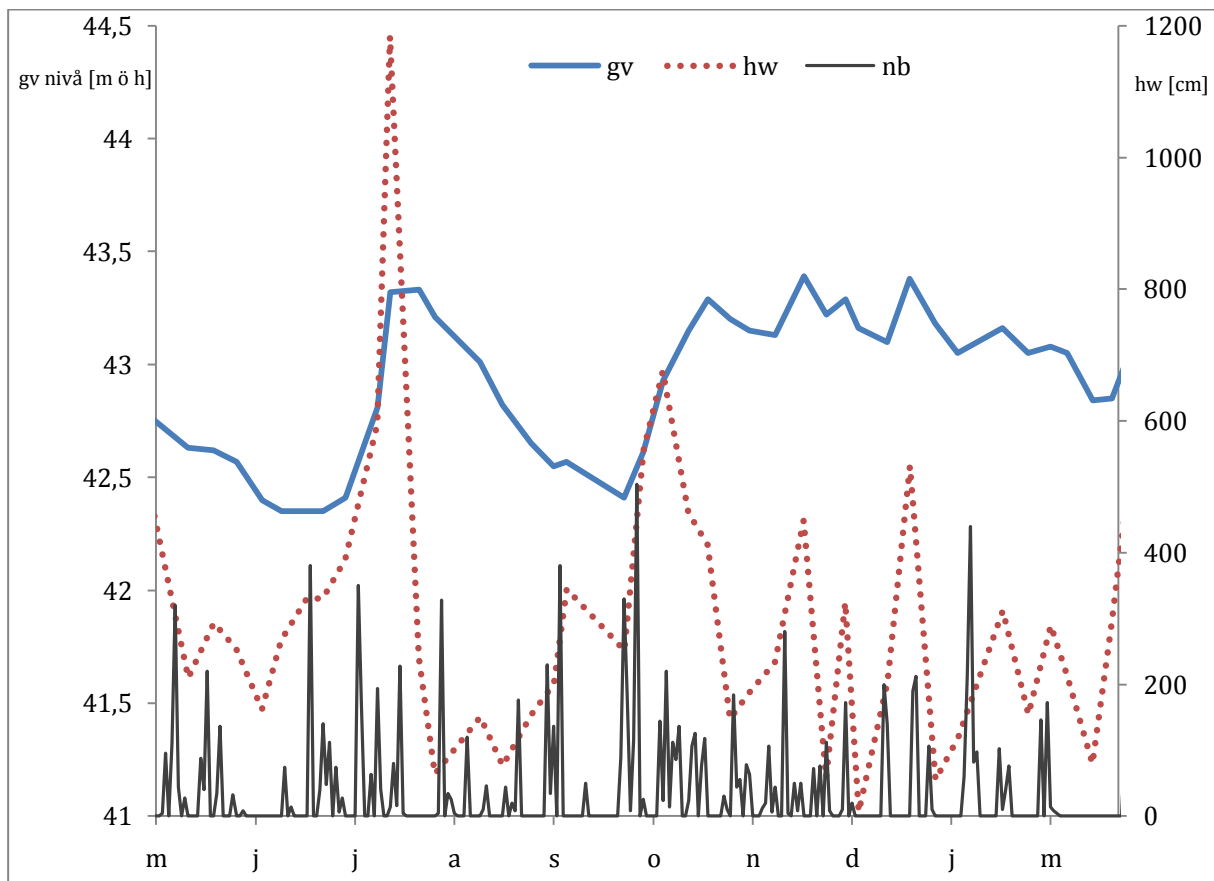
Tabell 2. Resultat av recessionsdiagram för utvalda rör vid Skrea norra. De tröskelvärden, h_{01} , med fetstil kan anses vara de som verkligen avspeglar den lägsta nivå grundvattenytan kan nå vid naturliga förhållanden då de är lägre än tidigare lägsta uppmätta nivåer.

Matpkt	h_{01} [cm u my]	h_{01} [m ö h]	Akvifer parameter SA/H [dygn]	Lägsta grundvatten- nivå [cm u my]	Lägsta grundvatten- nivå [m ö h]
112246 v474	471	40,9	73	413	41,5
112077 v147	360	16,6	89	322	17,0
112418 h254	260	26,6	15	252	26,6
112643 h286	104	34,8	14	107	34,8
112708 v251	405	31,1	93	420	30,9
Kä 1:4	196	24,6	3	363	22,9
Kä 1:75	360	21,8	11	397	21,5
Sk 13:2a	300	24,7	14	708	20,6
Sk 13:2b	390	23,5	49	24	23,7
Sk 13:2c	260	24,9	22	342	24,1
Sk 13:2d	300	22,4	26	479	20,6
Sk 13:3b	372	30,1	35	409	29,7
Sk 13:3d	235	28,0	20	248	27,9
Sk 13:3e	178	27,5	30	258	26,7
YTJ02	306	35,2	30	250	35,7
YTJ11	256	24,5	12	313	24,0

De rör där tröskelnivån ligger lägre än lägsta uppmätta nivå kan möjligen användas till att uppskatta grundvattenbildningen, dessa rör är fetmarkerade i tabell 2. En jämförelse mellan akviferparametern SA/H och grundvattennivån under ett år har utritats, se figur 24.

Tröskelnivåerna avspeglar den lägsta dräneringsnivå som kan uppkomma under naturliga förhållanden. Denna metod skulle lämpa sig väl till att göra avsänkingsberäkningar om den kunde utnyttjats på mätningar gjorda innan anläggningsstart. Då skulle en naturlig lägsta dräneringsnivå kunna fastslås och jämföras med de lägsta uppmätta nivåerna under anläggningstiden. Om en uppmätt nivå skulle understiga dräneringsnivå innebär det att en avsänkning av grundvattnet har inträffat som beror av mänsklig påverkan.

För att kunna använda metoden till att beräkna nybildningen av vatten krävs en uppskattning av avrinningskoefficienten H. Då detta är en komplicerad uppskattning behäftad med stora osäkerheter samt det faktumet att endast ett fåtal rör uppvisar en dräneringsnivå lägre än uppmätt nivå anses en sådan beräkning inte vara lönsam att genomföra.

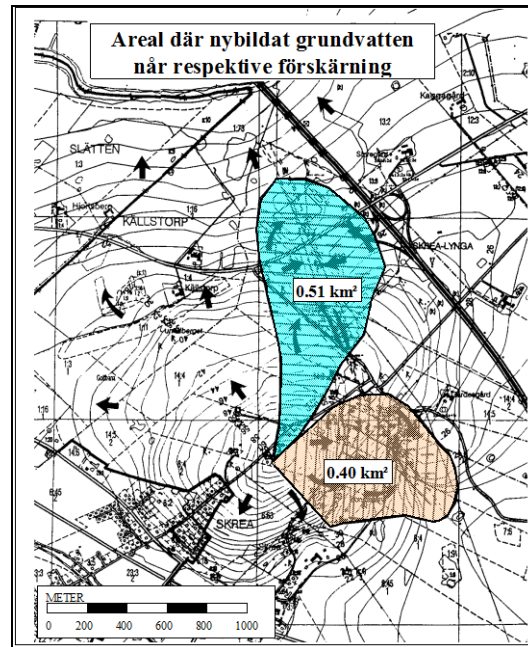


Figur 24. Grundvattenytans nivå och h_w förändringar för rör 112246 v474 under perioden maj 2005 till maj 2006. Uppmätt nederbörden från SMHI:s station är även med i diagrammet för att visa vid vilka tidpunkter nederbörd har inträffat. Till nederbördskurvan följer ingen skala utan är endast med för att visa vid vilket tillfälle nederbörden föll.

5.2.3. Beräknade flödesvolymen för anläggningstid och fortvarighetstillstånd

Beräkningarna nedan kommer från ansöknings handlingar till vattendomstolen.

För att analytiskt beräkna flödesmängderna som antogs nå förskärningen användes sambandet, $P_N * A_s = Q_s$, där P_N beräknades med hjälp av HBV-modellen utav SMHI till 456 mm/år. A_s är den areal som antogs avvattnas till förskärningen och beräknades med MODFLOW, se figur 25.



Figur 25. Storlek på förskärningarnas tillrinningsområde.

Den areal, vars vatten når den norra förskärningen, beräknades till $A_{s,N} = 0,51 \text{ km}^2$ och gav då ett inläckage på $0,51 * 10^6 * (0,456/365) \approx 640 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Den upprättade grundvattenmodellens värde beräknades till $670 \text{ m}^3/\text{dygn}$. För den södra förskärningen beräknades arealen till $A_{s,S} = 0,40 \text{ km}^2$ och inflödet blev $0,40 * 10^6 * (0,456/365,25) \approx 500 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och modellen gav även den $\approx 500 \text{ m}^3/\text{dygn}$. För att kunna beräkna maxflöden till förskärningarna jämfördes schaktningar hydrologiskt med Vinån, en å norr om Skrea Backe. Beräkningarna gjordes enligt följande samband, $\frac{\text{max}}{\text{medel}} * P_{N,\text{max}} * A_s = Q_{s,\text{max}}$, och sambandet förklaras i teoriavsnittet 4.5.1. Relationen mellan max- och medelflöde i Vinån ansågs ligga på 3,3. Detta innebär att maxvärdet är ca 3ggr högre än medelvärdet. Den högsta nettonederbörden kom 1994 och var 674mm. Då tidsperioden inte ansågs statistisk säkerställd valdes istället ett högre värde, 700 mm, till att symbolisera den högsta nettonederbörd. Följande beräkningar ledde då till maxflöden, $3,3 * 0,51 * 10^6 * (0,7/365,25) \approx 3\,225 \text{ m}^3/\text{dygn}$ för norra förskärningen och $3,3 * 0,40 * 10^6 * (0,7/365,25) \approx 2530 \text{ m}^3/\text{dygn}$ för den södra. För att kunna beräkna inläckaget under anläggningstiden användes data från fältundersökningar gjorda vid Skreas norra del, hösten 1999. Utvärdering av undersökningen visade att flödet till schakten kommer vara högre vid start och tillslut nå ett "pseudostationärt" tillstånd. Detta intella flöde visade sig kunna vara så pass mycket om 4 ggr större än det långvariga flödet. Denna faktor ansågs orimlig hög därför ansattes en lägre, 1,5 ggr stationärt flöde. Den lägre faktorn antogs då det ansågs orimligt att hela schakten skulle kunna friläggas ned till sandlagrets underyta på

en kort tidsrymd. Det högsta flödet till schakten ansågs även vara behäftad med en stor osäkerhet. Osäkerheten beror på att läckaget är väldigt beroende på vilket sätt schaktningen utförs och hur lång tid den tar att genomföra. (Berntson & Lissel, 1999)

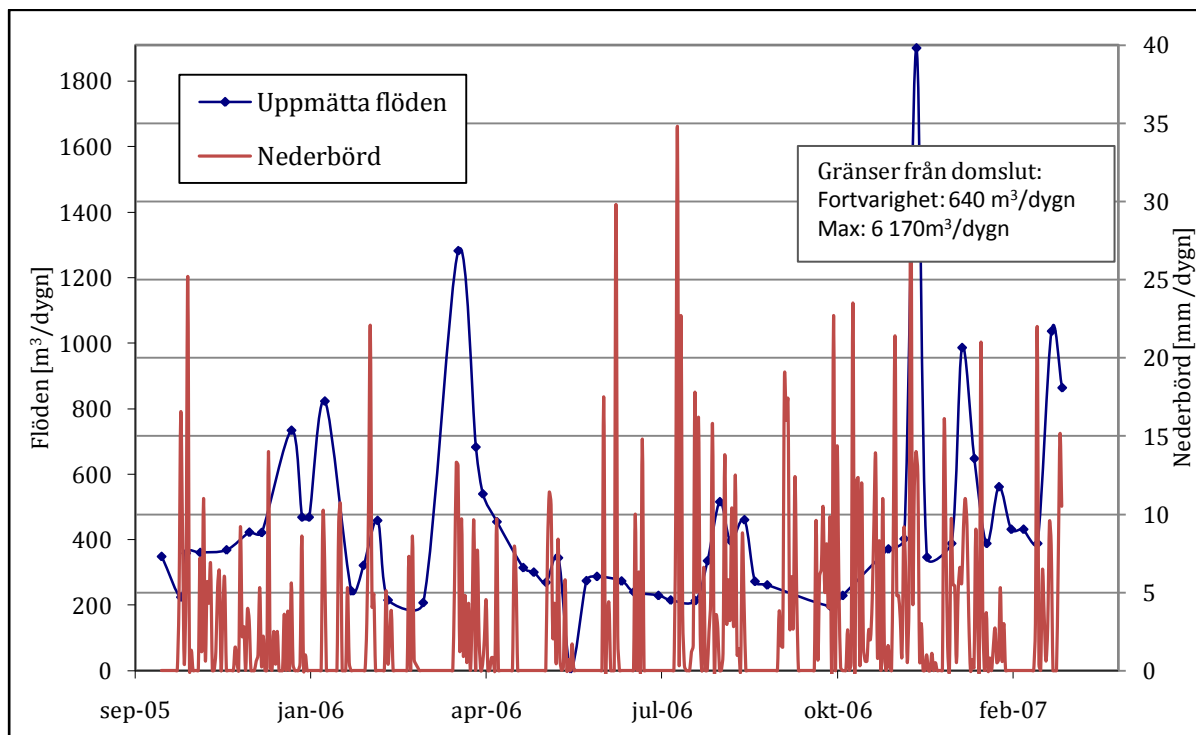
Prognosen för flödet till förskärningarna under anläggningsfasen är detsamma som för fortvarighetstillståndet, för norra schaktet $640 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och maxflöde på $3\,225 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Dock kan högre värden intieellt uppnås, vilket ger maxvärde på $1,5 \cdot 3\,225 \text{ m}^3/\text{dygn} \approx 4\,838 \text{ m}^3/\text{d}$. Enligt vattendomen fick Banverket tillstånd att bortleda just $4\,840 \text{ m}^3/\text{dygn}$ grundvatten vid den norra förskärningen. För den södra förskärningen gjordes liknande beräkningar vilket gav ett maxflöde på $1,5 \cdot 2530 = 3\,795 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Tillståndet att bortleda grundvatten för det södra schaktet uppgick till just detta.

Inläckage till bergtunneln har beräknats till $52 \text{ m}^3/\text{dygn}$ eller $6,4 \text{ l/min} \cdot 100 \text{ m}$ under anläggningstiden och vattendomen har också gett tillstånd till den mängden.

5.3. UPPMÄTTA FLÖDEN

Under anläggningstiden visade det sig att flöden in till förskärningarna var betydligt lägre än de fastslagna i vattendom. Av denna anledning skedde endast manuella mätningar för att få en uppfattning av storleksordning på flödena. Mätningar skedde med hjälp av mätöverfall och det infattade både grundvatten, processvatten och dagvatten (Lindblad, 2009).

För den norra förskärningen startade flödesmätningar hösten 2005 och pågick till våren 2007. Vid den norra sidan var flödet i medeltal $420 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och median på $354 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Det högsta flöde uppmättes under perioden till $1\,900 \text{ m}^3/\text{dygn}$. Vid flera tillfällen har inte mätningar kunnat genomföras på grund av isbildning och byggtekniska hinder.



Figur 26. Den blåa kurvan visar uppmätta flöden vid den norra förskärningen och den röda visar nederbörden från station 7208 Varberg enligt SMHI mätningar.

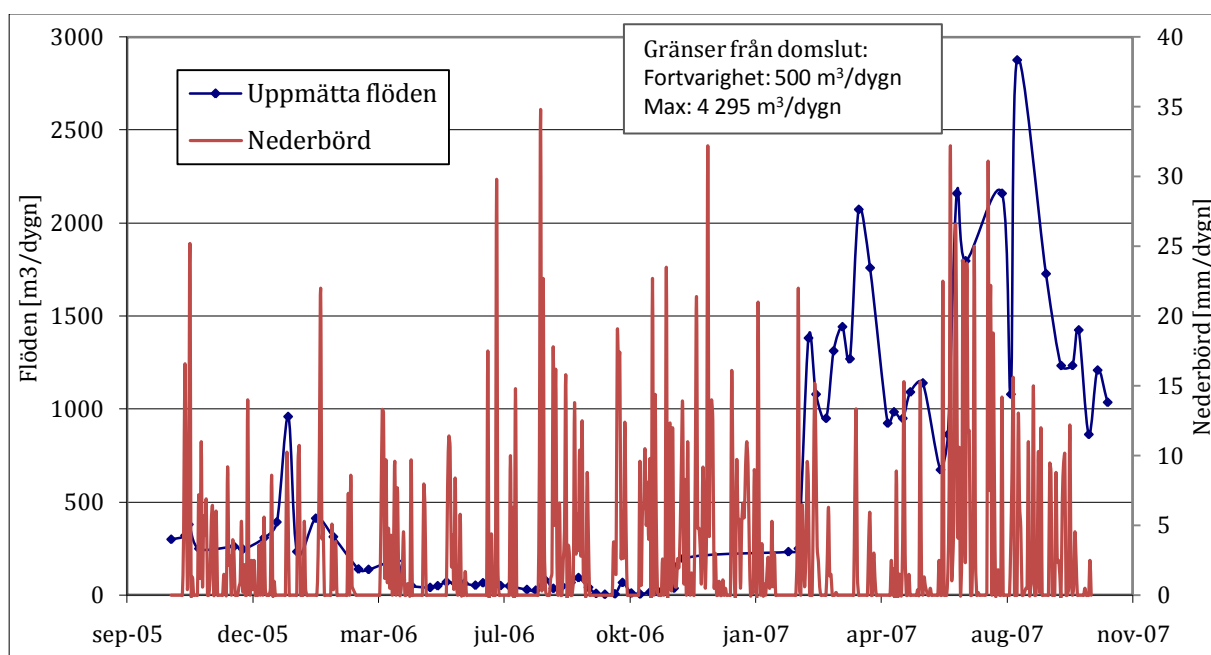
Prognosberäkningarna görs om med nettonederbörd som är uppskattad från uppmätt totalnederbörd från SMHI station i Varberg. Uppskattningen innebar att nettonederbörd var halva totalnederbörden. Eftersom de högsta flödesmätningarna inträffar långt in på anläggningstiden kan det anses att det initiella flödet har avtagit och övergått till stationärt flöde. Nya prognosberäkningar ses i tabell nedan.

Tabell 3. Nya prognosberäkningar baserade på uppskattade nettonederbörd från nederbörds­mätningar av SMHI

	2005	2006	2007	2008
Nederbörd [mm/år]	680	1069	1060	1034
Nettonederbörd [mm/år]	340	535	530	517
Max flöde [m ³ /dygn]	1 568	2 465	2 444	2 384

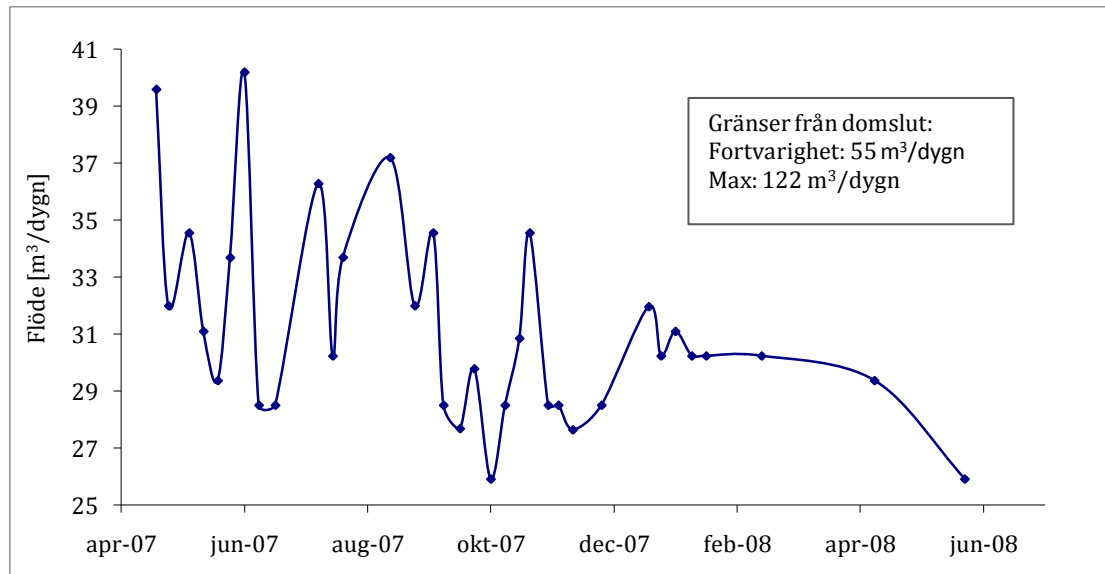
Flödesmätningar på södra sidans förskärning startade även de under hösten 2005 och pågick till hösten 2007. På den södra sidan genomfördes även mätningar av vatten från tunneln, dessa startade under våren 2007.

Flödet till södra förskärningen var i medeltal 588 m³/dygn och medianen låg på 250 m³/dygn. Det högsta flödet uppmättes till 2 877 m³/dygn.



Figur 227. Den blåa kurvan visar flödesmätningar från Skrea södras förskärning och den röda visar nederbörden från station 7208 Varberg enligt SMHI mätningar.

Från tunneln har en högsta volym uppmätts till 40 m³/dygn och medel låg 31 m³/dygn, eller 3 l/min*100 m. Även här har flertalet mättillfällen inte kunnat genomföras på grund av isbildning och byggtekniska hinder.



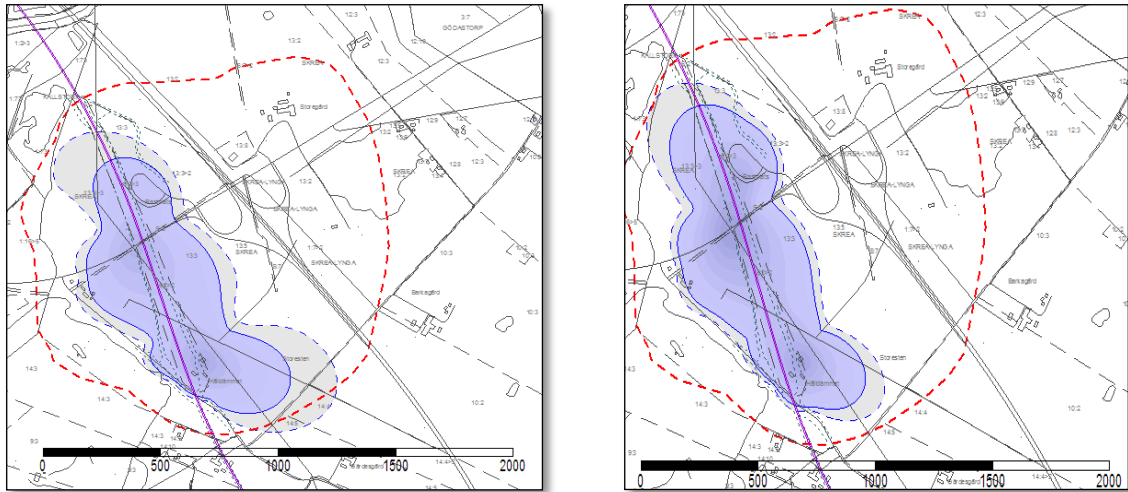
Figur 28. Flöden från tunnel.

De flesta mätningar avslutades i och med anläggningens färdigställande. Från tunneln har mätningar fortsatt och mängderna ligger på i storleksordningen 20-30 m³/dygn.

5.4. BERÄKNAD INFLUENS

5.4.1. Medelnivåer

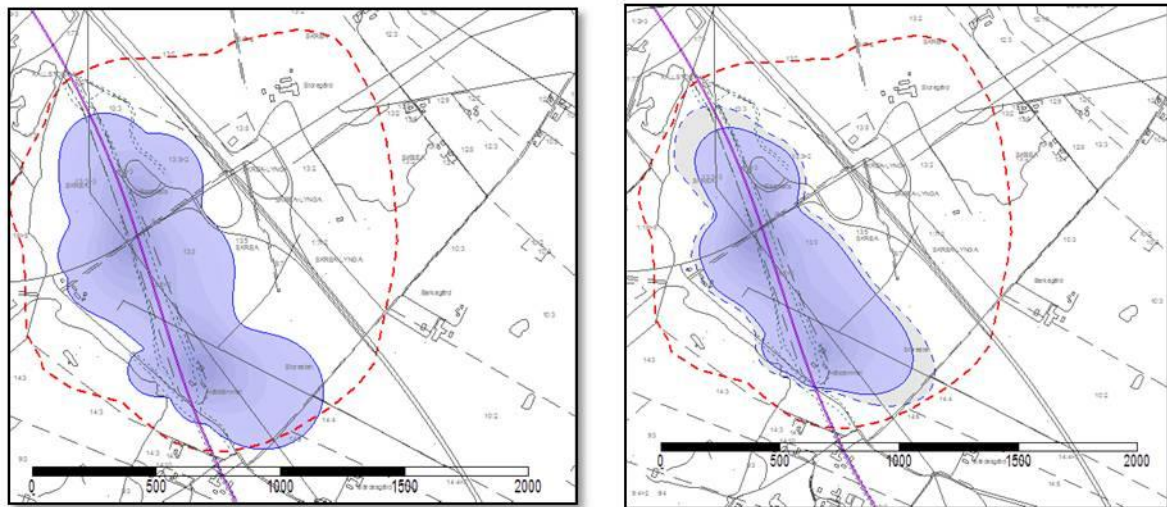
Beräkningarna för influensområdet grundar sig på årsmedelvärden för varje rör innan anläggningsstart. Medelnivåerna innan har jämförts med de medelnivåerna som uppmäts under åren 2005-2006 och 2006-2007.



Figur 29. Inflensområde för beräknade på medelnivå innan anläggning jämfört med årsmedel för sommar till sommar. Den vänstra föreställer influensen för juni-05 till juni-06 och den högra juni-06 till juni-07. Den streckade röda linjen är predikterat inflensområde för 0,1 m avsänkning. Den blåa streckade resp. blåa heldragna representerar 0,1 resp. 0,3 m uppmätt avsänkning.

5.4.2. Sommarnivåer

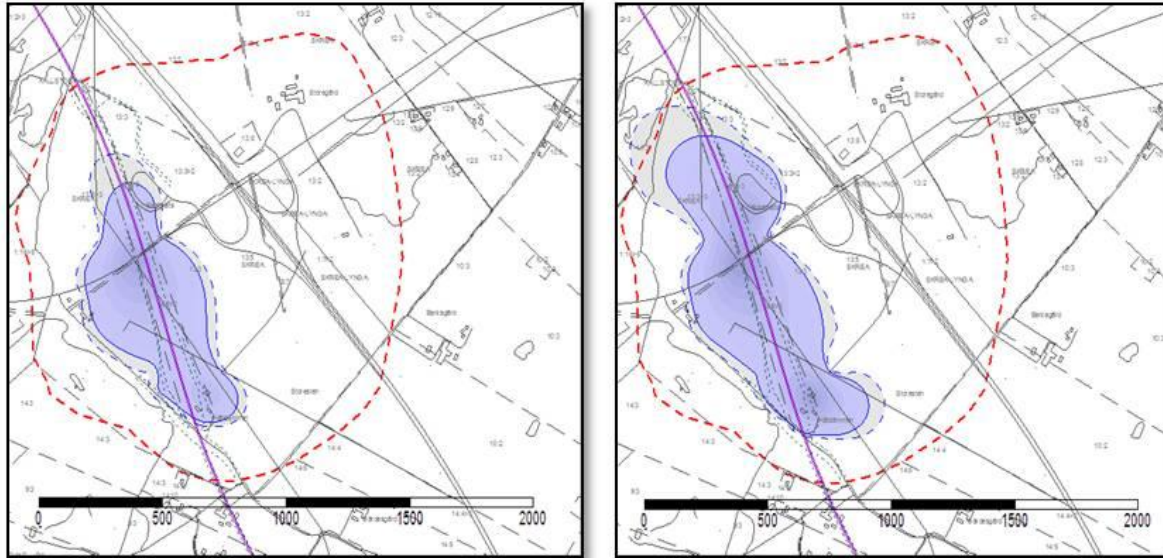
Beräkningar för sommarnivåer har genomförts enligt ovan redovisad teori. För varje rör har ett sommarmedelvärde innan anläggningsstart beräknats och sedan jämförts med uppmätta sommarnivåerna under anläggningstiden.



Figur 30. Beräknad influens för norra förskärningen. Den vänstra föreställer sommaren -06 influens, och den högra sommaren -07. Den streckade röda linjen är predikterat inflensområde för 0,1 m avsänkning. Den blåa streckade resp. blåa heldragna representerar 0,1 resp. 0,3 m uppmätt avsänkning.

5.4.3. Höstnivåer

Beräkningar för höstnivåer har genomförts enligt ovan redovisad teori. För varje rör har ett höstmedelvärde för innan anläggningsstart beräknats och sedan jämförts med uppmätta höstnivåerna under anläggningstiden.



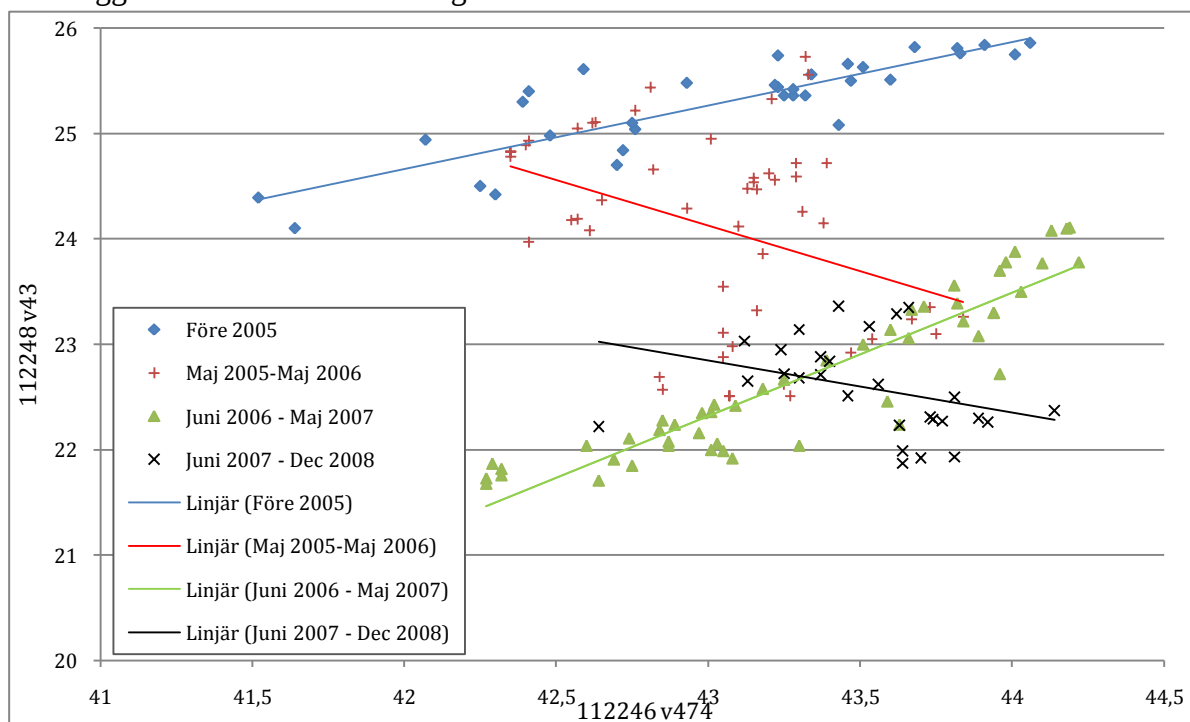
Figur 31. Beräknade influensområden för norra förskärningen. Den vänstra visar influensen för hösten -05 och den högra hösten -06. Den streckade röda linjen är predikterat influensområde för 0,1 m avsänkning. Den blåa streckade resp. blåa heldragna representerar 0,1 resp. 0,3 m uppmätt avsänkning.

5.5. BERÄKNAD INFLUENS MED KORSPLOTTNING

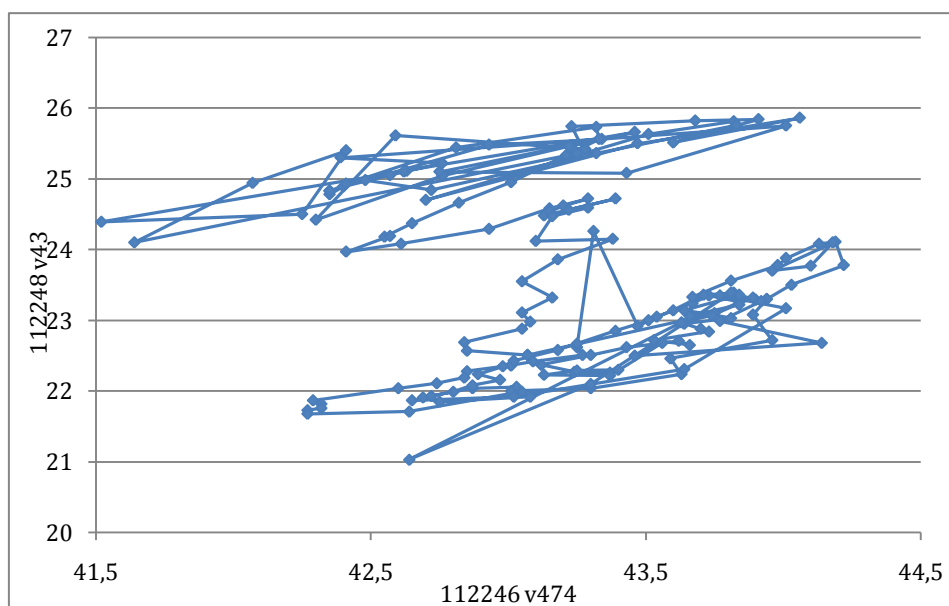
Influensberäkning har genomförts enligt teoriavsnitt 4.2.2. Resultat från alla utvärderade rör kan ses i appendix. I tabellen nedan visas alla rörs beräknade avsänkning och dess samvarians med referensröret. Samvariansen redovisas både som korrelationskoefficient och som kovarians. För att belysa svårigheterna med att beräkna avsänkningen har ytterligare en korsplott tagit fram. Plotten är av ett rör som har en markant och stor avsänkning. Istället för att endast skapa två serier, en före anläggningsstart och en efter, har fyra stycken skapats. Detta ger vitt skilda utseende på trendlinjerna för de olika serierna och därmed även stor skillnad på den beräknade avsänkningen. En figur med linje som sammanbinder punkterna kronologiskt visar hur avsänkningen förändras med tiden. En sådan plott kan ses i figur nedan. I den ses det att innan anläggningsstart så ligger nivåerna högt och i och med att byggnationen tar fart sjunker nivåerna och stabiliserar sig på en lägre nivå.

Många utav rören har divergerande linjer vid låga nivåer. Detta innebär att avsänkningen är som störst då det naturligt råder låga grundvattennivåer. En största influens fås därmed om avsänkningen beräknas vid låga nivåer. Att linjerna divergerar kan förklaras genom att den lägsta dräneringsnivån flyttats närmare rören. Den lägsta nivån var innan den hydrologiska lågpunkten i området, Åtran. I och med schaktens färdigställande har de nu blivit den lägsta dräneringsnivån i området.

Andra rör visar upp ett motsatt utseende. De divergerar mer vid höga grundvattennivåer. Detta kan förklaras med att rören omvänt samvarierar med referensröret eller att röret är placerat i en avskild geologi som saknar kontakt med referensrörets geologi. Helt avsaknad av korrelation mellan röret och referensröret kan också vara en tänkbar förklaring. För åskådliggöra den största avsänkning redovisas detta i tabell 4.



Figur 32. Diagram över rör 112248 v43 och referensröret, där 4 stycken olika linjer har ritats in.

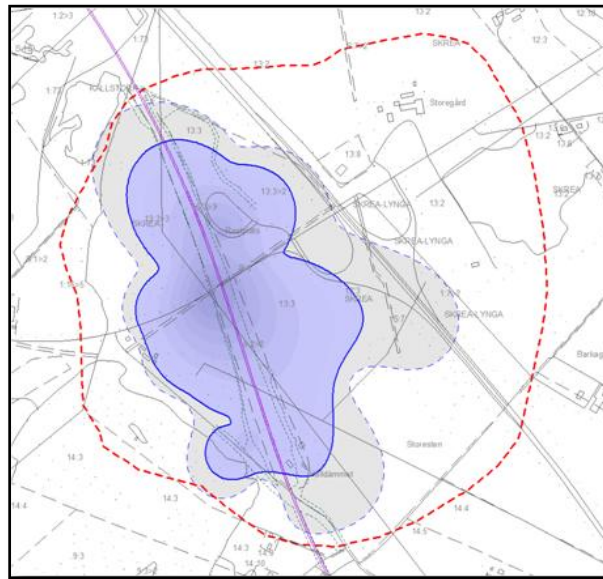


Figur 33. Diagram över rör 112248 v43 mot rör 112246 v474, där man kan följa hur förändringen av grundvattennivåerna ändras med tiden.

Tabell 4. Tabell över hur rören vid Skrea Norra korrelerar med referensröret. I tabellen redovisas även kovariansen, amplituden för röret och hur stor avsänkning som beräknats. De grå markerade rören är de som har en större påverkan än 0,1m

Matpkt	Korrelations- koeff. [-]	Kovarians [-]	antal datapar, n	Amplitud [m]	Avsänkning [m]	Avsänkning max, [m]
112077 v147	0,80	0,11	32	0,71	0,16	0,20
112248 v43	0,85	0,26	33	1,76	2,87	3,59
112342 v178b	0,89	0,32	24	1,95	0,27	0,30
112380 h35	0,68	0,10	30	1,11	4,20	4,27
112418 h254	0,67	0,08	33	0,82	0,11	0,16
112626 h199	0,26	0,04	33	1,52	0,00	0,00
112643 h286	0,20	0,04	25	1,81	0,00	0,00
112706 h92	-0,36	-0,02	28	0,30	0,22	0,29
112708 v251	0,91	0,29	33	2,09	0,00	0,00
112760 h77	0,48	0,08	27	0,96	1,40	1,65
112981 v24	0,94	0,75	12	3,54	0,25	1,25
Kä 1:4 (G)	0,82	0,24	28	2,50	0,00	0,00
Kä 1:75 (G)	0,39	0,12	31	1,74	0,00	0,00
Sk 13:2a (G)	0,94	0,37	30	2,13	0,00	0,20
Sk 13:2b (G)	0,92	0,35	31	2,16	0,02	0,27
Sk 13:2c (G)	0,91	0,32	31	2,03	0,00	0,12
Sk 13:2d (G)	0,82	0,40	30	2,63	0,00	1,00
Sk 13:3b (G)	0,86	0,60	23	3,38	0,24	0,29
Sk 13:3d (G)	0,82	0,06	19	0,71	0,04	0,17
Sk 13:3e (G)	0,22	0,04	29	1,79	0,04	0,17
Sk 13:3f (G)	0,82	0,28	27	1,82	1,51	2,01
YTJ02	0,62	0,12	16	0,92	0,00	1,00
YTJ03	0,34	0,03	15	0,60	0,10	0,15
YTJ04	0,38	0,06	15	1,05	0,22	0,48
113107 v27	0,81	0,93	12	5,29	0,00	0,00

För att få fram en influens har tidigare redovisad metod utnyttjats. Avsänkningarna har interpolerats i SURFER och konturyta skapats.



Figur 234 Influensområde för beräknade från korsplottar med alla rör vid Skrea norra. Den streckade röda linjen är predikerat influensområde för 0,1 m avsänkning. Den blåa streckade resp. blåa heldragna representerar 0,1 resp. 0,3 m avsänkning

5.6. KONCEPTUELL MODELL

En konceptuell modell görs i syfte att beskriva de övergripande parametrarna och gränserna som anses beskriva modellområdet på ett trovärdigt sätt. Till simuleringarna för Skrea backe finns ingen tydlig konceptuell modell fastslagen i litterära underlaget till projektet.

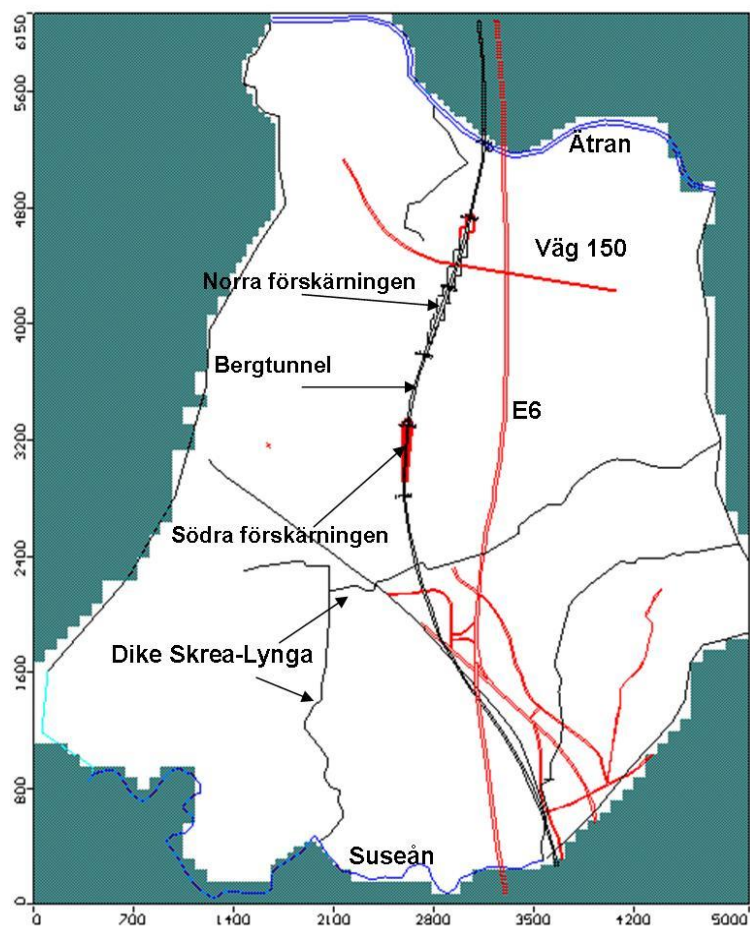
Avsaknaden av konceptuell modell har gjort att en har skapats genom uppskattning och tolkningen av de undersökningar, PM och handlingar som föregått projektet.

5.6.1. Modellföljd

På grund av den heterogena geologin och de komplicerade hydrogeologiska förhållandena vid Skrea backe ansågs det inte att en analytisk lösning kunde förutse påverkan på grundvattnet. För att få klarhet i detta skapades ett antal numeriska modeller över området och dessa användes för att prediktera avsänkning och influensradie.

Den första modellen skapades över den södra delen redan 1996 och har efterföljts av komplexare och mera utvidgade modeller. Utvecklingen har skett genom att ett större modellområde har simulerats och att modellens egenskaper har uppdaterats till följd av utökade förundersökningar.

Utbredningen av modellområdet kan ses i bild nedan. Avgränsningarna av modellområdet utbredning sattes till de naturliga hydrologiska gränserna i området. I norr avgränsades modellen av Ätran och i söder av Suseån.



Figur 35. Karta över modellområdet från 1997 års simuleringar.

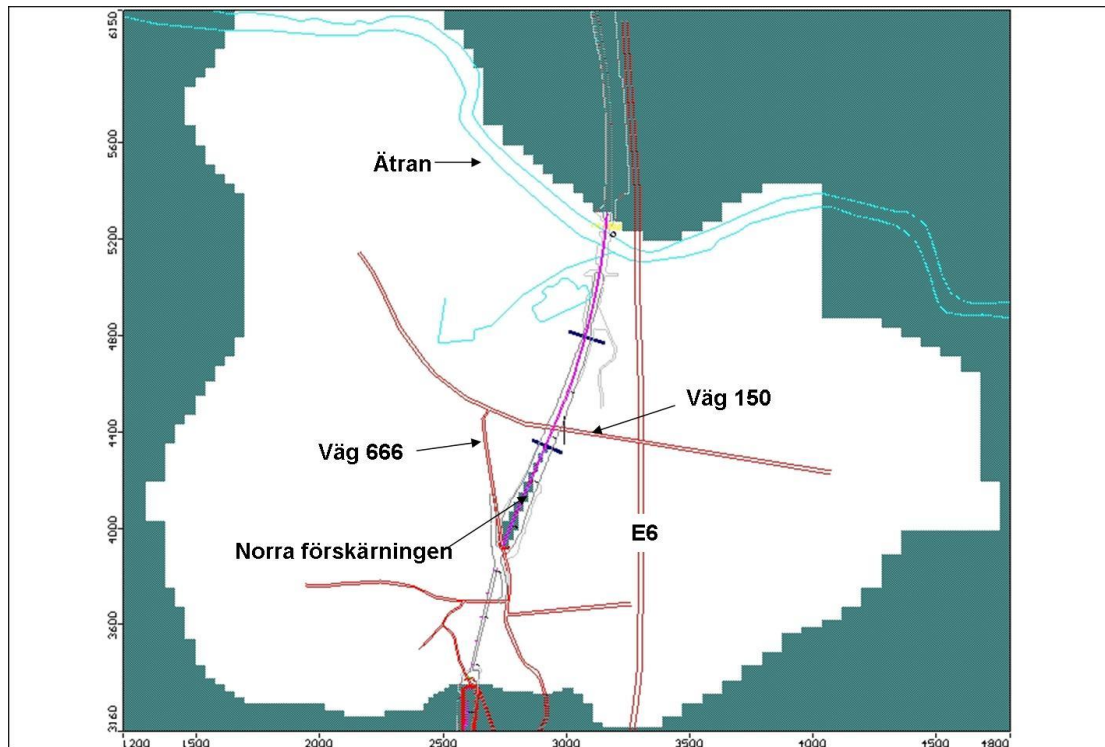
Utveckling av modellen har även lett till olika resultat. Det beräknade flödet till förskärningarna skiljer sig markant åt mellan de olika modellvarianterna.

Tabell 5. Modellerade flöden till förskärningarna för de olika modellvarianterna.

Modell år	Norra [m ³ /dygn]	Södra [m ³ /dygn]
1996	-	648
1997	432	778
2000	620	500
2002	429	-

5.6.2. Utvärderad modell

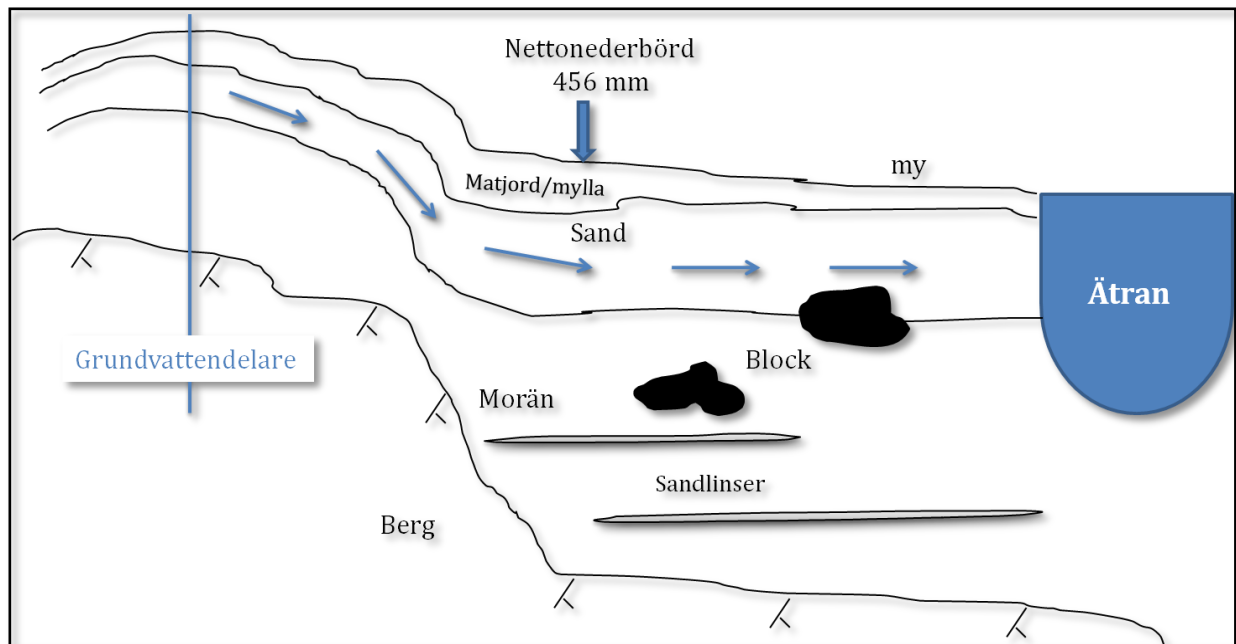
Den modell som valts att utvärderas är från 2002 och är en klippt variant från tidigare skapade modeller. Området täcker in endast den norra förskärningen, se figur 36. Den naturliga hydrologiska gränsen i området är Ätran i norr. Öster om järnvägen går E6:an, samt väg 150 och 666 går precis i anslutningen till järnvägssträckningen. Vid den norra sidan anses det endast finnas en öppen jordakvifär. Grundvattenytan följer topografin relativt väl och återfinns mellan 0,2-3 m under markytan. (Banverket, 2005) Ytterligare vattendrag representeras av en damm väster om förskärningens början.



Figur 36. Modellområdets utbredning och dess gränser

Jordlager

Området kring Skrea backe kännetecknas av en komplex jordlagerföljd och heterogen geologi. Marken är svagt lutande från söder mot Ätran i norr. Till störst del består jordlagren av grusig sandig siltig morän. Moränen kan även innehålla linser utav sand samt ett visst blockinnehåll kan även förekomma. Moränen överlagras ett sandlager, som varierar i mäktighet mellan 1-3 m. Överst i lagerföljden finns ett lager av 0,3-0,5 m mylla/matjord. (Banverket, 2005) Under friktionsjorden återfinns berg. Kartläggning av geologin kommer från omfattande undersökningar gjorda 1994-1995 och 1997-1998. De undersökningar som genomfördes var bl.a. trycksondering, slagsondering, provtagningen av jordprov, siktanalyser och hejarsondering (Banverket, 1999).



Figur 37. Schematisk bild över den konceptuella modellen för Skrea. De blå pilarna i sandlagret visar den generella strömningsriktningen från vattendelaren uppe på Skrea backe ned mot den hydrologiska lågpunkten i området, Ätran.

Berg

Berget ligger mellan 3-10 m under markytan där bansträckningen löper. Berg i dagen finns endast i ett område öster om det norra tunnelpåslaget. Berggrunden domineras av röd till rödgrå granitisk gnejs. Det förekommer även inslag av amfibolit i form av spiror och linser (Andersson, 2003).

Grundvattenbildning

Nybildningen av grundvattnet kommer från nettonederbörden. Detta följer enligt synen på grundvattenbildning enligt Rodhe och Grip. De menar att hortonsk ytavrinning är väldigt sällsynt då sällan fältkapaciteten överskrids i Sverige rådande klimat och geologi. Den utnyttjade nettonederbörden kommer från beräkningar gjorda i HBV-modellen av SMHI.

Grundvattenströmning

Flödesvägarna för grundvatten på vid Skrea backe följer väl topografin. Backen fungerar som en grundvattendelare i området och vatten rinner därmed utmed backen både åt söder och åt norr. För det utvärderade modellen över Skrea norra flödar grundvattnet från grundvattendelare uppe på backen ned mot den hydrologiska lågpunkten norrut som utgörs av ån Ätran.

Hydrologiska och naturliga gränser

Norr om förskärningen flyter ån Ätran. Ån är en naturlig hydrologisk gräns norrut för området. Skrea backe agerar även som en vattendelare och detta är därmed en naturlig gräns söderut.

5.7. NUMERISK MODELL

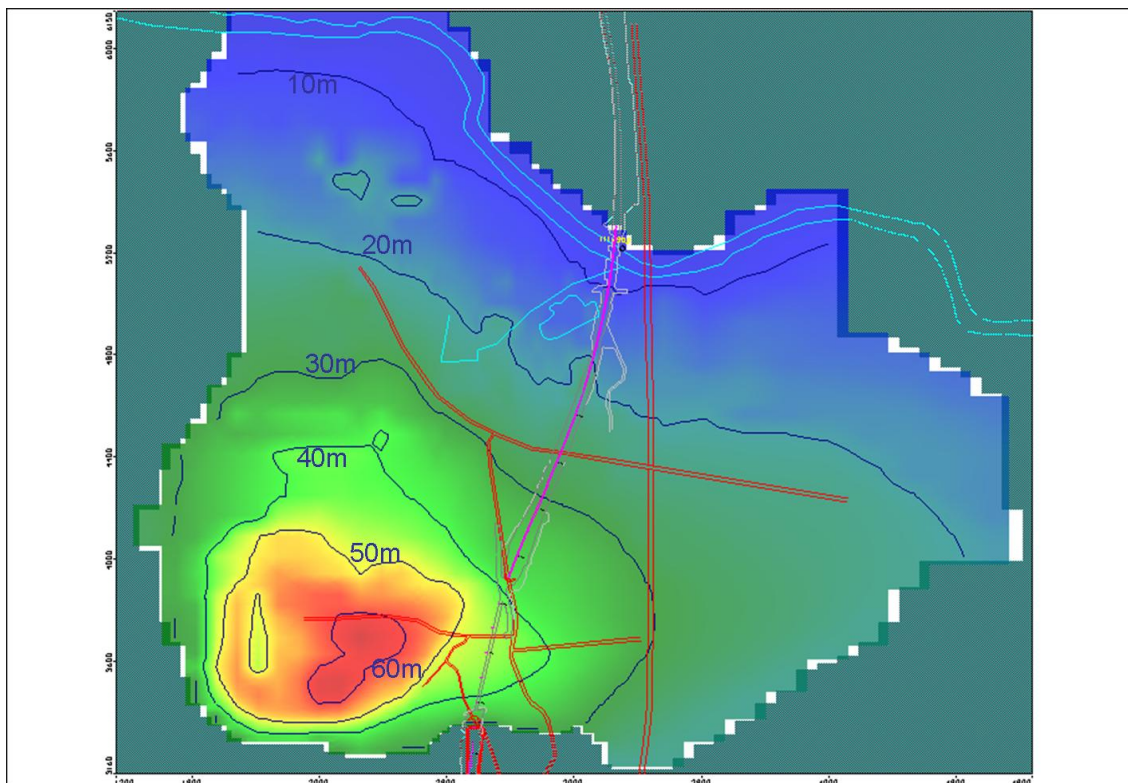
Modell från 2002 och kallas ”2002 drain” är den modellen som valts att utvärderas. Anledningen att just denna modell valts att analyseras är att den är den senaste gjorda och den mest utvecklade. Denna modell är ett urklipp från de tidigare modellerna och representerar endast den norra förskärningen.

Modell egenskaper:

7 lager	} 56672 st. celler.
92 rader	
88 kolumner	

5.7.1. Grundvattenyta

Den initiella grundvattenytan kommer från en steady-state körning där ingen simulering för förskärningen är medtagen. Denna grundvattenyta är antagen vara startnivå för alla simuleringar.



Figur 38. Initialnivå för grundvattenytan.

5.7.2. Konduktiviteter

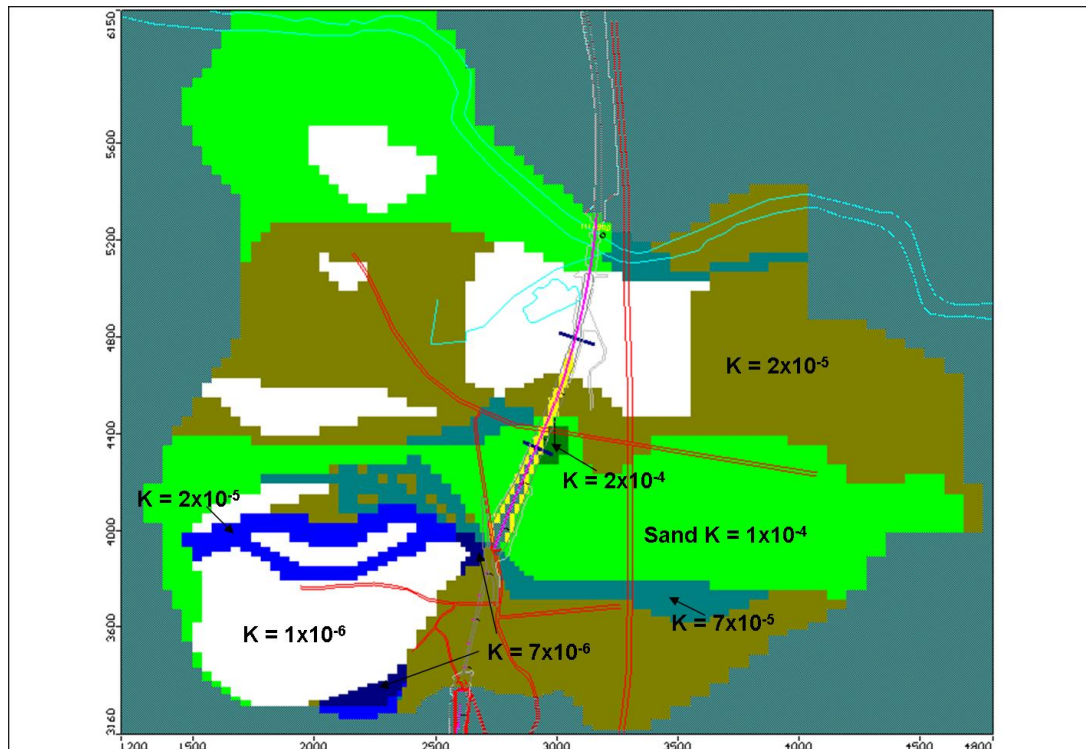
Jordlagren egenskaper har ansatts med bakgrund av de siktanalyser, borrhålsdata och provpumpningar som genomförts i området. Jordarterna har klassats och angivits värden för hydraulisk konduktivitet enligt tabellerade värden. För de jordlager närmast förskärningen har följande värden ansatts. Den överliggande sandens konduktivitet har antagits ligga mellan $0.7\text{--}2 \cdot 10^{-4}$ m/s horisontellt och 3-4 ggr lägre vertikalt. Moränen under sanden har antagits ha

ett värde på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s horisontellt och 10 ggr lägre vertikalt. Det finns en morän djupare ned i jordlagren som ansågs vara något tätare. Denna har fått en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. (Lissel, PM Simuleringar 2002 Skrea backe, 2002)

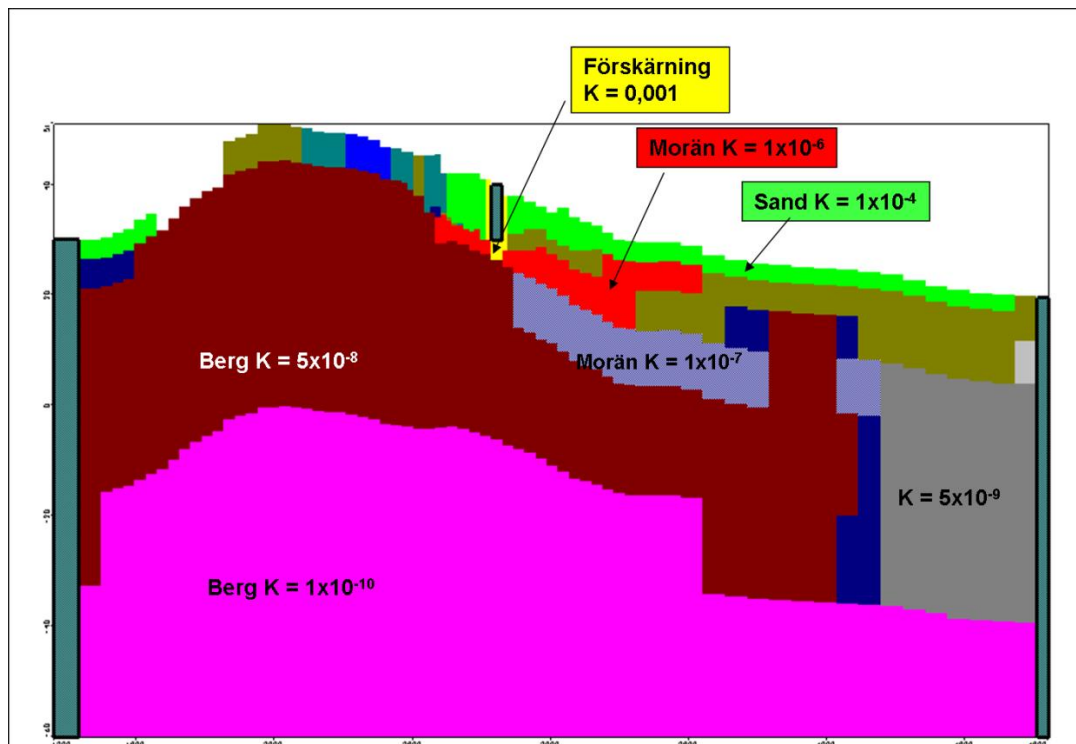
De olika jordlagren ger området ett heterogent utseende, vilket kan ses i figur 39 och 40. Det finns 16 olika konduktiviteter definierade i modellen. Många utav lagren har samma konduktivitet i en riktning, t.ex. kan två lager ha samma konduktivitet i x- och y-led men den vertikala z-konduktiviteten skiljer sig.

Tabell 6. Ansatta konduktiviteter för modellen. Typen som heter förskärning är den konduktiviteten som är ansatt runt dräneringen vid förskärningen. Förskärningen simuleras som dränering i modellen och den höga konduktiviteten skall simulera ett högt flöde in till förskärningen.

Färg	Typ	K_h	K_v
	Morän	1,0E-06	1,0E-07
	Morän	7,0E-06	7,0E-07
	Sand	2,0E-04	1,0E-04
	Morän	7,0E-05	7,0E-06
	Berg	5,0E-08	5,0E-08
	Berg	3,0E-08	3,0E-08
	Morän	2,0E-05	5,0E-06
	Berg	3,0E-08	3,0E-09
	Berg	5,0E-09	1,0E-09
	Morän	2,0E-05	5,0E-06
	Sand	1,0E-04	3,0E-05
	Morän	1,0E-06	1,0E-07
	Berg	1,0E-10	1,0E-10
	Förskärning	1,0E-03	5,0E-03
	Morän	1,0E-07	1,0E-08



Figur 39. Jordlager med tillhörande horisontella konduktiviteter för Skrea norra.



Figur 40. Jordlagerprofil för Skrea norra med tillhörande horisontella hydrauliska konduktiviteter.

5.7.3. Randvillkor

5.7.3.1. Constant head

Runt om kanterna av området i modellen har randvillkoret constant head använts. Constant head villkoret används för att fixera trycknivån vid ett exakt värde för cellen. Detta värde

förändras inte oavsett tillståndet i modellen eller i omgivande celler. Villkoret kan därmed fungera som en oändlig källa av vatten eller oändlig sänka. Nivåerna i olika väderstreck i modellen visas i figur 41 nedan.

5.7.3.2. Drain

I modellen har villkoret används på två olika sätt. Dels har villkorets används för att representera befintlig dikning på åkrarna samt för att representera fröskärningarna. Den befintliga täckdikningen i åkrarna transporterar bort vatten och motverkar en måttlig grundvattensänkning. I och med att grundvattnet sänks undan kommer flödet i täckdikningen minska och därmed blir inte sänkningen lika kraftig.

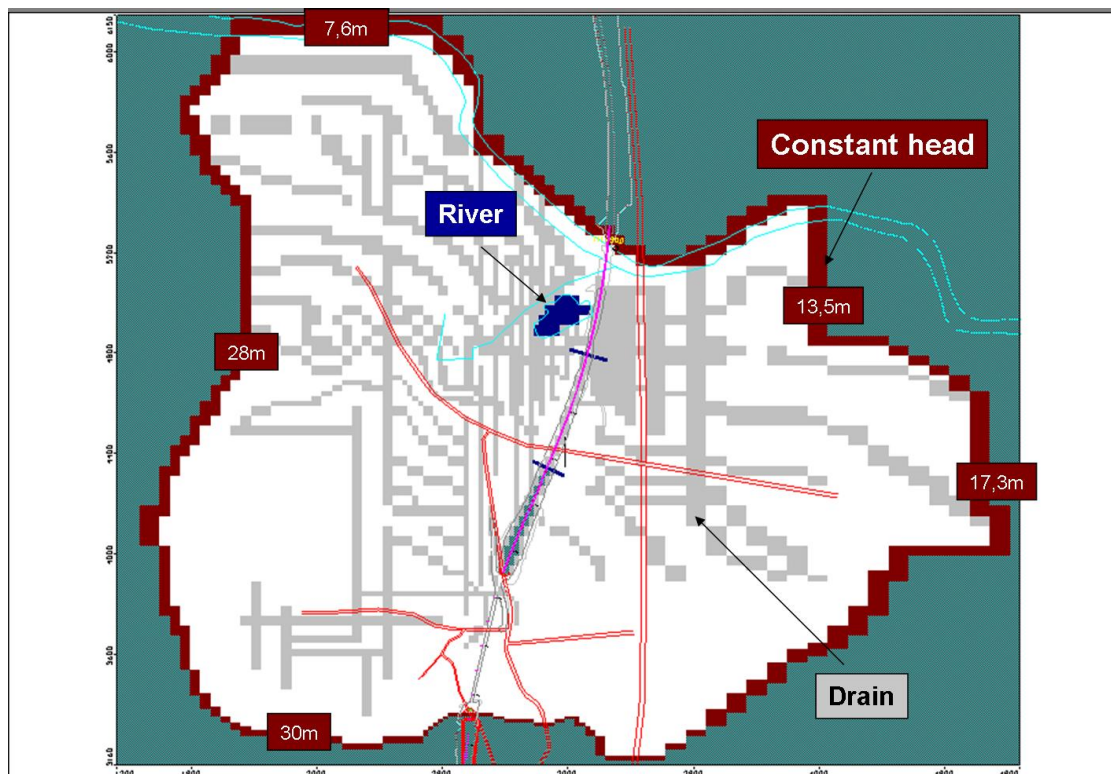
Dräneringen ligger i det översta lagret av modellen, vilket är av varierande tjocklek och dräneringarna når ned till botten av lagret. Detta innebär att det finns stor spridning av dräneringarnas läge under markytan. Dräneringsvillkoret ansätts genom att man anger en dräneringsnivå och en konduktans. Konduktansen är ett mått på hur mycket trycknivåerna ska ändras mellan dräneringen och omgivande grundvattensystem. I modellen har olika konduktanser antagits, de varierar mellan 200, 222 och 400 m²/dag.

Ett specialfall av dränering har används för att simulera förskärningen. Området för förskärningen har antagits vara en stor dränering och cellerna inom förskärningens område sagts vara dräneringsceller. Botten på dessa celler når ned till den tänkta Banvallens nivå. För att kunna simulera den öppna förskärningen med hjälp av dränering har konduktansen i dessa celler satts högt. Värdet är på 5000 m²/dag och dräneringens utformning kan ses i figur 42 nedan.

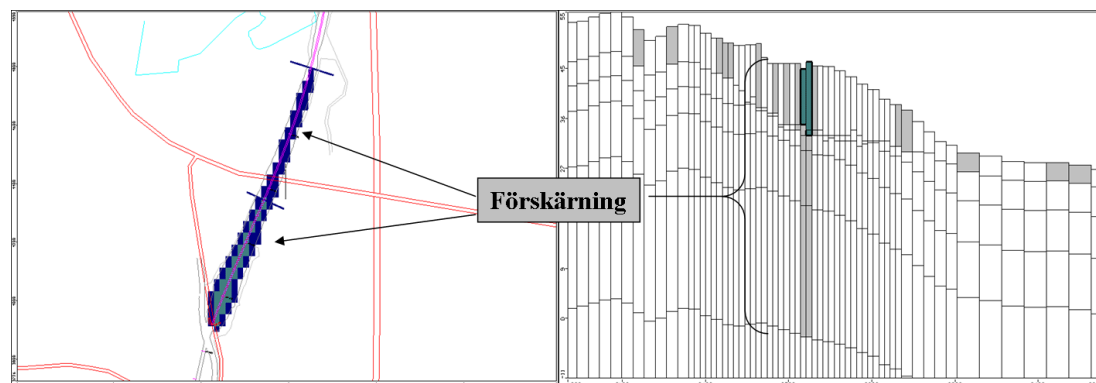
5.7.3.3. River

Vid början av förskärningen finns en damm. Dammen har i modellen getts villkoret river. Villkoret används i modellering för att simulera att vattendrags påverkan på omgivande grundvatten situation. Vattendraget kan, beroende på omkringliggande hydrauliska gradienten, verka som en källa eller sänka av vatten till omgivningen. Villkoret ansätts genom att man anger botten, ytnivå och konduktans för vattendraget.

I modellen har dammens simulerats till ett djup av 0,5m och en konduktans på 200 m²/dag.



Figur 41. Randvillkor för Skrea norra



Figur 42. Förskärningens utseende och hur den simulerats som dränering

5.7.3.4. Recharge

Nybildningen av grundvatten har ansats till 456 mm/år och är detsamma som nettonederbörden i området. Detta värde är hämtat från SMHI och är ett värde beräknat med hjälp av HBV-modellen.

5.8. KÄNSLIGHETSTEST

För att testa hur egenskaperna för de olika randvillkoren påverkar resultatet av modellkörningar har en känslighetstest genomförts. Testen innebär att värden för de ingående parametrarna ändras och responsen iakttas.

5.8.1. TRIAL AND ERROR

Modellering av området runt Skrea backe användes framförallt för att kunna prognostisera flöden in till förskärningarna och storleken på det influensområde en grundvattensänkning

skulle ge upphov till. Värdena vilka fastslogs i vattendomen kommer från de tidigare upprättade modellerna. Vid körning av denna nyare och klippta modell får man betydligt mindre influensområde och mycket mindre inläckage.

Simulering ger: 429 m³/dygn vatten till förskärningarna.

Influens området blir enligt figur nedan.



Figur 43. Beräknat influensområde vid simulering av modell från 2002.

5.8.1.1. Känslighetsanalys av konduktansen i förskärning

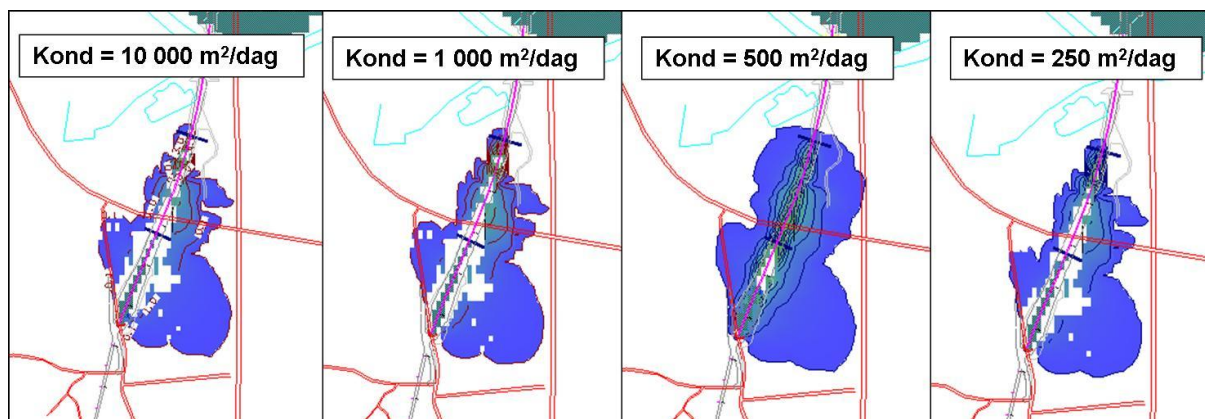
Syftet med detta test är att se hur konduktansen på förskärningens dränering påverkar modellresultatet. Resultatvariabler är storlek på influensområde samt flöden in till förskärningen.

Metodik: Konduktansen ändrades i flera omgångar för att se hur flödet och influensområdet påverkas av förändringen. I original modellen används en konduktans på 5 000 m²/dygn och vid körningar har den varierats från 10 000 till 100 m²/dygn.

Tabell 7. Känslighetsanalys av konduktans för dränering vid förskärning.

Känslighetstest av ansatt konduktans vid förskärning		
Kond. [m ² /dygn]	Flöde [m ³ /dygn]	Influensområde
10 000	437	Snarlik original
5 000	429	Original
1 000	438	Snarlik original
500	439	Snarlik original
250	402	Snarlik original
100	konvergerar ej	

Konduktansen visar inte upp någon större känslighet utan flödet till förskärningarna håller sig i samma storleksordning. Täckdikningen i området har en konduktans på ca 200 m²/dag och om förskärningens värde ansätts till samma storleksordning fås ett något lägre inläckage. Vid ännu lägre konduktans konvergerar inte modellen vid rådande residual krav. Konduktansen har måttlig eller ingen påverkan på influensområdets storlek. Vid en konduktans på 500 m²/dag blir influensområdet något större än originalet, se figur 38 nedan.



Figur 44. Influensområdets utbredning vid olika konduktanser vid förskärningen

5.8.1.2. Känslighetsanalys av net recharge

I modellen från 2002 användes en nettotillförsel av vatten från nederbörden på 456 mm/år. Detta värde kommer från beräknad nettonederbörd som i medeltal faller över Skrea området per år. Statistiken kommer från SMHI station i Jonstorp och sträcker sig över åren 1960-1995. Den verkliga nederbörden under anläggningstiden kommer från mätningar gjorda i SMHI:s station i Varberg. En uppskattning av nettonederbörden kommer från tidigare genomförda uppskattningar, dessa visar att nettonederbörden är ungefär hälften av den totala nederbörden.

Tabell 8. Totalnederbörd från SMHI:s station i Varberg samt uppskattad nettonederbörd.

	2005	2006	2007	2008
Nederbörd [mm/år]	680	1069	1060	1034
Nettonederbörd [mm/år]	340	535	530	517

Metodik: Egenskapen för nettotillförsel från nederbörden ändrades till olika värden och modellen kommer köras för dessa. Resultatvariabler är storlek på influensområde samt flöden in till förskärningen.

Tabell 9. Känslighetstest av nettonederbörden.

Känslighetstest av ansatt nettonederbörd		
Nettonederbörd	Flöde (m ³ /dygn)	Influensområde
800	721	mindre, utdraget
700	697	mindre, utdraget
600	594	mindre, utdraget
500	624	mindre, utdraget
456	429	Original
400	393	Avsänkning över hela området
300	konvergerar ej	

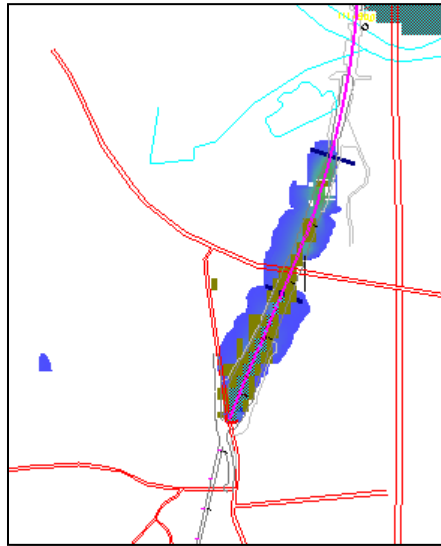
5.8.1.3. Känslighetsanalys av konduktiviteter

Metodik: Många utav de konduktiviteter som ligger närmast förskärningen har ändrats till ett lägre värde. Deras värde har sänkts för att symbolisera tätare material och därmed få ett lägre flöde till förskärningen, vilket är den tendensen som setts från uppmätta flöden.

Konduktiviteten för jordart har ändrats var för sig, men även tillsammans i grupp.

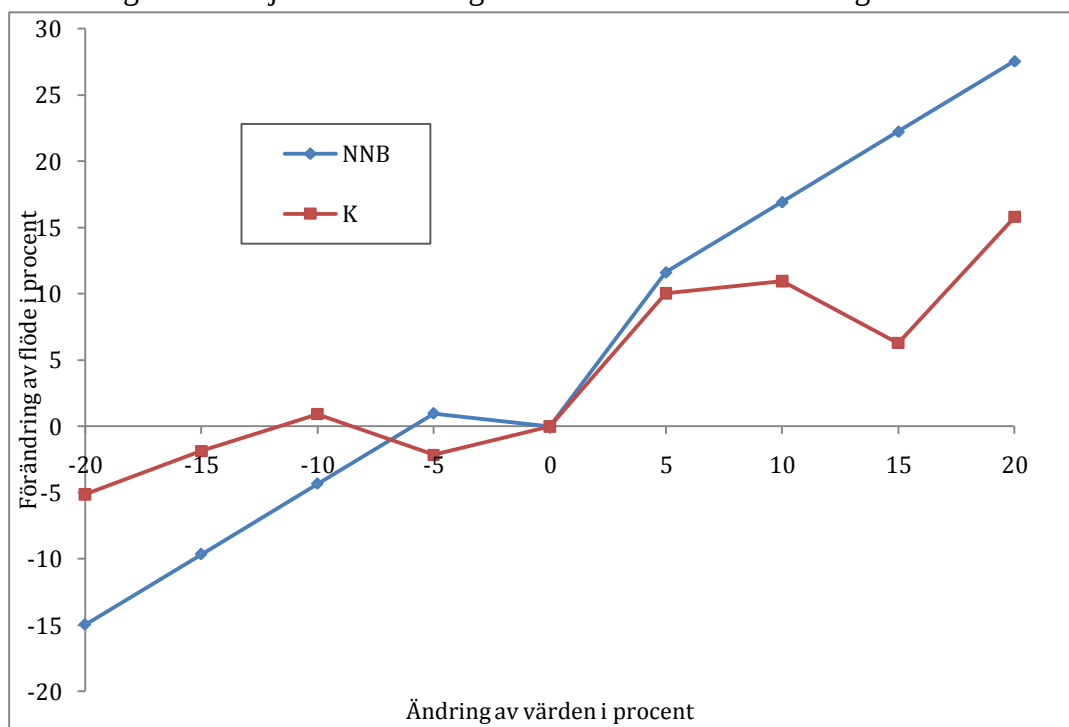
Tabell 10. Känslighetstest för konduktiviteter

Känslighetstest konduktiviteter							
färg	typ	K _h [m/s]	K _v [m/s]	Flöde innan [m ³ /dygn]	NY K _h [m/s]	NY K _v [m/s]	Flöde efter [m ³ /dygn]
	Förskärning	1,0E-03	5,0E-03	429	1,0E-04	3,0E-05	432
	Sand	1,0E-04	3,0E-05	429	5,0E-05	8,0E-06	konvergerar ej
	Morän	1,0E-06	1,0E-07	429	5,0E-07	5,0E-08	408
	Morän	2,0E-05	5,0E-06	429	5,0E-06	1,0E-06	konvergerar ej
	Morän	7,0E-06	7,0E-07	429	1,0E-06	1,0E-07	
	Morän	1,0E-06	1,0E-07	429	5,0E-07	5,0E-08	
	Morän	2,0E-05	5,0E-06	429	5,0E-06	1,0E-06	Konvergerar ej
	Morän	7,0E-06	7,0E-07	429	1,0E-06	1,0E-07	
	Morän	2,0E-05	5,0E-06	429	5,0E-06	1,0E-06	377
	Morän	7,0E-06	7,0E-07	429	1,0E-06	1,0E-07	
	Morän	1,0E-06	1,0E-07	429	5,0E-07	5,0E-08	373
	Morän	7,0E-06	7,0E-07	429	1,0E-06	1,0E-07	
	Förskärning	1,0E-03	5,0E-03	429	1,0E-04	3,0E-05	
	Sand	1,0E-04	3,0E-05	429	5,0E-05	8,0E-06	
	Morän	1,0E-06	1,0E-07	429	5,0E-07	5,0E-08	327
	Morän	2,0E-05	5,0E-06	429	5,0E-06	1,0E-06	
	Morän	7,0E-06	7,0E-07	429	1,0E-06	1,0E-07	



Figur 45. Influensområde för försök, då 5 konduktiviteterna sänktes samtidigt. Resultatet blir ett betydligt mindre influensområde än verkligheten.

För att få en samlad känsla för vilka av de två parametrarna konduktivitet och nettonederbörd som har störst genomslagskraft på resultatet har ytterligare känslighetstest genomförts. Procentuella förändringar av parametrarnas tidigare kalibrerade värden genererar procentuell förändring av flödet jämfört med originalet. Resultatet kan ses i figur 46 nedan.



Figur 46. Känslighetsanalys av konduktivitet (K) och nettonederbörd (NNB).

Ett bekymmer värt att belysa är modellens känslighet beroende på önskad precision. Innan simuleringar genomförs görs inställningar vid vilken förändring av residualen, felet, som en önskad lösning kan anses vara uppnådd. Programmet kommer iterera till dess att denna önskade precision är uppnådd och då avsluta beräkningarna. Valet av noggrannhet på modellen är svår att bestämma och varierar mellan olika modeller och dess syften. Vid

simuleringar med modellen av Skrea backe har det inträffat vid otaliga gånger att lösningen inte konvergerar mot något resultat. För att få ett resultat har ibland residual kriterierna höjts och därmed precisionen minskat. Ett exempel på hur utfallet kan bli vid minskad noggrannhet ses i tabell nedan.

Tabell 11. Förändring av flödet då residualkriterierna ändras innan simulering. Precisionen har ändrats från 7 till 3 cm.

Recharge 465 [mm/år]					
Residual [m]	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
Flöde [m ³ /dygn]	549	554	486	486	468

5.8.1.4. Ändring av randvillkor

Runt om det utvärderade modellen har ett och samma gränsvillkor använts. Det använda gränsvillkor är *constant head*, vilket innebär att ett konstant värde på grundvattennivån ansätts. Detta val av randvillkor innebär att gränserna kommer agera som en oändlig källa eller oändlig sänka av vatten. Genom att ändra villkoren på gränserna kan man förändra förutsättningarna för simuleringarna och även få ett annat resultat. En förändring till gränsvillkoret *general head*, vilket skulle kunna ge en något mer anpassningsbar gräns, innebär ingen skillnad då det är *steady state* simuleringar som genomförs. *General head* innehåller en tidsterm vilket saknas i *steady state* simuleringar, vilket förklarar den uteblivna skillnaden. Att använda detta villkor skulle kunna få önskad anpassningsbar effekt när programmet försöker iterera fram en slutlig lösning. Randen skulle då kunna anpassa sig i takt med att antalet iterationer ökar. Detta anses dock ha ringa påverkan på resultatet. För att testa gränsvillkoren kommer istället de konstanta värdena ersättas av *no-flow* villkor vid östra respektive västra randen i modellen. Detta genomförs för att dessa gränser är parallella med flödeslinjerna från Skrea backe ned mot Ätran i norr och därmed kan villkoret anses vara rimligt.

Bytet av randvillkor till *no-flow* resulterade inte i någon förändring av flödet eller någon märkbar påverkan på influensområdet.

5.9. VALIDERING

För att testa modellens riktighet genomförs validering av modellens resultat mot tidigare ej i modellen använda data. Genomförandet innebar att resultat av modellen jämförs mot uppmätta grundvattennivåer för området. I ett första steg valideras modellen utan att simulering för förskärningen är medtagen. Denna modells resultat ligger till grund för initialvillkor för simuleringar av förskärningarna. Modellen resultat jämförs mot två olika mättillfällen, från 2003 och strax innan byggnationen startade 2005.

Även en validering av modellen när simulering av förskärningen är medtagen genomförs för att testa modellens riktighet under byggfasen. Resultaten av valideringarna redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 12. Valideringsresultat från innan anläggningstiden samt under anläggningstiden. Tabellen redovisar även kalibreringsresultaten gjorda under ansökningstiden, kallat original.

	Medel residual [m]	Abs medel res [m]	RMS [m]
Original	-2,004	3,24	3,798
2003-11-12	1,4	1,659	2,045
2005-05-10	0,686	1,414	1,778
2006-05-17	-0,325	1,065	1,23
2006-10-18	0,195	1,267	1,565

6. RESULTAT

6.1. BERÄKNAT FLÖDE MOT UPPMÄTT FLÖDE

Resultaten av uppmätta flöden till förskärningar jämfört med beräknade skiljer sig ganska markant åt. Tyvärr kan inte fortvarighetstillståndet utvärderas eftersom mätningar slutade att genomföras innan tunneln togs i drift. Resultat kan ses i tabell 13 nedan.

Tabell 13. Resultattabell över beräknade och uppmätta flöden.

	Norra		Södra	
	Beräknat	Uppmätt	Beräknat	Uppmätt
Fortvarighetstillståndet	640	-	500	-
Fortvarighetstillståndet, max	3 225	-	2 530	-
Byggskede	640	419,5	500	588
Byggskede max	4 840	1 900	3 795	2 877
Byggskede max + dagvatten	6 170	1 900	4 295	2 877
Högsta flöde vid simulering	677	-	-	-

(Flöden i $m^3/dygn$)

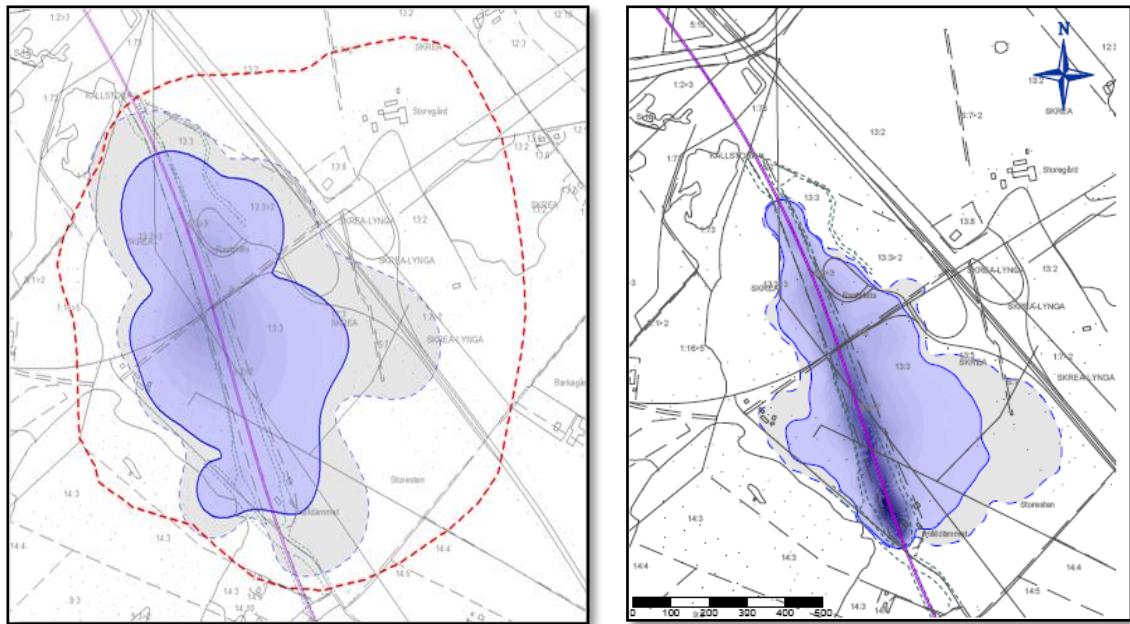
Det uppmätta medelflödet under byggskedet för den norra förskärningen understiger det som beräknats fram medan vid den södra överstiger det uppmätta. Alla uppmätta värden innefattar både dagvatten och läckande grundvatten, då det är en svår uppgift att separera dessa två åt. Beträffande maxvärden är uppmätta flöden väldigt långt ifrån de beräknade och tillåtna. För norra förskärningen är uppmätt maxflöde knappt en tredjedel av det tillåtna maxflödet men vid den södra är skillnaden något mindre. Om prognosberäkningar görs om med uppskattad nettonederbörd utifrån uppmätt totalnederbörd fås högre samstämmighet mellan uppmätt flöde och predikterat.

Tabell 14. Uppmätt nederbörd och uppskattad nettonederbörd över Skrea backe. Tabellen innehåller även nya analytiska prognosberäkningar med de uppskattade nettonederbörderna.

	2005	2006	2007	2008
Nederbörd [mm/år]	680	1069	1060	1034
Nettonederbörd [mm/år]	340	535	530	517
Max flöde, norra [$m^3/dygn$]	1568	2465	2444	2384
Max flöde, södra [$m^3/dygn$]	1229	1932	1916	1869

6.2. BERÄKNAD INFLUENS MOT UPPMÄTT INFLUENS

Resultaten av jämförelse mellan prognostiserad och uppmätt influens visar tydligt att det verkliga influensområdet har en mindre utbredning än den utbredning som accepterades i vattendomen. I det fallet där den största influens uppmättes, i beräkningen med korsplottar, är även den mindre än den tillåtna och den tangerar endast utbredningsstorleken på vissa platser, se vänstra bild nedan. Den röda linjen i bilden visar den prognostiserade influensen vid ett värsta fall scenario. Om man istället jämför den beräknade influensen i den vänstra bilden med den högra bilden, som är prognostiserad utefter ett troligt scenario, visar det att den beräknade influens stämmer ganska väl överens med den predikterade eller t.o.m. är något större.



Figur 47. Den vänstra bilden visar beräknad influens med hjälp av korsplottar utan krav på korrelation. Den röda streckade linjen representerar 0,1 m prognostiserad avsänkning utifrån ett värsta fall scenario, medan den blåa streckade är 0,1 m beräknad avsänkning. Den högra bilden visar prognostiserad avsänkning utifrån ett troligt scenario.

Vad det beträffar de andra beräknade influenserna visar även de upp liknande utseende. Alla de beräknade influenserna är mindre än de värsta utfallet av avsänkning som prognostiserats men håller ungefär samma utbredning som den troliga beräknade avsänkningen.

6.3. RESULTAT AV KÄNSLIGHETSTEST

Utvärdering av känslighetsanalysen visar att modellen är måttligt känslig för förändring av konduktansen i förskärningen. Nettonederbörden är den parameter som påverkar resultatet mest och kan därmed anses vara den med högst känslighet. Konduktiviteterna uppvisar en måttlig känslighet då de ändra en och en. Om flera konduktiviteter ändras samtidigt fås dock en större känslighet. Förändring av randvillkor från konstant värde på randen till inget flöde över randen uppvisar ingen påverkan på resultatet då ett troligt scenario simuleras.

Tabell 15. Sammanställning av känslighetsanalys.

Parameter	Värde	Flöde	Influens
Konduktans förskärning			
original	5 000 [m ² /dygn]	429	Original
störst avvikelse	500/250 [m ² /dygn]	439/402	Snarlik original
Nettonederbörd			
original	456 [mm/år]	429	Original
störst avvikelse	800/400 [mm/år]	721/393	Mindre utdraget/ avsänkning hela området
Konduktivitet			
original		429	Original
störst avvikelse	sänkningen 4 jordarter ca ½ potens	327	
Randvillkor			
original	constant head	429	
avvikelse	no flow till öst och väst	429	

6.4. VALIDERINGSRESULTAT

Resultatet från valideringen visar att modellen ger relativt goda resultat. Jämfört med kalibreringsresultaten är samstämmigheten betydligt bättre. Påpekas bör även att simuleringar med förskärning ger bättre korrelation mot uppmätta värden än simulering utan.

7. DISKUSSION

Syftet med denna rapport är att få en uppföljning av infrastrukturprojekt samt att återföra kunskaper och erfarenheter. Valet att följa upp anläggningen vid Skrea backe kommer utav de omfattande förundersökningar som genomförts, den utdragna domstolsprocessen och årtal av grundvattenmätningar i området. Trots dessa till synes goda förutsättningar har arbetet inneburit många problem, både väntade och oväntade.

Angående grundvattennivåerna har det funnits ett stort antal rör att få nivådata ifrån samt att mätningar har pågått under lång tid. Problem har uppstått på grund av att mätningar har avslutats i flertalet rör under anläggningstiden, vilket har försvårat tolkningen av grundvattenförändringen. Många nya rör har tillkommit vid anläggningsstart, men dessa har

varit svåra att utvärdera då det varit svårt att fastställa en referensnivå innan anläggningsstart att jämföra mot.

I vattendomen för anläggningen fastslogs både hur stort influensområdet fick vara samt hur stor volym vatten som fick pumpas bort från anläggningen. Domen förkunnade vilka volymer som fick pumpas bort under anläggningsfas samt under en provotid i drift på 3 år efter färdigställande. Tyvärr upprätthölls inte mätningarna av flödet tillräckligt länge att fortvarighetstillståndet under drift kunde utvärderas. Flödet till förskärningarna ansågs vara så pass låga att endast manuella mätningar med mätöverfall genomfördes och i detta finns en stor mätosäkerhet. Domen gjorde även skillnad på hur mycket process-, dag- och grundvatten som skulle få ledas bort från förskärningarna. Detta är ett märkligt krav då det är väldigt svårt att särskilja dessa typer av vatten åt vid mätningar. Om ett sådant krav ställs borde det föregås av en teknisk möjlighet att särskilja dessa vattentyper åt.

Resultatet av flödesmätningar visar kraftigt överskattade flöden till förskärningarna. Högsta uppmätta flöde vid norra förskärningen är t.ex. endast en tredjedel av de tillåtna volymerna. En anledning bakom överskattning är att beräkningarna genomförts enligt ett värsta fall scenario. Till grund för beräkningarna ligger ett antagande om en kraftig nettonederbörd, uppemot 700 mm/år. Den uppskattade nettonederbörden från uppmätt totalnederbörd under anläggningstiden ligger runt 520-530 mm/år. Detta tillsammans med att en initiell ökning av flödet kan uteslutas, då de högsta flödena uppmäts långt in på anläggningstiden, ger en relativt god samstämmighet av prognos och verkligt utfall. Dock innefattar dessa beräknade värden endast inläckage av grundvatten till förskärningarna vilket innebär att dagvattenberäkning saknas. Därmed överskattas beräknade flöden, trots korrektion av nettonederbörd. En ytterligare felkälla till överskattade max flödena kan vara analogin mellan Vinån och förskärningarna. Resonemanget med jämförelsen är generellt korrekt, att ett max flöde i ån uppkommer vid kraftig nederbörd och att detta kan omsättas till förskärningarnas flöde.

En ytterligare aspekt till resonemanget är att de höga flöden som prognostiserats faktiskt kan ha uppstått. Mätningar av flöden har inte varit tillräckligt frekventa för att utesluta att volymer i paritet med de som tilläts i vattendomen inte har förekommit.

Flöden som beräknades i modellen anses representera ett medelflöde under fortvarighetstillståndet. Eftersom mätningarna inte genomförts i driftskede kan inte korrekta jämförelser genomföras. Om fortvarighetstillståndet kan anses uppnått en bit in på 2006, då schaktningar torde vara genomförda, kan en alternativ jämförelse genomföras. Denna jämförelse visar att vid ett troligt scenario är modellen resultat i samma storleksordnings som uppmätta.

Kontrollen av de analytiska beräkningarna gjordes mot värden från grundvattenmodellen. Dessa visade hög samstämmighet. Dock grundar sig de beräknade arealerna, som avvattnas mot förskärningarna, på beräkningar från grundvattenmodellen. Detta ger ett cirkelresonemang och lägre trovärdiga jämförelse.

Beträffande influensområdets utbredning visar prognosen och verkligt utfall god samstämmighet under förutsättning att ett troligt fall modelleras och inte ett värsta fall. Det värsta fallet, ger ett mycket större influensområde än det beräknade.

Att fastställa ett influensområde utifrån nivådata i rör innebär många problem och felkällor. I fallet med beräknas medelinfluens som genomfördes med data från olika år och årstider är det största problemet att fastlägga en referensnivå. Till referens för dessa beräkningar ansattes tidigare medelvärden för respektive årstid. Problem med detta att frekvensen på mätningar skiljde sig mellan olika rör (vissa rör hade t.ex. väldigt få sommarmätningar), frekvensen skiljde sig inom varje rör (vissa år saknades sommarmätningar) och många rör saknade mätningar innan anläggningsstart. Att mätningar innan anläggningsstart saknades innebar att ofta att röret inte gick att använda till utvärdering. Metoden med beräknad medelinfluens tar inte heller hänsyn till årstidfluktuationer på ett tillräckligt tillfredställande sätt. Dessa anledningar gör att metoden är behäftad med en stor osäkerhet. En bättre metod för att beräkna influens är med hjälp av korsplottar. Denna metod hanterar årstidfluktuationer på ett bättre sätt. Dock förutsätter metoden att man har ett bra referensrör att jämföra mot och att de utvärderade rören har en tillräckligt hög korrelation med referensröret. Ett problem uppstår dock när man ska beräkna avsänkningen för ett rör eftersom det är sällan att linjerna för innan anläggningsstart och efter är parallella. Innebörden blir att en maximal avsänkning kan inträffa vid olika nivåer för olika rör. För att undkomma detta har en nivå på referensröret valts ut och avsänkningen beräknats vid denna. Detta ger inte svar på den maximala avsänkningen som kan inträffa men metoden känns mera tillförlitlig än den med medelinfluens. För att öka säkerheten för metoden har korrelationsberäkningar genomförts och de rör som har för låg samvariation med referensröret sorterats bort. För att få en ännu bättre bild av influensens utbredning och hur grundvattennivåerna samverkar hade det varit önskvärt att genomföra korrelationsberäkningar mellan alla rör och inte bara mot referensröret. Ytterligare en felkälla kan vara valet av interpolationsmetod när influensyta skapats i beräkningsprogram. Vid interpolation av influensutbredning har punkter lagts till som ansetts vara utom påverkan från anläggningen. Dessa punkter kan påverka resultatet av influensområdet om de trots allt inte ligger tillräckligt långt ifrån anläggningen.

Någon konceptuell modell fanns inte att finna i underlag och fakta från projektet. Det blev därför en besvärlig uppgift att först skapa en trolig konceptuell modell utefter det underlag som fanns och sedan analysera den.

Gränser i en modell bör dras utefter naturliga gränser i så stor utsträckning så möjligt och om det inte är tillämpligt bör gränser dras på sådant avstånd att de inte påverkar resultaten. I modellen har endast den naturliga gränsen norr ut vid Ätran utnyttjats. För att få ett hanterbart modellområde har gränser öster- och västerut dragits på behörigt avstånd från intressanta delar av modellen. Söderut ligger gränsen nära förskärningarna vilket innebär att valet av gränstyp påverkar resultatet. Skrea backe agerar som en grundvattendelare i området, det vore lämpligt att använda denna som en gräns. Dock ligger den för nära förskärningarna för att den inte ska anses påverka resultatet. Valet av gränstyp i modellen har varit att specificera nivån för alla gränserna. Detta ger gränser som agerar antingen som källa eller sänka och inte har är alls anpassningsbar. Ett bättre alternativ borde vara att använda ett anpassningsbart

randvillkor för att få en bättre gränsdragning. Öster- och västerut kan man även tänka sig att använda randvillkor som inte tillåter något flöde över gränsen, detta då den generella flödesriktningen är från norr till söder. Detta alternativ visade sig inte innebära någon förändring av resultaten då ett troligt scenario simuleras.

I förundersökningsunderlaget fastslås att det vid Skrea norra endast finns en jordlager följd bestående av mylla, sand och morän. I modellen återfinns dock så många som 17 olika konduktiviteter definierade för olika lager. Detta känns som ett för stort antal och ger en något svårhanterbar modell. De många konduktiviteterna innebär problem vid kalibrering och ger en instabil modell, då många beräkningar för övergångar mellan olika lager innebär större osäkerhet. Känslighetsanalysen visar att konduktiviteterna har en måttlig påverkan på resultaten och styrker ytterligare att färre konduktiviteter borde utnyttjas för att förenkla modellen.

I den utvärderade modellen finns den befintliga täckdikningen i området representerad som dräneringsdiken. Dock saknas dikningen för motorvägen, E6:an. Motorvägen innebär ett tyligt ingrepp i landskapet och den återföljs av diken på båda sidor, detta borde vara medtaget i modellen.

Likt tidigare resonemang är grundvattenbildningen en stark bidragande faktor till resultatet. Vid modellering av ett värsta scenario, med stor nettonederbörd, uppstår de höga flöden och stora influensområden som fastslagits i vattendomen. Vid ett mera troligt fall, med rimligare nettonederbörd, visar modellen relativt god samstämmighet med verkligt uppmätta flöden och influenser. Känslighetsanalysen bekräftar just detta faktum att grundvattenbildningen starkt påverkar resultatet. Detta föranledde försöket att uppskatta grundvattenbildningen med hjälp av nivåmätningar enligt Olin. Metoden var tyvärr svår att applicera på de mätningar som fanns tillgängliga för projektet. Dock finns det en stor potential att kunna använda denna metod i liknande projekt för att uppskatta grundvattenbildningen. En förutsättning är att kontinuerliga mätningar sker med t.ex. en diver. Metoden belyser även de lägsta naturliga grundvattennivåerna som kan uppstå, vilket skulle kunna utnyttjas vid influensberäkningar.

Valideringen genomfördes för att testa modellen mot de verkliga grundvattennivåerna under anläggningstiden. Resultatet visar på att modellen har större riktighet under anläggningstiden än innan. Dock valideras modellen mot ett tillfälligt dagsvärde medans modellen anses beskriva samtliga tillstånd året om. Därmed kan sämre valideringsresultat uppnås vid eventuella låga respektive höga grundvattennivåer.

Avsaknaden av en transient körning av modellen är en stor brist. En transient simulering hade gett ett tydligare svar på hur influensområdet skulle variera med varierande nederbörd samt att det hade varit enklare att fastställa ett fortvarighetsstillstånd. Med en transient körning hade även en simulering av schaktningen varit möjlig.

Ytterligare bekymmersamt med modellen är att den är instabil och bristfällig. Instabiliteten visar sig då simuleringar ofta inte konvergerar till något resultat. Innebörden blir att residualkriterier måste ändras för att nå en lösning på beräkningarna.

Konvergeringsproblematiken kan bero på att vissa lager i modellen har gjort för små och

därmed försvåras beräkningar i dessa. Att modellen inte är tillräckligt bra kalibrerad innebär att precisionen i modellen minskar vilket föranleder att kraven på noggrannhet på simuleringar måste sänkas och därmed ett sämre resultat. Detta innebär ett extra stora problem vid simuleringar av *steady-state* då ett varierande resultat fås vid olika ansatta krav på precision.

Överlag är intrycket att modellen ger acceptabelt resultat för influensområde men att den överskattar flöden. Vid simulering för ett värsta scenario visar modellen som väntat avvikande resultat jämfört mot uppmätta medans vid en simulering av ett mera troligt scenario så visar modellen godtagbara resultat. Dock borde användning av resultat från modellering av grundvattenflöden och influensområden föregås av stor försiktighet. I fallet med modelleringen vid Skrea backe borde simuleringarna använts för att uppskatta flödet beträffande storleksordning och inte som exakt värde. Transienta simuleringar borde varit självklart i detta fall då både ett fortvarighetstillstånd skall beräknas samt tillstånd under anläggningstiden.

8. SLUTSATSER

Beträffande jämförelse mellan prognos och utfall visar rapporten att flödet generellt sett har överskattats till förskärningarna. Detta gäller både för de analytiska beräkningarna och för de numeriska simuleringarna.

- fortvarighetstillståndet kunde inte utvärderas på grund av avslutade mätningar av flödet
- prognos av maxflöden till förskärningar är överskattade
- prognos av initiella flöden under anläggningstiden är överskattade
- mycket av differenserna kan tillskrivas förhållningssättet om att genomföra prognoser enligt ett värsta fall scenario
- hög osäkerhet råder kring prognosernas skapande
- mätningar av flöden innehåller mätosäkerhet beträffande genomförande och frekvens

Jämförelsen mellan prognostiserat influensområdet och uppmätt visar rapporten att influensen storlek överskattats.

- mycket av differenserna kan tillskrivas förhållningssättet om att genomföra prognoser enligt ett värsta fall scenario
- vid simuleringar med ett troligt scenario uppstår högre samstämmighet
- osäkerhet råder vid beräkning av influensområde från nivåmätningar

Analys av grundvattenmodellen visar att den sett uppvisar acceptabla resultat och att konstruktionen av den är godtagbar.

- fortvarighetstillståndet kunde inte utvärderas på grund av avbrutna mätningar av flödet
- modellen uppvisar högre riktighet beträffande influensområde än flöden

- mycket av differenserna kan tillskrivas förhållningssättet om ett värsta fall scenario
- känslighetsanalysen tyder på att nettonederbörden är den känsligaste parametern
- hög osäkerhet uppstår på grund av valet av simuleringsmetod (steady-state)
- precisionen på modellen faller stort avgörande på resultatet
- komplexiteten av modellen anses onödig och en enklare modell förordas

9. REFERENSER

Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling*. San Diego: Academic press inc.

Andersson, T. (2003). *Geologiska förundersökningar*. Petro Bloc.

Banverket. (1999). *Bygghandling Teknisk beskrivning Geoteknik*. Banverket.

Banverket. (2005). *Förfrågningsunderlag, Markarbeten - Teknisk beskrivning*. Banverket.

Berntson, J., & Lissel, P. (1999). *Provpumpning och provschaktning på norra sidan*.

Dahlstrand, S. (2000). *Vattendomsansökan Skrea backe, Bilaga B, Beskrivning av recipienter*.

Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1997). *Physical and Chemical hydrogeology second edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Lindblad, T. (06 2009). löpande diskussion. (J. Ekberg, Intervjuare)

Lissel, P. (2000). *Vattendomsansökan Skrea backe, Bilaga D2, Skadeförebyggande åtgärder, Återinfiltration*.

Lissel, P. (1997). *Hydrogeologiska undersökningar Skrea backe södra*.

Lissel, P. (2002). *PM Simuleringar 2002 Skrea backe*.

Lissel, P. (2002). *PM Simuleringar 2002 Skrea backe*.

Lissel, P. (2000). *Vattendomsansökan Skrea backe Bilaga A Vattenbalans*.

Miljödomstolen, M 101-99 (Miljödomstolen den 09 01 2002).

Miljööverdomstolen, M1039-02 (Miljööverdomstolen den 02 09 2003).

Olin, M. (1994). *Modelling of Groundwater Recharge and Aquifer Characteristics from Level Recordings in Aquifers*. Göteborg.

Rodhe, A., & Grip, H. (2003). *Vattnets väg från regn till bäck 3:de reviderade upplagen*. Karlshamn: Hallgren & Fallgren studieförlag.

www.banverket.se. (u.d.). Hämtat från Banverket:

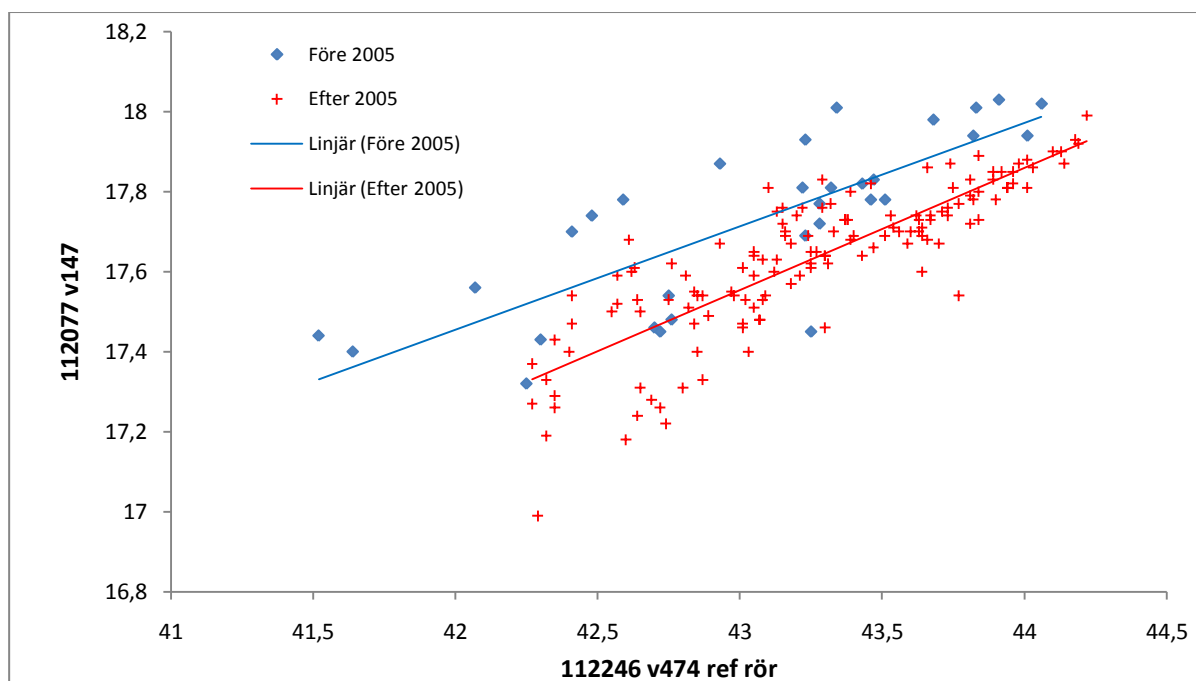
www.banverket.se/pages/6088/Nyhetsblad%20nr%201,%20april%202005.pdf

www.banverket.se. (den 26 03 2009). Hämtat från Banverket:

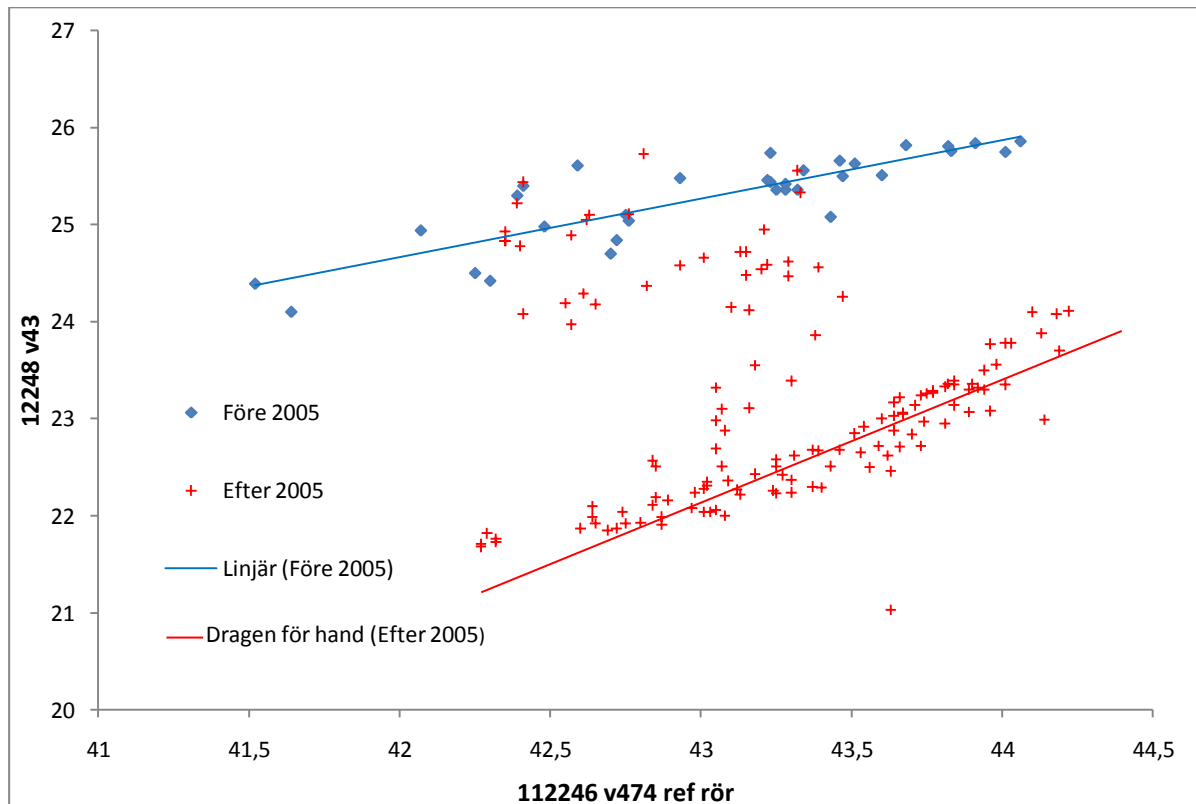
www.banverket.se/pages/6088/Nyhetsblad%20nr%201,%20april%202005.pdf den 26 03 2009

APPENDIX

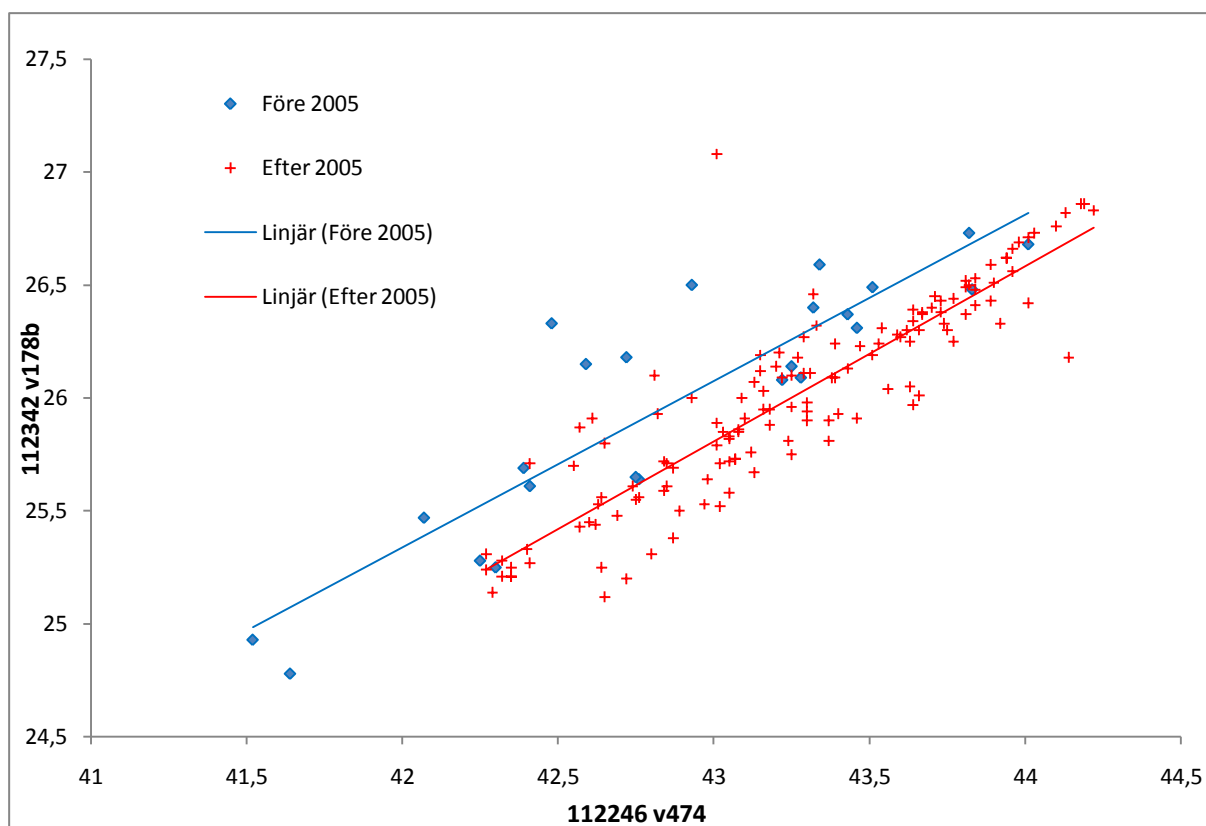
Korsplottar av den norra sidan grundvattenrör mot referensröret 112246 v474.



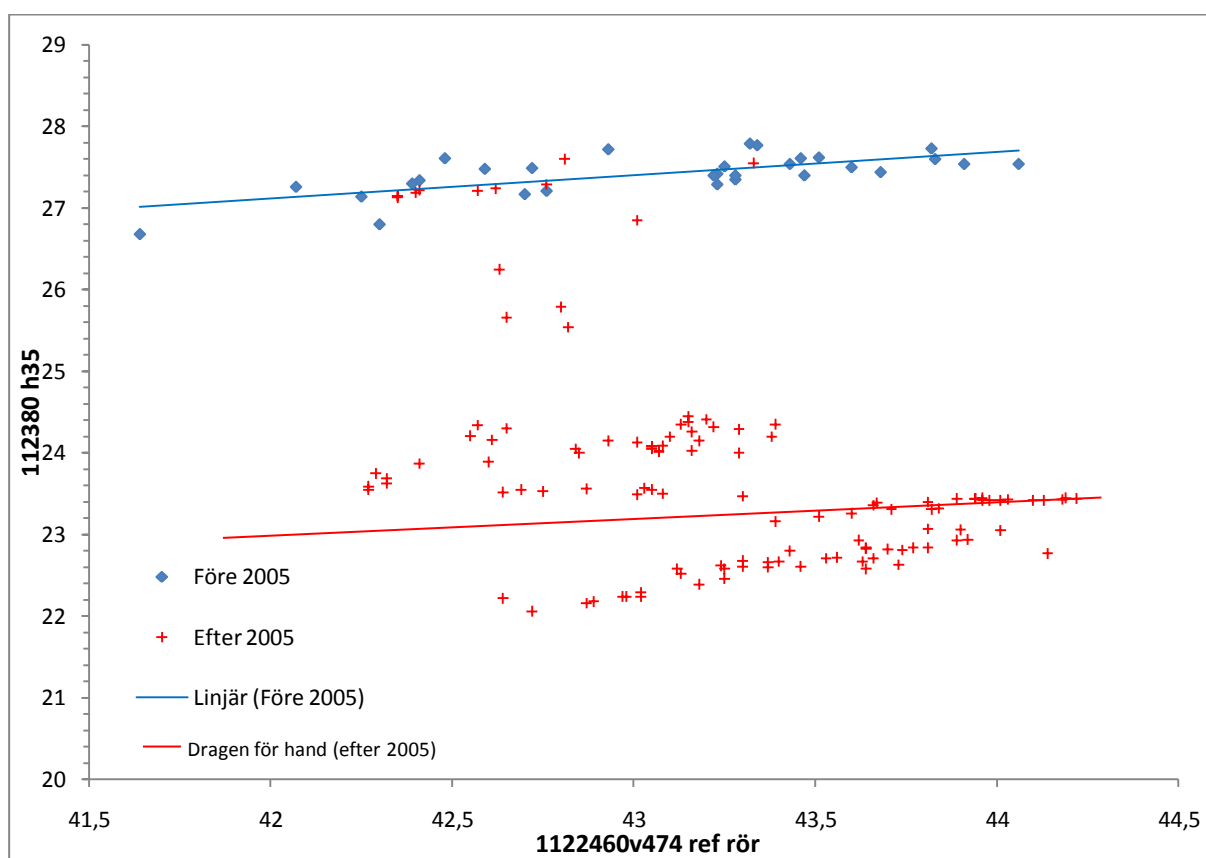
Figur 48. Korsplott av rör 112077 v147 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,16 m.



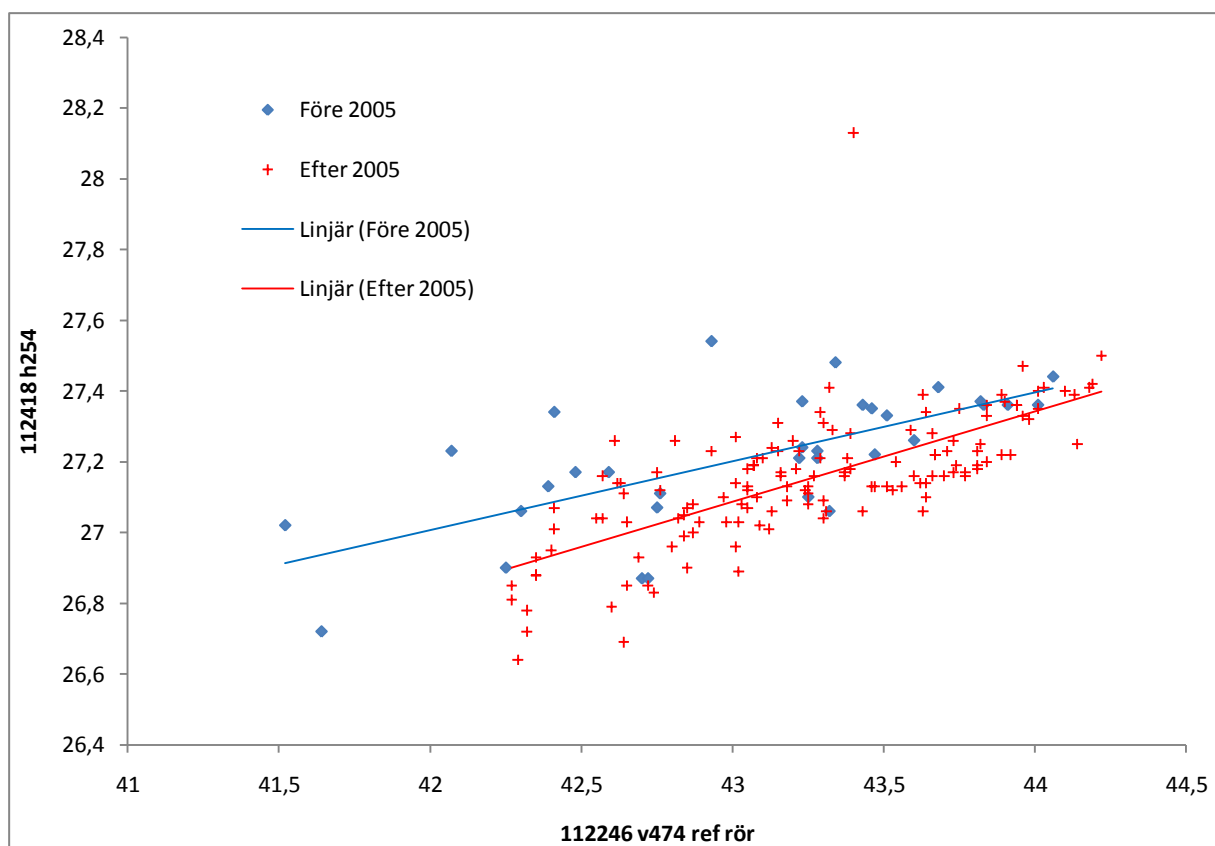
Figur 49. Korsplott av rör 11248 v43 mot referensrör. Beräknad avsänkning 2,87 m.



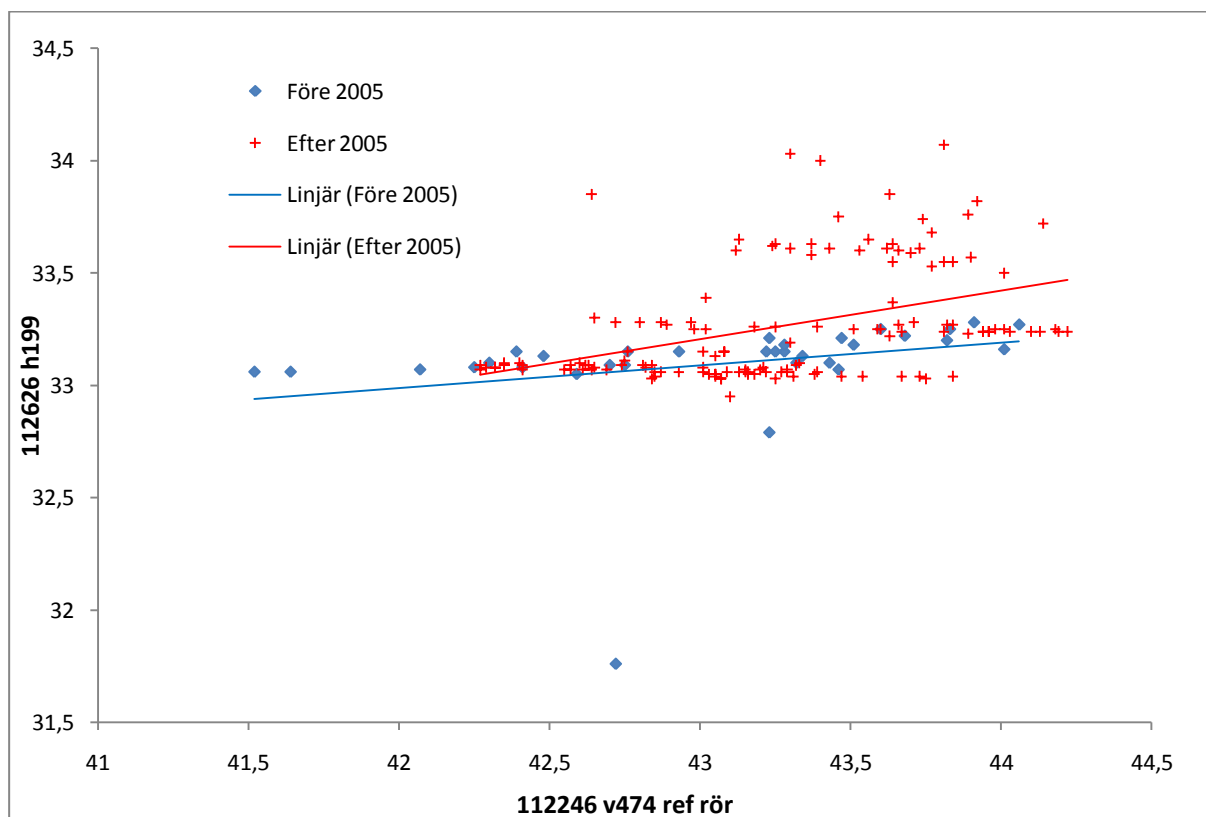
Figur 50. Korsplott av rör 112342 v178b mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,27 m.



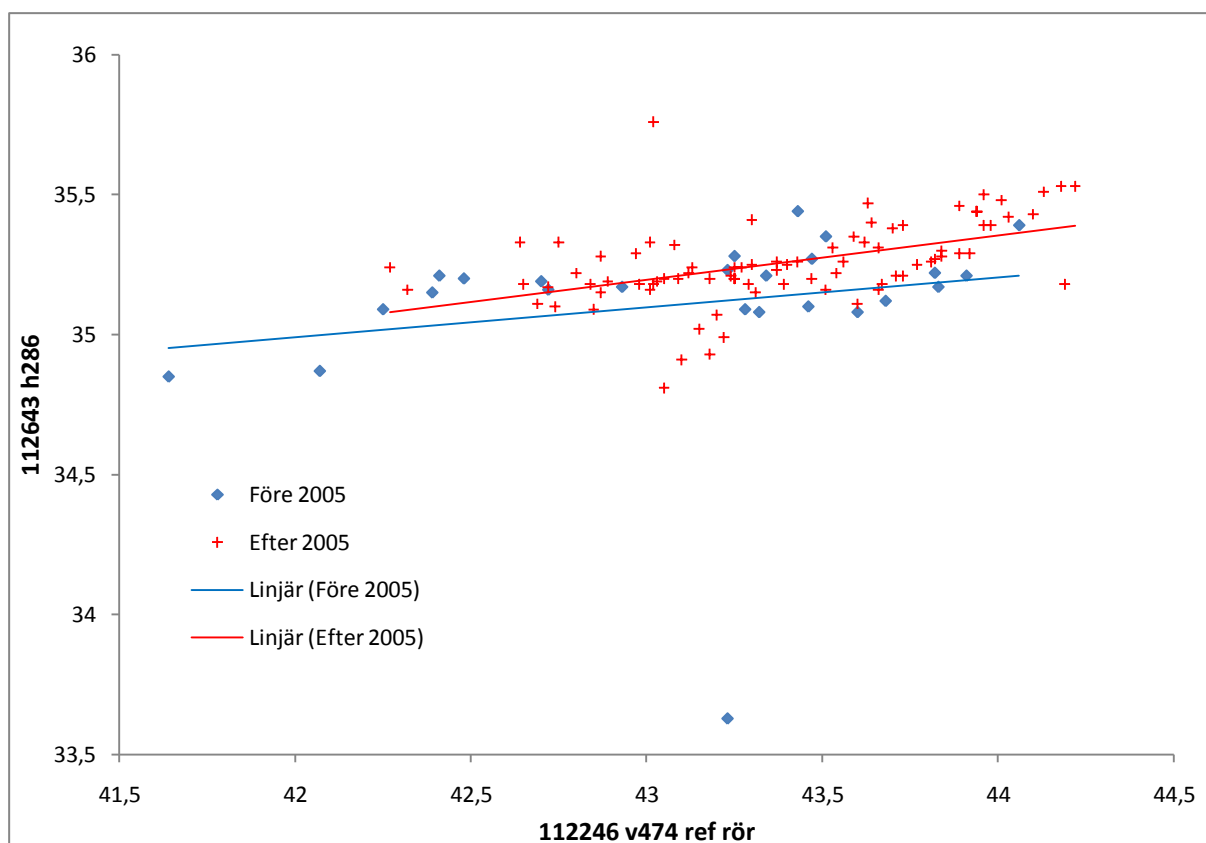
Figur 51. Korsplott av rör 112380 h35 mot referensrör. Beräknad avsänkning 4,20 m.



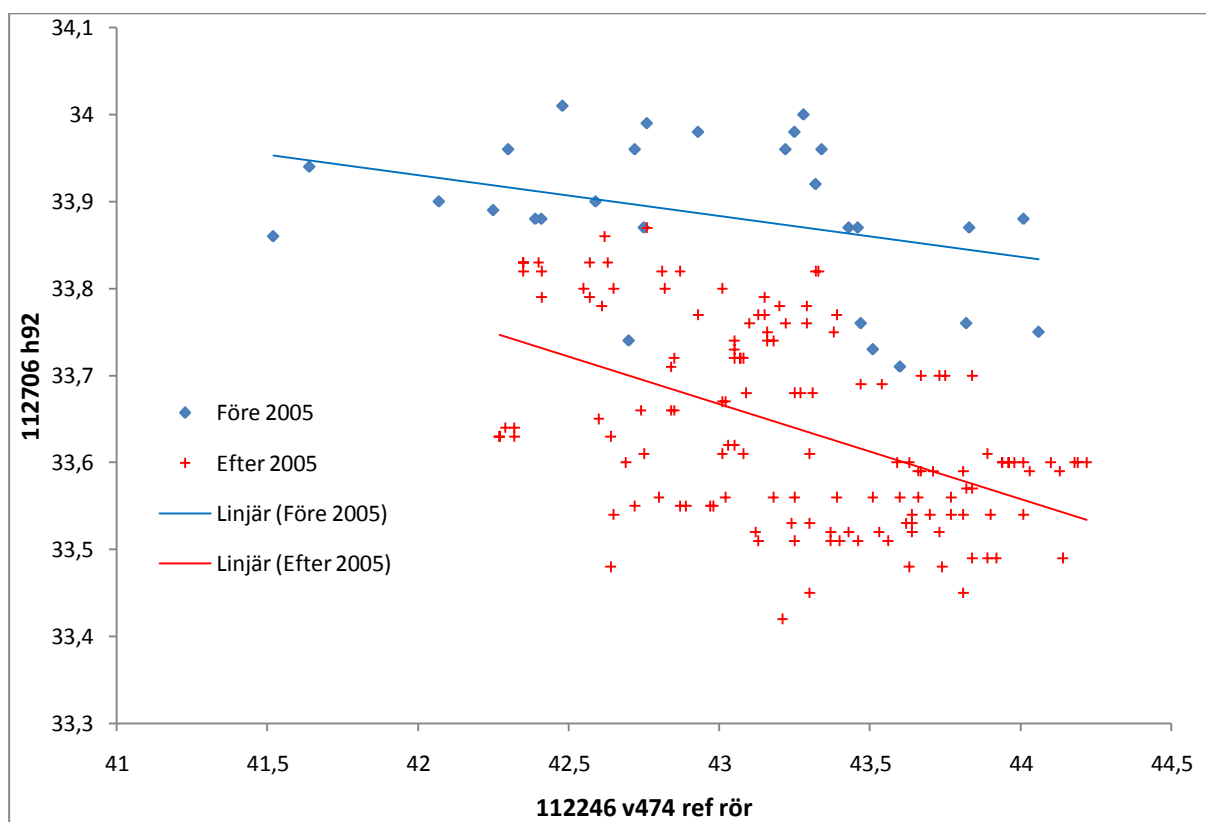
Figur 52. Korsplott av rör 112418 h254 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,11 m.



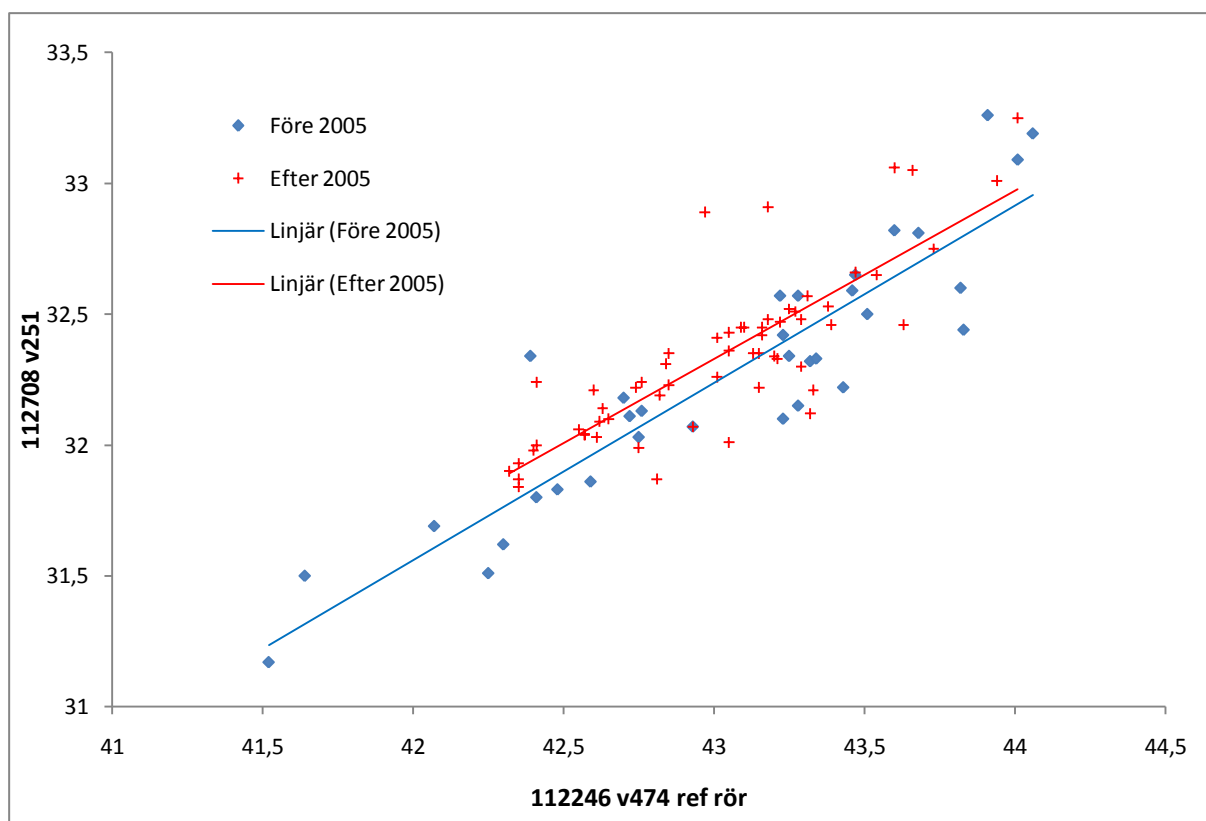
Figur 53. Korsplott av rör 112626 h199 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



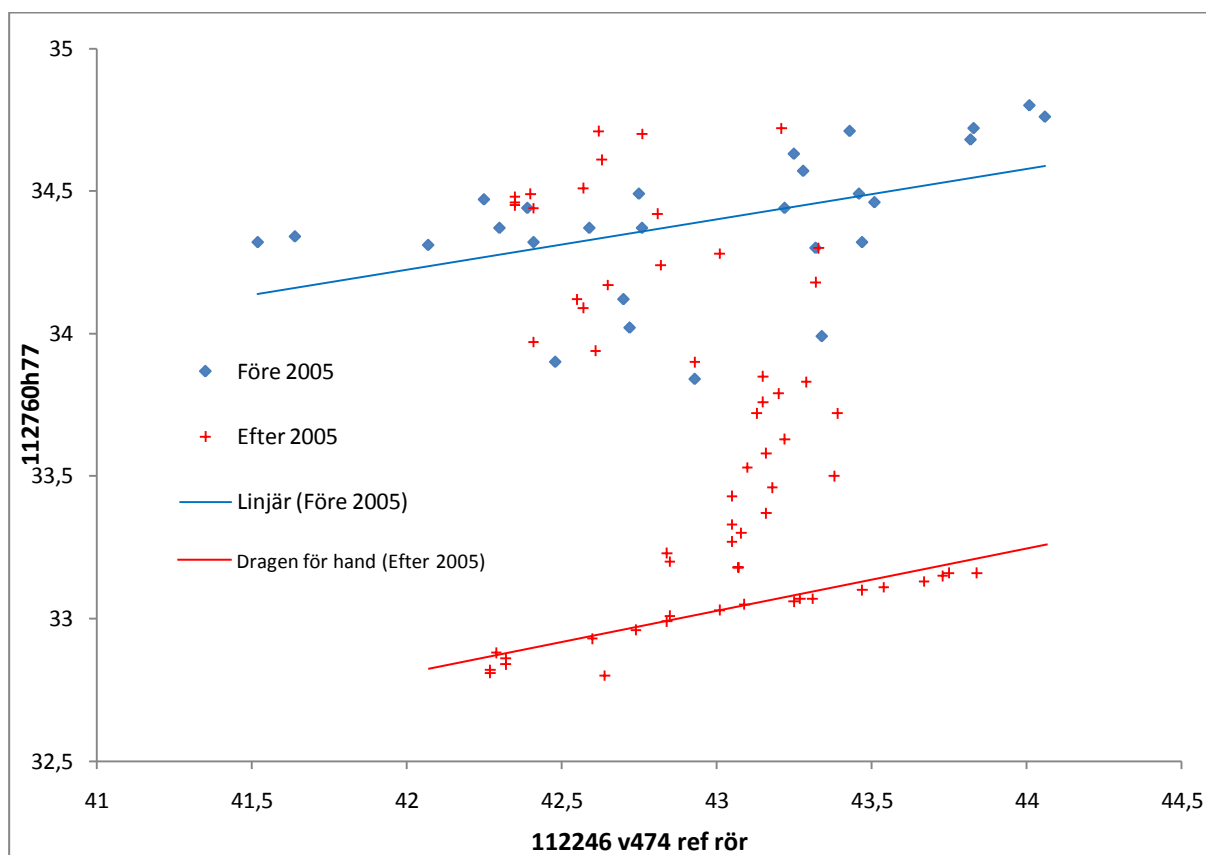
Figur 54. Korsplott av rör 112643 h286 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



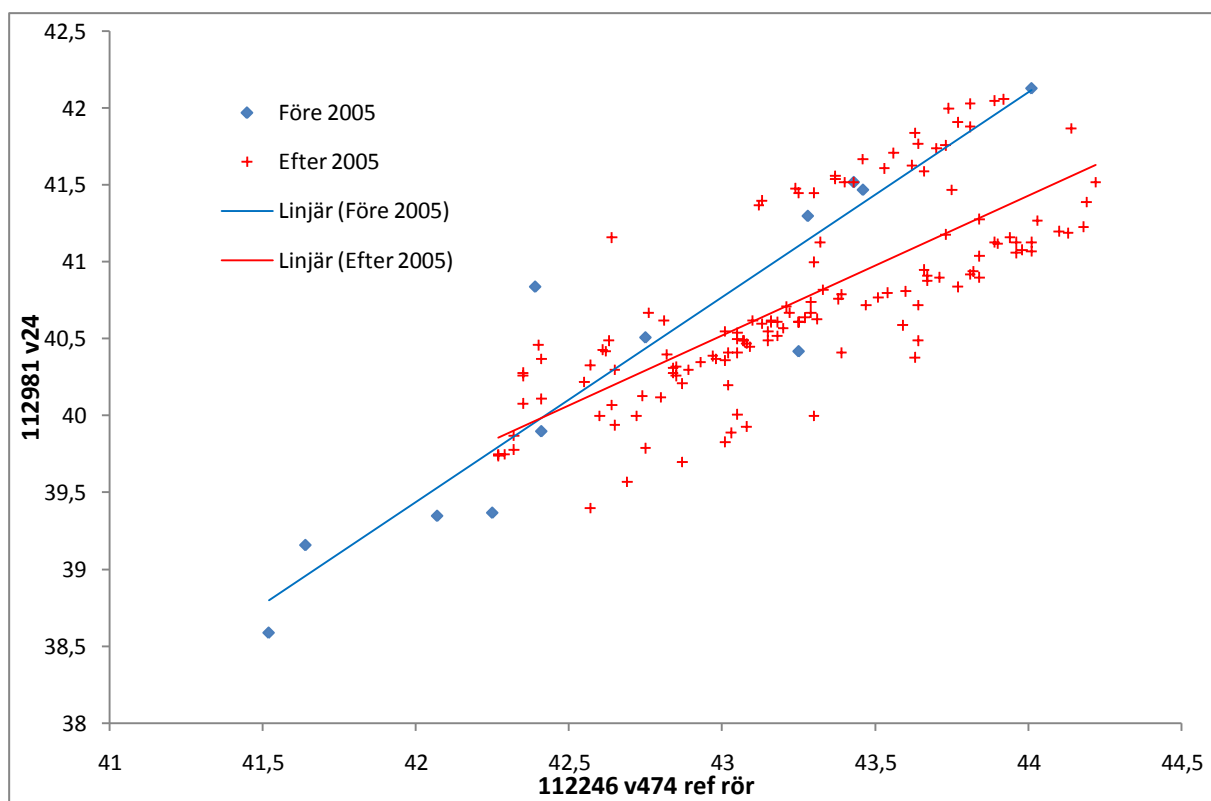
Figur 24. Korsplott av rör 112706 h92 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,22 m.



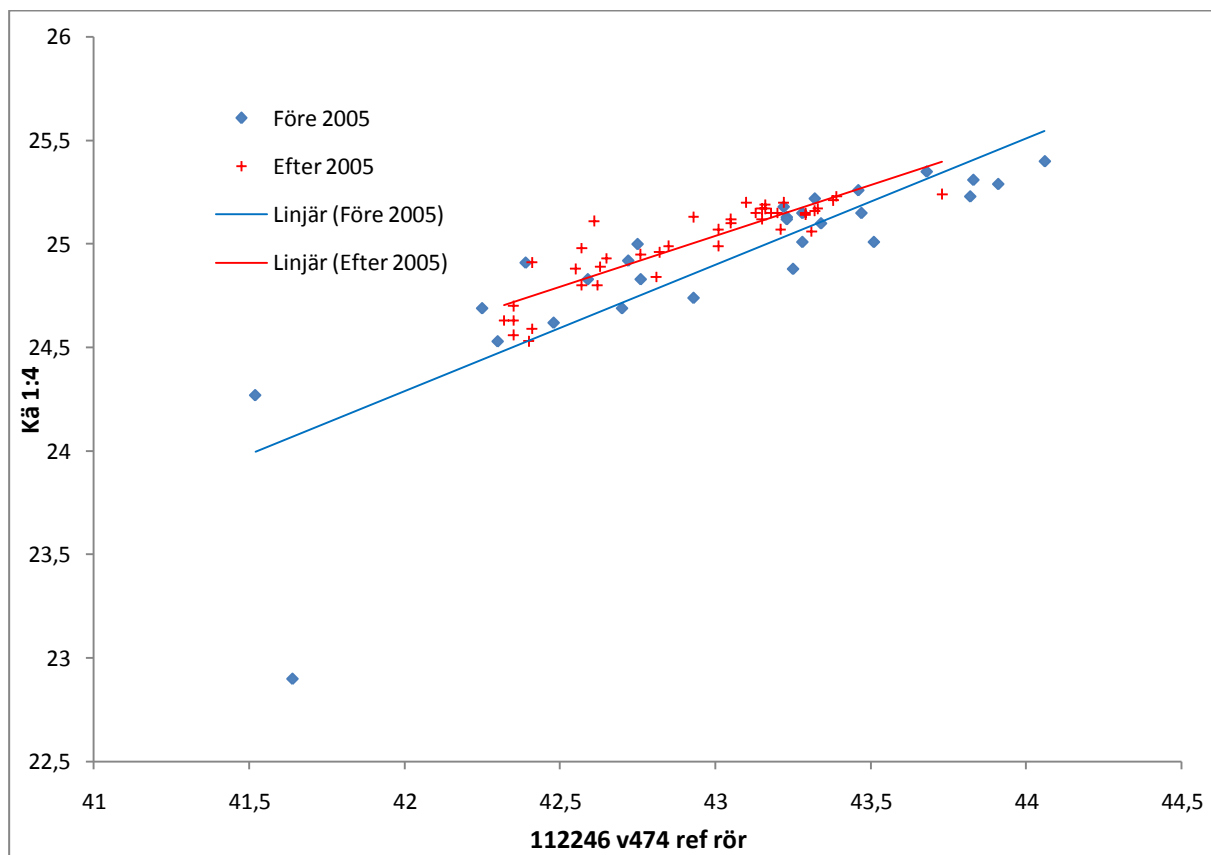
Figur 256. Korsplott av rör 11708 v251 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



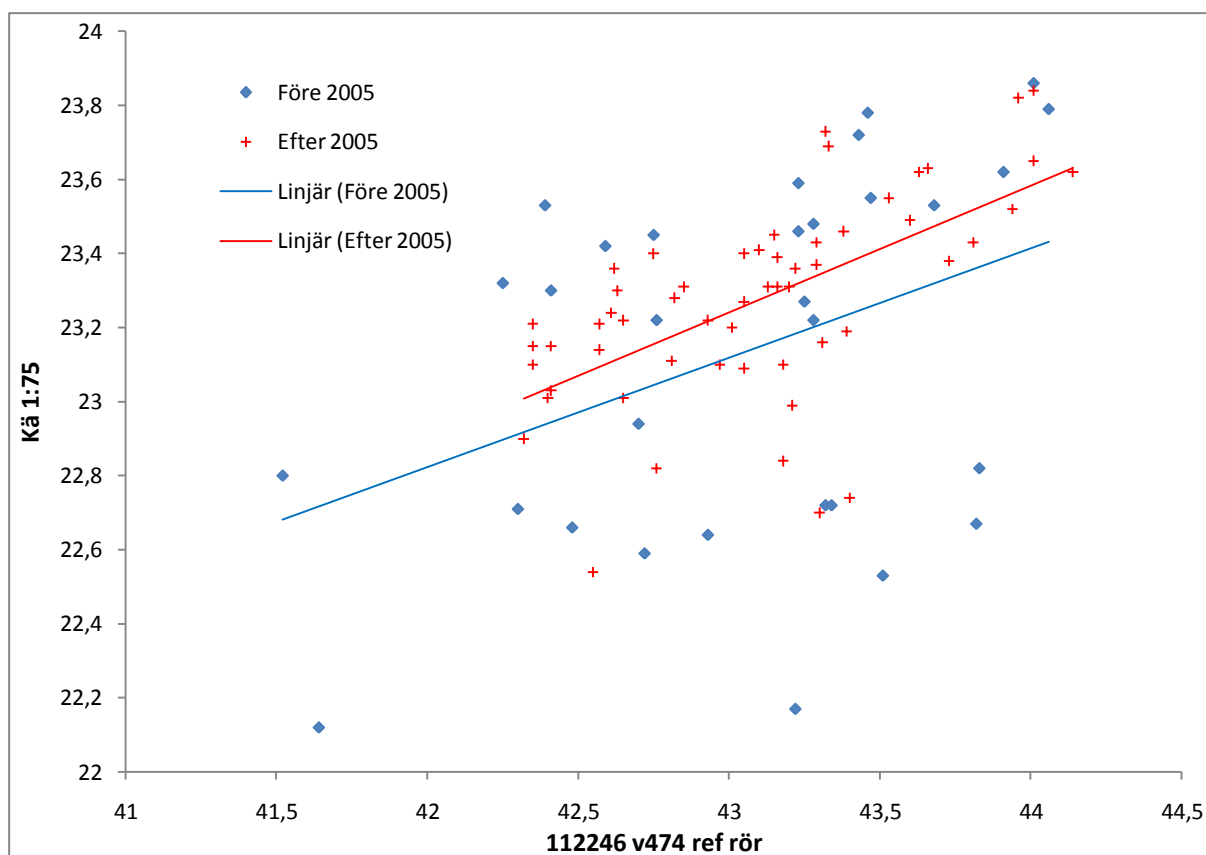
Figur 57. Korsplott av rör 11760 h77 mot referensrör. beräknad avsänkning 1,40 m.



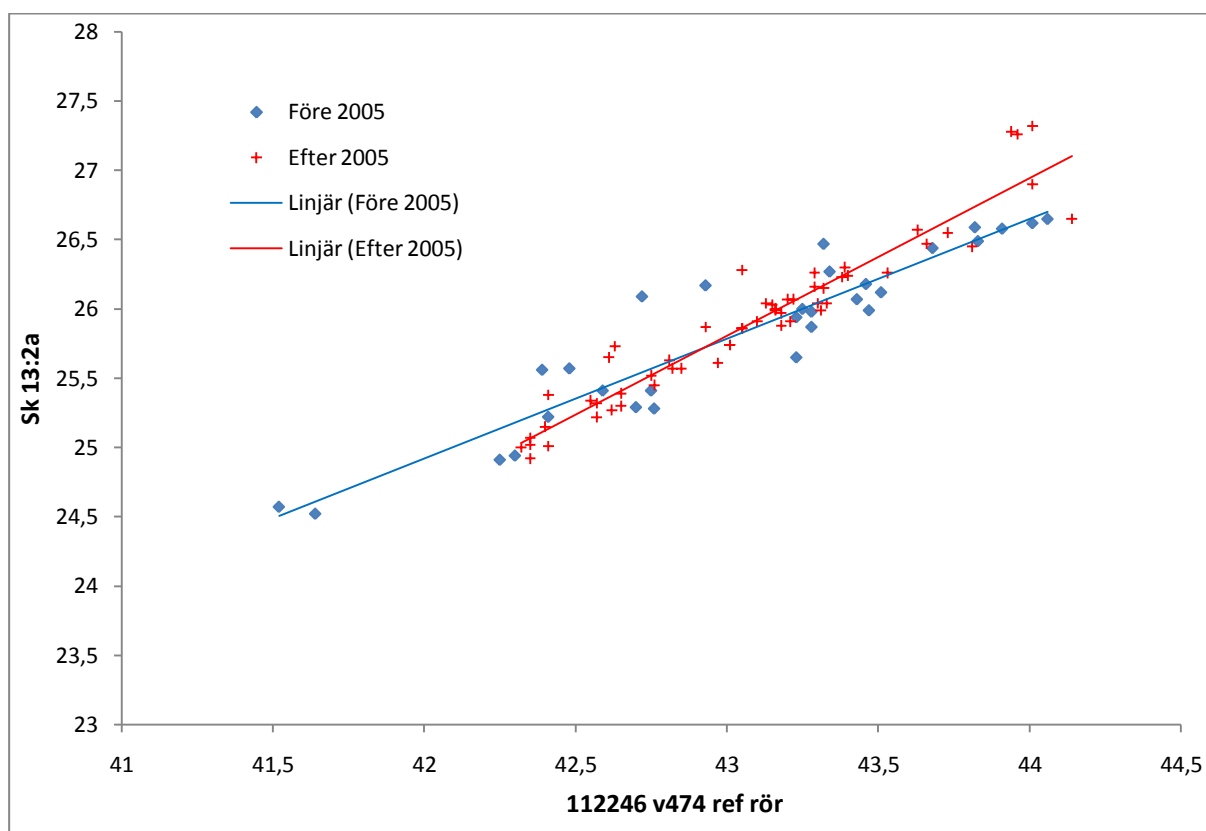
Figur 58. Korsplott av rör 112981 v24 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,25 m.



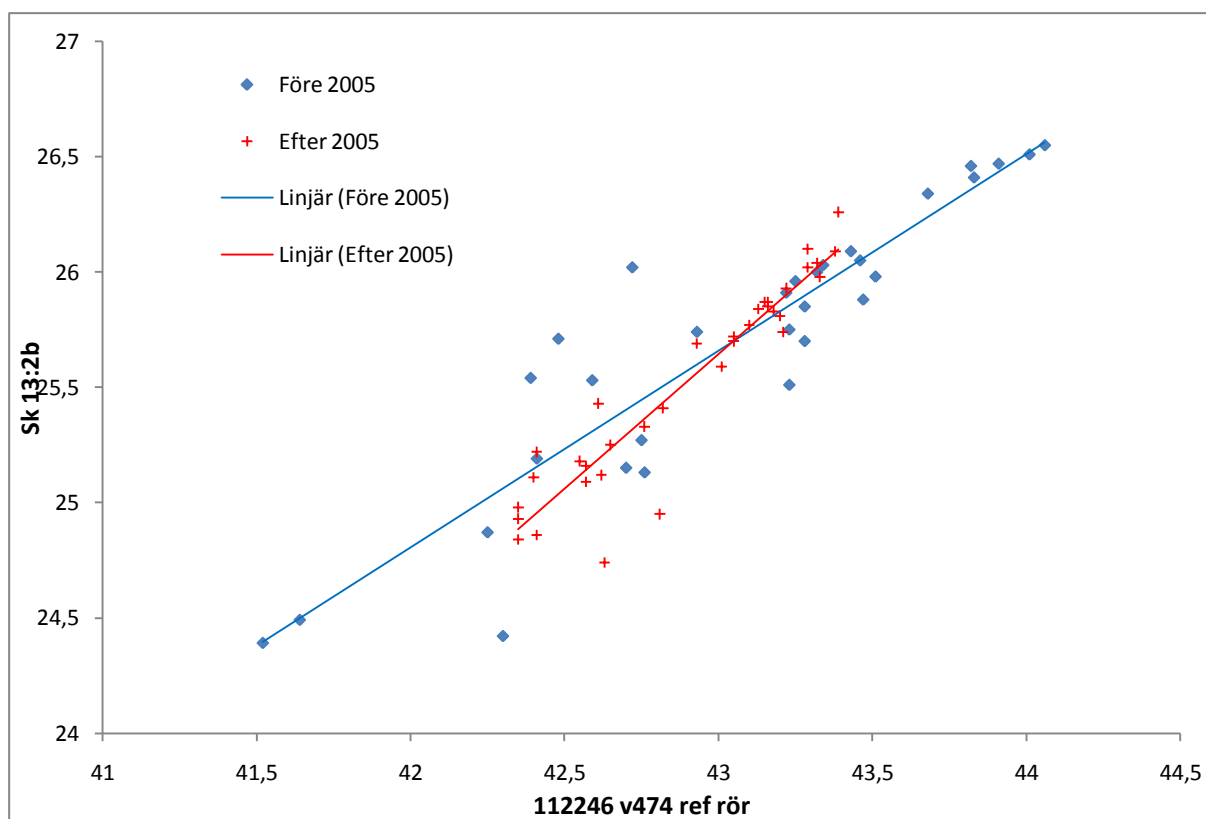
Figur 269. Korsplott av rör Kä 1:4 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



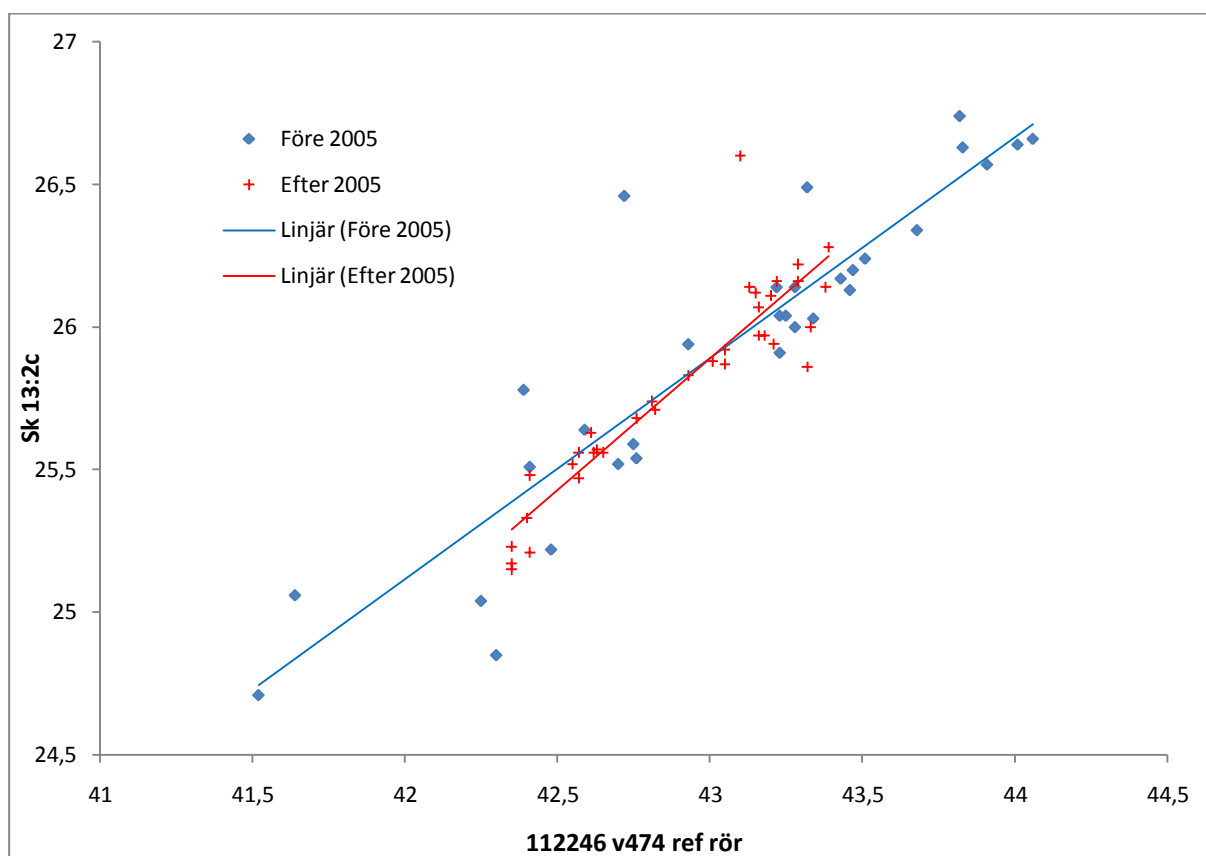
Figur 270. Korsplott av rör Kä 1:75 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



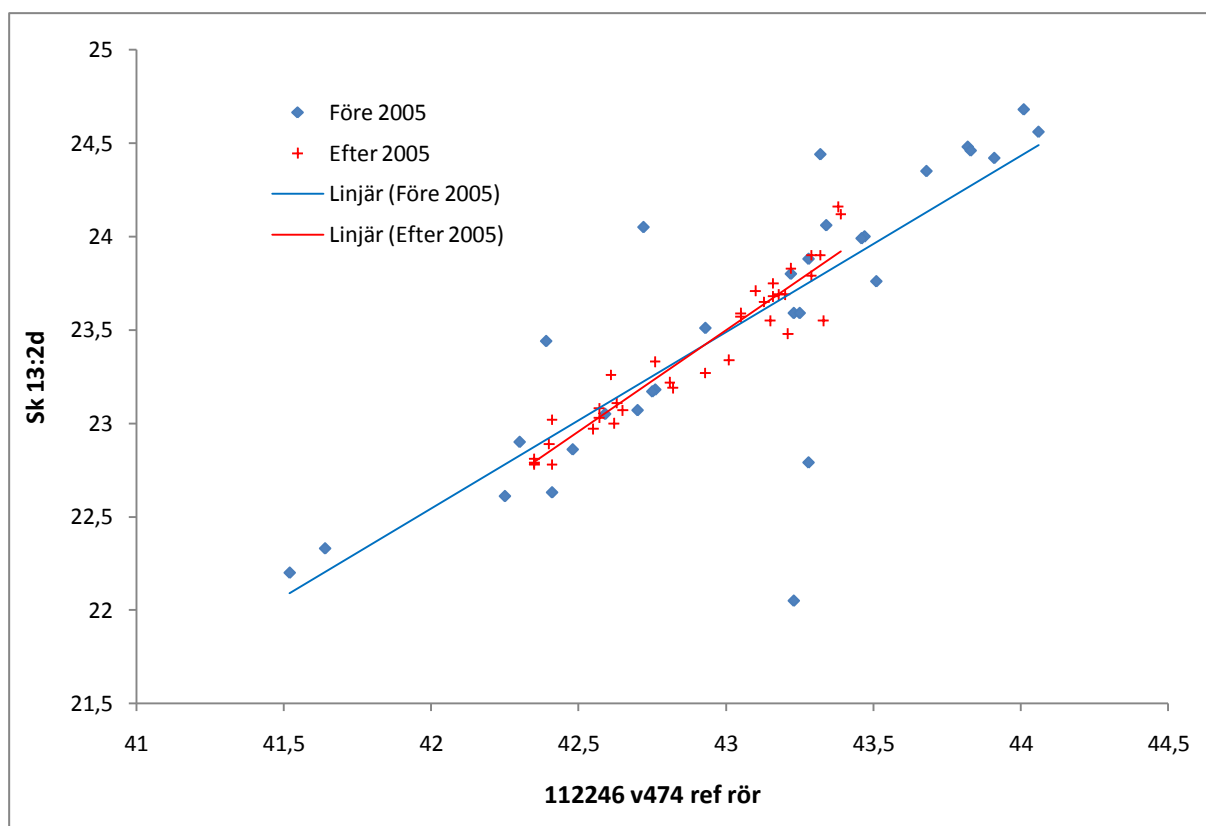
Figur 61. Korsplott av rör Sk 13:2a mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



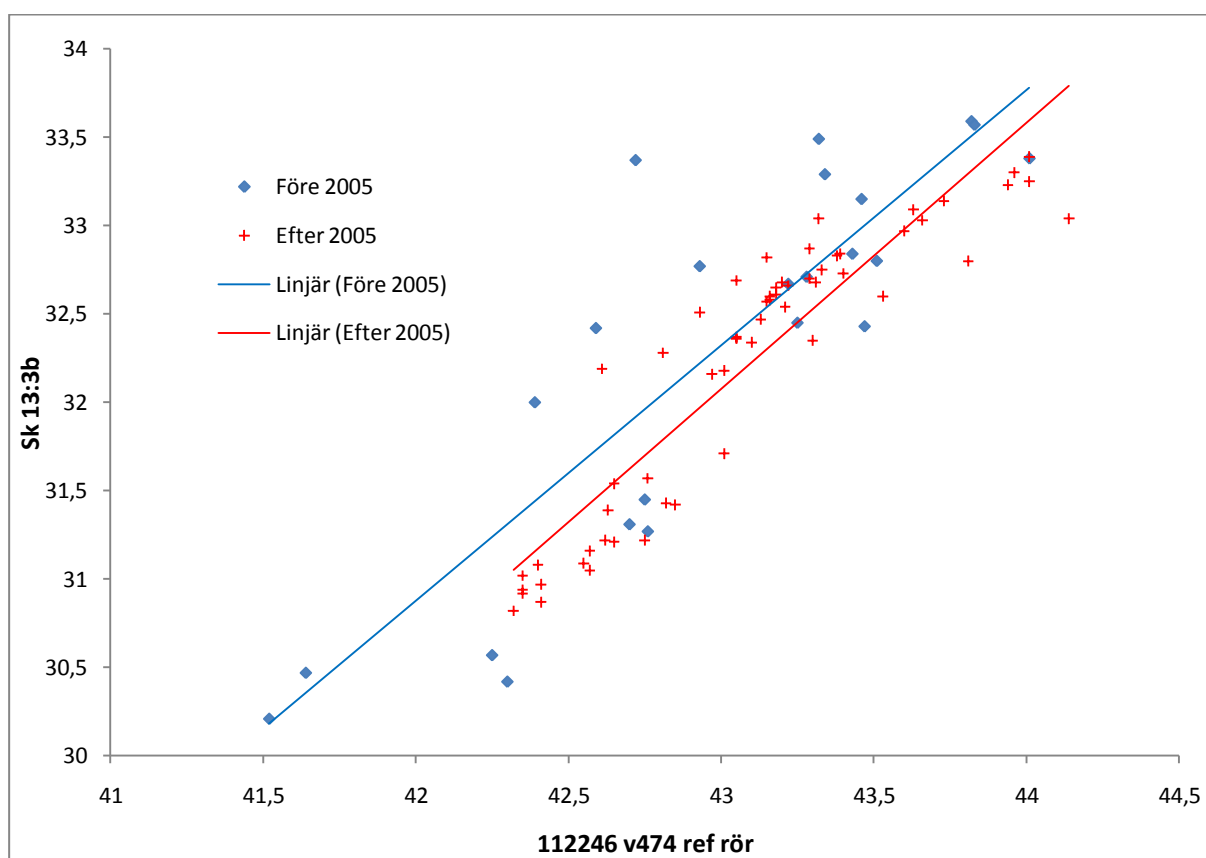
Figur 62. Korsplott av rör Sk 13:2b mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



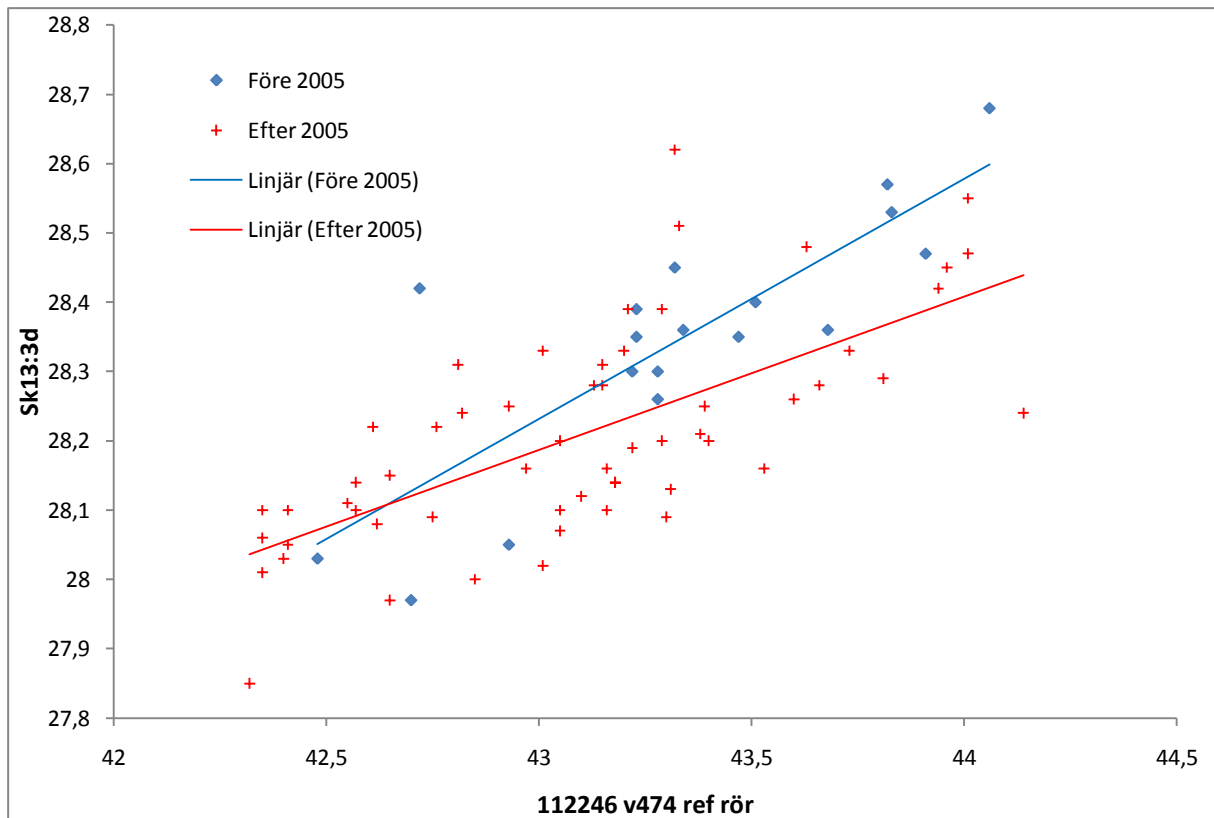
Figur 63. Korsplott av rör Sk13:2c mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



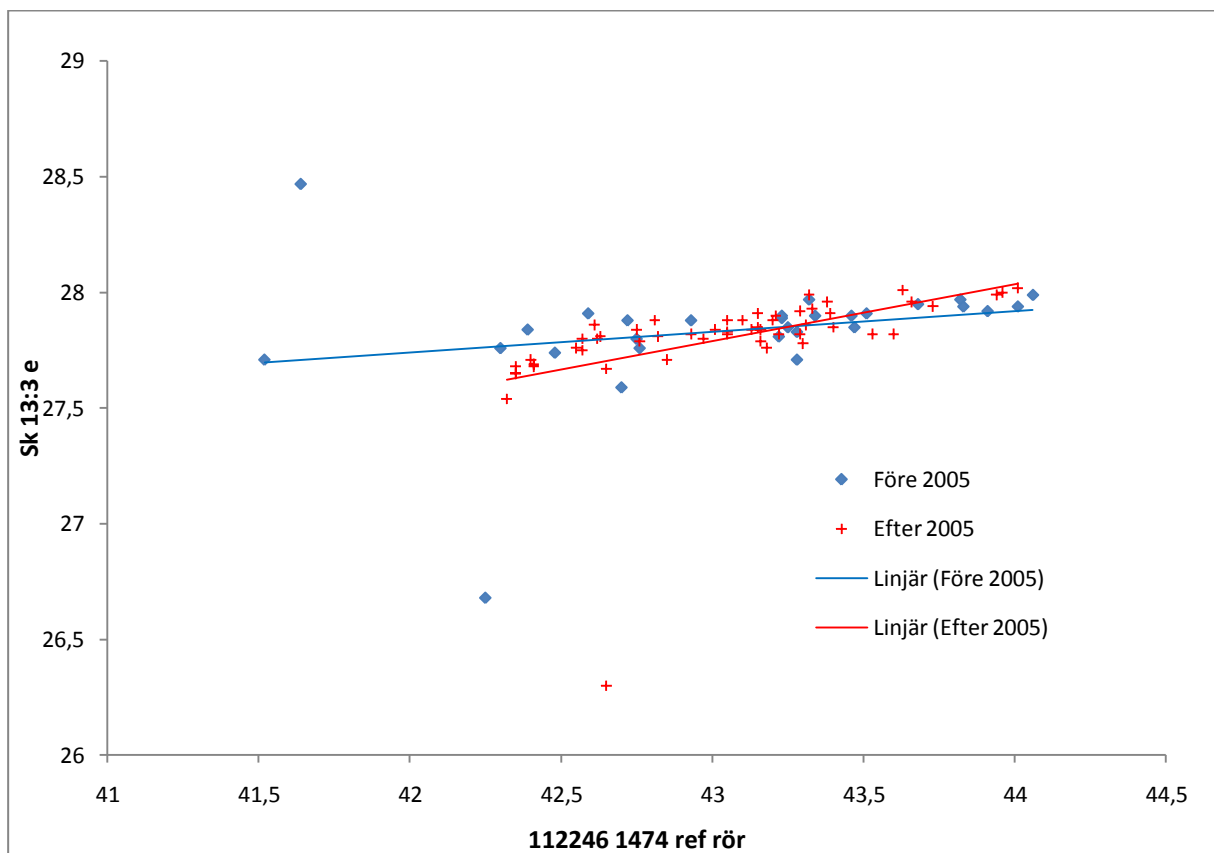
Figur 64. Korsplott av rör Sk 13:2d mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



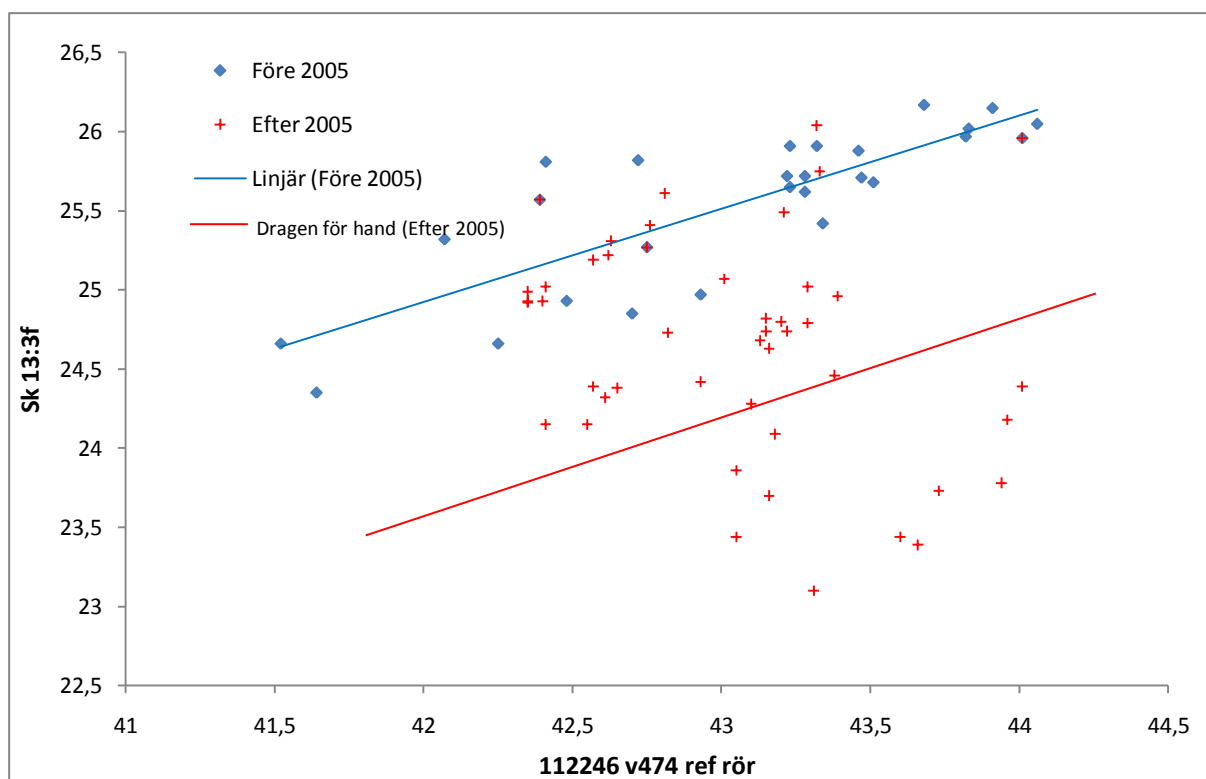
Figur 65. Korsplott av rör Sk 13:3b mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,24 m.



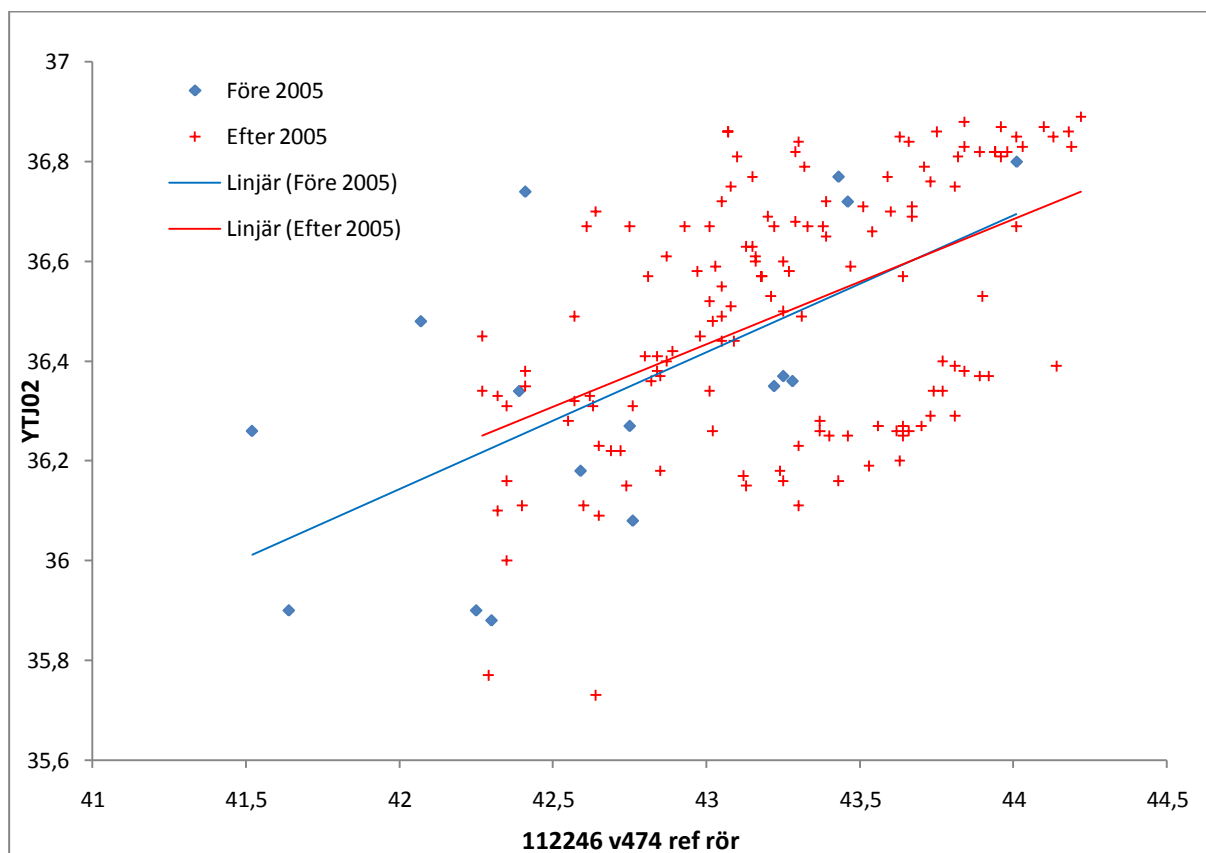
Figur 66. Korsplott av Sk 13:3d mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,04m.



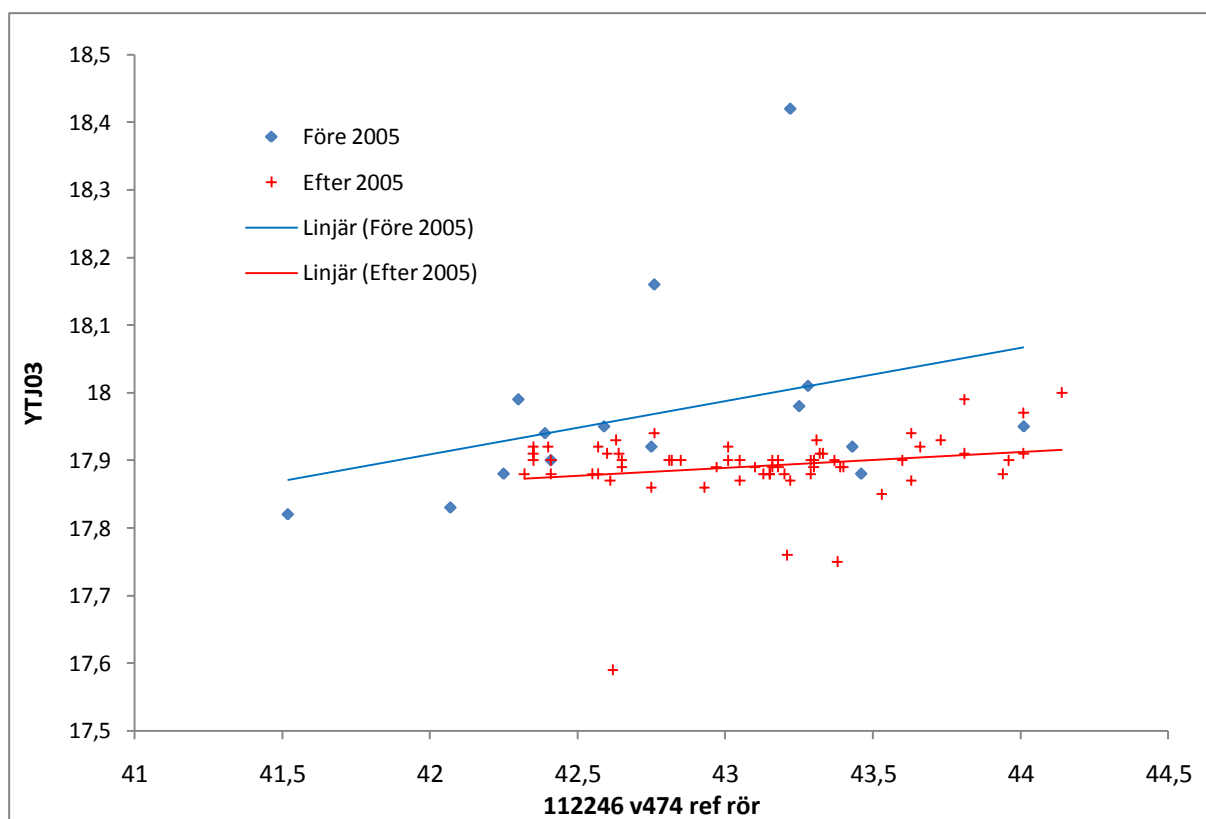
Figur 67. Korsplott av rör Sk 13:3e mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



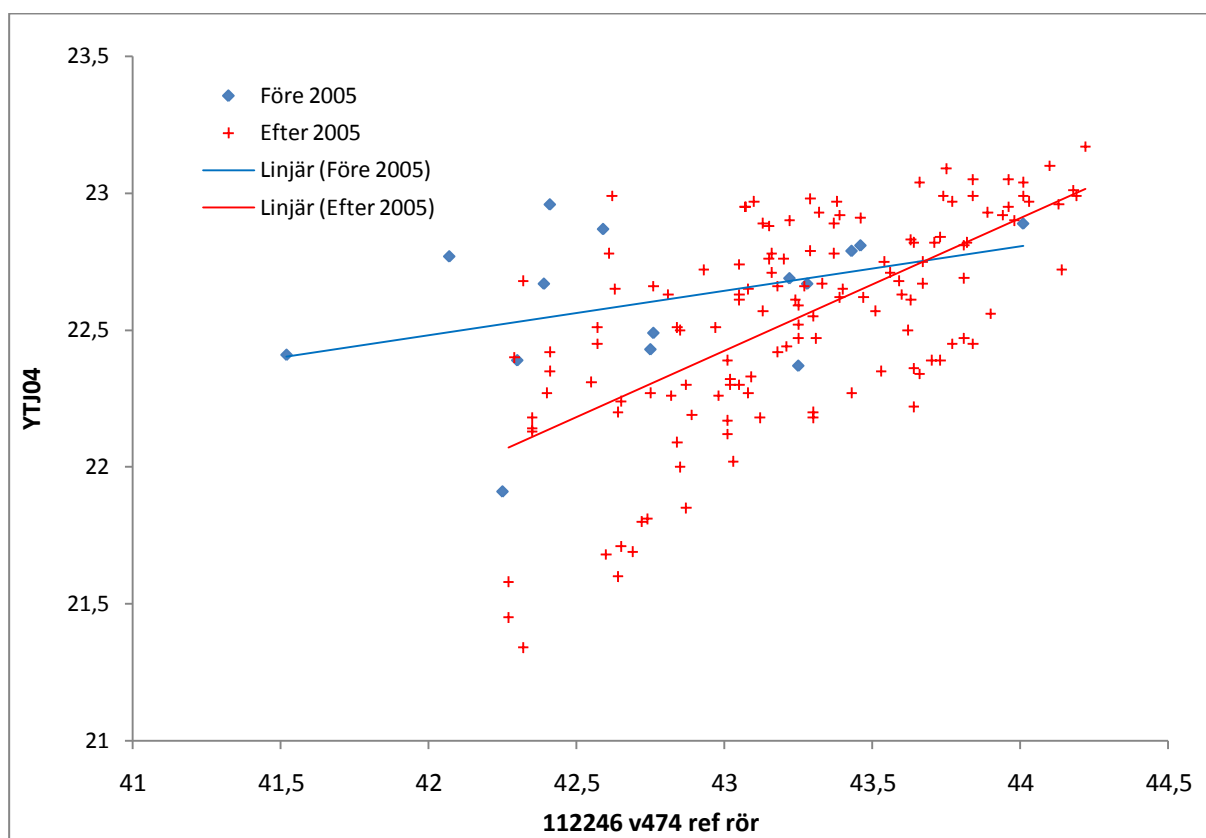
Figur 68. Korsplott av rör Sk 13:3f mot referensrör. Beräknad avsänkning 1,51 m.



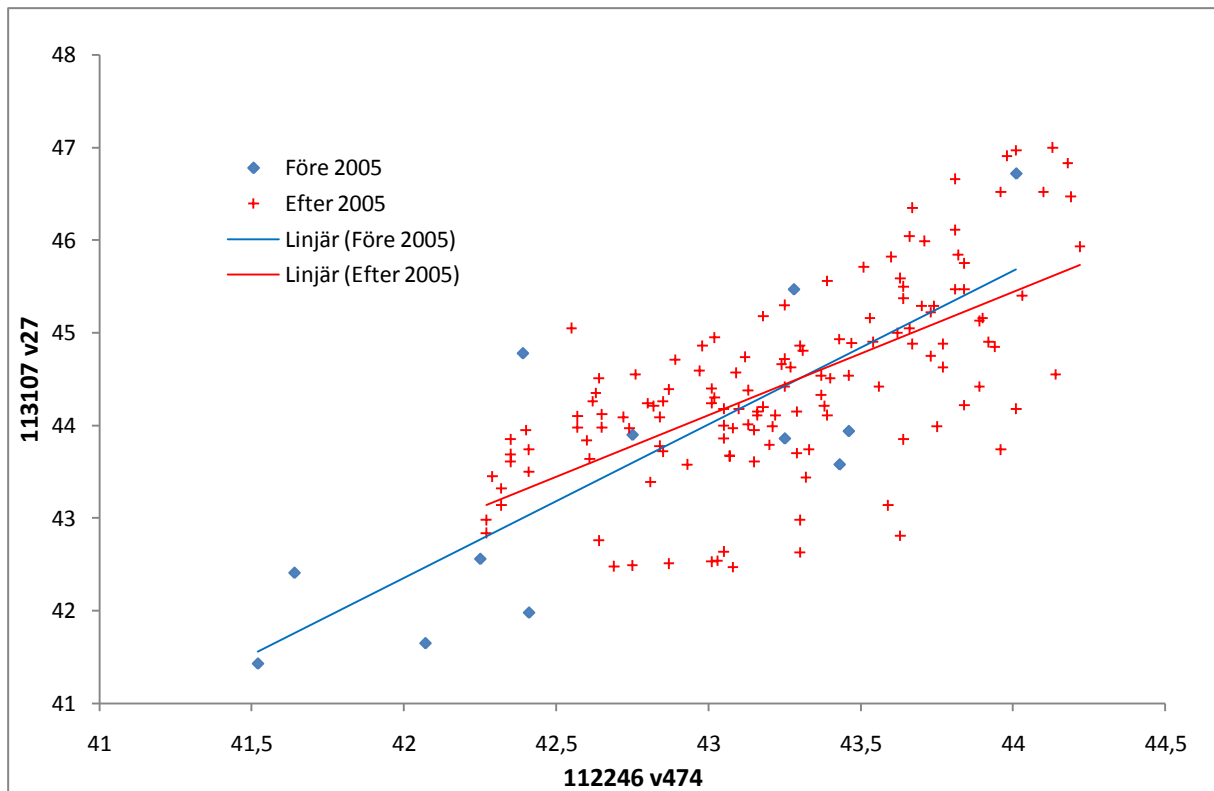
Figur 69. Korsplott av rör YTJ02 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.



Figur 70. Korsplott av rör YTI03 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,1 m.



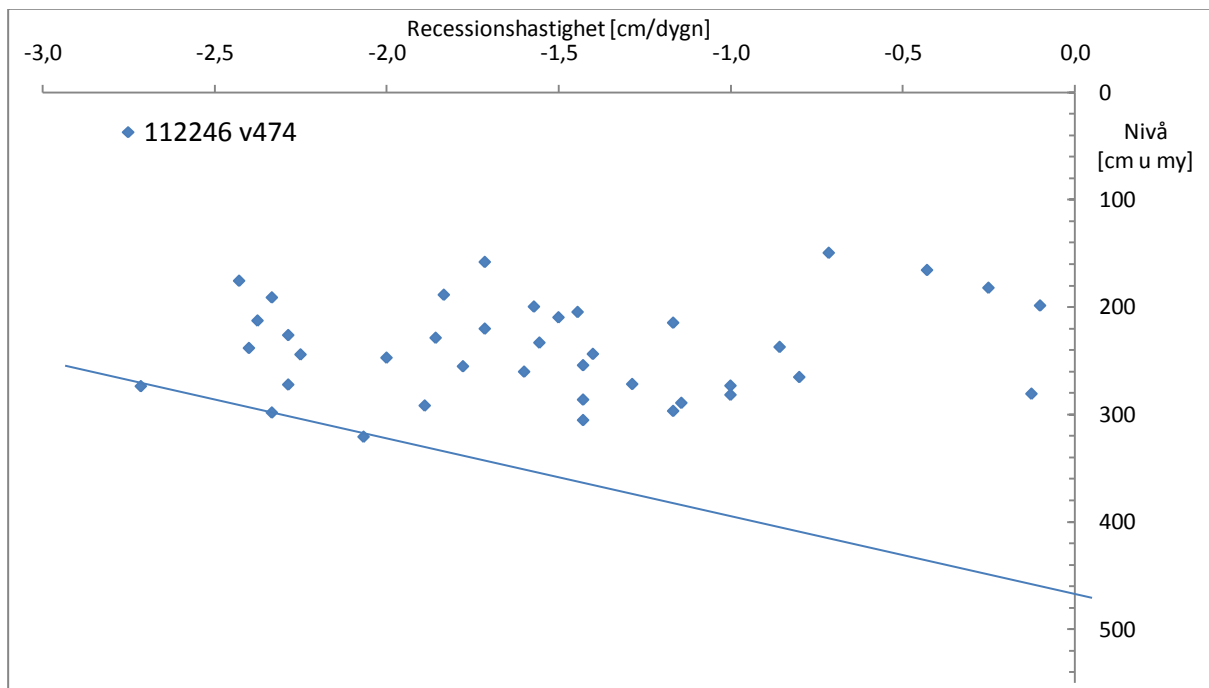
Figur 71. Korsplott av rör YTI04 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0,22 m.



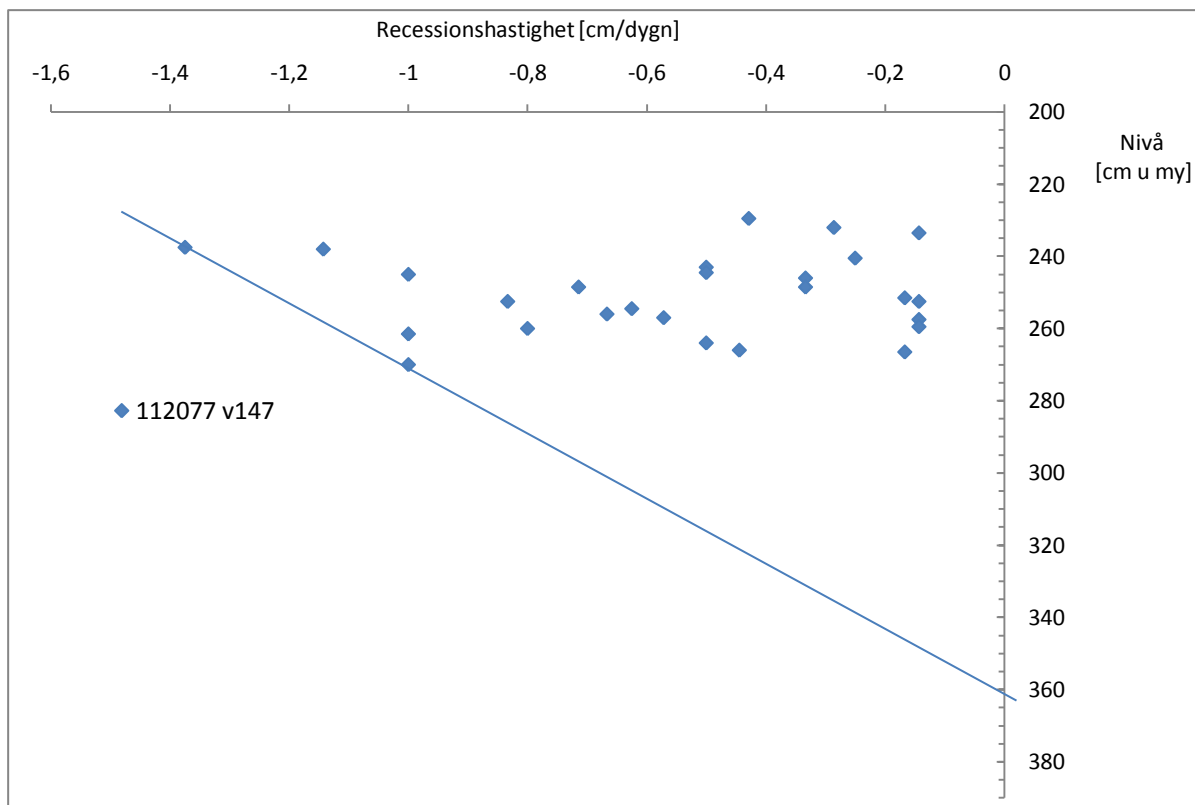
Figur 72. Korsplott av rör 113107 v27 mot referensrör. Beräknad avsänkning 0 m.

Recessionsdiagram

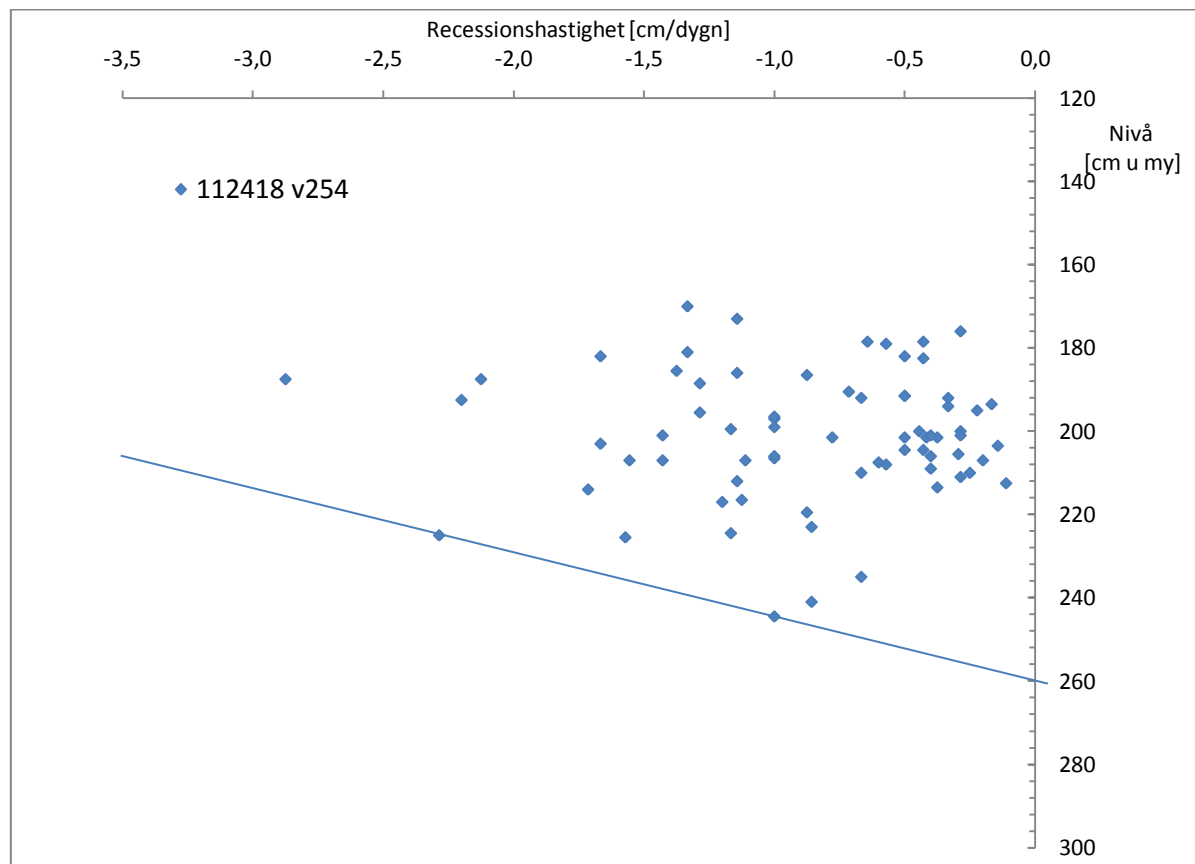
Recessionsdiagrammen ligger till grund för utvärdering av grundvattenbildningsparametern h_0 och akviferparametern SA/H .



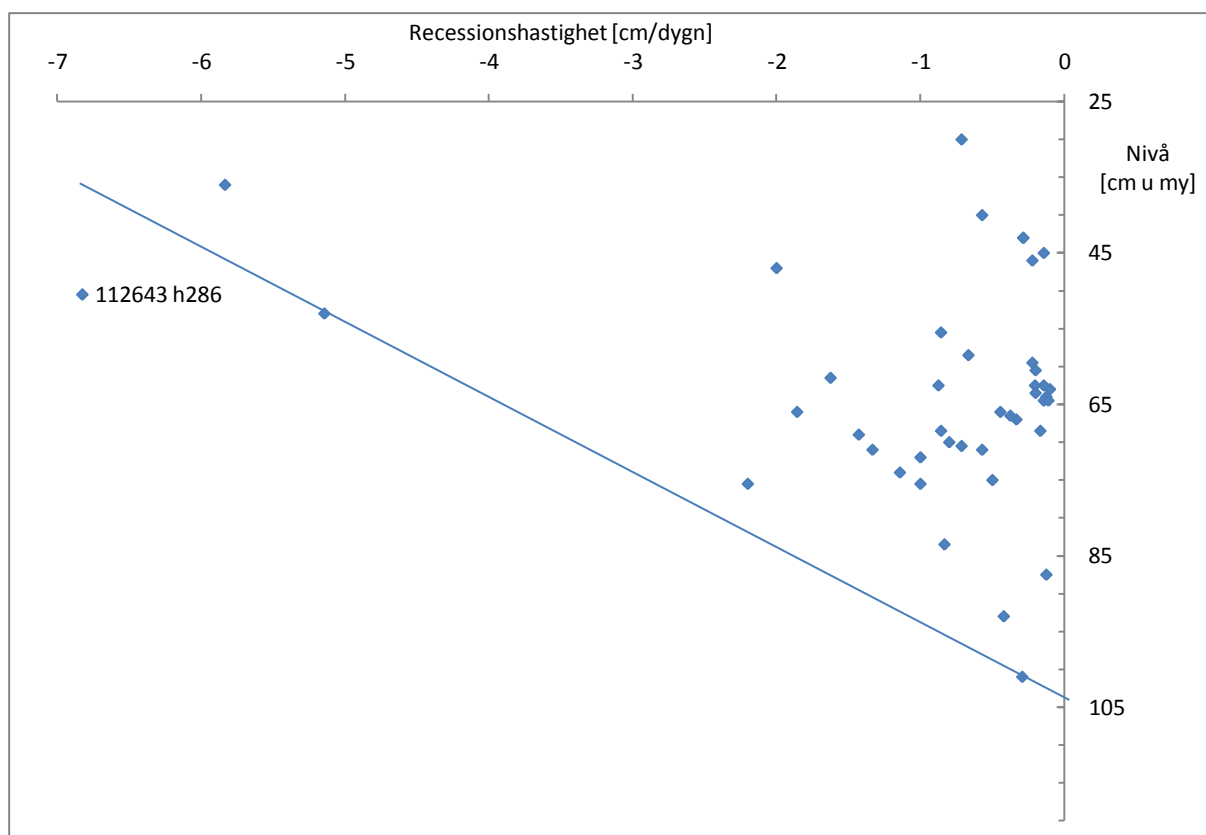
Figur 73. Recessionsdiagram för rör 112246 v474, $h_0 = 417$ och $SA/H = 73$.



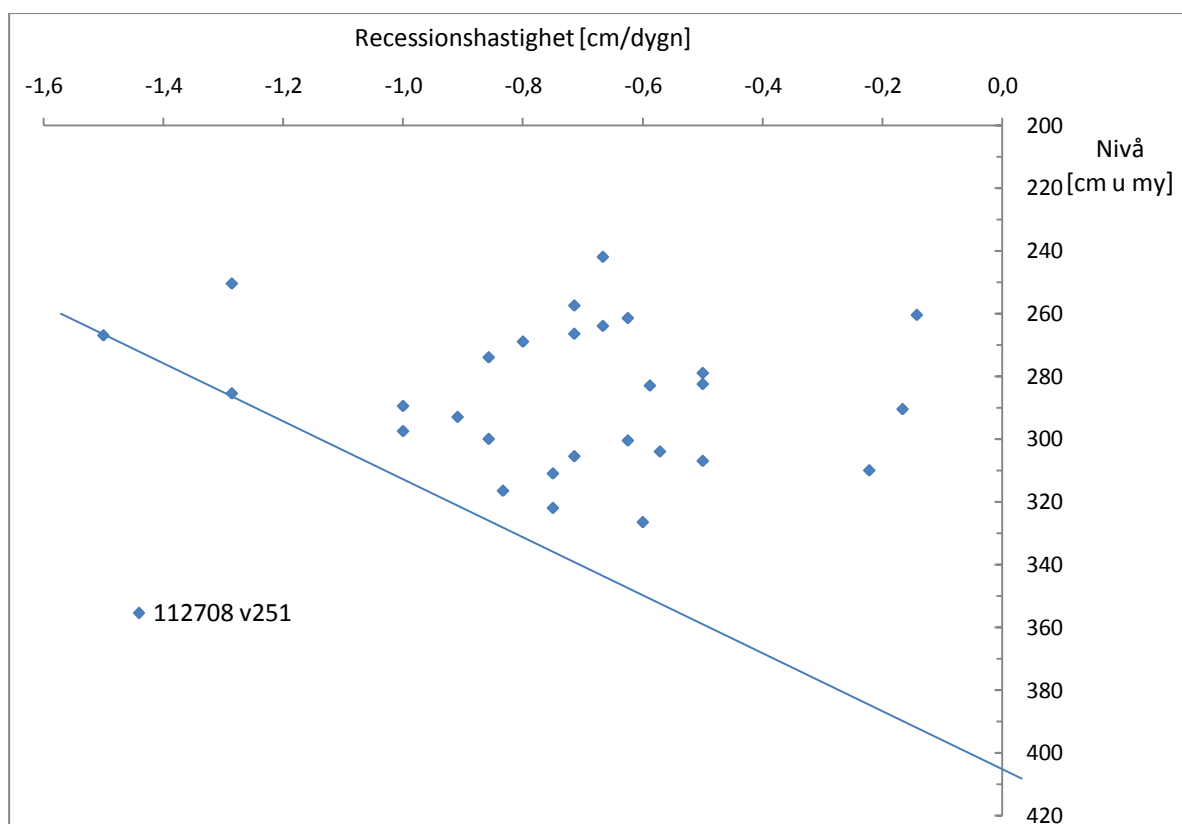
Figur 74. Recessionsdiagram för rör 112077 v147, $h_0 = 360$ cm u my och $SA/H = 89$ dygn.



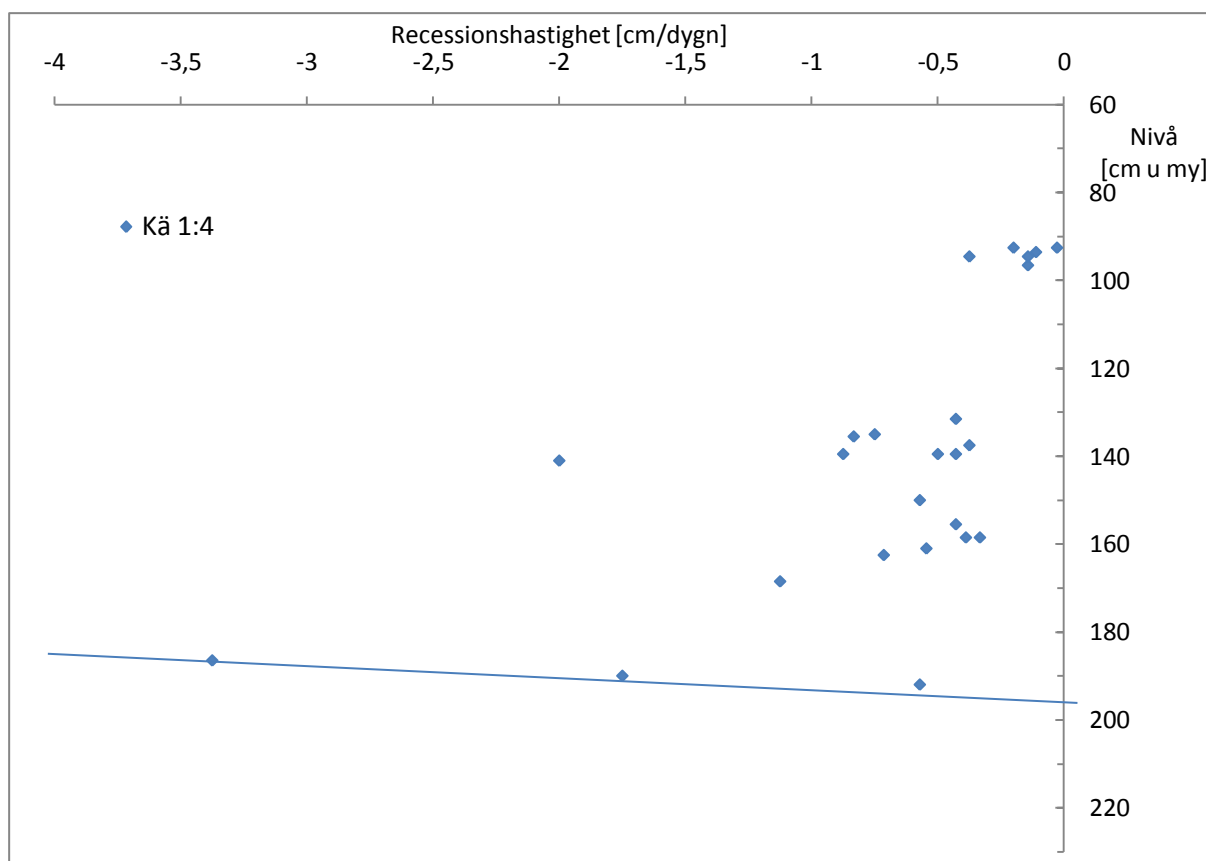
Figur 75. recessionsdiagram för rör 112418 v254, $h_0 = 260$ cm u my och $SA/H = 15$ dygn.



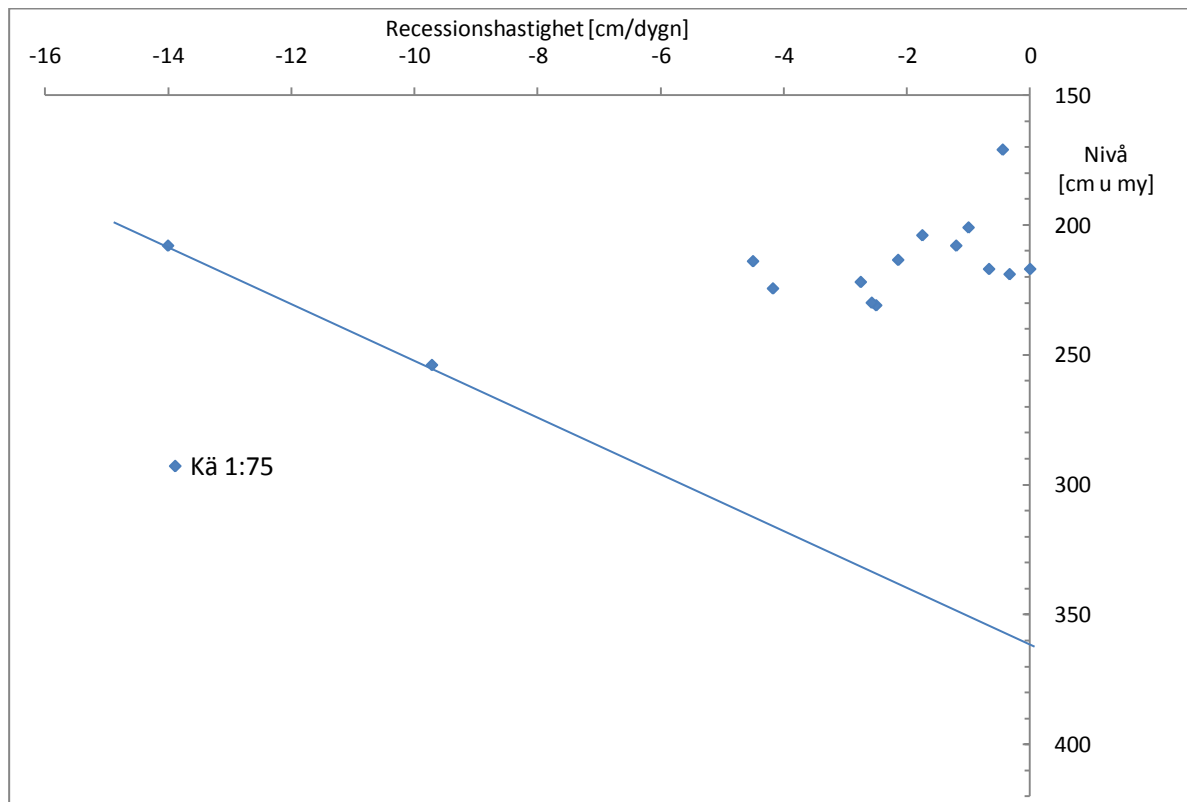
Figur 76. Recessionsdiagram för rör 112643 h286, $h_0 = 104\text{cm u my}$ och $SA/H = 14\text{ dygn}$.



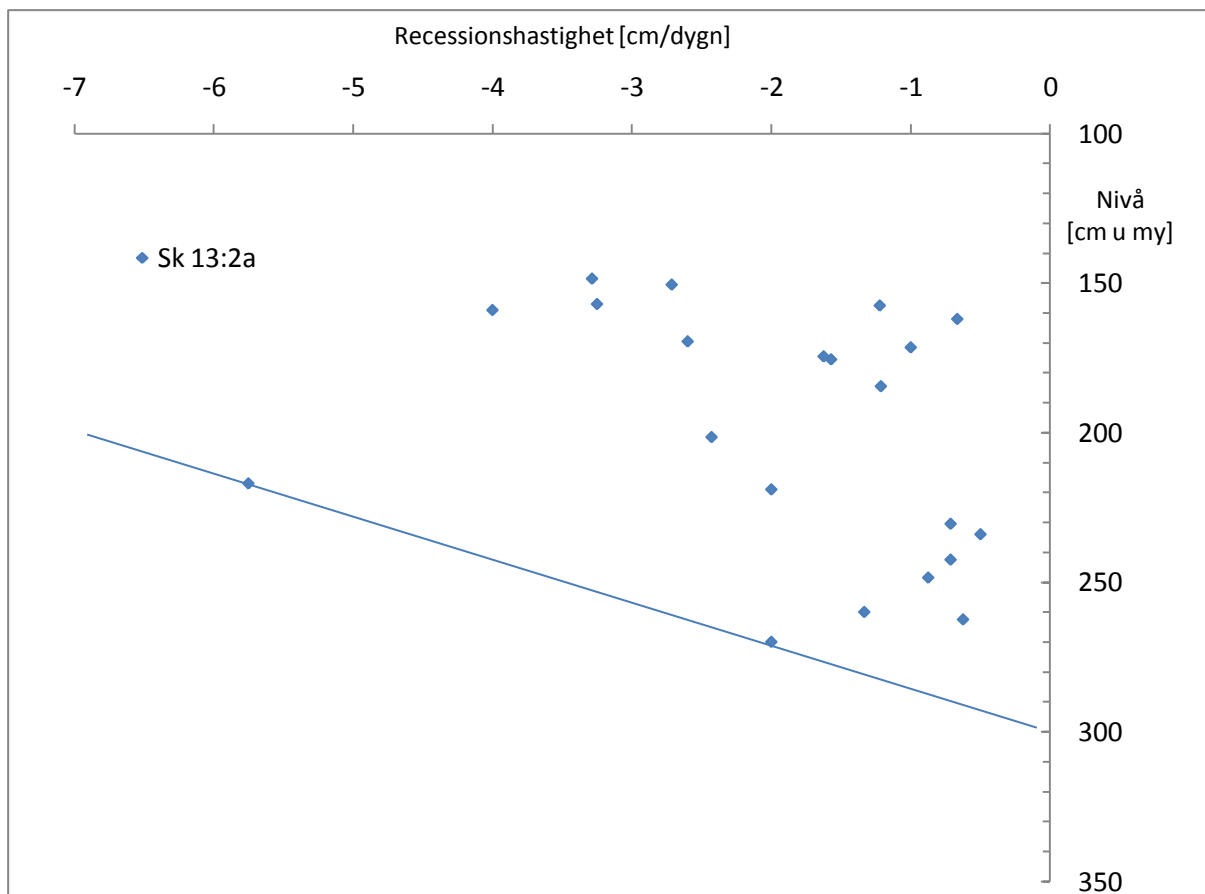
Figur 28. Recessionsdiagram för rör 112708 v251, $h_0 = 405$ och $SA/H = 93\text{ dygn}$.



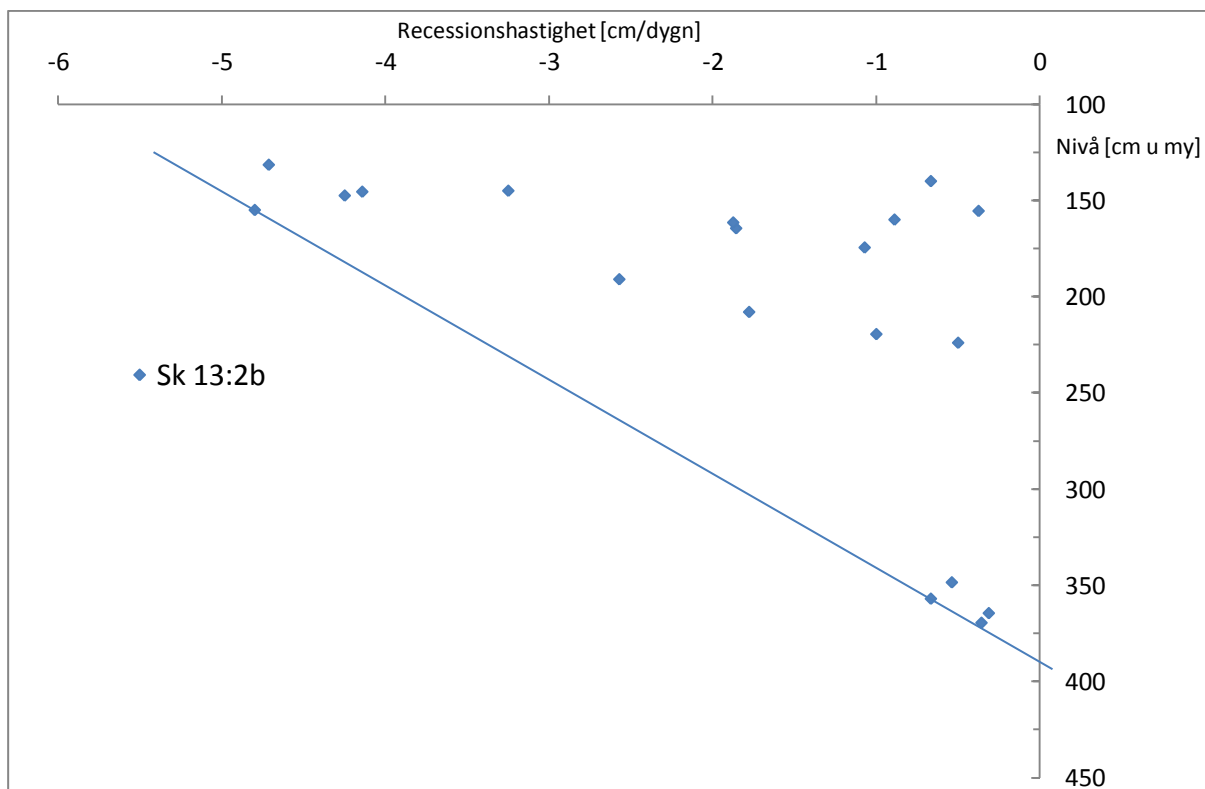
Figur 298. Recessionsdiagram för Kä 1:4, $h_0 = 196$ cm u my och $SA/H = 3$ dygn.



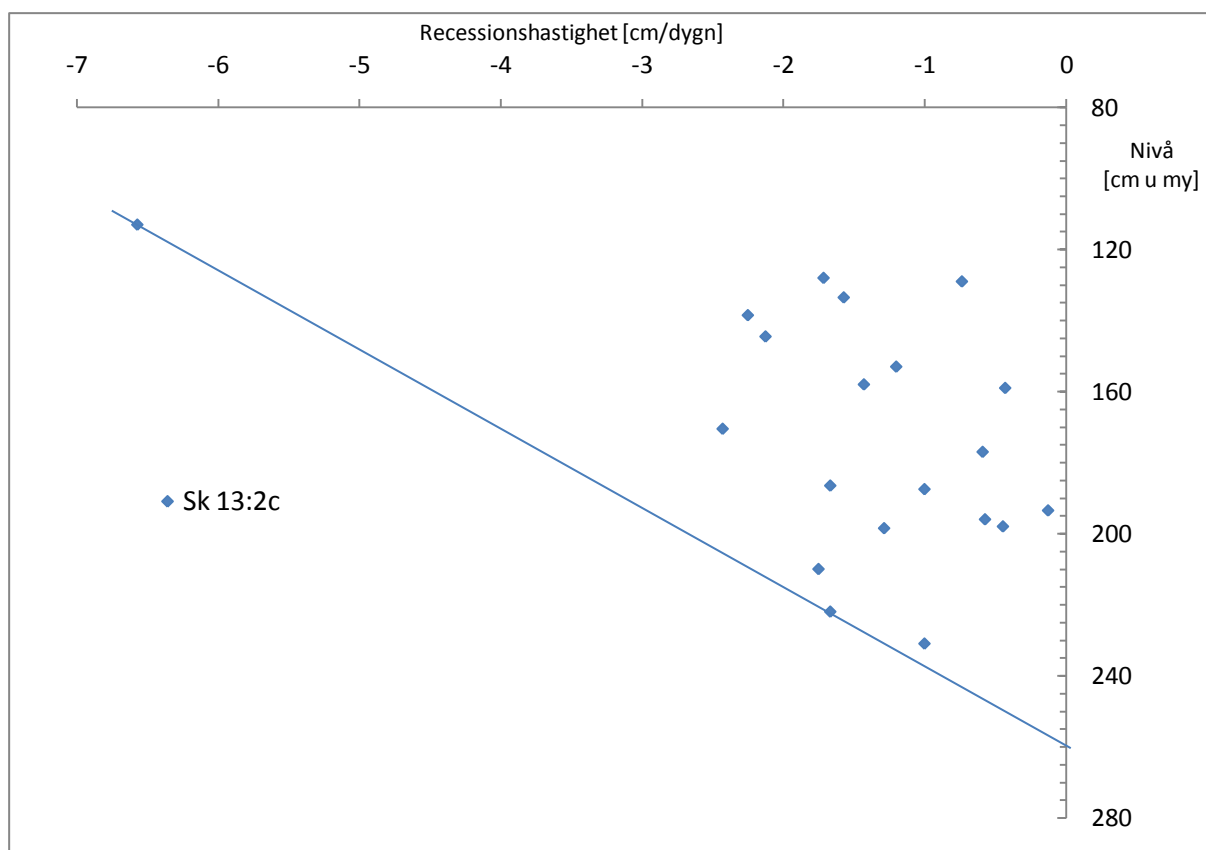
Figur 309. Recessionsdiagram för rör Kä 1:75, $h_0 = 360$ cm u my och $SA/H = 11$ dygn.



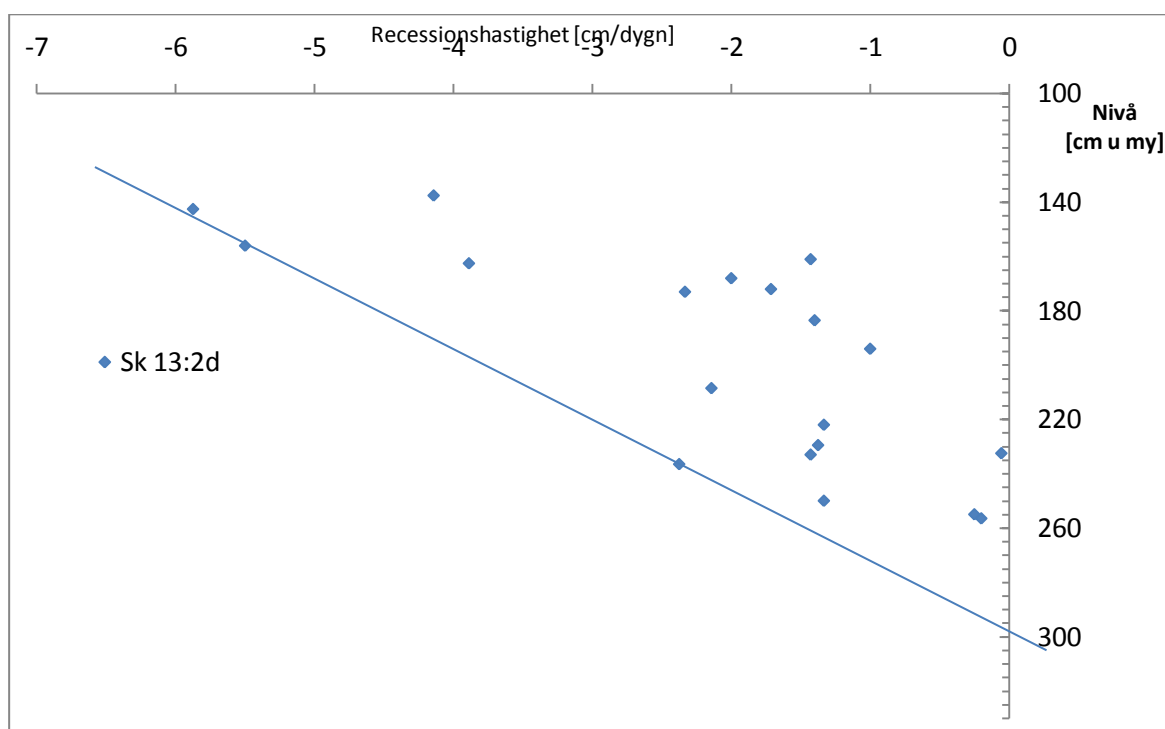
Figur 80. Recessionsdiagram för rör Sk 13:2, $h_0 = 300$ cm u my och $SA/H = 14$ dygn.



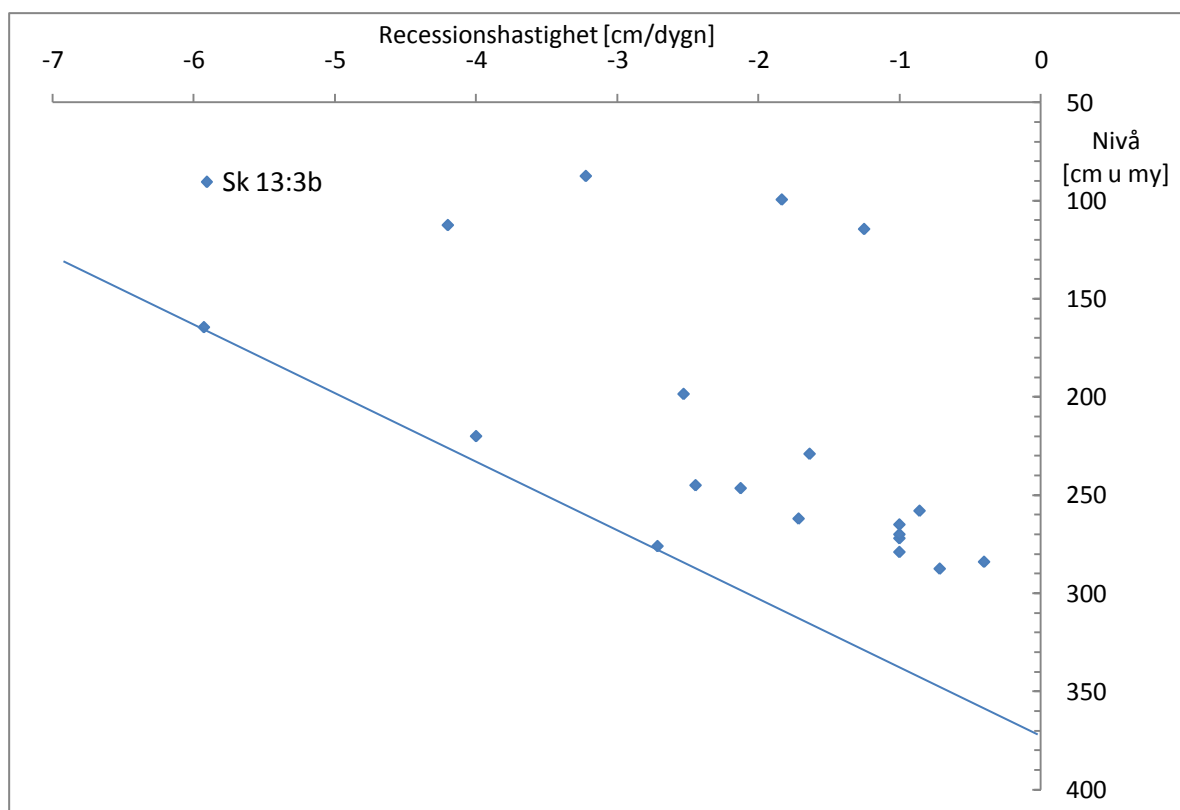
Figur 81. Recessionsdiagram för rör Sk 13:2b, $h_0 = 390$ och $SA/H = 49$ dygn.



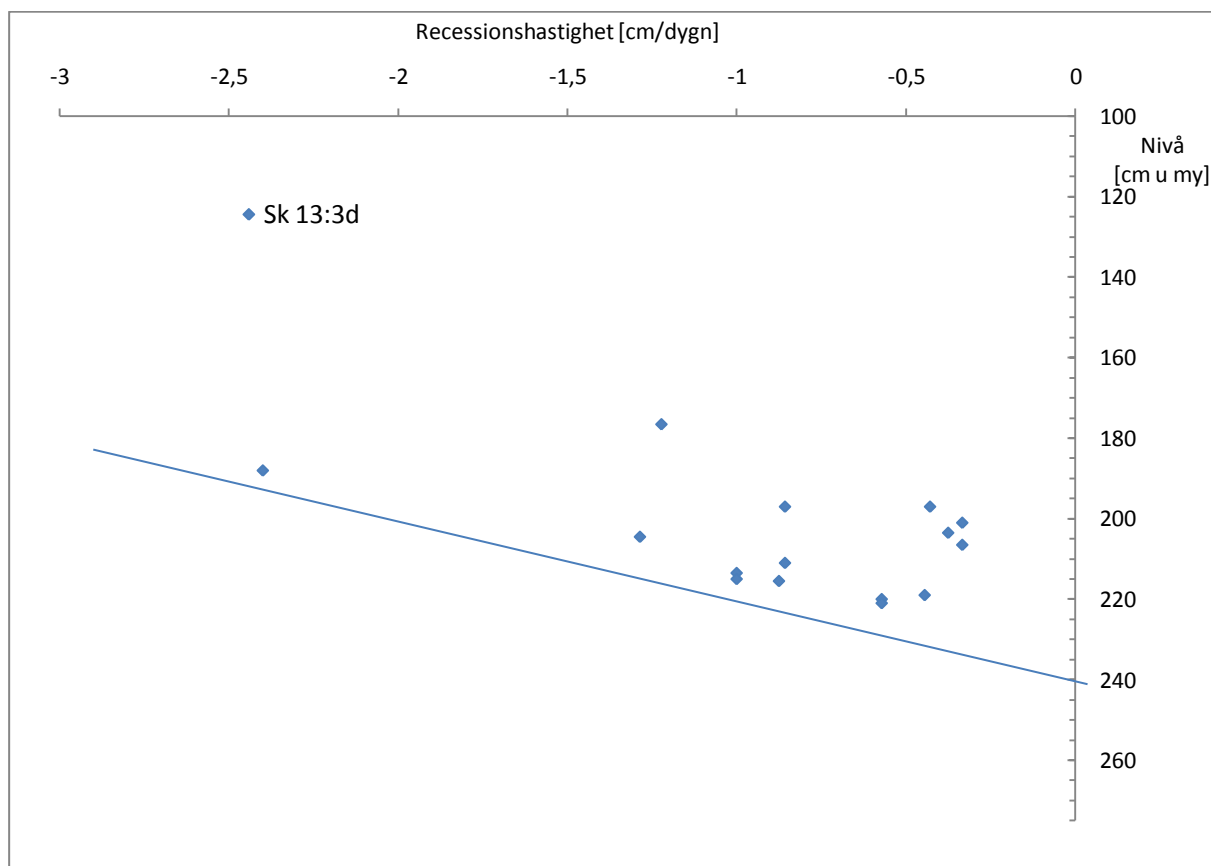
Figur 82. Recessionsdiagram för rör Sk 13:2c, $h_0 = 260$ cm u my och $SA/H = 23$ dygn.



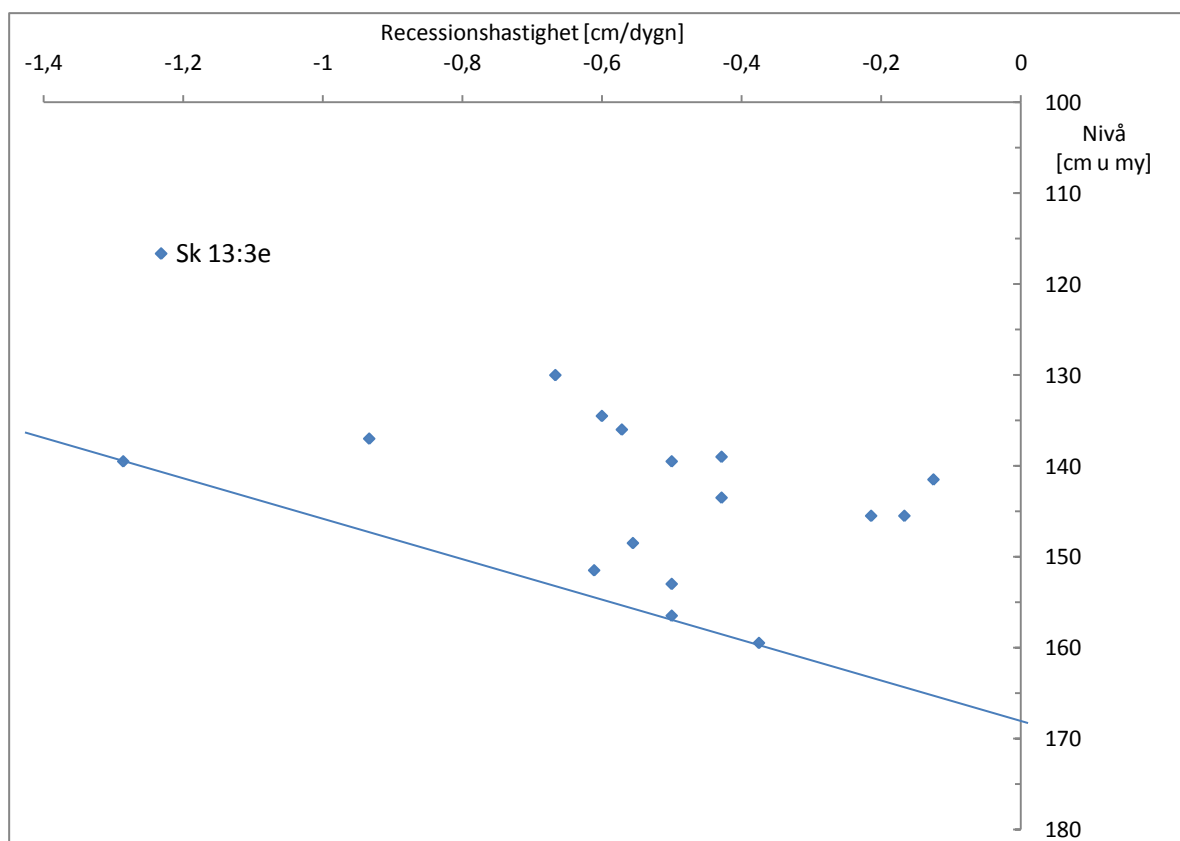
Figur 83. Recessionsdiagram för rör Sk 13:2d, $h_0 = 300$ och $SA/H = 26$ dygn.



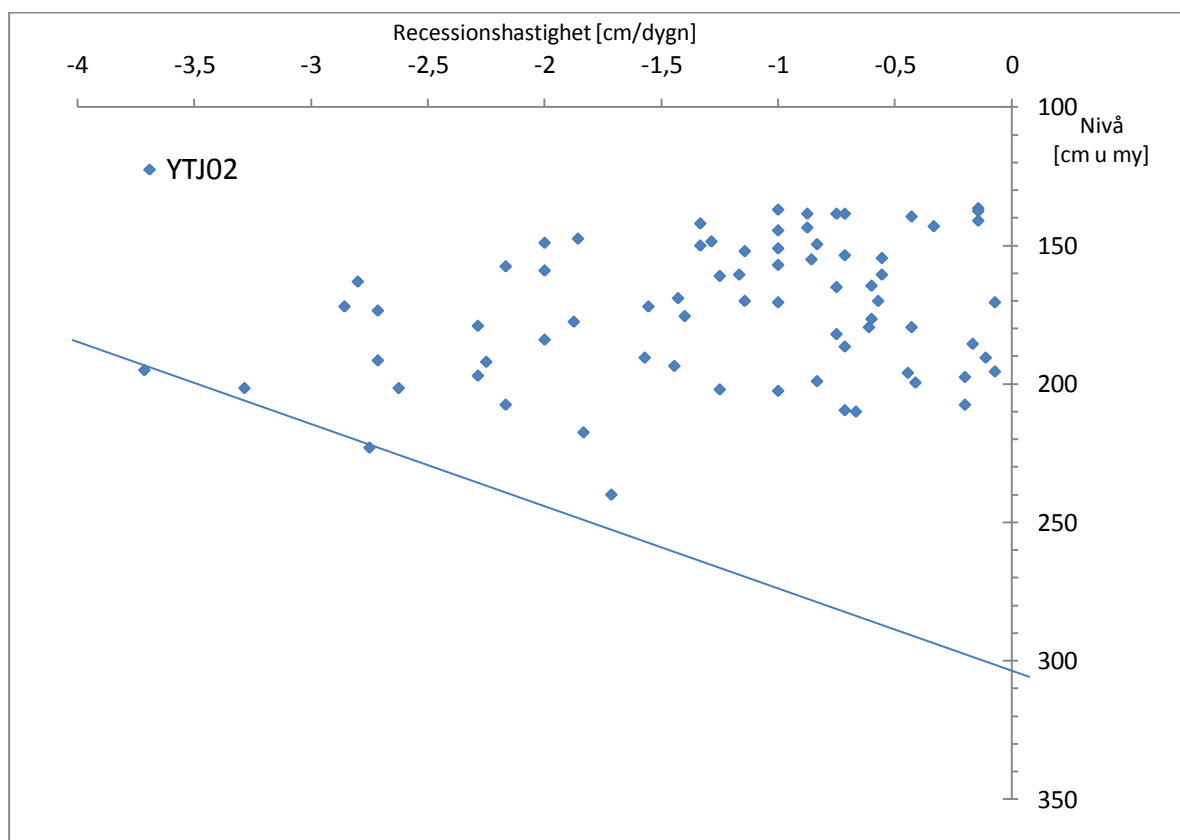
Figur 84. Recessionsdiagram för rör Sk 13:3b, $h_0 = 372 \text{ cm u my}$ och $SA/H = 35 \text{ dygn}$.



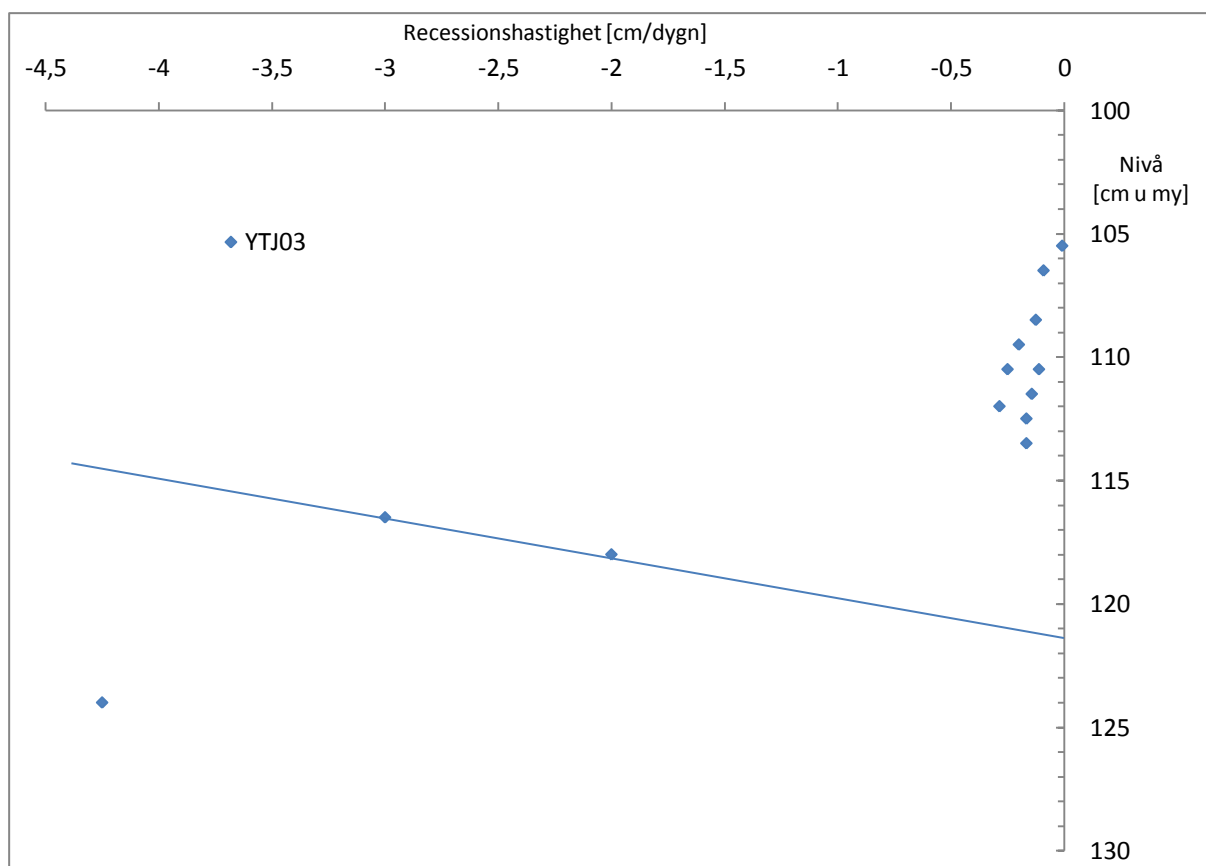
Figur 85. Recessionsdiagram för rör Sk 13:3d, $h_0 = 235 \text{ cm u my}$ och $SA/H = 20 \text{ dygn}$.



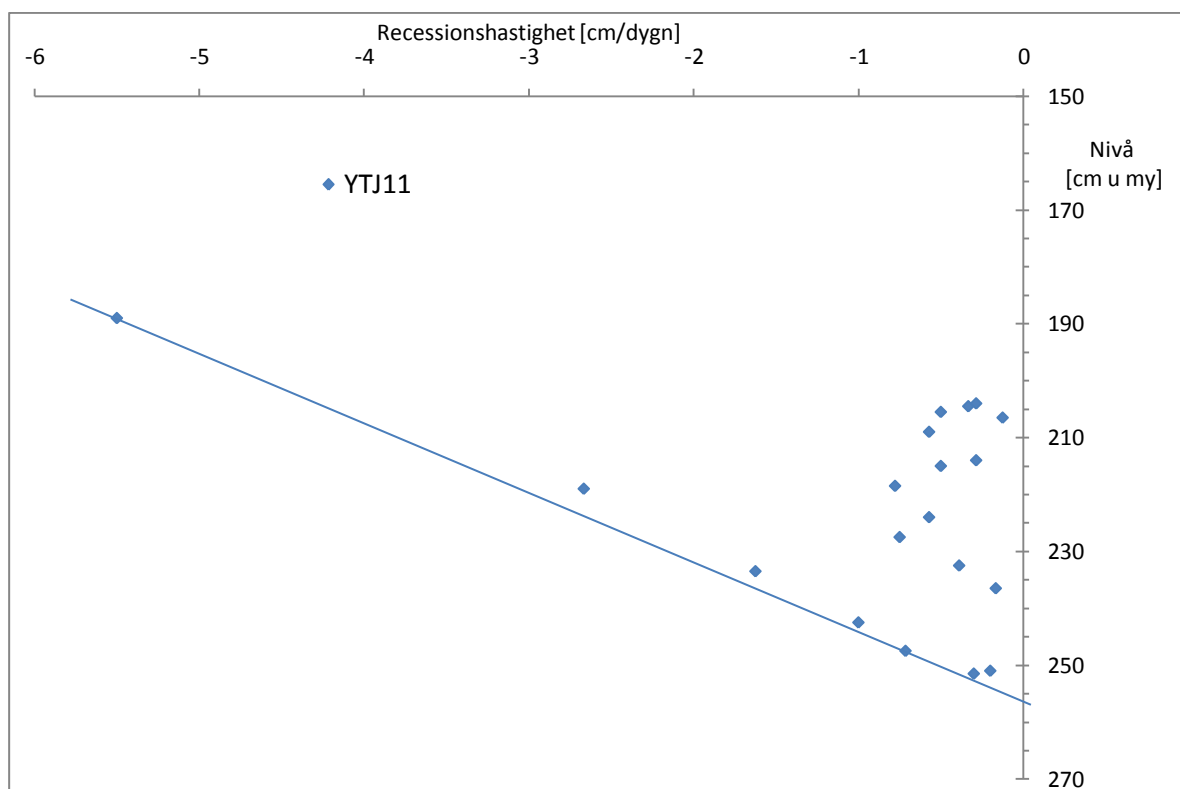
Figur 86. recessionsdiagram för Sk 13:3e, $h_0 = 178\text{cm u my}$ och $SA/H = 30\text{dygn}$.



Figur 317. Recessionsdiagram för rör YTJ02, $h_0 = 306\text{cm u my}$ och $SA/H = 30\text{dygn}$.



Figur 88. Recessionsdiagram för rör YTJ03, $h_0 = 121\text{cm u my}$ och $SA/H = 1,5\text{ dygn}$.



Figur 89. Recessionsdiagram för rör YTJ03, $h_0 = 256\text{cm u my}$ och $SA/H = 12\text{dygn}$.