

**R-02-14**

## **SFR – Utvärdering av hydrogeologi**

Carl-Lennart Axelsson, Anders Ekstav,  
Annika Lindblad Påsse  
Golder Associates AB

Oktober 2002

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co  
Box 5864  
SE-102 40 Stockholm Sweden  
Tel 08-459 84 00  
+46 8 459 84 00  
Fax 08-661 57 19  
+46 8 661 57 19



## **SFR – Utvärdering av hydrogeologi**

Carl-Lennart Axelsson, Anders Ekstav,

Annika Lindblad Påsse

Golder Associates AB

Oktober 2002

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

## **Förord**

Föreliggande rapport är en återutgivning av dokumentet ”PM Anläggningar 95/12”, som skrevs år 1995 på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB. Formatet är identiskt med originalets, vilket skrevs i enlighet med gällande rutiner för dåvarande SKB Anläggningar. Syftet med att ge originalet R-rapportstatus är att göra det refererbart för ”Projekt version 0”. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Anders Ström

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	7
	1.1 Bakgrund	
	1.2 Syfte och genomförande	
2	KONTROLLPROGRAM	9
	2.1 Tidigare kontrollprogram - Byggnadsskedet	
	2.2 Nuvarande kontrollprogram - Driftskedet	
	2.2.1 Hydrogeologiska mätningar	
	2.2.2 Mätning av inläckande grundvatten	
	2.2.3 Grundvattenkemiskt provtagnings- och analysprogram	
3	BESKRIVNING OCH GRANSKNING AV SKB's KONCEPTUELLA MODELL	13
	3.1 Litologi	
	3.2 Strukturgeologi	
	3.3 Berggrunden som vattenledande medium	
	3.4 Hydrauliska enheter	
	3.5 Bergmassans hydrauliska egenskaper	
	3.6 Sprickzoners hydrauliska egenskaper - grundvattentryck	
	3.7 Grundvattentryck och inflöde	
	3.8 Injektering	
	3.9 Grundvattenkemi	
4	UTVÄRDERING AV KONTROLLPROGRAM	29
	4.1 Syfte	
	4.1.1 Syfte med nuvarande kontrollprogram	
	4.1.2 Alternativ formulering av syfte för enskilda aktiviteter	
	4.2 Grundvattentryck	
	4.2.1 Allmänna synpunkter på mätresultat	
	4.2.2 Osäkerheter i data	
	4.3 Inläckage	
	4.3.1 Allmänna synpunkter på mätresultat	
	4.3.2 Osäkerheter i data	
	4.4 Grundvattenkemi	
	4.4.1 Allmänna synpunkter på mätresultat	
	4.4.2 Osäkerheter i data	
5	HYDROFILOSOFI	37
6	KONCEPTUELLA OSÄKERHETER	39
7	FÖRSLAG TILL REVIDERING AV KONTROLLPROGRAM	41
	7.1 Insamling och presentation av data	
	7.2 Mätfrekvens	
	7.3 Grundvattentryck	
	7.4 Inläckage	
	7.5 Vattenkemi	



8	REFERENSER	45
	TABELLER	47
	FIGURER	53
	BILAGOR	67
Bilaga A	Kontrollprogram - byggnadsskedet	
Bilaga B	Kontrollprogram - driftskedet	
Bilaga C	Sammanställning av grundvattentryck i alla borrhål i SFR1	
Bilaga D	Sammanställning av inläckage till SFR1	
Bilaga E	Sammanställning av vattenkemi i borrhål i SFR1	

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, ligger nära kärnkraftverket i Forsmark och togs i bruk i april 1988. SFR är en central anläggning för slutförvaring av det kortlivade låg- och medelaktiva avfall som uppstår i Sverige. Anläggningen ligger i urberg på ca 60 m djup under havsbotten, och består av fyra 160 m långa bergsalar samt ett 70 m högt bergrum där en betongsilo byggts (Figur 1.1). En av bergsalarna (BLA) kommer endast att innehålla lågaktivt avfall, där avfallet förvaras inneslutet i sin transportcontainer. I tre bergsalar lagras medelaktivt avfall med relativt lågt aktivitetsinnehåll. I två salar (BTF) förvaras betongtankar med avvattnade filtermassor. I den tredje bergsalen (BMA) placeras plåtfat med bla jonbytermassor. Siloförvaret är avsett för det medelaktiva avfall som innehåller huvuddelen av de radioaktiva ämnen som finns i driftavfallet. Utrymmet mellan siloväggen och berget har fyllts med bentonit för att försvåra grundvattenströmning i anslutning till silon.

Enligt drifttillståndet för SFR skall ett kontrollprogram för driftskedet finnas. Riktlinjerna för detta kontrollprogram finns fastlagda i SKB PM SoA 5/88, rev 2, 1990-05-10 (SKB, 1990). En redovisning av resultat och utvärdering av det gångna årets verksamhet sker årligen till Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI). En översiktlig tid- och aktivitetsplan för treårsperioden 1993 - 1995 har framtagits. SKB har beslutat att genomföra en mer genomgripande utvärdering av kontrollprogrammet, vilket utgör föreliggande rapport. Resultaten kommer att redovisas i samband med årsredovisningen för 1994.

## 1.2 Syfte och genomförande

Det övergripande syftet med detta arbete är att kontrollera om den nuvarande konceptuella modellen av de hydrogeologiska förhållandena vid SFR är relevant. En grund för att bedöma rimligheten i den konceptuella modellen utgörs av mätningar under byggnadskedet och det pågående kontrollprogrammet.

I föreliggande rapport redovisas dels en granskning av SKB's konceptuella modell och dels en utvärdering av kontrollprogrammet för hydrogeologin vid SFR som beskrivs i SKB PM SoA 5/88, rev 2, 1990-05-10 (SKB, 1990). Härvid har en genomgång gjorts av insamlade data och utvärderingar som årligen redovisas till myndigheterna SKI och SSI. Ett antal underlagsrapporter som utgör grunden för den konceptuella modellen av de hydrogeologiska förhållandena vid SFR har även granskats. Granskningen utmynnar i förslag på revideringar av kontrollprogrammet.

De övergripande frågeställningar som belyses är följande:

- Gäller den konceptuella modell som ställts upp för SFR?
- Är mätprogrammet relevant för förståelsen av de hydrogeologiska förhållandena vid SFR?

Arbetet startades med fältbesök och möte i SFR, Forsmark, 1994-11-02 för att på plats se anläggningen och de olika mätningar som pågår.

Följande rapporter utgör det huvudsakliga underlaget för beskrivningen av hydrogeologin vid SFR (den konceptuella modellen) och har granskats:

- SKB Slutförvar för radioaktivt driftavfall - SFR 1. Slutlig säkerhetsrapport. Reviderad utgåva - Maj 1993. 1 Allmän del, Kap. 1-7 & 2 Allmän del, Kap. 8-10 (SKB, 1993).
- Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR). Compilation and Conceptualization of Available Geological and Hydrogeological Data. SKB Progress Report SFR 86-03 (Carlsson et al., 1986).
- Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR). Evaluation of the groundwater flow situation at SFR. SKB Progress Report SFR 86-07 (Carlsson et al., 1987).
- Grundvattenkemi i SFR. SKB Arbetsrapport SFR 86-05 (Wikberg, 1986).
- Hydraulic evaluation of the groundwater conditions at SFR in Forsmark. Land uplift and its effects on dilution in a domestic well. SKB Progress Report SFR 91-05 (Axelsson et al., 1991).

Det dataunderlag som granskats består av mätningar genomförda under byggnadsskedet och driftskedet (nuvarande kontrollprogram).

- Specialrapporter som behandlar grundvattentryck, inläckage och grundvattenkemi under byggnadsskedet.
- Grundvattentryck under driftskedet (underlagsrapporter Geosigma, Stig Jönsson)
- Inläckage under driftskedet (underlagsrapporter Vattenfall, Anders Bodén)
- Grundvattenkemi under driftskedet (underlagsrapporter SKB, Peter Wikberg)

## **2 KONTROLLPROGRAM**

### **2.1 Tidigare kontrollprogram - Byggnadsskedet**

Under byggnationen av SFR1 som påbörjades hösten 1983 och avslutades sommaren 1986 har SKB genomfört ett omfattande kontrollprogram. Detta gjordes i syfte att dels erhålla underlag för en säkerhetsanalys av anläggningen inför idrifttagningen och dels erhålla ytterligare generella kunskaper om bergmassans och de tekniska barriärernas egenskaper (SKB, 1990).

Fram till idrifttagningen av SFR1 i april 1988 har undersökningarna bland annat omfattat följande delar (SKB, 1990):

#### Hydrogeologi

- Registrering av grundvattentryck i borrhål utförda från anläggningens undermarksutrymmen (Bilaga A)

#### Vattenkemi

- Provtagning och analys av inläckande grundvatten samt vatten i konduktiva zoner i anläggningens närhet (Bilaga A)

#### Bergmekanik

- Mätning av bergrörelser i olika delar av anläggningen
- Kontroll av utförda bergförstärkningar
- Ingenjörsgelogisk kartering och analys av de utsprängda utrymmenas stabilitet (Bilaga A)

#### Bentonit

- Studier av bentonit- och bentonit/sandblandningars egenskaper

#### Avfall

- Bestämning av aktivitetsinnehåll, tex transuraner, i reaktoravfallet

Resultaten från dessa arbeten har bland annat använts för att:

- bestämma erforderliga förstärkningsåtgärder
- ta fram preliminära förslag till förslutning och avveckling av anläggningen
- bestämma anläggningens säkerhet efter förslutning

### **2.2 Nuvarande kontrollprogram - Driftskedet**

Under driftskedet sker förändringar av grundvattentryck, inläckage, vattenkemi, förstärkningar etc., varför ett kontrollprogram behövs även under driftskedet. Det nuvarande kontrollprogrammet för driftskedet har som målsättning att ge underlag för (SKB, 1990):

- beslut om lämpliga åtgärder för förslutning av anläggningen
- återkommande säkerhetsgranskning och för den förnyade analysen av förvarets långsiktiga säkerhet efter förslutning

Kontrollprogrammet löper under ca 25 år från driftstart av SFR1 i april 1988 tom förslutning av anläggningen omkring 2015. Ett antal revideringar kommer att genomföras för att anpassa kontrollprogrammet till de erfarenheter och utvärderingar som successivt görs.

Kontrollprogrammet omfattar följande platsanknutna delaktiviteter (SKB, 1990):

#### Hydrogeologi

- Registrering av grundvattnets trycknivåer i borrhål i olika delar av anläggningen i syfte att erhålla information om grundvattnets stationära tryckförhållanden under dränerade förhållanden.
- Mätning av inläckande mängd grundvatten till tunnlar och bergum, som komplement till uppföljning av grundvattnets trycknivåer.

#### Vattenkemi

- Provtagning och analys av grundvatten i bergmassan utanför lagerutrymmena. Syftet är att se vilka förändringar som uppkommer till följd av den ökade cirkulationen.

#### Bergmekanik

- Uppföljning och underhåll av utförda bergförstärkningar i syfte att erhålla information om långtidseffekter, åldrande och utmattning av intresse för driftskedet.
- Mätningar av bergdeformationer och berggrörelser för att se om progressiva stabilitetsproblem kan komma att uppstå.

#### Bentonit

- Mätning av svälltryck, porvattentryck och sättningar i den bentonitbuffert som omger siloförvaret i syfte att verifiera bentonitens egenskaper.

Ett separat kontrollprogram för avfallsgodset löper parallellt med det ovan nämnda kontrollprogrammet för anläggningen.

De olika delprogrammen har en programansvarig som på årsbasis rapporterar till SKB's kontrollprogramansvarig. SKB lämnar årligen till SKI, före första maj, en redogörelse för kontrollprogrammet och i programmet erhållna resultat.

Nedan följer en redogörelse för relevanta delprogram för bedömning av de hydrogeologiska förhållandena. Beskrivningen av de hydrogeologiska förhållandena är SKB's slutsatser som redovisades i samband med revideringen av kontrollprogrammet 1990 (SKB, 1990). Vår utvärdering av kontrollprogrammet redovisas i kapitel 4. En mer detaljerad beskrivning av i programmen ingående mätpunkter och mätmetoder redovisas i Bilaga B.

### **2.2.1 Hydrogeologiska mätningar**

Ansvarig organisation: Geosigma AB

SKB's slutsatser 1990 (SKB, 1990) angående grundvattentryck beskrivs enligt: "*Fortlöpande tryckregistrering har skett i ett flertal borrhål under byggnadsskedet. Den dränering av bergmassan som orsakats av utsprängningen av anläggningen har medfört en tryckreduktion i ett flertal mätpunkter. I vissa mätpunkter är fortfarande en tryckförändring skönjbar. Normalt uppvisar tryckmätningarna en gradient in mot förvaret, dock förekommer omvända tryckförhållanden i vissa borrhål. Dessa förhållanden gör att en fortsatt tryckmätning bör genomföras även under driftskedet. En översyn av tidigare mätprogram har genomförts varvid antalet mätpunkter har reducerats och flera mätpunkter har sammanförts till gemensamma mätstationer.*"

Grundvattentryck mäts för närvarande varannan vecka i 12 borrhål. En sammanställning av alla mätdata från alla borrhål som mätts under byggnadsskedet och driftskedet redovisas i Bilaga C.

## 2.2.2 Mätning av inläckande grundvatten

Ansvarig organisation: Vattenfall Hydropower AB, SFR-besiktningsgrupp.

### Mätning av vattenflöden i pumpgroppar och mätöverfall

Under *byggnadsskedet* har mätningar av mängden inläckande grundvatten gjorts separat för bland annat bergsalarna, siloförvaret samt bygg- och drifttunneln (Bilaga A). En sammanställning av Christiansson och Bolvede (1987) visar att omkring hälften av det totala inläckaget till SFR1 på ca 650 l/min (årsskiftet 86/87) härrör från Singölinjen och den flacka zonen i nedre byggtunneln. Inläckaget i varje enskild bergsal varierade mellan 5 och 20 l/min (0.8-3.1%), och det totala inläckaget till bergsalarna var 53 l/min (8.1%). Inläckaget till silon var <2 l/min (0.3%) (Bilaga D).

Under *driftskedet* har mätningar av inläckande grundvatten gjorts för följande delar av anläggningen (Bilaga B):

- Bergsal för medelaktivt avfall (BMA)
- Bergsalar (BMA, BLA, BTF), bergsaltunnel (BST), centraltunnel (CT) och del av silotunnel (ST)
- Inlastningsbyggnad (IB) och del av silotunnel (ST) och byggtunnel (BT)
- Drifttunnel (DT), byggtunnel (BT) och tvärtunnel (TT)
- Silotopp
- Siloväggar
- Silobotten
- Drifttunnel (DT), byggtunnel (BT), tvärtunnel (TT), nedre byggtunnel (NBT), silo (S) samt inlastningsbyggnad (IB) och del av silotunnel (ST).

SKB's slutsatser 1990 (SKB, 1990) angående inläckande grundvatten beskrivs enligt: "För närvarande är den totalt inläckande mängden grundvatten till tunnlar och berggrum ca 700 l/min. Under byggnadstiden har även mätningar gjorts separat för bl a bergsalarna och siloförvaret. Dessa mätningar har jämförts med beräknade inflöden till dessa anläggningsdelar för att bedöma beräkningsmodellernas tillförlitlighet."

Inläckaget i olika delar av förvarsområdet redovisas i Bilaga D. För närvarande (1994-12-08) är den totalt inläckande mängden grundvatten till SFR ca 550 l/min, vilket har varit ett stabilt inläckage under de senaste tre årens mätningar.

### Dokumentation av fuktförhållanden i dräner och på bergytor

Dokumentation av vattenförande sprickor inom lagerområdet har utförts i samband med *tunnelkartering under byggtiden* oktober 1983 - maj 1986 (Christiansson och Bolvede, 1987; Bilaga A). *Fuktdokumentation* av alla bergytor och dräner har utförts under februari - mars 1988 i samband med överlämning till drift (Widing, 1988) och i april - maj 1993 (Bodén, 1993).

### **2.2.3 Grundvattenkemiskt provtagnings- och analysprogram**

Ansvarig organisation: SKB

SKB's slutsatser 1990 (SKB, 1990) angående grundvattenkemi beskrivs enligt: "Eftersom stora volymer vatten pumpas ut kontinuerligt måste detta vatten ersättas med nytt, sannolikt uppifrån havet. I de punkter där inläckaget var störst kunde man vänta sig att snabbast se förändringar. .... Vattenprovtagning för kemisk analys har under byggnadsskedet utförts i ett antal mätpunkter i anläggningen. Resultatet visar att en successiv förändring av grundvattnets kemiska sammansättning har skett och alltjämt sker. Initiellt uppvisade grundvattnet en salthalt som var väsentligt högre än den som idag finns i ovanliggande havsfjärdar. Under mätningarnas gång har en långsam förändring skett mot ett grundvatten som kemiskt mer påminner om havsvattnet. Förändringarna är emellertid mycket långsamma varför en fortsatt provtagning bör genomföras under driftperioden tills dess stationära förhållanden inträtt. Den fortsatta provtagningen genomförs i ett begränsat antal provpunkter."

Grundvattenkemisk provtagning sker för närvarande 2 gånger per år i 4 borrhål. En sammanställning av data från borrhål som provtagits under byggnadsskedet och driftskedet redovisas i Bilaga E.

### 3 BESKRIVNING OCH GRANSKNING AV SKB's KONCEPTUELLA MODELL

Tidigare har data från undersökningar av berggrunden i förvarsområdet sammanställts och utvärderats i rapporten SFR 86-03 (Carlsson et al., 1986). Denna beskrivning av berggrundens hydrauliska egenskaper ligger till grund för beräkningen av grundvattenströmningen i förvarsområdet som beskrivs i rapporten SFR 86-07 (Carlsson et al., 1987). Beskrivningen av SKB's konceptuella modell för de geologiska, tektoniska och hydrogeologiska förhållandena vid SFR som redovisas i denna rapport har framför allt erhållits från SKB's slutliga säkerhetsrapport (SKB, 1993), som till stor del baseras på resultaten i SFR 86-03. I vissa fall har även beskrivningar tagits från underlagsrapporter till SKB's säkerhetsanalys.

Nedanstående beskrivning och granskning av SKB's konceptuella modell görs enligt följande. Först görs ett direkt citat av SKB's beskrivning med hänvisning till refererad litteratur. Därefter sker i direkt anslutning en presentation av våra kommentarer. Om vi har kommentarer i det direkta citatet skrivs dessa med *kursiv stil*.

#### 3.1 Litologi

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.2.2*

##### **Litologi - SKB's beskrivning**

Berggrunden vid SFR består huvudsakligen av tre olika bergartstyper (Figur 3.1 och 3.2):

- Leptiter och finkorniga gnejser dominerar från förskärningen och de första ca 600 m av tillfartstunnlarna.
- Urgraniter som består av både sura och basiska led, vanligen utan distinkta gränser, dominerar inom norra halvan av lagerområdet. Dessa utgör även dominerande bergart inom angränsande landområden. Graniten är ibland svagt för-gnejsad.
- Pegmatiter (grovkristallina bergarter) finns i minst två generationer som genom-sätter bergmassan. Den äldre pegmatiten är delvis granitisk och utgör dominerande bergart från ca 600 m in i tillfartstunnlarna fram till södra delen av lagerområdet.

Tunna amfibolit och grönstengångar förekommer också inom SFR. Större grönstensmassiv är kända från andra delar av Forsmarksområdet. Bergmassan inom SFR visar en komplex fördelning mellan de dominerande bergartstyperna, vilka vanligen är veckade. Kontakterna mellan bergarterna är dock normalt väl sammanläkta.

##### **Litologi - Kommentarer**

Ingen kommentar



## 3.2 Strukturgeologi

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.2.3.*

### **Sprickighet i berget - SKB's beskrivning**

Inom Forsmarksområdet är berggrunden uppsprucken i ett generellt blockigt mönster. Brantstående sprickor i NV och NÖ samt flacka sprickor dominerar. Även brantstående sprickor i N till NNV och ÖV-liga sprickor med en stupning av 45 - 60° mot S är vanligt förekommande. De flesta sprickytor är läkta av klorit, kalcit och järnoxid i kombination med mineralet laumontit. Sprickintensiteten har bestämts från kärnkarteringarna till i medeltal 4.3 st per m. Sprickor med en längd större än ca 9 m har en frekvens av 0.7 sprickor per m (Carlsson et al., 1986).

### **Sprickighet i berget - Kommentarer**

Tunnelkarteringen visar att inom hela lagerområdet är de flesta sprickor brantstående och förekommer i riktningen NV och NÖ (Christiansson och Bolvede, 1987). Detta gäller även de vattenförande sprickorna som också karterats. Det förekommer dock skillnader som tex i nedre byggtunnel, silotunnel och silotak, där NÖ-liga sprickor dominerar.

Sprickfyllnadsmineralen har även betydelse för hur vattnet uppträder i sprickan och Christiansson och Bolvede (1987) konstaterar: "*Kloritläkta sprickor uppvisar ej lika distinkta kanaler i samma omfattning som kalcit och laumontit, då klorit är mjukare och mera utsmetat längs sprickan (mikroskala)*".

Bergspänningsmätningar i Forsmarksområdet och vid SFR har visat att den största huvudspänningen har en riktning av NV - SÖ (Carlsson och Christiansson, 1987). Det förekommer dock en stor lokal spridning i huvudspänningsriktning. Huvudspänningsriktningen sammanfaller med strykningen hos ett av spricksystemen (NV - SÖ), vilket troligtvis gör detta spricksystem mer konduktivt än andra. Spänningsfältet ger troligtvis även upphov till en öppning av subhorisontella spricksystem (Carlsson och Christiansson, 1987).

Förhållandet mellan maximal och minimal skjuvspänning är normalt 3 i Forsmark, men värdet ökar snabbt med ökande horisontalspänning eller minskande vertikalspänning (Carlsson och Christiansson, 1987). Det ger möjligtvis en indikation på öppning av subhorisontella sprickor i bergmassan. Studier vid Forsmark har även visat på en god överensstämmelse mellan ökad hydraulisk konduktivitet och ökat förhållande mellan maximal och minimal skjuvspänning (Carlsson och Christiansson, 1987).

Den övre delen av bergmassan ner till 50 - 60 m djup uppvisar bergspänningar med stora avvikelser i storlek och riktning, vilket troligtvis är en effekt av den senaste istiden (Carlsson och Christiansson, 1987). I dessa delar är troligtvis bergmassan mer uppsprucken och konduktiv.

Bergspänningen ökar med djupet vilket indikerar att den hydrauliska konduktiviteten kan antas minska med ökat djup. Även här förekommer dock stor lokal spridning.

Med hänsyn till dominerande sprickriktningar med vissa variationer inom SFR, olika

sprickfyllnadsmaterial samt den rådande spänningssituationen, kan man således förvänta sig att bergmassan uppvisar prefererade strömningsriktningar (huvudsakligen i NV-SÖ), vilka kan variera något inom anläggningen. Detta har ej beaktats i den modellering (Carlsson et al., 1987) som ligger till grund för SKB's säkerhetsanalys.

### **Större strukturer - SKB's beskrivning**

Även i svaghetszoner (sprickzoner) förekommer sprickor som är delvis läkta. Olika typer av sprickfyllnadsmaterial som genomsätter varandra visar att vissa zoner påverkats av upprepade tektoniska processer. Den sprickzonsmodell som upprättades baserat på resultat från förundersökningarna har under byggandet verifierats. Samtliga större sprickzoner som påträffades under byggnadsskedet var prognosticerade från förundersökningarna (Christiansson, 1986). En mindre zon vid silon, Zon 9, utgör det enda undantaget. Större svaghetszoner i berggrunden vid Forsmark visas i Figur 3.3 och påträffade brantstående sprickzoner inom SFR-området visas i Figur 3.4.

Singö-zonen utgör områdets största svaghetszon. Den påträffades i kylvattentunnlarna från Forsmarksreaktorerna och i SFR1 i tillfartstunnlarna efter 250 m. Zonen är komplext uppbyggd av vittrat berg och mycket starkt uppspruckna partier. Tillfartstunnlarna skär Singö-zonen på en sträcka av ca 200 m. Av denna utgörs 15 m av krossat berg och 100 m av starkt förskiffrat och delvis vittrat berg. Väster och nordost om lagerområdet finns brantstående vattenförande sprickzoner (Zon 3 och 8) med en bredd av 5 - 15 m (Figur 3.4). Den nordöstliga zonen, belägen ca 60 m från silon har karakteriserats genom bl a borringar före och under byggandet av SFR1. Denna zon har kontakt med en flack sprickzon, Zon H2, som förekommer under siloområdet. Denna senare zon penetreras av de nedre delarna av nedre byggtunneln. En brantstående mindre sprickzon, Zon 6, skär igenom bergsalarna. Zonen är 1 - 3 m bred och innehåller leromvandlade partier, som lokalt är vattenförande.

### **Större strukturer - Kommentarer**

Den sprickzonsmodell för SFR som redovisas i Figur 3.4 innehåller endast de större zonerna. Det finns naturligtvis ett spektrum av zoner med olika hydraulisk signifikans alltifrån småsprickigheten i bergmassan till de större zonerna. Detta illustreras även väl i den kartering av vattenförande sprickor som genomfördes under byggnadsskedet (Bilaga A och D). Alternativa tolkningar baserade på sprickartering och vatteninläckage har gjorts av Christiansson och Bolvede (1987) (Figur 3.5).

Att dessa zoner inte finns med i den konceptuella modellen beror på den modellerings-teknik som användes i säkerhetsanalysen för SFR, där grundvattenflödena beräknades med en modell baserad på kontinuumteknik (Carlsson et al., 1987). Denna modellteknik medger inte en detaljerad beskrivning av bergets småsprickighet och sprickzoner.

### **3.3 Berggrunden som vattenledande medium**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.3.1*

#### **Berggrunden som vattenledande medium - SKB's beskrivning**

De enskilda sprickorna och deras vattenledande kanaler bildar ett nätverk som leder vatten i berggrunden. Detta nätverk kommer att vara tätast i områden där större sprickzoner förekommer. Dessa zoner kan i viss skala betraktas som separata vattenförande enheter med karakteristiska vattenförande egenskaper knutna till respektive zon. Också mellanliggande bergmassa kan betraktas som en vattenförande enhet i stor skala med en annan storlek på den karakteristiska vattenförande egenskapen. Såväl bergmassan som förekommande sprickzoner betraktas således som ekvivalenta porösa medier där vattenflödet kan beräknas i enlighet med Darcys lag.

#### **Berggrunden som vattenledande medium - Kommentarer**

Idag förekommer i princip tre sätt att modellera flödet i en bergmassa, nämligen som ett diskret spricknätverk, stokastiskt/deterministiskt kontinuum eller kanalnätverk (Figur 3.6). För att berget skall kunna betraktas som ett ekvivalent poröst media (stokastiskt/deterministiskt kontinuum) förutsätts att antalet sprickor är stort och att spricknätverket är väl konnekterat på den betraktade skalan (blockstorleken). Senare forskning har visat att hydraultester kan tolkas som strömning i ett medium med partiell dimensionalitet (Geier et al., 1992; Geier and Doe, 1992; Black, 1994). Detta innebär att hydraultester kan tolkas som att strömning sker i enskilda endimensionella kanaler till tredimensionella väl konnekterade spricknätverk och alla kombinationer däremellan (Figur 3.7).

### **3.4 Hydrauliska enheter**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.3.2*

#### **Hydrauliska enheter - SKB's beskrivning**

I de beskrivande modeller som upprättats över berggrunden och grundvattenförhållandena inom SFR har hydrauliska enheter med enhetliga egenskaper definierats, dels i regional-, dels i lokal- och detaljskala (Carlsson et al., 1987). I den regionala skalan som omfattar ca 85 km<sup>2</sup> har jordlager, bergmassa och sprickzoner definierats som olika hydrauliska enheter (Tabell 3.1). I den lokala beskrivande modellen som omfattar berggrunden utanför Singö-zonen, totalt ca 1.7 km<sup>2</sup>, har de hydrauliska enheterna antagits bestå av bergmassa, sprickzoner och skin-zoner runt tunnlår och bergrum (Tabell 3.2).

#### **Hydrauliska enheter - Kommentarer**

Indelningen i hydrauliska enheter bygger på ett kontinuum koncept, som är en grov approximation då det gäller att beskriva bergets hydrauliska egenskaper. Endast de mest konduktiva strukturerna tas med och de olika hydrauliska enheterna antas ha konstanta egenskaper.

### **3.5 Bergmassans hydrauliska egenskaper**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.3.4*

#### **Allmänt - SKB's beskrivning**

För att karakterisera olika definierade hydrauliska enheters egenskaper används en effektiv hydraulisk konduktivitet baserad på samtliga mätvärden inom respektive enhet. Denna effektiva konduktivitet utgör således ett medelvärde av uppmätta konduktiviteter. Varje enskilt mätvärde i bergmassan representerar en begränsad del av en hydraulisk enhet. Delarnas inbördes relationer är avgörande för val av medelvärdesbildning. De hydrauliska konduktivitetens värdena kan antas ha en slumpvis fördelning i bergmassan. Fördelningen kan lämpligen beskrivas som en logaritmisk normalfördelning av mätvärdena om det testade berget är statistiskt homogent. I en sådan fördelning utgör det geometriska medelvärdet ett representativt värde på bergmassans effektiva hydrauliska konduktivitet. Beroende på strömningsgeometrin korrigeras det geometriska medelvärdet till den slutligen använda effektiva hydrauliska konduktiviteten (Carlsson et al., 1986 och Carlsson et al., 1987). En effektiv hydraulisk konduktivitet för sprickzonerna antas således representeras av ett geometriskt medelvärde där grundvattenströmningen anses vara tvådimensionell.

Beräknade hydrauliska konduktiviteter och samband inom definierade hydrauliska enheter sammanfattas i Tabell 3.3.

#### **Allmänt - Kommentarer**

##### *Bergmassans egenskaper*

Bergmassan betraktas således som ett deterministiskt kontinuum, där en effektiv hydraulisk konduktivitet beräknas genom geometrisk medelvärdesbildning för olika hydrauliska enheter. Ett bättre sätt vore att betrakta bergmassan som ett stokastiskt kontinuum med varierande hydraulisk konduktivitet inom olika hydrauliska enheter eller som ett diskret spricknätverk med varierande egenskaper i de enskilda sprickorna och sprickzonerna (Figur 3.8). Den konceptuella modell som väljs för hur berget beskrivs bör även överensstämma med den information som erhålles vid utvärdering av hydraultesterna. Ett annat problem som inte har beaktats är hur de utvärderade hydrauliska konduktivitetens värdena mätta i en viss skala skall transformeras till en annan skala (blockstorlek) vid kontinuummodellering.

##### *Utvärdering av Hydraultester*

Senare utredningar (Geier et al., 1992; Geier and Doe, 1992; Follin, 1992; Black, 1994) har visat att den metodik (Moyes formel) som använts vid utvärdering av hydraultester ger en hydraulisk konduktivitet som i vissa fall kan skilja flera 10-potenser mot den som erhålles med mer modern utvärderingsmetodik baserad på teorier om "partiell flödesdimension". Numera finns teorier och programvara för utvärdering av både hydraulisk konduktivitet och "partiell flödesdimension" (Wei et al., 1993; Black et al., 1995). Informationen om "partiell flödesdimension" bör användas vid valet av modellteknik som används vid modelleringen av bergmassan.

### *Skalproblem*

Problemet är att ansätta vattenförande egenskaper på zoner respektive bergmassa, då dessa egenskaper varierar med den betraktade skalan. Vid modellering med kontinuumteknik används block av olika storlek. Geier och Doe (1992) har visat att den hydrauliska konduktiviteten mätt med 3 m manschettavstånd har dålig korrelation med den hydrauliska konduktiviteten hos bergblock med 10 - 40 m sida. Idag finns ingen bra metod att "skala upp" hydraultester med tex 3 m manschettavstånd till tex 30 m block i en kontinuummodell. För närvarande bedrivs forskning för att utvärdera olika metoders användbarhet (La Pointe, 1994).

Gustafson et al. (1989) har även visat hur olika medelvärdesbildningar av den hydrauliska konduktiviteten samt standardavvikelsen varierade med testskalan på Äspö (Figur 3.9).

### **Skivighet och skölzoner i NÖ-lig riktning - SKB's beskrivning**

Inom bergmassan i SFR har den geologiska karteringen i samband med byggandet av tunnlar, silo och bergrum påvisat att parallella brantstående sprickor, som förekommer med förhöjd frekvens i nordöstlig orientering, vanligen för mer vatten än andra strukturer. Observationer har visat att en definierad förekomst av denna skivighet i kombination med skölzoner i samma riktning kan beskrivas som en hydraulisk enhet i bergmassan. Alternativt kan skivigheten ge upphov till en hydraulisk anisotropi i bergmassan, vars storlek kan bedömas med kännedom om de enskilda strukturernas hydrauliska konduktivitetens värden.

### **Skivighet och skölzoner i NÖ-lig riktning - Kommentarer**

Skivigheten i nordöstlig riktning sägs vanligen föra mer vatten än andra strukturer och kan beskrivas som en hydraulisk enhet. Denna saknas dock i SKB's beskrivning av hydrauliska enheter i SFR (Tabell 3.3). Det kan även ifrågasättas om skivigheten i NÖ-lig riktning är mer vattenförande än sprickor i NV-lig riktning. Sprickor med riktning NV-SÖ sammanfaller med huvudspänningsriktningen i SFR och kan därför vara öppna och föra mer vatten (se tidigare kommentar i kapitel 3.2 Strukturgeologi, Sprickighet i berget).

### **Djupavtagande - SKB's beskrivning**

Den hydrauliska konduktiviteten beror på frekvens av vattenförande sprickor och sprickornas öppenhet. Längs ett sprickplan är endast en viss del vattenförande. Denna del minskar med ökande normalspänning över sprickplanen. Olika teoretiska betraktelser över sambandet mellan bergspänning och öppenhet hos sprickorna leder till olika uttryck för den hydrauliska konduktivitetens beroende av bergspänningarna.

### **Djupavtagande - Kommentarer**

Carlsson och Christiansson (1987) har visat att bergspänningen ökar med djupet vid Forsmark och SFR. Detta innebär att det är rimligt att anta en minskad hydraulisk konduktivitet i enskilda sprickor mot djupet, vilket således medför en minskad hydraulisk konduktivitet i bergmassan mot djupet.

### **Inhomogenitet - SKB's beskrivning**

De övre 40 m av berggrunden har värden på den hydrauliska konduktiviteten som visar på förekomst av en mer konduktiv del jämfört med djupare ned i berget. Tidigare geologiska iakttagelser vid anläggningsarbeten för Forsmarks kraftstationer har också påvisat att bankningsplan är frekventa inom berggrundens övre delar (Carlsson och Olsson, 1982). För SFR har således berggrundens översta 40 m ansatts ett konduktivitetvärde motsvarande ett geometriskt medelvärde av  $4 \cdot 10^{-7}$  m/s. Detta medelvärde har också visat sig variera så att berggrunden direkt över SFR har detta värde, medan områdena utanför har ett lägre värde,  $8 \cdot 10^{-8}$  m/s.

### **Inhomogenitet - Kommentarer**

Inget försök har gjorts till indelning av bergmassans egenskaper beroende på olika bergarter. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet som nämns kan bero på olika bergarters tektoniska egenskaper som kan skapa olika sprickighet och därmed olika hydraulisk konduktivitet. Den kan även bero på brist på information inom bergmassan söder om zon 6.

### **Frekvens av hydrauliskt konduktiva sprickor / sprickfyllnadsmineral - SKB's beskrivning**

Avståndet mellan vattenförande sprickor har beräknats från vatteninjektionstester och kärnkarteringar till ca 3.3 m. Kartering av vattenförande sprickor inom bergsalarna och tillfartstunnlarna visar att avståndet i medeltal är 5 m. Skillnaden mellan de två värdena kan delvis tillskrivas spänningsförändringarna närmast undermarksanläggningarna (skin-zon), vilken torde minska andelen vattenförande sprickor lokalt. Av de ca 10 000 sprickorna inom området har ca 600 observerats vara vattenförande (Christiansson och Bolvede, 1987). Sprickorna är dock inte vattenförande längs hela sitt plan. De största flödena kommer ur sprickor som för sprickfyllnadsmaterial. I kalcitläkta sprickor finns ofta hålrum eller kanaler mellan kristallerna, medan de kloritläkta sprickorna ej uppvisar lika distinkta kanaler utan bedöms föra vatten i hela sin bredd, men mest i kontakt med sidoberget. I de lerläkta sprickorna förekommer det ibland hålrum som troligtvis beror på att leran blivit urspolad i dessa partier i samband med borrningen.

### **Frekvens av hydrauliskt konduktiva sprickor / sprickfyllnadsmineral - Kommentarer**

Kunskapsnivån om sprickfyllnadsmaterial och vattenflöde i sprickor är idag bristfällig och forskningsinsatser har just påbörjats (muntlig uppgift Lars O. Ericson, SKB, 1995). Se för övrigt kommentarer under kapitel 3.2 Strukturgeologi "*Sprickighet i berget*".

### **3.6 Sprickzoners hydrauliska egenskaper - grundvattentryck**

En sammanfattande konceptuell modell baserad på registrerade mätdata saknas för SFR-anläggningen. För området i anslutning till Silo 1 har dock en beskrivning gjorts hur olika zoner står i kontakt med varandra utifrån resultat från interferenstester. Nedan redovisas den sammanfattande bild av grundvattenförhållandena som ges i rapporterna SFR 86-03 (Carlsson et al., 1986) i kapitlen 4.2, 4.3, 5.3, 6.2 och 6.4 samt SFR 86-07 (Carlsson et al., 1987) i kapitlen 5.1.2, 7.4.3 och 12.1.3. Den geologiska beskrivningen av zonerna i SFR 86-03 bygger på SFR 86-02 (Christiansson, 1986). Ett antal interferenstester har utförts i olika zoner i syfte att dels "*identifiera konnektionen utefter zonen som tolkats från kärnkartering*" och dels "*utvärdera de hydrauliska egenskaperna i zonen*" (SFR 86-07, Tabell 3.4). I anslutning till SKB's beskrivning som ges i form av direkta citat och sammanfattande slutsatser ur ovanstående refererad litteratur ges även våra kommentarer.

#### **Singözonen - SKB's beskrivning**

Singözonen har klart identifierats genom seismiska undersökningar, flygfoton, borrhål och tunnelkartering. Zonen penetreras av borrhål HK1 (Bilaga C:1).

Zonen är i det närmsta vertikal och mycket irreguljärt uppbyggd. Sprickfrekvensen ökar succesivt mot NÖ. Den övergår gradvis till en stor vattenförande zon med en vidd av ca 20 m. Den totala vidden på Singözonen är ca 100 - 120 m.

Enkelhålmätningar i HK1 och DS101 visar att den mest uppspruckna delen har en hydraulisk konduktivitet av  $7 \cdot 10^{-7}$  -  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s medan den SV och NÖ delen har en konduktivitet av  $4 \cdot 10^{-7}$  m/s respektive  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s.

I anslutning till SFR-anläggningen har zonen ca 15 m lägre tryck än omgivande berg. Orsaken bedöms vara den dränering som sker av zonen där denna korsas av bygg- (BT) och driftstunneln (DT).

#### **Singözonen - Kommentar**

Singözönens egenskaper har inte inkluderats vid modelleringen. I den regionala modell II som används för att generera randvillkor till den lokala modellen har Singözonen antagits ha ett övertryck i förhållande till havets medelnivå av 0.5 m. Detta övertryck har ansatts godtyckligt för att modellen skall simulera grundvattentryck som mätts i borrhål vid SFR från plattform vid förundersökningarna. Dessa grundvattentryck är mycket osäkra då de baseras på extrapolering av "falling head" tester till stationärt tryck, som sedan korrigerats för densiteten i grundvattnet.

#### **Zon 3 - SKB's beskrivning**

Zonen har identifierats vid seismiska undersökningar, i borrhål samt vid tunnelkartering (BT och DT). Zonen penetreras av borrhål HK9, HK10 och Kb16 (Bilaga C:1).

Zonen stupar 75 - 80° mot NV och har en vidd av 5 - 10 m.

Interferensmätningar i zon 3 visar på en i huvudsak horisontell hydraulisk förbindelse inom zonen (SH3 till HK9 och HK10) med en konduktivitet av 2.3 -  $7.6 \cdot 10^{-5}$  m/s. En direkt

respons vid pumpning i SH3 erhöles i sektion HK9:1, HK9:2, HK10:1 och HK10:2, vilket tolkas som en direkt hydraulisk förbindelse längs zon 3 huvudsakligen i horisontell riktning. Interferenstester i vertikalled mellan HK9:2 och HK10:1 visar på dålig hydraulisk kommunikation.

Uppmätta tryck i zonen ligger nära havsytans medelnivå (HK9:2 +500.1, HK10:1 +498.8). En svag nedåtriktad gradient har registrerats i zonen.

### **Zon 3 - Kommentar**

Tveksamheter råder om SH3 verkligen penetrerar zon 3 (jfr SFR 86-07; Tabell 5.2 och Figur 2.1).

Den direkta responsen mellan SH3 och mätsektioner både i zon 3 och omgivande bergmassa i borrhålen HK9 och HK10 kan tolkas som horisontell kanalisering i zonen eller som kontakt längs zon H2.

Zon 3 modelleras som isotrop med  $K = 3 \cdot 10^{-6}$  m/s baserat på enkelhålmätningar (SFR 86-07, sid. 123). Dessa mätningar ger en sammanvägd hydraulisk konduktivitet i både vertikal och horisontell riktning i zonen. Detta gör zonen vid modelleringen mindre

konduktiv i horisontell riktning och mer konduktiv i vertikal riktning än värdena som erhålles från interferenstesterna mellan HK9 och HK10 respektive SH3 och HK9, HK10.

Den svagt nedåtriktade gradienten (1.3 m på ca 65 m, 2%) som registrerats i zonen kan inte enbart förklaras som en effekt av densitetsskillnader.

### **Zon 6 - SKB's beskrivning**

Zonen har identifierats vid seismiska undersökningar, i borrhål och vid tunnelkartering. Zonen penetrerades inte av något borrhål under byggandet av SFR. Däremot penetrerades den av borrhål Kb13 och Kb15 borrade från plattform vid förundersökningarna (Bilaga C:1).

Zonen stupar 70 - 90° mot NÖ och har en vidd av 1 - 5 m. Zon 6 har påträffats i drifttunneln (DT) som hög sprickfrekvens och droppande vatten. Utsträckningen mot söder är begränsad.

Zonens påträffade hydrauliska bredd varierar mellan 2.1 m och 2.4 m. Den uppmätta konduktiviteten i de två borrhålen i zon 3 varierar mellan  $2.4 \cdot 10^{-8}$  och  $1.8 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Borrhål SH3 penetrerar en sprickson som är parallell med zon 3 men har mindre utsträckning. Uppmätt transmissivitetvärde i denna zon är  $1.1 \cdot 10^{-6}$  m/s.

### **Zon 6 - Kommentar**

Den uppmätta konduktiviteten tyder på stor inhomogenitet. Största värdet ligger i anslutning till berggrum 2BTF, vilket även har störst inläckage vid genomgång av zonen. Vid modelleringen har konduktiviteten antagits vara  $4 \cdot 10^{-7}$  m/s och bredden 5 m.



Den sprickzon med relativt hög transmissivitet som påträffats parallellt med zon 6 i SH3, indikeras även av vatteninläckage i västra delen av Bergsalstunneln (BST). Denna zon finns ej medtagen vid modellberäkningarna.

Inga mätningar förutom hydraultester från plattform har utförts i zon 6.

### **Zon 8 - SKB's beskrivning**

Zonen har identifierats med seismiska undersökningar och i borrhål. Zonen penetreras av borrhål Kb4, Kb5, HK8 och HK11 (Bilaga C:1).

Bredden på zonen är 5 - 15 m och den är omgiven av randzoner, vilket tillsammans ger en zonbredd av 10 - 45 m. Zonen tolkas fortsätta mot söder till den påträffar Singözonen.

Enskilda borrhålmätningar visar konduktiviteter mellan  $3.6 \cdot 10^{-7}$  m/s och  $3.3 \cdot 10^{-6}$  m/s och hydraulisk bredd mellan 4.9 m och 16.2 m för den centrala högkonduktiva delen av zon 8. Interferenstest mellan HK8:1 och HK11:1 har visat en god konnektion inom zon 8 med en konduktivitet av  $2.7 \cdot 10^{-6}$  m/s. Interferenstesten visade även en god hydraulisk förbindelse mellan zon 8 och zon H2. Zon 8 reagerade även vid interferenstesterna i zon H2. Vid interferenstesten i zon 8 (HK8:1) reagerade även sektion Kb19:1 (i skivigheten över silotaket). Detta indikerar en god konnektion mellan zon 8 och skivigheten över silon.

I zon 8 har grundvattentryck registerats i HK8:1 (+494.2) och HK11:1 (+493.0). Dessa indikerar en gradient inom zonen i sydöstlig riktning. Mätningarna har dock skett på vardera sidan om skärningspunkten mellan zon 8 och skivigheten som går genom Silo 1. Denna skärningspunkt antas vara en inflödespunkt för grundvatten från zon 8 till skivigheten och förklara de höga grundvattentryck som kvarstår ovanför Silo 1.

### **Zon 8 - Kommentar**

Konnektionen mellan zon 8 och skivigheten genom silon verkar trolig, då karteringen av inläckande vatten under både 1988 och 1993 visar inläckage på ca 610 - 640 l/tim i inlastningsbyggnaden (IB).

Zon 8 modelleras som 10 m bred med en konduktivitet av  $2 \cdot 10^{-6}$  m/s, vilket är ett rimligt medelvärde av de enskilda mätvärdena.

### **Zon 9 - SKB's beskrivning**

Zonen har identifierats med seismiska undersökningar, i borrhål samt vid tunnelkartering (BT och STT). Zonen penetreras av borrhål HK4, Kb18, Kb23, Kb24 och Kb25 (Bilaga C:1). Zonen stupar 80 - 90° mot NV och har en vidd av 1 - 3 m.

Enkelhålmätningar visar konduktiviteter mellan  $9.1 \cdot 10^{-10}$  och  $3.9 \cdot 10^{-8}$  m/s och hydraulisk bredd mellan 1.4 m och 3.7 m. Tre interferenstester har utförts med flödande sektioner omväxlande i HK4:3, Kb25:2 och Kb25:3 och tryckregistrering i alla sektioner i borrhålen. Utvärderingen visar konduktiviteter på 4.3 -  $8.7 \cdot 10^{-8}$  m/s. Interferenstesterna har konfirmerat hydraulisk konnektion mellan borrhålen i zon 9 och också med andra sektioner i samma borrhål. Zonen är inte lika konduktiv och uttalad som övriga zoner inom SFR. Den kan även vara uppdelad i ett antal mindre zoner.

Zon 9 antas stå i hydraulisk förbindelse med den skivighet som går genom silo 1 (SFR 86-07, sid. 66). Vid kontakten med skivigheten uppskattas grundvattentrycken till mellan +430 och +440 (HK3:1). De uppmätta trycken i Kb25:3 (+466.2) och HK4:3 (+447.3) antyder en gradient i zon 9 mot skärningen med skivigheten.

### **Zon 9 - Kommentarer**

Zon 9 sägs stupa 80 - 90° mot NV (SFR 86-03 sid. 31) men har modellerats med en stupning av 80° mot Ö (SFR 86-07, sid. 123). Zonen sägs påträffas i borrhål Kb18, vilket tyder på att den stupar mot NV.

Zon 9 modelleras som 3 m bred med en konduktivitet av  $4 \cdot 10^{-8}$  m/s, vilket är ett rimligt medelvärde av de enskilda mätvärdena.

Gradienten i zon 9 mot skärningspunkten med skivigheten genom silon tyder på att silon dränerar skivigheten och zon 9. Det finns således en möjlig strömningsväg från silon via skivigheten till zon 9 och vidare mot zon 8.

### **Zon H2 - SKB's beskrivning**

Zonen penetreras av borrhål Kb1, Kb2, Kb4, Kb5, Kb11, Kb12, Kb17, Kb18, Kb27, HK3, HK5, HK7A-C, HK12 och NBT tunneln (Bilaga C:1).

Zonen karaktäriseras av omvandling, hög sprickfrekvens (>10 sprickor/m) och förekomst av lera i vissa sprickor. Zon H2 är uppdelad i mindre zoner av horisontella sprickor genomskurna av subvertikala sprickor, med intakt berg med normal sprickfrekvens däremellan. De individuella sprickorna i zon H2 är vanligtvis fyllda av lermineral och utfällningar av järnmineral.

Zonen är subhorisontell och stupar ca 18° mot SSÖ och har en hydraulisk vidd av 2.4 - 19.3 m.

Zonen har identifierats i borrhål mellan zonerna 6, 8 och 9 samt i ett borrhål för injektering i nedre delen av nedre byggtunneln (NBT). Förekomsten i borrhål Kb4 ligger dock utanför zon 8, vilket indikerar att zon H2 kan fortsätta NÖ om zon 8. Ingen indikation av zon H2 har hittats i HK2 väster om zon 6. Väster om zon 6 är borrhålen för grunda för att kunna påträffa zon H2 (*Vår anm.: Detta gäller tydligen inte HK2*). Tolkningen av zon 3 i borrhål HK10 kan möjligtvis tolkas som zon H2 och medge en utsträckning av zon H2 väster om zon 6 under bergrummen. Söder om zon 9 i borrhål HK13 finns ingen geologisk indikation av zon H2. Hydraultester och interferenstester har emellertid påvisat ett samband mellan borrhål HK13 och borrhål i zon H2, vilket indikerar en hydraulisk kontakt. Resultat från interferenstest i HK13 (flöde från HK13:1) indikerar att zon H2 troligtvis slutar mot NV sidan av zon 9 (*Vår anm.: Fanns ingen respons i andra borrhål i zon H2?*). Hydraulisk kontinuitet kan dock föreligga i olika mindre zoner på större djup som penetreras av HK3:1. Interferenstest i zon H2 (flöde från HK7B:1) visar en god hydraulisk förbindelse mellan zon H2 och zonerna 8 och 9.

Zon H2 har en påvisad hydraulisk kontinuitet mellan borrhål HK12, zon 8 och zon 9 och troligtvis även med zon 6 och zon 3. Den hydrauliska konduktiviteten i borrhålen från enkelhålmätningar varierar mellan  $2.4 \cdot 10^{-8}$  (HK7C) och  $9.2 \cdot 10^{-6}$  m/s (HK7A). Interferens-

testerna mellan HK7B:1 (flödande) och HK7A:1, HK7C:1, HK5:2 samt HK12:2 uppvisar konduktiviteter mellan  $1.1-9.2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Före konstruktion av SFR var trycket i zon H2 ca 0.1 - 0.8 m över havets medelvattennivå. Omräkningar med hänsyn till att vattnet i berggrunden är saltare än vattnet i Östersjön ger fortfarande ett övertryck i några sektioner. Möjliga hypoteser att förklara övertrycken är:

- i) En direkt hydraulisk förbindelse mellan SFR-området och högre belägna områden på fastlandet.
- ii) Övertryck på grund av förändringar i grundvattnets kemiska sammansättning. En ökad salthalt mot djupet ger en högre densitet och därmed högre grundvatten-tryck.
- iii) Resultat av en fortgående transiens beroende på den pågående landhöjningen.

Efter konstruktionen av SFR har grundvattentryck i Zon H2 registrerats i HK3:1 (+433.8), HK5:2 (+451.2), HK7A:1 (+463.1), HK7B:1 (+490.5) samt HK12:2 (+493.2). Trycken i bottensektionerna av borrhål HK2, HK3 och HK5 tyder på att ett dränage sker under zon H2. Skivigheten genom silon mot NÖ kan vara dränerande. Den största dränerande strukturen i SFR är nedre byggtunneln (NBT), där den skär zon H2. Här sänks grundvattentrycken troligtvis mer än 100 m, och en avsänkningsträtt skapas i zon H2 runt denna del av tunneln. Avsänkningsträtten störs av silon, närliggande tunnlar och skivigheten. Skivigheten fortsätter under zon H2. Längs skivigheten föreslås en avsänkning av grundvattentrycken. Responsen i grundvattentryck när tunneln NBT penetrerade zon H2 är likartad i sektion HK3:1 och HK5:1, vilket tyder på att de båda ligger i samma hydrauliska struktur.

### **Zon H2 - Kommentar**

HK3 sägs penetrera zon H2, men hydraulresterna från HK3 nämns inte i samband med redovisningen av zonen hydrauliska konduktivitet (SFR 86-03, sid. 133). HK3 penetrerar tydligen inte zon H2!?

Det sägs att zon H2 slutar mot NV sidan av zon 9, vilket stöds av att den geologiska tolkningen inte har visat någon indikation på zon H2 i borrhålen HK4 och HK13. Interferenstest i HK13:1 visar dock en hydraulisk kontakt med angränsande borrhål i zon H2, troligtvis via zon 9 (SFR 86-03, sid. 92). På samma sida sägs även att interferenstestet i HK13:1 visar en *"direkt hydraulisk kontakt med zonerna 8 och 9. Den geologiska tolkningen av borrhål HK13 har inte visat någon uttalad zon H2. Hydraultester visar emellertid en hydraulisk kontakt som kan utbildas genom mindre subzoner som tillsammans bildar en hydraulisk zon i kontakt med zon 9 och sålunda också till zon H2 och zon 8"*.

Sprickfrekvensen i HK2 är mindre än 10 sprickor/m och konduktiviteten är mindre än  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s, vilket tyder på att zon H2 inte förekommer i läget för borrhål HK2, då borrhålet är djupare än nivån där zonen borde påträffas.

Den hydrauliska konduktiviteten i zon H2 verkar vara mindre ( $2.4 \cdot 10^{-8}$  -  $1.5 \cdot 10^{-7}$  m/s) under och i anslutning till silon (Kb11, HK5, HK7C) än i övriga delar. NÖ om nedre byggtunneln (NBT) mot zon 8 förekommer ett stråk av de högsta uppmätta konduktivitetensvärdena ( $2.0$  -  $9.2 \cdot 10^{-6}$  m/s) i borrhålen HK7B, Kb18 och HK7A.

Skillnaden i tryck på ca 30 m mellan de närbelägna sektionerna HK7A:1 och HK7B:1 visar troligtvis på hur enskilda sprickor som står i förbindelse med bergrummen kan dränera delar av bergmassan medan andra delar är mindre påverkade.

### **Skivighet genom silo - SKB's beskrivning**

Skivigheten har karterats i sektion HK5:1, borrhål Kb25, i eller i närheten av borrhål HK3 och HK2 samt i NV delen av inlastningsbyggnaden (IB), i silobottentunneln (SBT) och i taket på silon (Bilaga C:1).

Skivigheten är troligtvis inte sammanhängande över större avstånd. Den är nästan vertikal, och består av mindre områden förskjutna i sidled. Den sträcker sig troligen från zon H2 (*vår anm.. zon 8?*) som en hydraulisk kanal mot borrhål HK3 och HK2. Längs skivigheten påverkas grundvattentrycken av NBT-tunneln, som penetrerar skivigheten i zon H2 (*vår anm.: vilken skivighet i zon H2?*).

Vid interferenstest i zon 9 (Kb25:2) sjönk grundvattentrycken i borrhål Kb19 och i sektionerna Kb20:3 och Kb20:4. Denna effekt följer troligen skivigheten, som sålunda även kan identifieras över silon. När silobottentunneln (SBT) sprängdes ut penetrerades skivigheten. Som en konsekvens sjönk grundvattentrycken i borrhål HK3 (mest i HK3:3), Kb19 och Kb20:2-4. I anslutning till en stor sprängning i de lägre delarna av silon, sjönk grundvattentrycket i HK3, indikerande en kontakt mellan denna sektion och silon troligtvis längs skivigheten.

Vid interferenstest i zon 8 (HK8:1) reagerade Kb19:1 i skivigheten över silotaket. Troligtvis är denna kontakt med zon 8 orsaken till de höga grundvattentrycken över silon. En tryckförändring i borrhålen HK5:1 och HK3:1 beroende på manschettering av borrhålen HK7A, HK7B och HK7C har givit en transmissivitet av  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.

Registerade grundvattentryck under zon H2 i HK2:1 (+452), HK3:1 (+434), HK5:1 (+427) och HK7C:1 (+470) indikerar en dränerande struktur under zonen. Denna struktur antas vara den skivighet som sträcker sig i nordöstlig riktning genom Silo 1.

### **Skivighet genom silo - Kommentar**

Både sektion HK5:1, borrhål Kb25 och möjligtvis borrhålen HK2 och HK3 sägs penetrera skivigheten. Det nämns inte något om dessa reagerar eller ej på interferenstesten i zon 9 (Kb25:2). Detta kunde säga något om konnektionen inom skivigheten eller om alternativa tolkningar.

Ett hydrauliskt samband genom skivigheten har konstaterats mellan bergmassan under silobotten (utsprängning av SBT) och bergmassan över silon (Kb19, Kb20) och SV om silon (HK3:3). Ett hydrauliskt samband har även konstaterats mellan zon 8 (HK8:1) och bergmassan över silon (Kb19) samt mellan zon 9 (Kb25:2) och bergmassan över silon (Kb19 och Kb20:3-4). Ett hydraultest (tryckuppbyggnad i HK7A, B, C) visar även på en konnektion mellan zon H2 och skivigheten. Det verkar således klarlagt att skivigheten genom silon står i hydraulisk förbindelse med zonerna 8, 9 och H2.

Skivigheten är en viktig transportväg för nuklider från silon. Den har visat sig stå i hydraulisk kontakt med både zonerna 8, 9 och H2. Vid modelleringen verkar ingen

hänsyn ha tagits dels till den förhöjda konduktiviteten (tolkad transmissivitet =  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s) i skivigheten och dels till anisotropin som skivigheten orsakar. Den antagna konduktiviteten i bergmassan på silonivån antas variera (djupavtagande) mellan ca  $1 - 8 \cdot 10^{-8}$  m/s. Enstaka borrhålstester inom SFR tyder på en konduktivitet hos skivigheten på  $1 - 5 \cdot 10^{-7}$  m/s (muntlig uppgift Christiansson, 1995), vilket är en faktor 10 gånger högre än bergmassan.

### **Allmänna kommentarer**

#### *Grundvattentryck*

Fortsatta mätningar inom ramen för kontrollprogrammet har i stora drag bekräftat bilden av ett hydrauliskt samband mellan zon 8, zon 9, zon H2 och skivigheten i anslutning till Silo 1.

Följande frågeställningar kan dock defineras med utgångspunkt från de kompletterande mätningarna:

- Vad genererar de förhållandevis höga trycken i HK2:2? Dessa tryck ligger relativt stabilt ca 20 - 45 m över trycken i de andra sektionerna i borrhålet. De mätta trycken är lägre både över och under sektion HK2:2. Detta tyder på att någon konduktiv struktur leder in vatten, då konduktiviteten är högre i HK2:2 än i omgivande sektioner (SFR 86-03, appendix 4:28). En möjlig tolkning kan vara att en subhorisontell zon ligger under bergrummen SV om zon 9 i kontakt med zon 3 och zon 9. En annan tolkning är att skivigheten fortsätter till borrhål HK2.
- Hur fungerar kontakten skivigheten - zon H2? Trycken är lägre i skivigheten både under och över zon H2.
- Vad genererar dräneringen av H2 + skivigheten under zon H2 i anslutning till HK5, HK3 och HK2? Möjlig dränering kan vara Silo, NBT eller bergrummen via zon 6 och skivigheten.

#### *Interferenstester*

Med en mängd ord försöker man förklara i olika rapporter (SFR 86-03 & SFR 86-07) vilken konnektion som finns *inom* en enskild sprickzon och möjligtvis även *mellan* olika sprickzoner. Vid presentationen av interferenstesterna (SFR 86-03, sid. 88-92 & SFR 86-07, sid. 24-28) finns endast en tabell som beskriver vilka borrhålssektioner som flödar (testsektion). Det saknas information om dels *vilka sektioner som använts för tryckregistrering* och dels *vilka sektioner som reagerat*. Endast slutsatser ges i texten. Det är minst lika viktigt att veta *vilka sektioner som inte reagerar* som vilka sektioner som reagerar. Denna information är väsentlig för att kunna bedöma dels hur de enskilda zonerna fungerar hydrauliskt och dels vilka zoner som står i hydraulisk kontakt med varandra. En tabell med denna information hade underlättat förståelsen av eventuella alternativa konceptuella tolkningar.

### **3.7 Grundvattentryck och inflöde**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.3.5*

#### **Grundvattentryck - SKB's beskrivning**

Under byggandet av SFR har registrerats kontinuerligt avtagande grundvattentryck i de flesta mätsektioner. Under den första tiden efter utsprängning skedde de snabbaste tryckreduceringarna. I takt med att berget närmast tunnlar etc dräneras stabiliserar trycken, vilket har inneburit att under senare tid har tidigare trender avseende succesivt avtagande grundvattentryck, i det närmaste avstannat. I samband med att zon H2 penetrerades förändrades grundvattentrycken kraftigt i de borrhålssektioner som var belägna i zonen eller i omedelbar anslutning till denna. Dessa avsänkningar liksom grundvatteninflödet där nedre byggtunneln (NBT) penetrerar zon H2, har utnyttjats för bestämning av zonen hydrauliska kontinuitet och konduktivitet (Christiansson och Bolvede, 1987).

#### **Grundvattentryck - Kommentarer**

Det som sägs om stabiliserade grundvattentryck efter utsprängningen av anläggningen illustreras väl av mätdata (Bilaga C).

I samband med att zon H2 penetrerades av nedre byggtunneln (NBT) påverkades trycken i omedelbar närhet av zonen. Misstankar förekom även om en tryckförändring i Singö-zonen som en effekt av inläckaget från zon H2 (muntlig uppgift Christiansson, 1995). Kb19 över silotaket reagerade samtidigt men kraftigare. Flödet ur de 10 borrhålen som borrades för salva i nedre byggtunneln och som nådde in i zon H2 var 182 l/min.

#### **Inflöde - SKB's beskrivning**

Totalt utgör inflödet ca 650 l/min, varav ca 20% kommer från bergsalsområdet och mindre än 1% från siloområdet. Cirka 25% kommer från tillfartstunnlarna och 20% från inläckningen i NBT och schakt FS, där dessa penetrerar zon H2 (Christiansson och Bolvede, 1987).

#### **Inflöde - Kommentarer**

Det totala inflödet är snarare ca 550 l/min (se kapitel 4.3). Merparten av det totala inflödet till SFR kommer från tillfartstunnlarna (Singö-zonen), som bidrar med ca 75%. Inflödet till silon ligger på 0.3 - 0.4% av det totala inflödet.

### **3.8 Injektering**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.2.4*

#### **Injektering - SKB's beskrivning**

Tätning genom injektering av cement har erfordrats främst vid passage av Singö-zonen och zon H2 samt lokalt inom tillfartstunnlarna till i höjd med södra delen av bergsalsområdet. Inom lagerområdet har endast en begränsad injektering erfordrats i en bergsal. Totalt

injekterades 72 ton cement med 414 m<sup>3</sup> vatten i tillfartstunnlarna fram till bergsalsområdet. I den flacka zonen H2 injekterades 20 ton cement med ca 60 m<sup>3</sup> vatten. Bergsalen BLA injekterades med 5.9 ton cement med ca 15 m<sup>3</sup> vatten (Christiansson och Bolvede, 1987). Totala vatteninläckningen efter utsprängning är ca 650 l/min. Utförd förstärkning för SFR kan i jämförelse med andra undermarksanläggningar anses ligga på en något förhöjd nivå.

Inläckande vattenmängder till bergsalsområdet motsvarar en skin-zon av  $1.6 \cdot 10^{-9}$  m/s då omgivande bergmassa har en medelkonduktivitet  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s. Inläckande vattenmängder till NBT visar att cementinjekteringen i zon H2 har resulterat i utbildandet av en skin-zon med en hydraulisk konduktivitet av  $2 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$  m/s.

### **Injektering - Kommentarer**

Injektering har även skett i norra delen av bergsalstunneln med ca 1.5 ton cement och 3 m<sup>3</sup> vatten. Injektering av vattenförande sprickzoner sänker den hydrauliska konduktiviteten i injekteringsområdet och minskar inläckaget av vatten. Så länge injekteringsmedlet verkar erhålles således en minskad inströmning.

### **3.9 Grundvattenkemi**

*SKB's beskrivning från SKB, 1993, kapitel 2.3.6*

#### **Grundvattenkemi - SKB's beskrivning**

Allt vatten som provtagits i de vattenförande partierna av berget har en kloridhalt som överstiger Östersjövattnets. Utbytet av vatten med Östersjön är således mycket litet. Analyser av Syre-18 visar att det salta vattnet i SFR mycket väl kan härröra från tiden vid övergången Anslyussjön till Litorinahavet för ca 7 000 år sedan.

Förändringarna i grundvattnets sammansättning har vid de kemiska analyser som fortlöpande genomförts, konstaterats vara obetydliga. Några enstaka tritiumanalyser har genomförts varvid mätbara tritiumhalter under senare tid har konstaterats i några provtagningspunkter. Detta tyder på att färskt Östersjövatten kommit in i anläggningen. I första hand tillförs dock vatten till SFR genom horisontell strömning och från djupare delar av berggrunden.

#### **Grundvattenkemi - Kommentarer**

I vissa sprickzoner i SFR har det ursprungliga grundvattnet påverkats tydligt av inblandning av annat vatten, medan det i andra zoner inte kan urskiljas någon tydlig påverkan (se kapitel 4.4). Att Östersjövatten ej tycks påverka vattnet i vissa sprickzoner kan tolkas som att zonerna täcks av tätande bottensediment, vilket även har påvisats på botten över SFR (Sigurdsson, 1987). En annan tolkning är att zonerna är mer genomsläppliga i horisontalled än i vertikalled.

Vid de modellstudier som genomförts har ingen hänsyn tagits till de skillnader i densitet (salthalt) som föreligger i bergmassan runt SFR. Densitetsskillnaderna påverkar trycken (se kapitel 4.2) och därmed strömningsförhållandena vid SFR.

## 4 UTVÄRDERING AV KONTROLLPROGRAM

### 4.1 Syfte

#### 4.1.1 Syfte med nuvarande kontrollprogram

Den generella målsättningen med kontrollprogrammet sägs vara:

- *"Under driftperioden kommer förändringar av flödesmönster, vattenkemi etc. att ske varför det är angeläget att följa dessa ..."* (SKB, 1990, sid. 3).
- *"Målet för verksamheten, enligt detta ramprogram, är att ge underlag för beslut om lämpliga åtgärder för förslutning av anläggningen, samt att ge underlag för den återkommande säkerhetsgranskningen, avsnitt 6, och för den förnyade analysen av förvarets långsiktiga säkerhet, som avses göras inför förslutningen."* (SKB, 1990, sid. 4).
- *"Flera av de i kontrollprogrammet ingående aktiviteterna har även till uppgift att följa och vid behov initiera åtgärder i syfte att vidmakthålla god drift- och personalsäkerhet i anläggningen under driftperioden."* (SKB, 1990, sid. 4).

Syftet med de enskilda aktiviteterna i kontrollprogrammet sägs vara (SKB, 1990, sid. 6):

- *"Provtagning och analys av grundvatten i bergmassan utanför lagerutrymmena. Syftet med dessa undersökningar är att se vilka förändringar som uppkommer till följd av den ökade cirkulationen. .... Det är därför motiverat att följa förändringarna i ett antal intressanta punkter för att förbättra kunskapen om hur dräneringen av anläggningen påverkar flödesituationen i omgivande berg."* (SKB, 1990, Bilaga 2).
- *"Registrering av grundvattnets trycknivåer i borrhål i olika delar av anläggningen i syfte att erhålla information om grundvattnets stationära tryckförhållanden under dränerade förhållanden."*
- *"Mätning av inläckande mängd grundvatten till tunnlar och bergrum, som komplement till uppföljning av grundvattnets trycknivåer."*

#### 4.1.2 Alternativ formulering av syfte för enskilda aktiviteter

Ett huvudsyfte med de enskilda aktiviteterna i kontrollprogrammet bör vara att få *kunskap om möjliga flödesvägar* från SFR-anläggningens olika delar, såsom silo och enskilda bergsalar, till biosfären efter förslutning. Detta kan uppnås genom att få kunskap om hur vattnet idag, under dränerade förhållanden, strömmar till anläggningens olika delar. Det gäller alltså att *följa vattnets väg* från inläckagepunkter i anläggningen via enskilda sprickor och sprickzoner till dagens inströmningsområden för anläggningen.

Syftet med de enskilda aktiviteterna i kontrollprogrammet kan alternativt formuleras som:

- Mätning av inläckande mängd grundvatten till tunnlar och bergrum. Syftet är att dokumentera var i anläggningen, framför allt i anslutning till silo och bergrum, som inläckage av grundvatten sker. Dessa inläckagepunkter utgör möjliga utläckagepunkter för grundvatten som passerat genom SFR efter förslutning av



anläggningen.

- Provtagning och analys av grundvatten i valda delar av bergmassa och sprickzoner utanför lagerutrymmena. Syftet är att ge förståelse för hur vatten av olika ursprung (grundvatten från land, äldre saltare grundvatten, Östersjövatten) blandas och ger upphov till det vatten som förekommer i mätsektionerna. Ett annat syfte är att dokumentera hur snabbt det ursprungliga grundvattnet i mätsektionen påverkas, vilket ger en indikation om transporttiden från ursprungskällan för blandvattnet. Detta sker genom att utvärdera eventuella förändringar av vatten- och isotopkemi som uppkommer i mätsektionerna till följd av den ökade cirkulationen vid dränering av anläggningen.
- Registrering av grundvattnets trycknivåer i valda borrhål och sektioner i bergmassa och sprickzoner i olika delar av anläggningen. Syftet är att erhålla information om grundvattnets tryckförhållanden i bergmassa och sprickzoner som ett stöd för förståelsen av möjliga strömningsvägar in mot anläggningen.
- Integrering av kunskapen om inläckage, vattenkemi och grundvattentryck. Syftet är att ge förståelse för hur grundvattnet har strömmat till de enskilda mätsektionerna och de olika delarna av anläggningen. Därigenom erhålles kunskap om möjliga transportvägar från anläggningen efter förslutning.

Inget uttalat syfte finns varför man har valt att mäta grundvattentryck och vattenkemi i de borrhål och sektioner som används i nuvarande kontrollprogram. En detaljerad genomgång bör göras av hur olika sprickzoner fungerar och interagerar med andra sprickzoner. Detta ger vägledning om osäkerheter i den konceptuella tolkningen och var ytterligare kunskap behövs, dvs vad som behöver mätas, med vilken frekvens och var mätpunkter bör placeras i ett reviderat kontrollprogram.

## **4.2 Grundvattentryck**

### **4.2.1 Allmänna synpunkter på mätresultat**

Enligt gällande kontrollprogram registreras grundvattentryck i 12 st borrhål med 14 dagars intervall. Mätpunkterna är i huvudsak koncentrerade till området i anslutning till Silon. Detta medför att en god bild av grundvattentrycken erhålls inom en relativt begränsad del av anläggningen. Inom den norra delen i anslutning till bergrummen saknas dock mätpunkter, vilket medför att förståelsen av grundvattensystemet i dessa delar av anläggningen blir relativt begränsad.

De senaste årens mätningar har endast uppvisat svaga trender hos grundvattentrycken (Bilaga C). Huvuddelen av det totala tryckfallet i flertalet borrhål skedde redan under byggnadsskedet (Tabell 4.1). De större förändringar som skett under driftskedet kan knytas till havererade manschetter samt tryckfall/tryckstegringar i samband med mätningar, troligtvis beroende på felaktigt tillvägagångssätt vid inkoppling av olika mätsektioner till tryckgivaren.

Tryckutvecklingen i berget omkring SFR redovisas i årsrapporterna som trender. En svårighet har visat sig vara att utvärdera dessa trender. Enligt Jönsson (1994) sägs: "*Det är svårt att göra någon säker helhetsbedömning av hur tryckutvecklingen i SFR skulle sett ut om inte*

läckaget (vår anm.: läckande rörgång i HK7B) uppstått. Trenderna i sektioner som befinner sig längre ifrån HK7B:P1 uppvisar dock endast svagt negativa eller positiva trender. Detta skulle tyda på att bortsett från inverkan av läckaget så har stabiliseringen i trycken fortsatt. .... De största positiva trenderna återfinns i HK4:P4 och Kb25:P1. Dessa sektioner har vid flera tillfällen haft stora hopp i de uppmätta trycken, som inträffar ibland i samband med mätning, och de beräknade trenderna måste därför betraktas med stor skepsis. De kan mycket väl vara en följd av återhämtning efter de tidigare, mättekniskt orsakade tryckfallen." De trender som beräknats för borrhålssektioner i zon 9, som har god hydraulisk förbindelse med zon H2, samt bergmassan söder om zon 9 visar klart negativa trender p.g.a. läckaget (Jönsson, 1994).

Innan man mäter och försöker förstå relativt små snabba tryckförändringar i enskilda borrhålssektioner bör man försöka förstå orsaken till hela tryckförändringen i borrhålet samt de relativt större tryckskillnaderna mellan enskilda sektioner i samma borrhål. Det visade sig svårt att förklara de ofta stora tryckskillnaderna mellan närbelägna borrhål och sektioner vid den tidigare utförda säkerhetsanalysen (muntlig uppgift Leif Carlsson, 1995).

Intensivmätningarna har använts för att utvärdera samvariationen mellan grundvatten-tryck i enskilda sektioner och havsnivåvariationen (Jönsson, 1994). För att speciellt studera detta samband närmare installerades i oktober 1993 en registrerande logger (typ BORRE) med tryckgivare i sektion HK8:P1, som sitter i zon 8. Dataloggern insamlar värden en gång per timme. En jämförelse mellan trycket i sektionen och havsvattenståndet visar en mycket god samvariation (Jönsson, 1994).

Vid en revidering av den konceptuella modellen bör en mera genomgående utvärdering göras av korrelationen mellan havsvattennivån och trycket i olika borrhålssektioner. För en första översiktlig utvärdering föreligger tillräckligt med information från de tryckmätningar som genomförts varannan vecka. Om det visar sig vara svåra att utvärdera om samband föreligger eller ej (dålig korrelation) för vissa borrhålssektioner, kan den registrerande loggern användas under en kortare period (månad).

#### **4.2.2 Osäkerheter i data**

Under de senaste årens mätningar har ett antal "språng" i uppmätt tryck konstaterats. Någon förklaring förutom mättekniska orsaker har ej kunnat ges. Exempel på tryckförändringar i HK3:P1, HK7B:P1 och HK5:P3 beroende på mättekniska problem (läckande rörgång etc.) ges av Jönsson (1994). I andra mätsektioner som HK4:P1 förekommer relativt stora tryckökningar där det sägs att "*Någon entydig förklaring till den plötsliga tryckökningen har ej gått att finna*" (Jönsson, 1994). Eventuellt felaktigt handhavande vid mätningarna bör därför utredas och åtgärdas.

På grund av tidsdrift hos tryckgivarna sker en regelbunden kalibrering av dessa. För mätperioderna mellan kalibreringstillfällena utförs en korrigerigering av mätdata. Denna korrigerigering har utförts för data från och med kontrollprogrammets start (1988-08-22). Detta medför dock att en diskrepans föreligger mellan data som är äldre än 1988-08-22 och nyare data. Under 1989 finns parallella mätserier för okorrigerade och korrigerade data. Största skillnaden föreligger vid mätstationerna 1 och 2, där korrigerigeringen uppgår till 3 - 3.5 m vid mätstation 1 och 0.5 - 2.0 m vid mätstation 2 (Figur 4.1). Vid mätstationerna 3 och 4 uppgår korrektionen till 0 - 0.5 m. Korrektionen av mätta tryckdata utgör således endast en mindre del av den totala tryckskillnaden som uppmätts från byggstart i de olika borrhålen, förutom i borrhålen HK1 och HK8 (Tabell 4.1).

Då den största trycksänkningen inträffade under byggnadsskedet före kontrollprogrammets start, bör mätserierna länkas ihop för att variationen i tryck under driftskedet skall kunna relateras till den totala trycksänkningen.

Ingen korrigering görs av uppmätta tryck för eventuella densitetsvariationer som uppkommer beroende på förändringar i salthalt. Detta medför att de uppmätta trycken, korrigerade för givarfel, visar det så kallade "fresh-water head". "Fresh-water head" definierar den hydrauliska gradienten i horisontalled i ett grundvatten med variabel densitet (Luszczynski, 1961). Strömningen i horisontalled beror således på "fresh-water head". Den hydrauliska gradienten i vertikalled definieras av det så kallade "environmental head", där det uppmätta trycket korrigerats för eventuella densitetsvariationer i grundvattnet. "Environmental head" styr således strömningen i vertikalled.

### 4.3 Inläckage

#### 4.3.1 Allmänna synpunkter på mätresultat

##### Mätning av inläckande grundvatten (Thompsonöverfall, brunnar och bassänger)

En sammanställning av resultaten från byggnadsskedet och driftskedet för de olika mätstationerna visar: (Bilaga D).

- Bergrum BMA (01A+01B): Möjlig minskning under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 från 13/11 l/min till 9/8 l/min. Minskning i andel av totala inflödet till SFR från 2.0 - 1.5%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymökningen i brunn under 10 minuter. Ovanstående resultat baseras på en uppmätt skillnad i nivå på 2 - 5 cm över 10 minuter. Felavläsningen torde vara minst 1 cm, vilket ger upphov till en feluppskattning i flöde på ca 1 l/min. Högre uppmätta flöden förekommer under perioden.
- Bergrum + BST + CT + del av ST (UB): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1988-04-27 - 1994-12-08 på 100 - 120 l/min. Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 20%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymökningen i bergdränagebassäng UB under oftast 2 timmar. Variationen i flödet mellan 100 - 120 l/min är resultatet av en uppmätt skillnad i nivå på 1 cm över 2 timmar, vilket kan anses vara en rimlig felavläsningen. Vid mättillfället 1988-04-27 uppmättes ett flöde på ca 147 l/min, vilket får anses vara osäkert. Mätningen skedde under 11½ timme, vilket ger en stor osäkerhet i variationen av arean hos bassängen över det mätta nivåintervallet.
- DT + BT + TT + STT (Thompsonöverfall): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1988-03-29 - 1994-12-08 på ca 420 l/min. Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 75%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta nivån i ett V-format Thompsonöverfall. De två första mätningarna visade mindre flöden (337.1 l/min), vilket berodde på att överfallet ej samlade allt vatten. En vall byggdes i sulan över vägen som samlade in vattnet mot Thompsonöverfallet. Därefter har mätningarna legat konstant på ca 420 l/min. Från och med mätningen 1994-09-05 har flödet minskat

till 393 l/min, vilket troligtvis beror på att mätlinjalen har bytts ut (muntlig uppgift Anders Bodén, Vattenfall Hydropower, 1995). Skillnaden i uppmätt nivå är endast 3 mm.

- IB + del av ST & BT (05A+05B): Möjlig minskning under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 från 11/10 l/min till 9/8.5 l/min. Minskning i andel av totala inflödet till SFR från 2.0 - 1.5%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymökningen i brunn under 10 minuter. Ovanstående resultat baseras på en uppmätt skillnad i nivå på 2 - 4 cm över 10 minuter. Felavläsningen torde vara minst 1 cm, vilket ger upphov till en feluppskattning i flöde på ca 0.5 l/min. Högre uppmätta flöden förekommer under perioden.
- Silotopp (6+7): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 på ca 0.25 l/min. Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 0.05%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymen i pumpgröpar under 80 - 120 dagar. Vid de senaste två mättillfällena har flödet halverats från 0.10 till 0.05 l/min. Undersökning bör göras av möjlig felavläsning eller felfunktion!
- Silovägg (V11-18): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 på ca 1.75 l/min. Möjligen något sjunkande flöden under de tre senaste mättillfällena (0.6 l/min). Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 0.35%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymen vatten från dränageslangar i silodränagetunneln under 1 minut. Undersökning bör göras av möjlig felavläsning eller felfunktion! Det har visat sig att flera dränageslangar har kraftig kalkutfällning invändigt vid utloppet i SDT (muntlig uppgift Anders Bodén, Vattenfall Hydropower, 1995). Dränagesystemet är emellertid utformat på ett sådant sätt att så länge minst en slang fungerar så bör allt inläckage till siloväggen kunna mätas i de fungerande dränageslangarna.
- Silobotten (G19-30): Troligtvis minskande flöden under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 från ca 0.008 l/min till ca 0.003 l/min. Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 0.0005%.
- Totalt Silo (6+7+V11-18+G19-30): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1992-02-03 - 1994-12-08 på ca 2.0 l/min. Möjligen något sjunkande flöden under de tre senaste mättillfällena (1.8 l/min). Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 0.35%.  
*Möjlig förklaring*: (se möjlig förklaring ovan angående silovägg).
- DB+BT+TT+STT+NBT+Silo+IB+del av ST & BT (NDB): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1988-04-27 - 1994-12-08 på 435 - 455 l/min. Andelen av totala inflödet till SFR uppgår till ca 80%.  
*Möjlig förklaring*: Mätningen sker genom att mäta volymökningen i bergdränagebassäng NDB under oftast 2 timmar. Variationen i flödet mellan 435 - 455 l/min är resultatet av en uppmätt skillnad i nivå på 1 cm över 2 timmar, vilket kan anses vara en rimlig felavläsning. Vid de två första mättillfällena 1988-04-27 och 1990-01-10 uppmättes flöden på ca 570 och 525 l/min, vilket får anses vara osäkert. Mätningen skedde under ca 14 respektive 7 timmar, vilket ger en stor osäkerhet i variationen av arean hos bassängen över det mätta nivåintervallet. Vid ett mättill-

fälle 1993-11-24 var det uppmätta flödet i NDB 390 l/min, medan det vid Thompsonöverfallet mättes till ca 420 l/min. Det vatten som rinner förbi Thompsonöverfallet är endast en del av det vatten som mäts i NDB, vilket visar på de stora feluppskattningar i flödet som kan förekomma. Denna gång var troligtvis felet i uppmätt flöde i NDB av storleksordningen 50 l/min.

- Totalt SFR (NDB+UB): Troligtvis konstanta flöden under perioden 1986-11-15 - 1994-12-08 på ca 550 l/min.  
*Möjlig förklaring*: En första uppskattning av totalflödet på 650 l/min (1986-11-15) kan mycket väl vara för hög. Värdet baseras på en godtycklig medelvärdesuppskattning utifrån korrigerade flöden med avseende på diverse felkällor (Bilaga D:3). Mätningen av volymökningen i bassängerna UB och NDB introducerar stora feluppskattningar i det totala flödet (se diskussion under UB och NDB).

Bidragen från olika delar av SFR till det totala inflödet av grundvatten till anläggningen redovisa i Figur 4.2, och en separat redovisning görs för silon i Figur 4.3.

Det orimliga flödet i NDB i förhållande till uppmätt flöde i Thompsonöverfallet vid mättillfället 1993-11-24 har föranlett en kommentar i besiktningsgruppens årsrapport 1993 om att "*allmän översyn av mätrutiner, mätutrustning, mätnoggrannhet och flödesberäkning bör göras*" (Bodén, 1994).

#### Tunnelkartering under byggtiden

Utifrån tunnelkarteringen beskrivs inläckaget av vatten i SFR av Christiansson och Bolvede (1987) enligt följande: "*Vattenläckaget inom SFR observeras främst som dropp och fuktfläckar. Där större zoner passerats har även rinnande vatten förekommit. Det förekommer klara skillnader mellan vatteninläckningen till tillfartstunnlarna och lagerområdet. Tillfartstunnlarna är generellt sett "blöta" och har flera större enstaka flöden. Lagerområdet är generellt sett torrt (förutom i nedre byggtunneln vid zon H2) och de enstaka större flödena som förekommer är mindre än de i tillfartstunnlarna. Inom tillfartstunnlarna förekommer nästan all vattenföring i samband med att större zoner eller med dessa parallella strukturer har passerats (Singölinjen, zon 3 och skivighet). Inom lagerområdet förekommer de "större" vattenläckagen (max några l/min) till största delen ur brantstående skivigheter i NW och NO med sprickfyllnadsmaterialen kalcit och laumontit samt speciellt i zon 6, zon 9 och zon H2.*"

*Sonderingsborrningen* under byggtiden visar även på samma resultat som bedömd inläckning; förutom de "blöta" områdena i bygg- respektive drifttunneln är resten av anläggningen tämligen torr (Christiansson och Bolvede, 1987).

Inom de områden som *injekterats* skiljer det ungefär en faktor 2.5 - 10 mellan uppmätt flöde i Thompsonöverfall / bedömd inläckning (efter injektering) och de vattenmängder som kom ur sonderingshål före injekteringen. (Christiansson och Bolvede, 1987).

#### Dräninventering under driftskedet

Fördelningen av inläckande grundvatten i olika delar av anläggningen har i stort sett bekräftat de iakttagelser som gjordes i samband med tunnelkarteringen (Bilaga D).

Inläckaget via dräner uppgår i april och maj 1993 till ca 214 l/min. Det innebär en ökning

med knappt 12% jämfört med 1988 års undersökning (Vattenfall Hydropower, 1994). Nästan hela ökningen har uppmätts i Singözonen. Detta kan bero på att sprutbetongen och bakomliggande dräneringsmattor spruckit upp, vilket gör att vattnet blir synligt och kan mätas vid dräninventeringen (Vattenfall Hydropower, 1994). Mindre än 10% av dränerna svarar för mer än 80% av inläckaget, varav hälften av dessa kraftigt rinnande dräner är lokaliserade till Singözonen (Vattenfall Hydropower, 1994).

Inläckaget via dräner utgör ca 40% av det totala inläckaget till undermarksanläggningen. Det är framför allt i Singözonen som inläckage sker som inte fångas upp i dräner. Det uppmätta inläckaget visar dock på inhomogeniteten i bergmassan (Bilaga D). En jämförelse med förhållandet under februari och mars 1988 visar i stort sett en likartad fördelning av inläckaget till SFR.

#### Fuktdokumentation under driftskedet

Fuktklassificeringen visar på en måttlig ökning av det diffusa läckaget genom sprutbetongen (Vattenfall Hydropower, 1994). Ökningen är inte lokaliserad till någon speciell del av undermarksanläggningen. Besiktningsgruppen bedömer att fukt- och dräninventeringen ger *"en god bild av inläckage och fuktförhållanden i olika delar av SFR berganläggning och att den bör upprepas efter cirka 4-5 år"*.

#### **4.3.2 Osäkerheter i data**

En generell synpunkt är att stora relativa fel (storleksordningen 10%) föreligger i flödesmätningarna. Detta gäller särskilt vid mätning av de högsta flödena i bergdränagebassängerna UB och NDB. Thompsonöverfallet ger troligtvis den bästa uppskattningen av stora flöden. Beroende på de stora felen i flödesuppskattningen i NDB ger skillnaden i flödet mellan NDB och Thompsonöverfallet en dålig uppskattning av inläckaget till SFR mellan NDB och de delar av tunnelsystemet som samlas vid Thompsonöverfallet. Detta har klart visats vid flera mättillfällen, då skillnaden i flöde uppgår till någon liter per minut. Vid ett mättillfälle var skillnaden till och med negativ.

#### **4.4 Grundvattenkemi**

##### **4.4.1 Allmänna synpunkter på mätresultat**

Resultaten av vattenanalyserna under byggnadsskedet (1984 - 1987) visar att salthalten i grundvattnet i området vid SFR ursprungligen var högre än den i Östersjön, vilket indikerar att utbytet med nuvarande Östersjön varit litet. Det ursprungliga grundvattnet i området utgörs troligen av en blandning av gammalt havsvatten av olika åldrar och grundvatten från land. I samtliga borrhål sjönk troligen salthalten i samband med borrhållarna då sött vatten användes som spolmedium (Wikberg, 1986). I de borrhål som går igenom vattenförande zoner steg salthalten relativt snabbt till värden nära de ursprungliga, medan i borrhål i tätare berg gick återhämtningen långsammare. I dessa borrhål kan grundvattnet fortfarande vara stört av spolvattnet.

Halterna av huvudkomponenterna klorid, kalcium och kalium i de först uttagna grundvattenproverna i SFR skilde sig tydligt från halterna i Östersjövattnet. Förändringar i halterna av dessa komponenter i grundvattnet sedan SFR byggdes redovisas i Bilaga E.

Utifrån resultaten av vattenanalyserna av huvudkomponenter under perioden 1984 - 1992 och isotopanalyser utförda under 1987 och 1992 kan följande hypoteser ställas upp:

- HK1:1, Singözonen: Vattnet i zonen utgörs troligen av ett reliktvatten. Endast en liten minskning i salthalt har konstaterats under tiden provtagningen pågått. Isotopanalyserna ger en indikation på inblandning av yngre vatten. Om detta vatten är Östersjövatten eller grundvatten från land är svårt att bedöma.
- HK7A, zon H2: Vattnet i zonen utgörs troligen av ett reliktvatten. En svagt sjunkande salthalt kan noteras under tiden provtagningen pågått. Isotopanalyserna ger ingen eller väldigt svag indikation på inblandning av yngre vatten.
- HK 8, zon 8: Vattnet i zonen utgörs numera av Östersjövatten. Provtagning av zon 8 via HK 8 påbörjades i augusti 1988. Tidigare togs prover i zon 8 via HK11 som initieellt uppvisade en högre salthalt (Cl >4200 mg/l; Ca > 900 mg/l). Salthalten sjönk dock till ca 3500 vid det sista provtagningstillfället i HK11 (augusti 1987). Isotopanalyserna visar tydlig överensstämmelse med Östersjövatten.
- HK 10, zon 3: Vattnet i zonen utgörs numera av Östersjövatten. Salthalten har sjunkit under tiden provtagningen pågått (Cl från 5200 till 3000 mg/l, Ca från ca 1200 till 100 mg/l). Den största förändringen har dock skett vid det senaste provtagningstillfället (Cl från 4000 till 3000 mg/l, Ca från ca 700 till 100 mg/l). Isotopanalyserna visar tydlig överensstämmelse med Östersjövatten.

Den utökade provtagningen och isotopanalyser som utfördes 1992, indikerar att Östersjövatten, förutom att ha trängt ner i zon 3 och zon 8, även har påverkat området mellan zon 8 och förvaret (Kb 26) samt runt silon (KB19, KB25, HK4 och HK7). I vissa sektioner av de borrhål som står i tätare berg (HK2, HK3, HK4) indikerar isotopanalyserna endast mycket liten eller ingen påverkan av färskt Östersjövatten eller "yngre" grundvatten. Eftersom endast ett fåtal analyser gjorts i borrhål och sektioner som inte ingår i kontrollprogrammet är en tolkning av resultaten svår att göra. I tätare berg kan rester av spolvattnet från borrhållningen eventuellt fortfarande försvåra tolkningen av analysresultaten. I vissa delar av berget som dräneras av SFR har alltså Östersjövatten relativt snabbt trängt in. I andra delar ersätts dränerat vatten huvudsakligen genom horisontell grundvattenströmning eller med vatten från djupare delar av berget. Detta grundvatten är av liknande sammansättning som det som fanns inom SFR vid ostörda förhållanden. Efter en längre tids dränering är det troligt att vattnets sammansättning ändras även i dessa zoner.

En fortsatt vattenprovtagning är mycket viktig för förståelsen av kontakten mellan olika sprickor/zoner, vilket kan erhållas genom en analys av möjliga ursprung av ett blandvatten samt möjliga transportvägar för ursprungsvatten. Den tid det tar innan förändringar sker av vattnet i en mätsektion ger även en viss information om hydraulisk konduktivitet samt transportförhållanden i spricksystemet.

#### **4.4.2 Osäkerheter i data**

De analyser som utfördes under perioden 1984 - 1987 har kvalitetsgranskats av IVL (Laurent, 1991). Slutsatserna av granskningen var att spridningen i analysresultaten, speciellt i "den första" undersökningsomgången, var mycket stor. Detta berodde huvudsakligen på tillfälliga analysfel men även på mänskliga faktorer såsom t ex provtagning av

fel nivå. Någon motsvarande kvalitetsgranskning av de analysresultat som erhållits inom ramen för kontrollprogrammet har inte utförts.

Byte av provtagning i zon 8 från borrhål HK11 till HK8 medför vissa tolkningsproblem beträffande förändringar av vattnets sammansättning i zonen. En period med samtidig provtagning i HK11 och HK8 eller ytterligare provtagning nu av HK11 hade varit önskvärt.

## 5 HYDROFILOSOFI

Syftet med mätprogrammet är att förstå hur det verkliga systemet fungerar, dvs ställa upp en konceptuell modell över området runt SFR. Det övergripande syftet är att genomföra en säkerhetsanalys som kan få acceptans och godkännas av de övervakande myndigheterna. Hur mycket vi än mäter kommer vi aldrig att förstå allt. Vi måste leva med osäkerheter i den konceptuella modellen, som inkluderar osäkerheter i strukturers orientering och egenskaper. Vid överföringen av information från den konceptuella modellen till den grundvattenmodell som prognosticerar flöden, transportvägar, hastigheter etc., uppkommer också osäkerheter. En central fråga är *om vi måste förstå mera* för att få acceptans för en förnyad säkerhetsanalys för SFR, eller om vi kan acceptera mer eller mindre stora osäkerheter i både den konceptuella modellen och den grundvattenmodell som används i säkerhetsanalysen.

När det gäller den *konceptuella modellen* är det framför allt tre grundläggande frågor som är av betydelse.

- *Strukturer:* Kan vi acceptera de osäkerheter som föreligger i strukturgeologin samt osäkerheten i dels variationen av egenskaper i enskilda strukturer och dels strukturernas inbördes konnektion.
- *Metodik:* Kan vi betrakta berget som ett kontinuum när det gäller att förklara / förstå grundvattentryck, flöde och transport?
- *Parameterbestämning:* Vilka osäkerheter introduceras i säkerhetsanalysen genom att utvärdera hydraultester enligt kontinuumteori med Moyes formel i jämförelse med utvärdering enligt nyare teorier om partiell flödesdimension?

Vid överföring av informationen från den konceptuella modellen till en *grundvattenmodell* har mer eller mindre grova generaliseringar gjorts, som introducerar osäkerheter i säkerhetsanalysen. Följande frågeställningar är härvid av betydelse.

- *Modellteknik:* Kan deterministisk kontinuumteknik användas eller måste en mer detaljerad statistisk beskrivning göras med t ex diskreta spricknätverk eller stokastisk kontinuumteknik?
- *Parameterbestämning:* Vilka osäkerheter har introducerats genom att skalproblemet, dvs transformering av tolkade mätvärden från hydraultester till modellparametrar, inte har beaktats?



- *Kalibrering:* Har den använda grundvattenmodellen kalibrerats på ett sådant sätt att den kan användas för att prognosticera data för säkerhetsanalysen? En modell ger i princip större osäkerhet i prognoser inom områden eller för datatyper där den ej är kalibrerad.

Vid utformning av ett *kontrollprogram* är det viktigt att veta varför vi mäter. Vi bör mäta för att kunna verifiera eller förkasta en *hypotes* som vi har om *systemet*. Vi bör alltså innan kontrollprogrammet tas i drift ha en åsikt om hur systemet fungerar. Detta ger oss nämligen vägledning om hur kontrollprogrammet skall utformas, som tex vad vi skall mäta, var och hur ofta mätningar skall göras. Annars sker bara mätningarna på måfå, utan någon tanke bakom. Vi mäter alltså för att öka förståelsen om systemet och vi får förståelse genom att använda mätningarna i olika typer av modeller, som inte nödvändigtvis måste vara komplicerade datormodeller. I mer komplicerade system, särskilt i tre dimensioner som vid SFR, är det dock nödvändigt att använda datormodeller för förståelse av systemet. Man bör således endast mäta sådant som kan tänkas få användbarhet i någon typ av modeller. En viss överinformation kan dock vara motiverad att mäta, då det är svårt att förutse framtida forskningsresultat och användningsområden. En grundtanke med ett kontrollprogram bör dock vara att *rikta in sig på väsentligheter och inte på detaljer*. Man bör förstå de stora dragen i systemet innan man börjar mäta och studera detaljer.

För att kunna utforma ett kontrollprogram på ett optimalt sätt bör följande frågeställningar analyseras:

- Vad är viktigt / kritiskt ? (t ex silo, bergsal BMA, 2BTF etc.)
- Vilka möjliga flödesvägar finns därifrån ?
- Vilken kunskap finns om dessa idag ?
- Vilka osäkerheter föreligger ?
- Vilken ytterligare kunskap behövs ?

Genom en grundläggande analys av dessa frågeställningar erhålles kunskap om vad som är väsentligt och vilka osäkerheter som finns. Detta resulterar i ett klart syfte med mätningarna och hypoteser om väsentliga delar av systemet. Med denna kunskap kan sedan ett kontrollprogram utformas på ett optimalt sätt.

Applicerat på SFR medför detta tillvägagångssätt att en ny konceptuell modell över de hydrogeologiska förhållandena vid och i anslutning till SFR bör genomföras. Baserat på väsentliga delar i systemet och osäkerheter i dessa kan sedan ett reviderat kontrollprogram utformas. Då endast en granskning av befintlig konceptuell modell har gjorts, kan bara generella rekommendationer ges till ett reviderat kontrollprogram.

## 6 KONCEPTUELLA OSÄKERHETER

Vid den granskning som gjorts av SKB's konceptuella modell och kontrollprogrammet finner vi följande osäkerheter i den konceptuella modellen:

### Strukturgeologi

- Hur är utsträckningen av Zon H2? Zon H2 eller annan subhorisontell zon som har hydraulisk kontakt med Zon H2 kan förekomma SV om Zon 6 och ha hydraulisk kontakt med Singözonen. Möjligtvis förekommer även Zon H2 utanför Zon 8.  
*Motiv:* Tryckrespons i Singözonen vid anläggningsarbeten i anslutning till Zon H2. Svårförklarliga tryck i HK2. Indikation på Zon H2 i borrhål NÖ om Zon 8.
- Hur konnekterar Zon H2 med andra subhorisontella zoner/sprickgrupper SÖ om Zon 9?  
*Motiv:* Hydraulisk kontakt med Zon H2 vid interferenstest i HK13.
- Hur konnekterar Zon H2 med Zon 3?  
*Motiv:* Hydraulisk kontakt vid interferenstest i SH3 (Zon H2).
- Hur konnekterar skivigheten genom silo med Zon 8, Zon 9 och Zon H2? Finns andra sprickgrupper/zoner som ej medtagits?  
*Motiv:* Svårförklarliga tryck i borrhål runt silon.
- Hur konnekterar Zon 6 med Zon 3, Zon H2 och Zon 9 samt sprickgrupper i NV - SÖ?  
*Motiv:* Inga borrhål finns i Zon 6, varför inga utsagor kan göras !!!
- Vilken betydelse har sprickgrupper med riktning NV - SÖ?  
*Motiv:* Dessa sprickgrupper sammanfaller med huvudspänningsriktningen, vilket kan innebära att de är mer konduktiva.
- Vilken betydelse har mindre sprickor/sprickgrupper som finns men som ej medtagits i SKB's konceptuella modell? - Hur beskrivs bergmassan?  
*Motiv:* En mängd distinkta inflöden till anläggningen har karterats men ej beaktats. I flera fall sker inflödet via ett fåtal "rinnande dräner".

### Metodik/modellteknik & parameterbestämning

- En mer realistisk modellteknik än deterministisk kontinuum bör användas.  
*Motiv:* Ökad kunskapsnivå !
- Sprickzoner och bergmassa bör beskrivas med variabla egenskaper.  
*Motiv:* Hydraultester i alla zoner visar stor variabilitet. Interferenstester visar anisotropa egenskaper i Zon 3 med en större hydraulisk konduktivitet horisontellt än vertikalt. Spänningsfältet kan göra sprickgrupper i NV - SÖ mer konduktiva.
- Hydraultester bör utvärderas enligt "partiell flödesdimension" för att kontrollera om stora oacceptabla skillnader föreligger i hydraulisk konduktivitet.  
*Motiv:* Ökad kunskapsnivå !

## 7 FÖRSLAG TILL REVIDERING AV KONTROLLPROGRAM

### 7.1 Insamling och presentation av data

Vi rekommenderar att alla originaldata i form av mätblanketter för olika typer av information som inläckage, vattenkemi och grundvattentryck samlas i en pärm samt eventuellt i en databas. Tillsammans med originaldata bör även finnas ett register (med referenser) över händelser i anläggningen samt förändringar i mät- och utvärderingsmetoder som är av betydelse för utvärderingen av data. En feluppskattning bör även göras för varje datatyp för att kunna utvärdera om en förändring är signifikant eller om den bara beror på osäkerheter i mät- och utvärderingsmetodik. Feluppskattningen för en enskild datatyp kan variera i tiden beroende på olika mät- och utvärderingsmetoder.

Då nya mätdata insamlas bör dessa presenteras tillsammans med alla tidigare insamlade data så att eventuella förändringar kan relateras till tidigare förändringar.

### 7.2 Mätfrekvens

En allmän synpunkt på mätfrekvensen av en parameter är att den bör anpassas till variabiliteten hos parametern och syftet med mätningen. I början av ett kontrollprogram bör därför intensivmätningar, alternativt kontinuerlig registrering, genomföras. Mätfrekvensen för parametern bör därefter bestämmas utifrån kännedom om den kortsiktiga variationen och *syftet* med mätningen. Om syftet är att *följa "snabba variationer"* i en parameter bör naturligtvis intensivmätningar eller kontinuerliga mätningar genomföras. Om syftet däremot är att *förstå "snabba variationer"* är det tillräckligt att under en kortare period genomföra intensivmätningar, förutsatt att orsaken till variationen ej förändras med tiden. Om syftet är att upptäcka *långsiktiga trender* är det ofta tillräckligt att mäta med långa tidsintervall. En svårighet att utvärdera trender kan dock uppstå om den "snabba variationen" är stor i förhållande till den långsiktiga trenden.

En faktor som komplicerar utvärderingen av variationer i intensivmätningar eller kontinuerliga mätningar är eventuella felkällor, som kan eller i vissa fall inte kan korrigeras för. Problemet uppstår då att värdera om verkliga förändringar har skett eller ej.

Oftast styrs variationerna i de hydrologiska förhållandena av årstidsvariationer i nederbörd, avdunstning och grundvattenbildning. Vad gäller SFR så ligger anläggningen i berggrunden under havsytan, vilket innebär att de hydrologiska förhållandena är relativt konstanta. Den tryckvariation som kan tänkas uppkomma beror på variationer i havsytans nivå.

Den parameter som varierar snabbast (kort frekvens) i kontrollprogrammet för SFR är grundvattentryck, medan vattenkemi och inflöde varierar förhållandevis långsamt. Det kan således finnas en anledning att intensivmäta eller kontinuerligt mäta den snabba variationen hos grundvattentrycket i olika borrhål. Ett syfte är att förstå orsaken till eventuella snabba tryckvariationer i vissa borrhål (se diskussion under kapitel 4.2.2). Intensivmätningar (varannan vecka) har genomförts under minst 5 år i de 12 borrhålen som ingår i kontrollprogrammet för driftskedet och även kontinuerliga mätningar har utförts i vissa borrhål. Intensivmätningar av grundvattentryck behövs således inte i fortsättningen.

Det generella intrycket av mätningarna vid SFR är att mer eller mindre stora felaktigheter förekommer i alla typer av mätningar som inläckage, grundvattentryck och initieellt även vattenkemi. Det är därför viktigt att försöka få *mera korrekta mätningar i stället för att mäta mera frekvent*.

Förståelsen av hydrologin vid SFR ökade mest i samband med de intensiva mätningar som genomfördes under byggnadsskedet. Därefter har endast en marginell ökning av kunskapen skett. För att få en ökad förståelse under det fortsatta kontrollprogrammet föreslås att *kampanjmätningar* sker av vattenkemi och grundvattentryck i *så många borrhål som möjligt* alternativt i ett *fåtal väl valda borrhål* (Figur 6.1). Den viktigaste parameter att mäta är vattenkemin. *Mätfrekvensen* föreslås till *1 gång per år* alternativt *vertannat år* för mätning av vattenkemi och grundvattentryck.

### 7.3 Grundvattentryck

Följande utgör motiv och förslag till revidering av det nu gällande kontrollprogrammet för mätning av grundvattentryck inom SFR1:

- *Mätfrekvens 1 gång per år alternativt vertannat år:* Det stora tryckfallet skedde i samband med byggnadsskedet och endast svaga trender har förekommit hos uppmätta grundvattentryck under de senaste åren. Därför föreslås att det nuvarande mätintervall på 2 gånger per månad revideras till 1 gång per år alternativt vertannat år, och att mätningarna samordnas med vattenprovtagningen. Sannolikt går ingen information om grundvattensystemet förlorad genom detta då de "snabba variationerna" redan har mätts under ca 5 år. En fördel kan däremot vara att ingen korrigering av mätvärdena behövs, då det förutsätts att en kalibrerad givare används vid kampanjmätningarna.
- *Mätpunkter - så många borrhål som möjligt alternativt borrhålen HK1, HK2, HK4, HK5, HK7a, HK8, HK10, HK12, HK13, Kb19 samt något i zon 6:* Mätpunkterna bör åtminstone utökas med ett borrhål i zon 3 (HK10 alt. HK9), då mätningar idag saknas i denna del av anläggningen. En annan anledning är att vattenkemi redan i nuvarande kontroll-program tas i borrhål HK10. Vid tidigare mätningar i zon 3 under perioden 851122-870923 har inga tryckförändringar observerats. Vattenkemin visar dock på en förändring mot Östersjövatten vid den senaste provtagningen (1992-06-29), vilket motiverar att tryckmätningarna återupptas. Ökad kunskap bör inhämtas om zon H2 i anslutning till bergsalarna. Inget borrhål finns för närvarande i zon 6 som skär bergsalarna, varför kunskap saknas.

### 7.4 Inläckage

Följande utgör motiv och förslag till revidering av det nu gällande kontrollprogrammet för mätning av inläckage till SFR1:

Mätning av inläckande grundvatten (Thompsonöverfall, brunnar och bassänger)

- *Mätfrekvens 1 gång per år alternativt vertannat år:* De relativt små variationer som förekommer i flödet inom olika delar av SFR kan troligtvis förklaras med osäkerheter i mätningarna. Det visas framför allt i flödet från Thompsonöverfallet som samlar merparten av inläckaget (ca 75%) huvudsakligen från Singözonen. Dessa

mätningar är troligen mer korrekta än flödesbestämningarna i bergdränagebassängerna (UB och NDB). Mätningarna ligger konstant på 419 l/min förutom då förändringar skett vid mätstationen. Ingen klar trend kan urskiljas utom möjligtvis för inläckaget till silon som minskat något under senaste året. Mätningarna som nu sker 4 gånger per år kan därför göras 1 gång per år alternativt vartannat år utan att någon väsentlig information förloras.

- Mätpunkter: Föreslagna nya mätpunkter i brunnar om sådana finns (analogt med mätningarna av inläckaget till bergsal BMA):
  - Bergsalarna BLA, 1BTF och 2BTF

*Motivering*: Eventuella skillnader mellan bergsalarna. Inflytande av zon 6. Potentiell läckageväg från bergsalarna efter förslutning.

  - Norr om nedfarten till NBT från BT (uppströms mot STT)

*Motivering*: Inläckage huvudsakligen från skivigheten och zon 9. Potentiella läckagevägar från silon efter förslutning.
- Mätmetodik: Generellt gäller att ju större volymförändring som mäts desto mindre påverkar ett konstant volymfel (fel i nivåavläsning eller fel i area) det beräknade flödet. För att förbättra flödesmätningarna i *bergdränagebassängerna UB och NDB* vore det bättre om volymen alltid mäts mellan två fasta nivåer och mättiden får variera med ca 2 timmars mättid. Detta är dock troligtvis ogörligt på grund av praktiska skäl. För närvarande mäts alltid volymökningen under 2 timmar men start och slutnivåer är ej desamma, vilket medför stor osäkerhet i volymökningen och därmed flödet. En förbättrad noggrannhet kan erhållas om man alltid försöker starta på samma nivå.  
För att förbättra flödesmätningarna i *brunnar* (mätpunkter 01 och 05) föreslås att nivåavläsning sker med noggrannheten minst 0.5 cm. Under flödesmätningen är det väsentligt att inget flöde lämnar brunnen.

### Fukt- och dräninventering

Dräninventeringen som har genomförts två gånger i anläggningen är av väsentlig betydelse för att se var inläckaget av grundvatten sker till SFR och om förändringar av inläckagevägar och mängder sker ju längre dräneringen pågår. Det nuvarande mätintervall på ca 5 år är tillräckligt. Det är av väsentlig betydelse att dräninventeringen sker på samma sätt som tidigare för att jämförelser skall kunna göras.

Fuktinventeringen ger ingen ytterligare information om de hydrologiska förhållandena vid SFR. Om denna inte behövs för andra syften så rekommenderas att den inte utförs.

## **7.5 Vattenkemi**

Följande utgör motiv och förslag till revidering av det nu gällande kontrollprogrammet för provtagning av vattenkemi i SFR1:

- Provtagningsfrekvens 1 gång per år alternativt vartannat år: Eftersom de förändringar i grundvattnets sammansättning som pågår sker långsamt bedöms inte något behov av tätare provtagningsfrekvens föreligga. Istället kan provtagningen minska till en gång per år alternativt vartannat år. *Isotopanalyser* underlättar tolkning av vattnets ursprung och är ett bra komplement till tolkningen av eventuella förändringar av

halter av huvudkomponenter. Provtagning och analys av isotoper i zoner och områden mellan zoner kan förslagsvis utföras med samma intervall som nu, dvs en gång vart 5:te år.

- Provtagningspunkter - så många borrhål som möjligt alternativt borrhålen HK1, HK2, HK4, HK5, HK7a, HK8, HK10, HK12, HK13, Kb19 samt något i zon 6: För att kunna tolka flödessituationen i berget måste vattenprover tas ut på flera ställen än vad som görs inom ramen för nuvarande kontrollprogram. Vattnets rörelse mellan zonerna kan inte tolkas utifrån nuvarande provtagning.

## 8 REFERENSER

- Axelsson, C-L., J. Byström, Å. Eriksson and J. Holmén, 1991: "Hydraulic evaluation of the groundwater conditions at SFR in Forsmark. Land uplift and its effects on dilution in a domestic well". SKB Progress Report SFR 91-05. July 1991.
- Black, J., 1994: "Hydrogeology of fractured rocks - A question of uncertainty about geometry". Applied Hydrogeology, No. 3, 1994, pp 56-70.
- Black, J.H., C. Chakrabarty, C. Enachescu and L. Wei, 1995: "Using generalised geometry ("Flow dimension") to understand hydraulic tests in fractured rock". Applied Hydrogeology, In print.
- Bodén, A., 1993: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Fukt- och dräninventering 1993". Vattenfall Energisystem AB, GEY PM 7/93, Juli 1993.
- Bodén, A., 1994: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1993". Vattenfall Hydropower, AB940412.pg, April 1994.
- Carlsson, A. och R. Christiansson, 1987: "Geology and tectonics at Forsmark, Sweden". SKB Progress Report SFR 87-04. May 1987.
- Carlsson, L., A. Winberg and J. Arnefors, 1986: "Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR). Compilation and Conceptualization of Available Geological and Hydrogeological Data". SKB Progress Report SFR 86-03. October 1986.
- Carlsson, L., B. Grundfelt and A. Winberg, 1987: "Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR). Evaluation of the groundwater flow situation at SFR". SKB Progress Report SFR 86-07. May 1987.
- Christiansson, R., 1986: "Geologisk beskrivning av zoner kring slutförvaret". SKB Arbetsrapport SFR 86-02, Juli 1986.
- Christiansson, R. och P. Bolvede, 1987: "Byggnadsgeologisk uppföljning - Slutrapport". SKB Arbetsrapport SFR 87-03. Februari 1987.
- Follin, S., 1992: "On the interpretation of double-packer tests in heterogeneous porous media". SKB TR 92-36.
- Geier, J.E., C-L. Axelsson, L. Hässler och A. Benabderrahmane, 1992: "Discrete fracture modelling of the Finnsjön rock mass: Phase 2". SKB TR 92-07, April 1992.
- Geier, J.E. and T. Doe, 1992: "Discrete fracture modelling of the Finnsjön rock mass. Supplementary interpretations of actual and simulated well test data". SKB Arbetsrapport 92-45, September 1992.
- Gustafsson, G., R. Stanfors and P. Wikberg, 1989: "Swedish Hard Rock Laboratory. Evaluation of 1988 year preinvestigations and description of the target area, the island of Äspö". SKB TR 89-16.

- Jönsson, S., 1994: "SFR - Registrering av grundvattentryck under 1993". Geosigma AB, GRAP 94010, Mars 1994.
- La Pointe, P., 1994: "Evaluation of stationary and non-stationary geostatistical models for inferring hydraulic conductivity values at Äspö". SKB TR 94-22. November 1994.
- Laurent, S., 1991: "Vattenanalyser i SFR 1984 - 1986". SKB Arbetsrapport FoU 91-23. September 1991.
- Luszczynski, N., 1961: "Head and Flow of Ground Water of Variable Density". Journal of Geophysical Research, Volume 66, No. 12.
- Sigurdsson, T., 1987: "Bottenundersökning av ett område ovanför SFR, Forsmark". SKB Arbetsrapport SFR 87-07. Juni 1987.
- SKB, 1990: "Slutförvar för radioaktivt driftavfall - SFR. Kontrollprogram för driftskedet". SKB PM SoA 5/88, Reg.nr. A4312, 1988-02-17, Rev. 2, 1990-05-10.
- SKB, 1993: "SKB Slutförvar för radioaktivt driftavfall - SFR 1. Slutlig säkerhetsrapport. Reviderad utgåva - Maj 1993". 1 Allmän del, Kap. 1-7 & 2 Allmän del, Kap. 8-10.
- Widing, E., 1988: "SFR1 Forsmark. Fuktdokumentation av tunnlar och bergrum". Vattenfall, BEL3-8/88:01, Mars 1988.
- Wei, L. C. Chakrabarty, C. Enachescu and J. Black, 1993: "Evaluation of a self-consistent approach to fractured crystalline rock characterization". 2nd Progress report of the CEC contract FIZW/0051, published by the Commission of the European Communities.
- Wikberg, P., 1986: "Grundvattenkemi i SFR". SKB Arbetsrapport SFR 86-05. November 1986.



# **TABELLER**

Tabell 3.1 *Hydrauliska enheter i regional beskrivande modell (SKB, 1993, Tabell 2-1).*

Enhet	Underavdelningar
A. Jordlager	Grusavlagringar, Tunt jordlager, Morän, Lerlager, Organiska jordar, Bottensediment i Östersjön
B. Bergmassa	Avtagande permeabilitet med djupet. Anisotropa förhållanden inom begränsat område.
C. Sprickzoner	Singö zon, Forsmark zon, Zon C, 3, 4 och 8.

Tabell 3.2 *Hydrauliska enheter i lokal beskrivande modell (SKB, 1993, Tabell 2-2).*

Enhet	Underavdelningar
A. Bergmassa	<p>I. Homogent över hela området med avtagande hydraulisk konduktivitet med djupet.</p> <p>II. Som fall I men med konstant högre konduktivitet i de övre 40 metrarna av bergmassan.</p> <p>Band av skivighet genom siloområdet, alternativt anisotropi.</p>
B. Sprickzoner	Singö zon, zon 3, 4, 6, 8, 9 och H2.
C. Skin-zoner	Runt anläggningarna en skin-zon med hydraulisk konduktivitet reducerad till 0,35. Runt NBT där den korsar zon H2 samt runt BT och DT där dessa korsar Singö-zonen, en skin-zon med $K = 2 \cdot 10^{-7}$ m/s. Skin-zonerna är 5 meter breda.

Tabell 3.3 Hydrauliska enheter och hydrauliska samband i lokal modell över SFR (SKB, 1993, Tabell 2-4).

Hydraulisk enhet	Bredd m	Stupning	Hydraulisk konduktivitet m/s
<b>A. Sprickzoner</b>			
Singö			
SW del	14	90	$5 \times 10^{-7}$
kärna	2,5	90	$4 \times 10^{-6}$
NE del	14	90	$5 \times 10^{-7}$
3			
vertikalt	7	75 NW	$3 \times 10^{-6}$
horisontellt	7	75 NW	$5 \times 10^{-5}$
4	2,5	90	$4 \times 10^{-7}$
6	2,5	90	$4 \times 10^{-7}$
8			
SW del	15	90	$6 \times 10^{-8}$
kärna	15	90	$2 \times 10^{-6}$
NE del	10	90	$2 \times 10^{-8}$
9	5	80 NE	$4 \times 10^{-8}$
H2	10	18 SSE	$1 \times 10^{-6}$
<b>B. Bergmassa</b>			
Bergmassa I.			
	$K = 5,65 \times 10^{-6}$	$D^{-1,30}$	(2-D flow)
	$K = 8,87 \times 10^{-6}$	$D^{-1,30}$	(3-D flow)
Bergmassa II. över 40 m			
		$4 \times 10^{-7}$	över förvar
		$8 \times 10^{-8}$	övrigt område
	$K = 5,69 \times 10^{-5}$	$D^{-1,80}$	(2-D flow)
	$K = 9,30 \times 10^{-5}$	$D^{-1,80}$	(3-D flow)
Skivighet genom silo 1 Bredd 10 m $K = 5 \times 10^{-7}$			
<b>C. Skin-zoner 5 m breda</b>			
Runt tunnlar och bergrum			$K = 0,35$ av bergmassan
Runt NBT vid zon H2			$K = 2 \times 10^{-7}$
Runt BT och NT vid Singö-zonen			$K = 2 \times 10^{-7}$

D = vertikalt djup under havsytan-

Tabell 3.4 Interferenstester utförda vid SFR (Carlsson et al., 1987, Tabell 5.2).

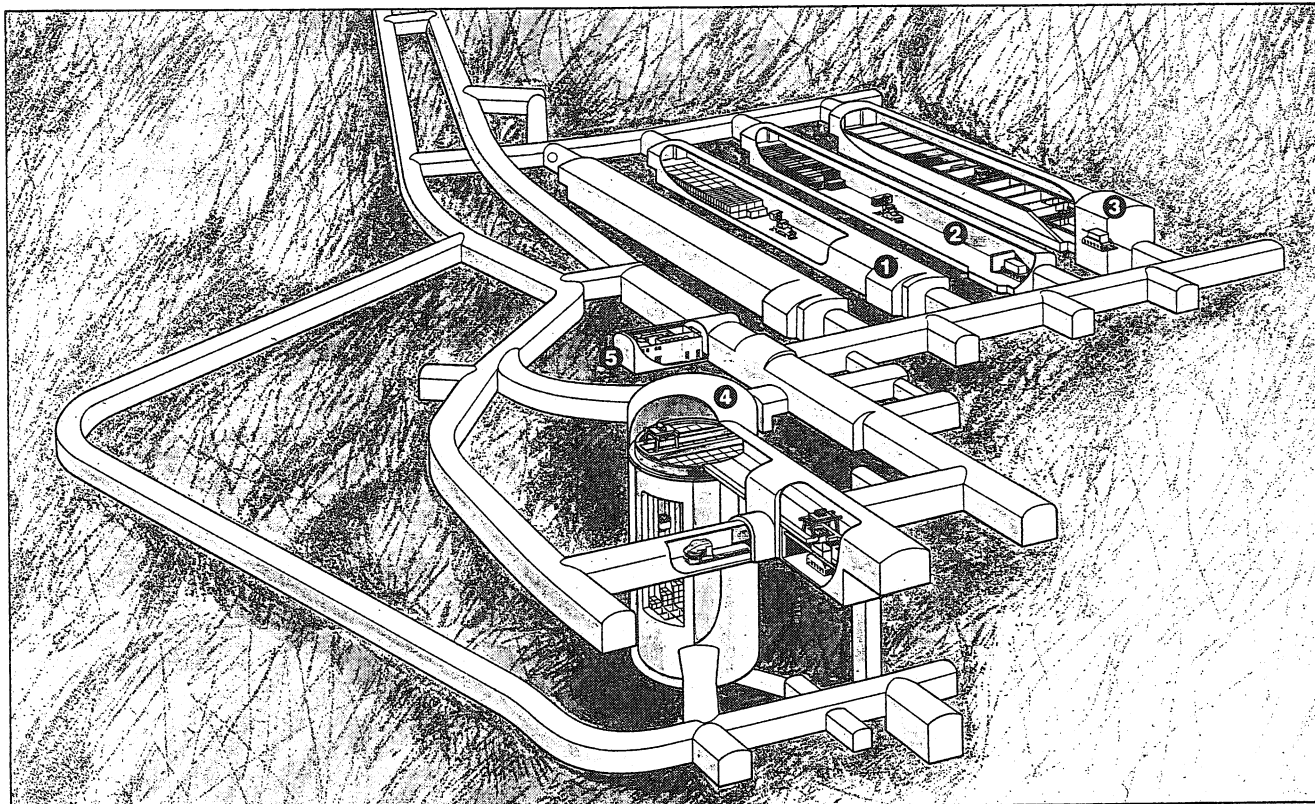
Test No	Flowing section	Average flowrate ml/sec	Test start date	Test length hours	Fracture zone
1	HK4:3	7.7	850524	98	9
2	Kb25:2	3.8	850518	93	9
3	Kb25:3	13.6	850509	71	9
A	HK7B:1	320	851226	95	H2
B	HK9:2	18	860102	69	3
C	NBT	300	860102	52	*
D	SH3	430	860106	458	3
E	HK7B:1	307	860327	111	H2
F	HK13:1	175	860404	92	H2
G	HK8:1	245	860412	76	8
H	HK10:1	12.5	860418	156	3

\* Water flowing from a borehole drilled for grouting in fracture zone H2.

Tabell 4.1 Tryckförändring i borrhålssektioner före kontrollprogram (april 1988) och under kontrollprogram.

Borrhål	Sektion	Tryckförändring (m)			F Kprg. (%)	Kprg. (%)	Kommentar
		Total	Före kontrollprogram	Kontrollprogram			
HK1	P1	-4.84	-4.00	-0.84	83	17	Manschetsläpp -5.52
	P2	-6.28	-1.06	-5.22	17	83	
HK2	P1	-26.59	-20.79	-5.80	78	22	
	P2	-4.50	-2.54	-1.96	56	44	
	P3	-21.50	-16.48	-5.02	77	23	
	P4	-7.34	-2.14	-5.20	29	71	
HK3	P1	-68.57	-64.82	-3.75	95	5	Språng: -8.32, +3.46
	P2	-60.96	-57.21	-3.75	94	6	
	P3	-54.79	-52.42	-2.37	96	4	
	P4	-44.73	-40.08	-4.65	90	10	
HK4	P1	-18.57	-14.22	-4.35	77	23	Språng: +3.26 Språng: +1.26 Språng: +0.61
	P2	-27.48	-22.06	-5.42	80	20	
	P3	-38.52	-32.41	-6.11	84	16	
	P4	-42.16	-38.74	-3.42	92	8	
HK5	P1	-63.50	-64.03	0.53	101	-1	
	P2	-47.21	-39.56	-7.65	84	16	
	P3	-42.99	-37.68	-5.31	88	12	
	P4	-37.91	-34.27	-3.64	90	10	
HK7A	P1	-13.21	-20.07	6.86	152	-52	
	P2	-61.91	-52.13	-9.78	84	16	
	P3	-27.46	-28.24	0.78	103	-3	
HK7B	P1	-8.61	-5.61	-3	65	35	
	P2	-24.10	-15.38	-8.72	64	36	
HK8	P1	1.40	-0.44	1.84	-31	131	
	P2	-0.46	-0.38	-0.08	83	17	
	P3	1.97	-0.98	2.95	-50	150	
HK13	P1	-3.41	0.06	-3.47	-2	102	
	P2	-3.67	0.58	-4.25	-16	116	
	P3	-4.09	0.56	-4.65	-14	114	
KB19	P1	-26.48	-23.69	-2.79	89	11	
	P2	-26.44	-24.52	-1.92	93	7	
	P3	-49.70	-43.52	-6.18	88	12	
	P4	-52.68	-48.99	-3.69	93	7	
KB25	P1	-118.44	-114.22	-4.22	96	4	
	P2	-63.06	-56.79	-6.27	90	10	
	P3	-33.30	-27.43	-5.87	82	18	
	P4	-33.28	-29.69	-3.59	89	11	
KB26	P1	-0.21	10.53	-10.74	-5014	5114	

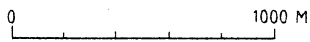
# **FIGURER**
















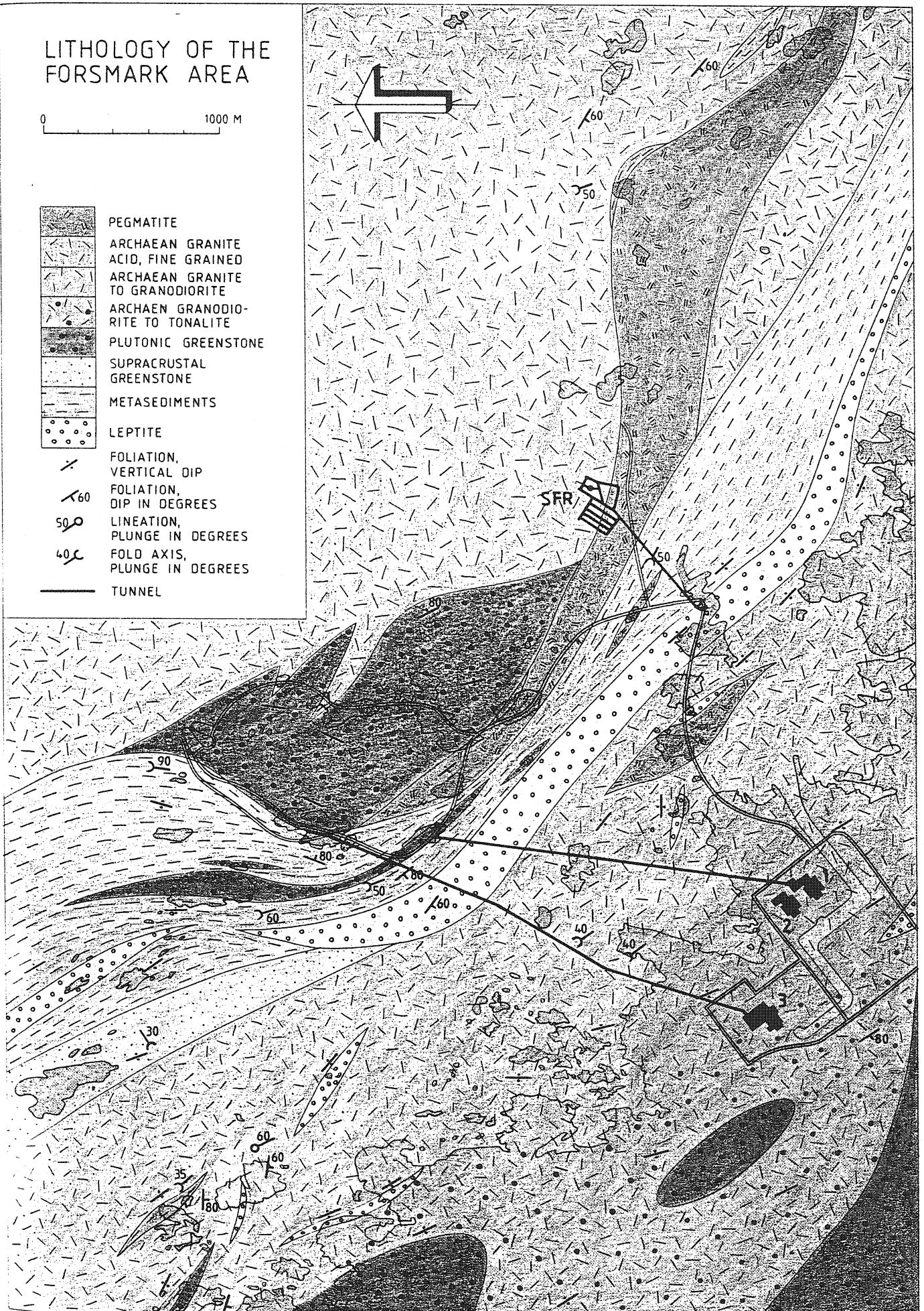
1. Bergsal för medelaktivt avfall i betongtank. Tanken hanteras med gaffeltruck.
2. Bergsal för lågaktivt avfall i fraktcontainer. Containern hanteras med gaffeltruck.
3. Fackinredd bergsal för medelaktivt avfall i plåtfat eller kokiller. Avfallet hanteras med fjärrstyrd travers.
4. Silo för medelaktivt avfall i plåtfat eller kokiller. Avfallet hanteras med en speciell fjärrstyrd hanteringsmaskin.
5. Driftbyggnad med driftcentral och personalutrymmen.

Figur 1.1 Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR1, i Forsmark (SFR broschyr).

# LITHOLOGY OF THE FORSMARK AREA

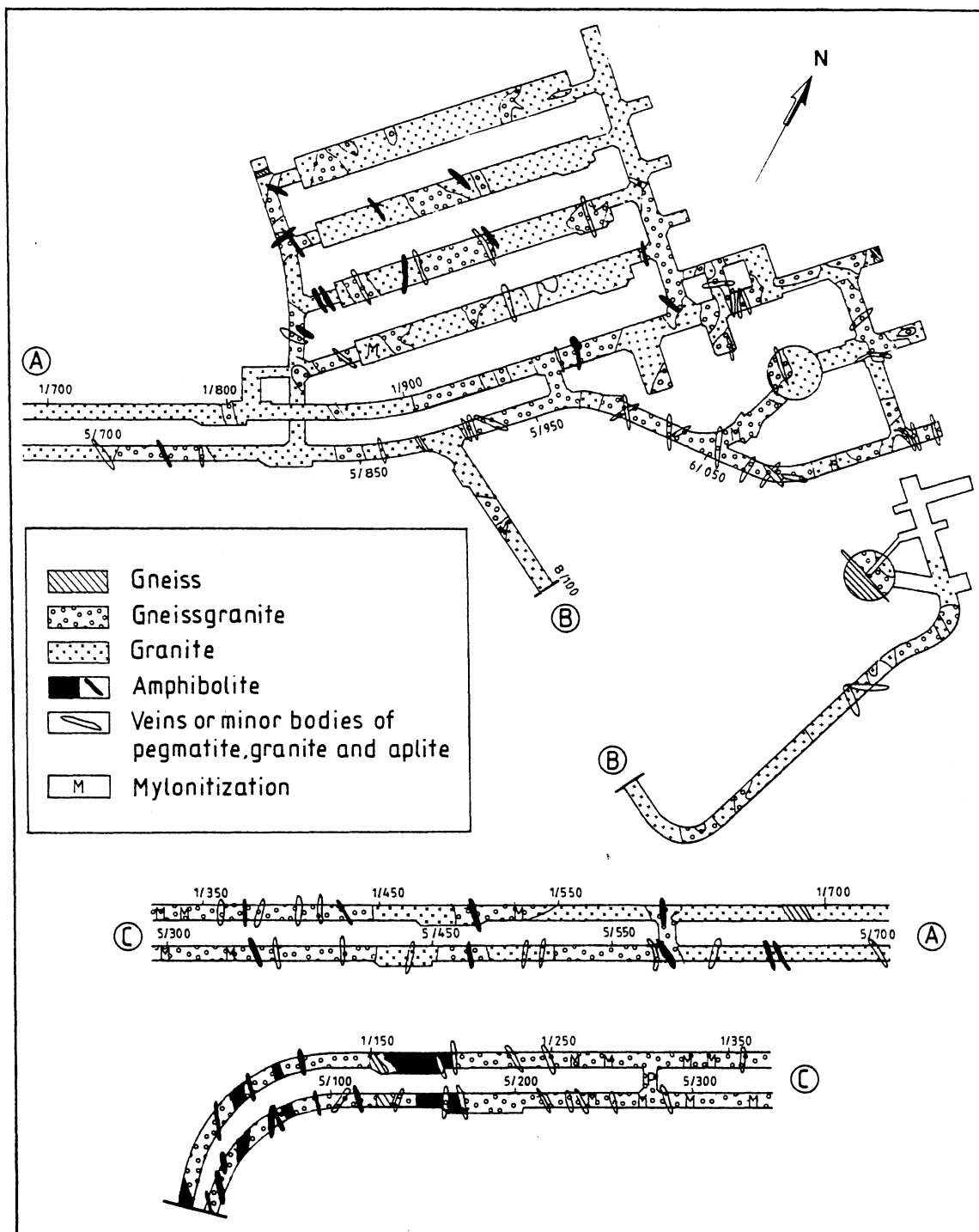


-  PEGMATITE
-  ARCHAEN GRANITE  
ACID, FINE GRAINED
-  ARCHAEN GRANITE  
TO GRANODIORITE
-  ARCHAEN GRANODIO-  
RITE TO TONALITE
-  PLUTONIC GREENSTONE
-  SUPRACRUSTAL  
GREENSTONE
-  METASEDIMENTS
-  LEPTITE
-  FOLIATION,  
VERTICAL DIP
-  FOLIATION,  
DIP IN DEGREES
-  LINATION,  
PLUNGE IN DEGREES
-  FOLD AXIS,  
PLUNGE IN DEGREES
-  TUNNEL

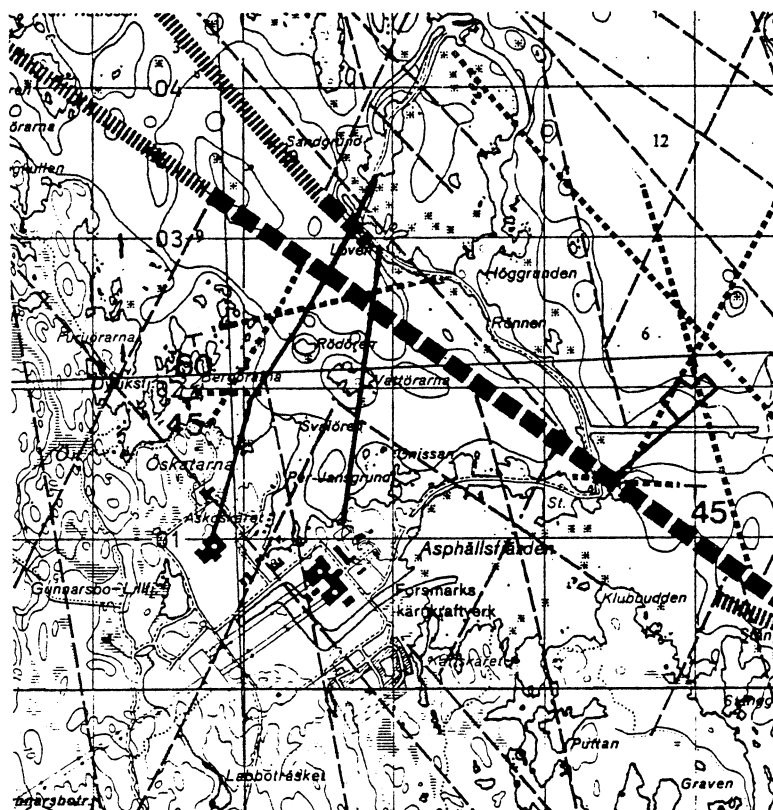


Figur 3.1 Berggrunden i Forsmarksområdet (Carlsson och Christiansson, 1987, SFR 87-04).

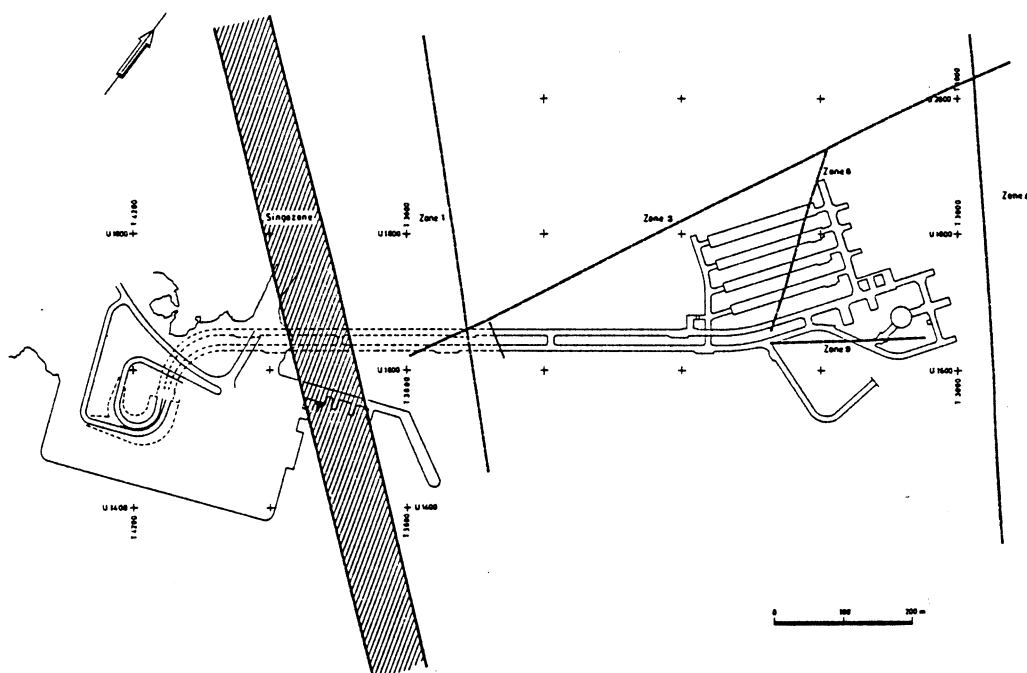




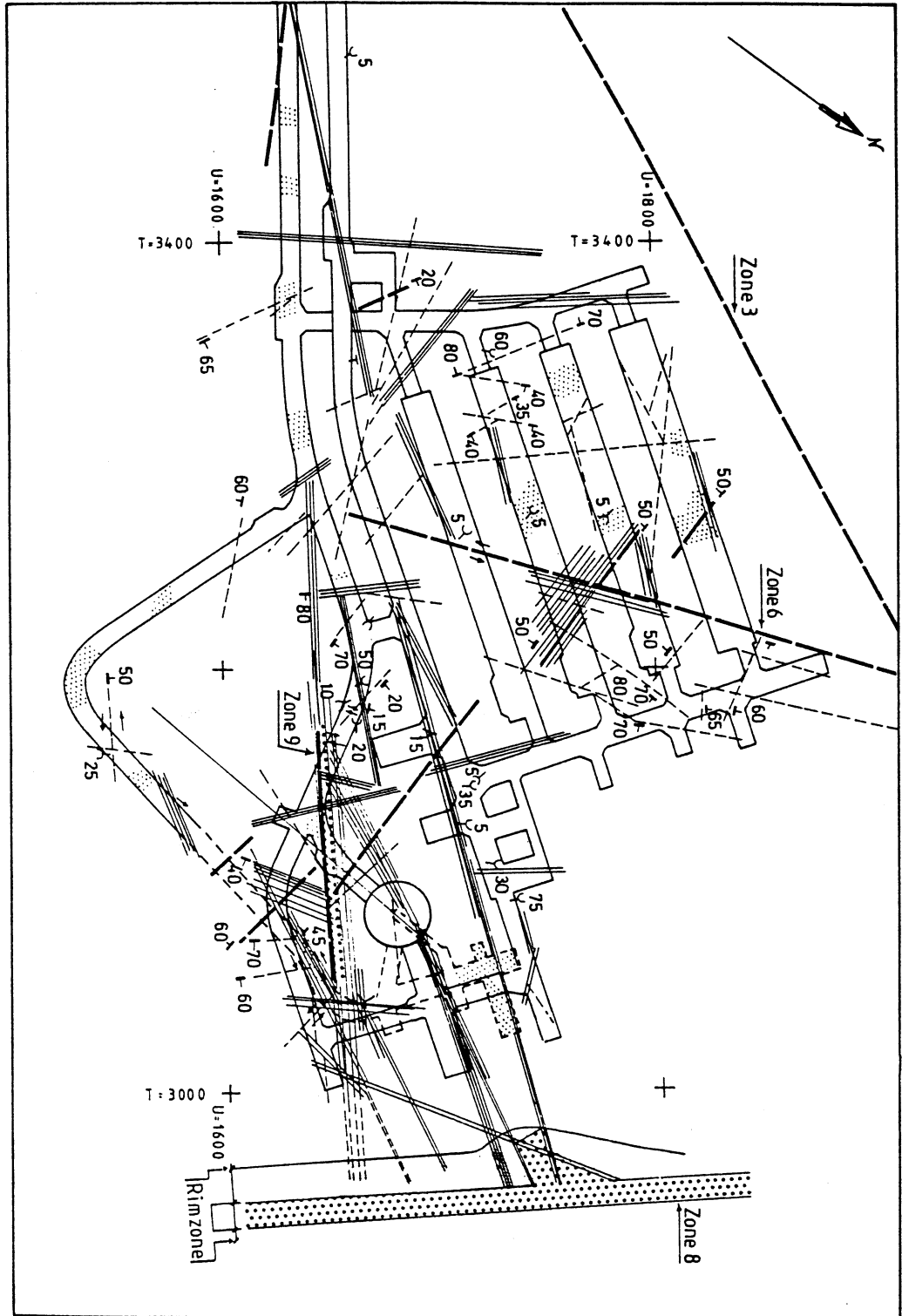
Figur 3.2 Berggrunden i anslutning till SFR1 (Christiansson och Bolvede, 1986, SFR 87-03).



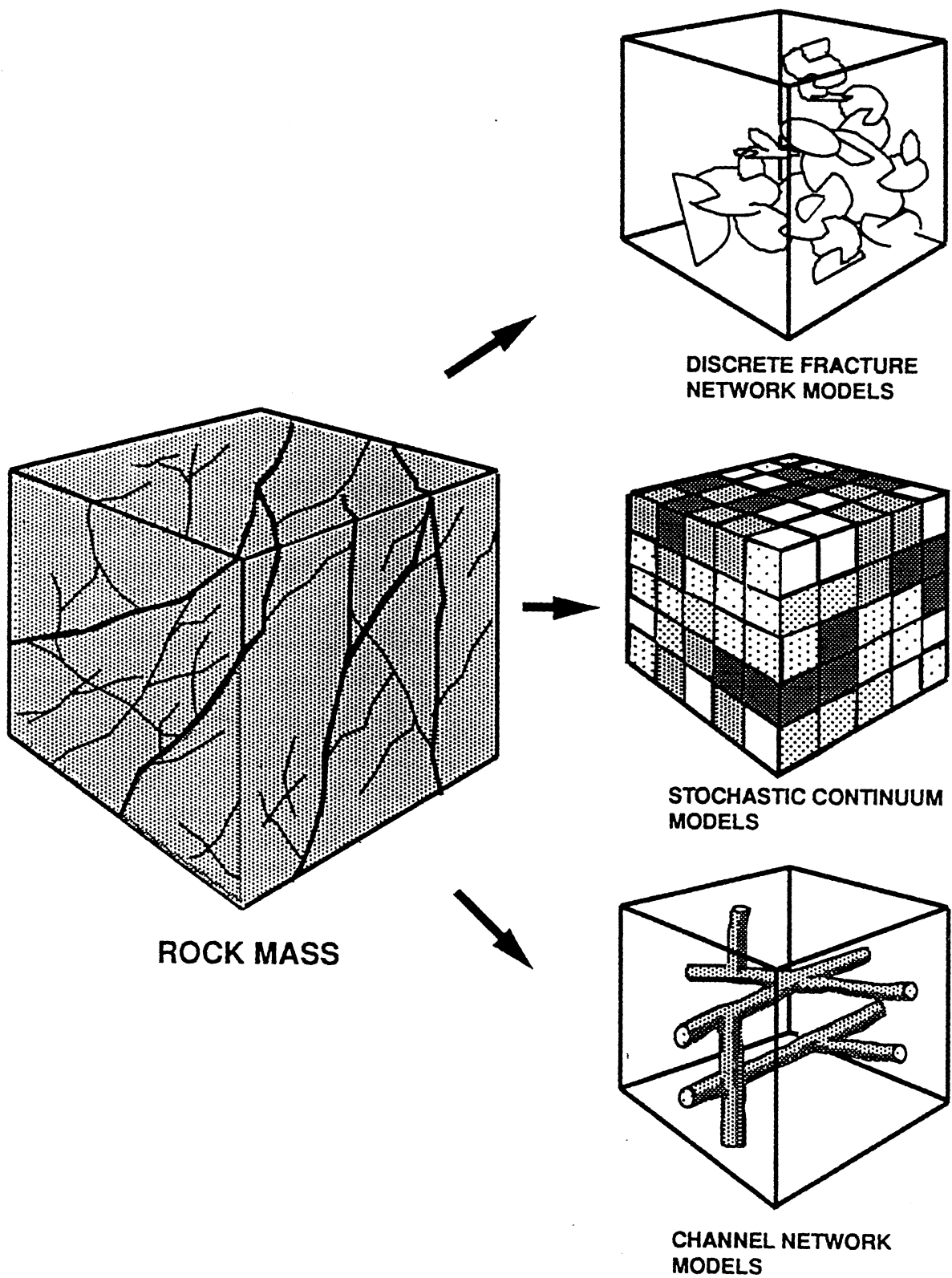
Figur 3.3 Större svaghetszoner i berggrunden vid Forsmark (Figur 2-3 i SKB, 1993 efter Carlsson och Christiansson, 1987, SFR 87-04).



Figur 3.4 Översikt över brantstående vattenförande sprickzoner i förvarsområdet (Figur 2-4 i SKB, 1993 efter Carlsson et al., 1987, SFR 86-07).



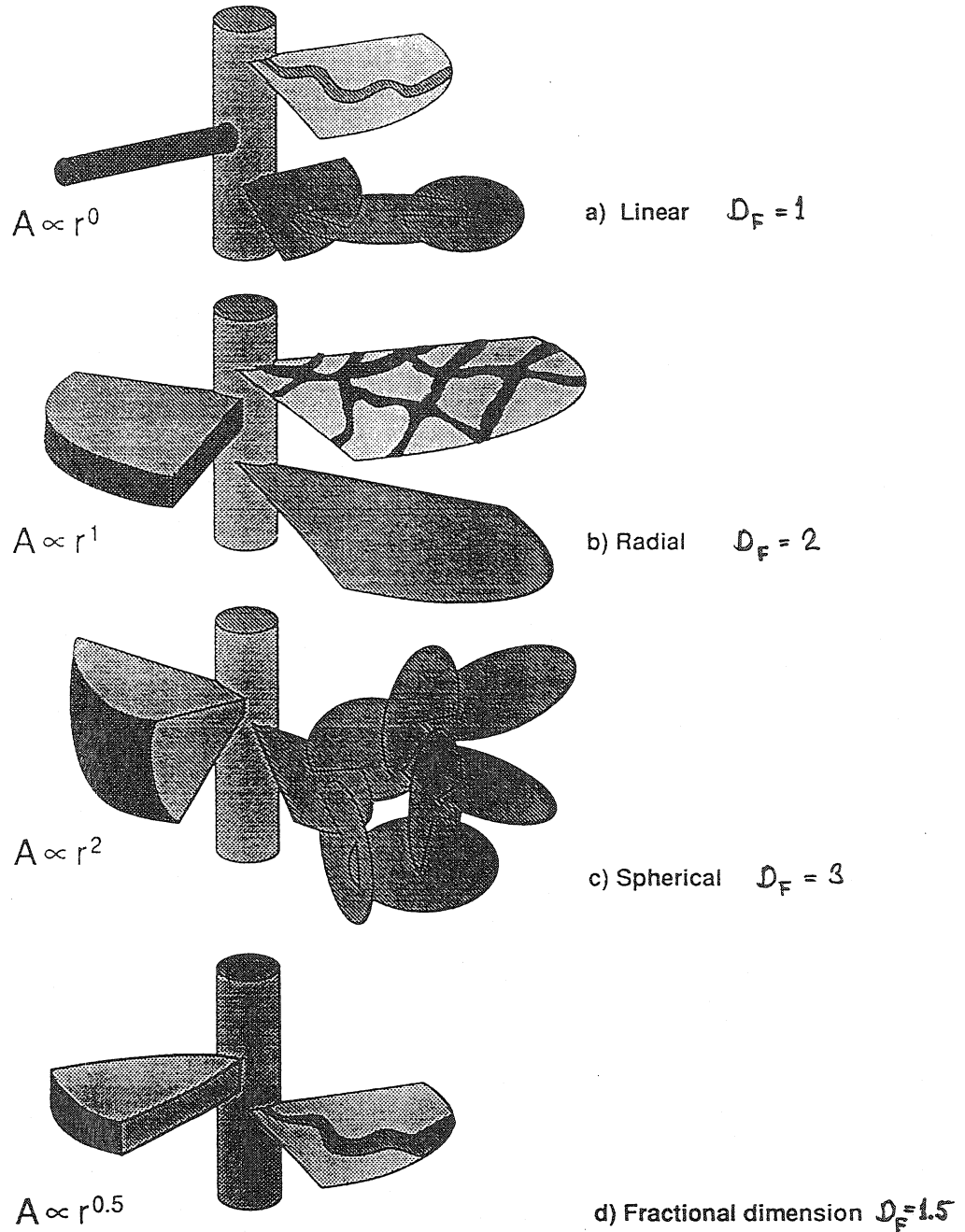
Figur 3.5 Alternativ modell av sprickzoner vid SFR baserad på kartering av borrhäror och tunnlar (Christiansson och Bolvede, 1987).



Figur 3.6 Jämförelse av olika modeller för flöde och transport i en sprickig bergmassa (Geier et al., 1992).

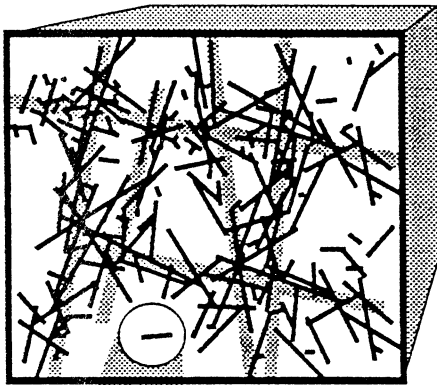
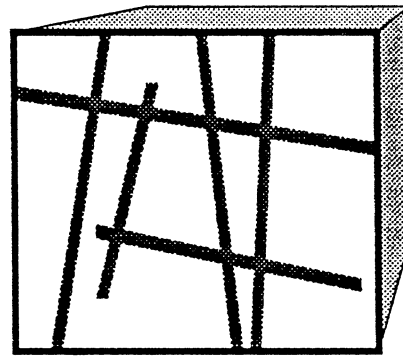
POROUS  
CONTINUUM

FRACTURED AND/OR CHANNELED  
DISCONTINUUM

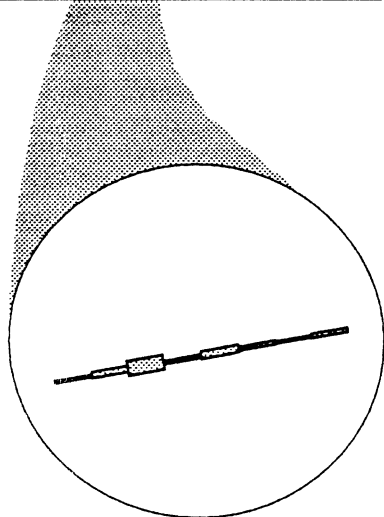


Figur 3.7 Flödesdimension ( $D_F$ ) vid hydraultestning (Geier et al., 1992).

FRACTURE ZONES

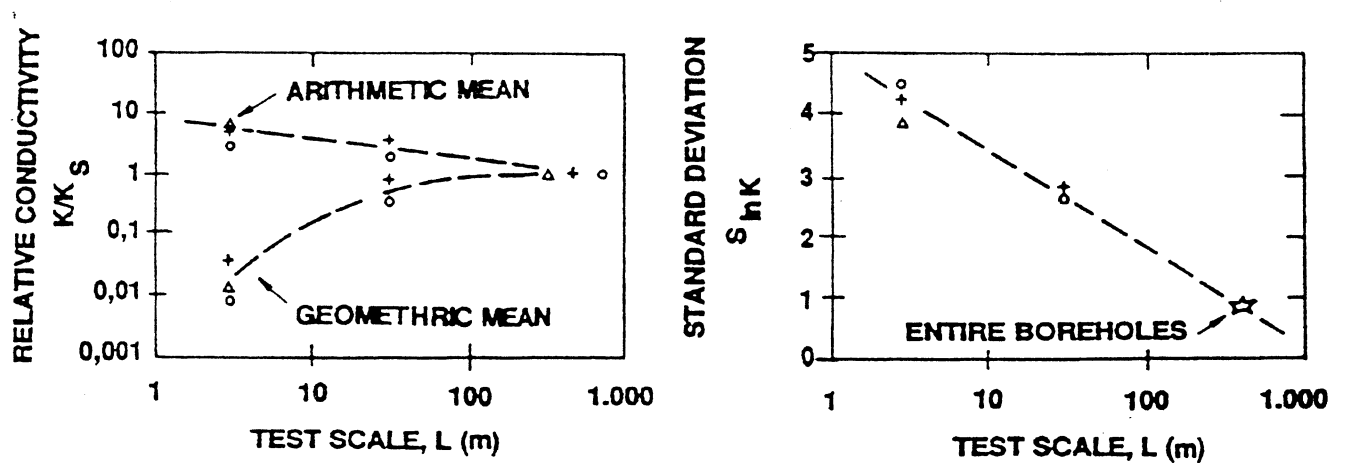
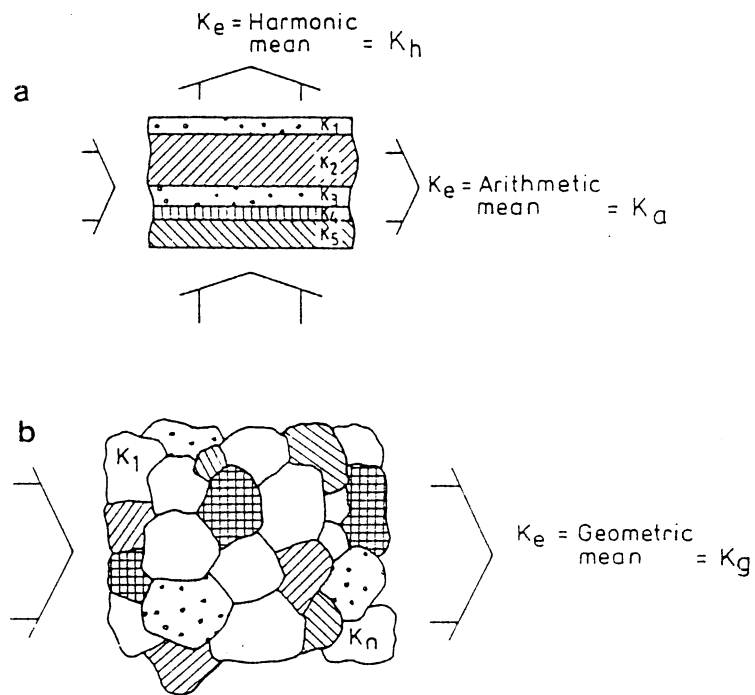


FRACTURES



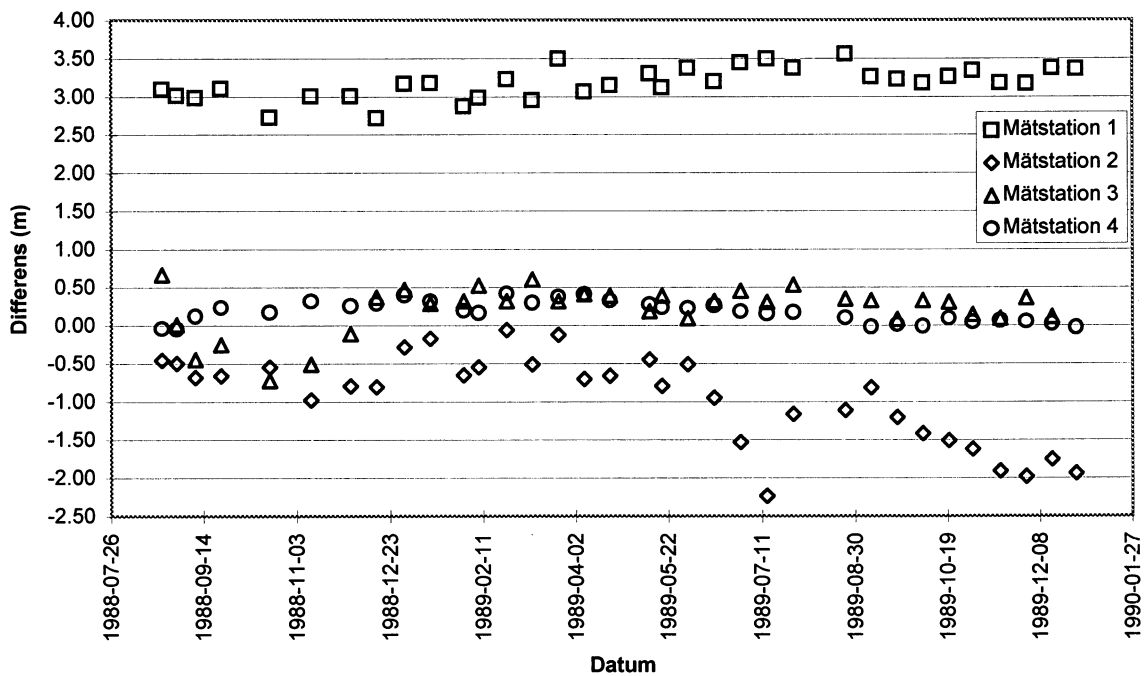
DETAILED PROPERTIES

Figur 3.8 Konceptuell modell för sprickigt berg (Geier et al., 1992).



Figur 3.9 Olika metoder för medelvärdesuppskattning samt relativ hydraulisk konduktivitet och standardavvikelse för olika testskalor (Gustafson et al., 1989).

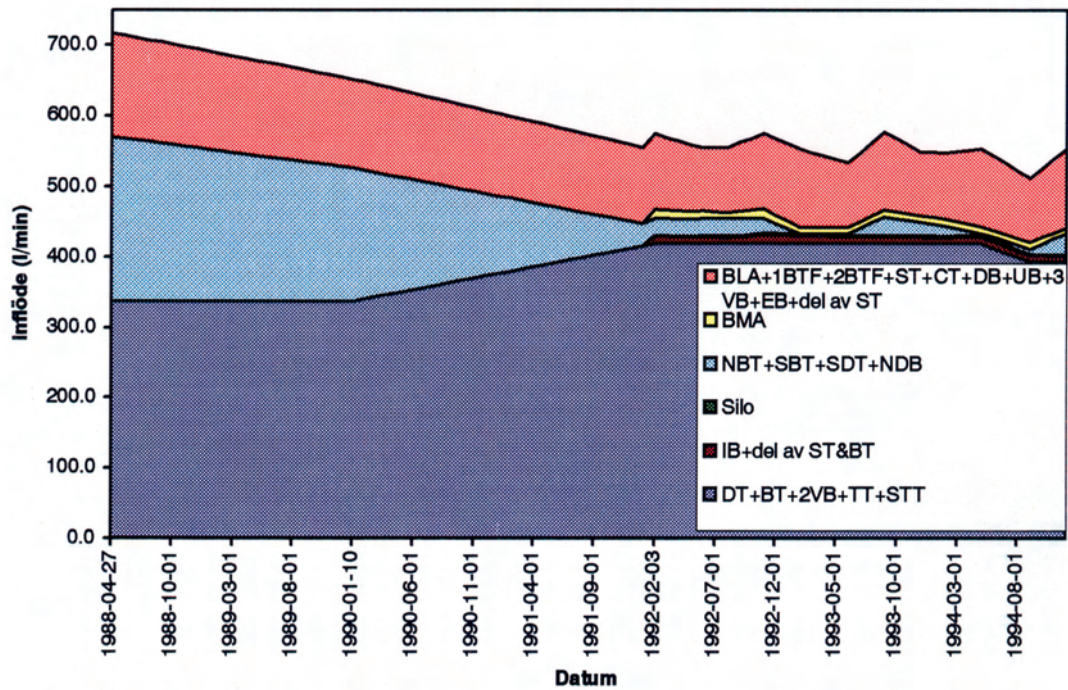
Mätstation 1(HK1), 2(HK2), 3(HK7A) och 4(Kb26)  
Korr.data - Okorr.data



Figur 4.1 *Korrigering av uppmätta tryckdata vid olika mätstationer under perioden 1988-08-22 - 1989-12-27.*

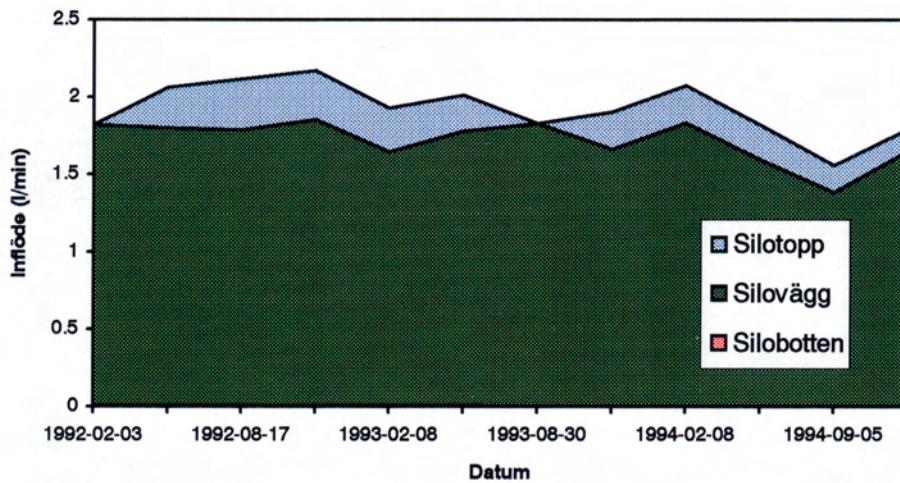


### Inflöde till SFR

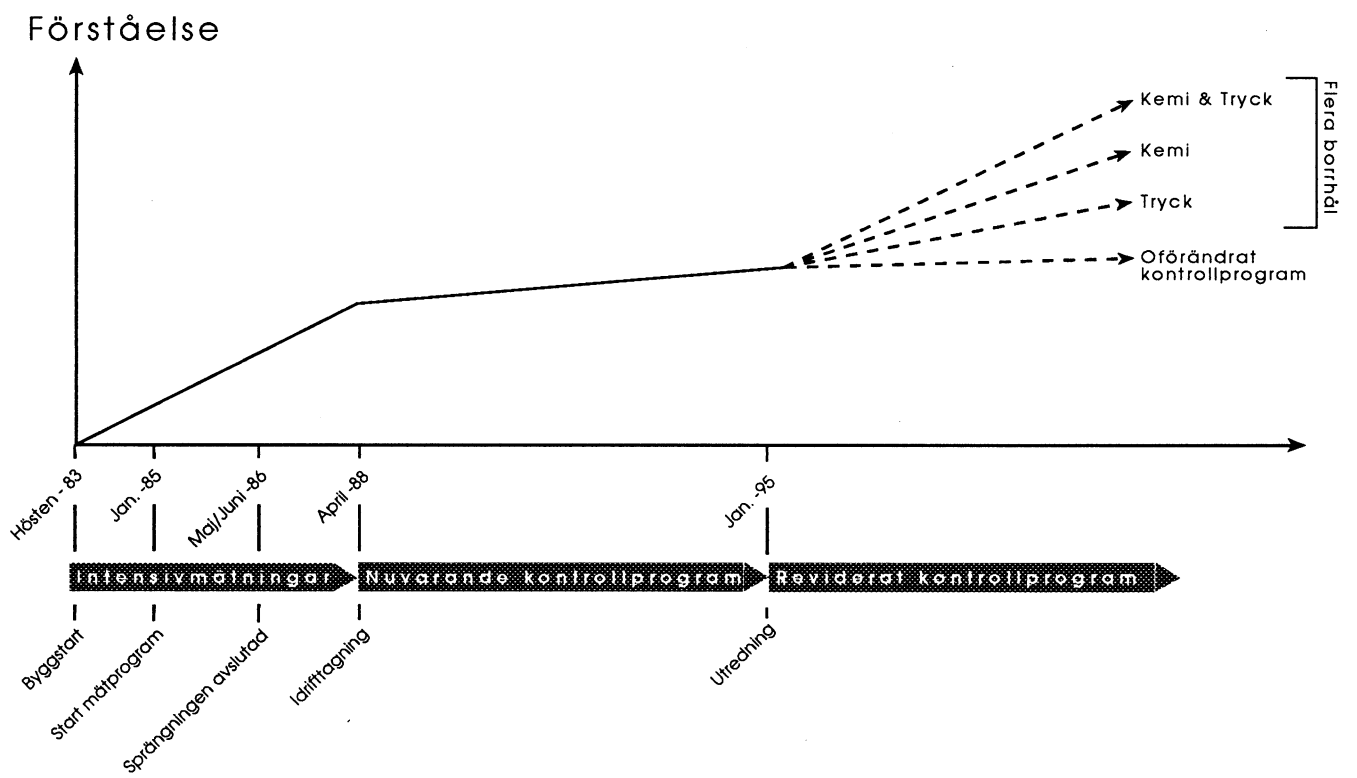


Figur 4.2 Inläckaget av grundvatten till SFR i olika delar av anläggningen.

### Inflöde till silo



Figur 4.3 Inläckaget till silon uppdelat på botten, sidor och topp.



Figur 6.1 Förståelse av hydrologin vid SFR.

**KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET**

## **A.1 MÄTNING AV GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL**

Under byggandet av SFR1 (hösten 1983 till sommaren 1986) genomfördes mätningar av grundvattentryck i 22 borrhål inom undermarksanläggningen (Tabell A.1 och Figur B.1). Mätningarna skedde i totalt 68 avmanschetterade sektioner. Manchetterna bestod av 1 m långa tätningselement som expanderar mot borrhålsväggen med ett övertryck av ca 15 bar. Manschettkonfigurationen och antal mätsektioner för respektive borrhål framgår av Tabell A.1 och Bilaga C:1.

Datainsamlingsenhet och tryckgivare var placerade utanför borrhålen och anslutna till respektive mätsektion genom en slang (Figur B.3). De använda tryckgivarna gav en upplösning på 0.01 m vattenpelare. Mätintervallet uppgick under normala förhållanden till 2 - 3 avläsningar per dygn. Samtliga utförda mätningar finns lagrade i SKB's databas GEOTAB.

Utvärderingar av mätningarna av grundvattentryck i borrhål under byggnadsskedet redovisas av Carlsson, Winberg och Arnefors (1986).

## **A.2 MÄTNING AV INLÄCKANDE GRUNDVATTEN**

Mätning av inläckande grundvatten till olika delar av SFR1 har gjorts under byggnadsskedet och sammanställts av Christiansson och Bolvede (1987). Resultaten baseras på fältarbeten som utförts under perioden oktober 1983 (förskarningen utsprängd) till maj 1986 (sprängningsarbetena färdiga). Under perioden februari 1984 (fronten nära Singözonen) till mars 1986 har geolog varit kontinuerligt stationerad vid SFR. Tunnelkartering avseende sprickor och vatteninläckning utfördes av geolog i genomsnitt inom 1 dag efter sprängning av en salva (Muntlig uppgift, Christiansson, 1995). Spridningen i tid var från några timmar upp till någon vecka efter sprängning. De långa tidsintervallen förekom i undantagsfall under sommaren 1985, då flest fronter förelåg i lagerområdet (14 fronter som mest). Karteringen gjordes som längst ca 2 - 3 salvlängder bakom fronten, vilket motsvarar ca 9 - 14 m. Resultat från följande mätningar rapporteras av Christiansson och Bolvede (1987):

- Vattenförande sprickor inom lagerområdet, 1987-01-22 (Appendix): Sammanställningen baseras på tunnelkartering av SFR och därtill hörande dagboksanteckningar under perioden oktober 1983 - maj 1986. Inom lagerområdet gäller bedömningen bara för tak, medan bedömningen för tillfartstunnlarna avser både tak och väggar. Materialet är sammanställt i;
  - ritningar med karterade vattenförande sprickor samt inflöden i form av staplar i anläggningen.
  - tabeller med vattenföring, sprickfyllnad, längd, riktning, typ etc.
  - diagram över antal vattenförande sprickor, riktning och stupning.
  - inläckage i olika delar av SFR1 baserat på mätdammar. (Anm.: En kontroll i BMA visade att karteringen har med ca 80% av de vattenförande sprickorna i tak, där dräner har satts för att ta hand om vattnet).
- Vattenflöde ur sonderingshål, 1987-03-04: Tabeller (Bilaga 2) och ritning (Bilaga 4) med uppmätt vatteninläckning vid sonderingsborrning i olika delar av anläggningen.

- Bedömd vatteninläckning från karteringsritningar och dagboksanteckningar, 1987-03-04. Ritning (Bilaga 5).
- Bedömd total vatteninläckning 13/9 1985 - 20/11 1986. Figur (Bilaga 6).

Stationer för mätning av inläckande vatten via Thompsonöverfall har under olika långa perioder varit upprättade i 1BTF, 2BTF, 1BLA, silo samt i drift- och byggtunneln 0 - 400 m (Christiansson och Bolvede, 1987). För 1BMA hanns det inte med att upprätta mätstation innan dräneringen hade lagts. Inläckande vattenmängder för 1BMA har därför bara uppskattats. Allt inläckande vatten passerar pumpgruppen i övre delen av nedre byggtunneln. Kända störningar som tex pumpfel, öppna borrhål etc. har noterats. Mätning har normalt utförts måndag morgon av arbetsledare innan byggaktiviteter kom igång. Till mätdammen pumpas intermittent från nedre byggtunneln. Mätning utförs när pumpen i nedre byggtunneln inte går. Varierande vattenmängder rinner även förbi mätdammen. Mätningar har utförts sedan september 1985 (Bilaga D:3), och ger således endast en grov uppskattning av inläckande grundvatten.

### **A.3 GRUNDVATTENKEMISKT PROVTAGNING- OCH ANALYSPROGRAM**

Under byggnadsskedet har provtagning av grundvattnet utförts i samband med försondering vid tunneldrivning. Analysresultaten från dessa provtagningar har ej kunnat återfinnas. Vidare har provtagning skett från borrhål borrade från golvet i tunnelsystemet (Wikberg, 1986 och Laurent, 1991).

Under 1984 koncentrerades provtagningen till borrhålen HK1, HK2 och HK3. Under perioden 1985 - 86 utökades provtagningen med HK4, HK7A, HK9, HK10 och HK11 samt under 1987 med HK7B, HK7C och SH3/167. Provtagningen har skett i avmanschetterade sektioner.

Vid några tillfällen under 1986 och 1987 har isotopanalyser utförts i borrhål HK1, HK7A, HK10, HK11 samt HK8.

### **A.4 REFERENSER**

Carlsson L., A. Winberg och J. Arnefors, 1986: "Hydraulic Modeling of the Final Repository for Reactor Waste (SFR) - Compilation and Conceptualization of Available Geological and Hydrogeological Data". SKB Progress Report SFR 86-03. Oktober 1986.

Christiansson, R. och P. Bolvede, 1987: "Byggnadsgeologisk uppföljning - Slutrapport". SKB Arbetsrapport SFR 87-03. Februari 1987.

Christiansson, R., 1995: "Personlig kommunikation".

Laurent S., 1991: "Vattenanalyser i SFR 1984-1986 - Kvalitetsgranskning av data". SKB Arbetsrapport Forskning och utveckling 91-23. September 1991.

Wikberg P., 1986: "Grundvattenkemi i SFR". SKB Arbetsrapport SFR 86-05. November 1986.

Tabell A.1 Borrhål för mätning av grundvattentryck under byggnadsskedet (Carlsson, Winberg och Arnefors, 1986).

Borehole	No of sections	Starting date	Ending date
HK1	2	8 Dec 1984	
HK2	4	18 Feb 1985	
HK3	4	13 Feb 1985	
HK4	4	12 March 1985	
HK5	4	29 July 1985	
HK7A	3	1 Oct 1985	
HK7B	2	2 Oct 1985	
HK7C	2	2 Oct 1985	
HK8	3	21 Jan 1986	
HK9	4	22 Nov 1985	
HK10	4	22 Nov 1985	
HK11	4	21 Dec 1985	
HK12	3	12 March 1986	
HK13	3	23 March 1986	
HK14	2	10 July 1986	
Kb19	4	13 Feb 1985	
Kb20	4	13 Feb 1985	
Kb23	3	20 April 1985	24 May 1985
Kb24	3	20 April 1985	24 May 1985
Kb25	4	9 May 1985	
Kb26	1	23 Jan 1986	
SH3	1	21 Dec 1985	

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**

## **B.1 MÄTNING AV GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL**

Kontrollprogrammet för mätning av grundvattentryck under driftskedet beskrivs i Bilaga 3 (N-Å. Larsson och J. Danielsson, 1989-03-01) till "Kontrollprogram för driftskedet" (SKB, 1990).

### **B.1.1 Mätprogram**

Under byggandet av SFR1 genomfördes mätningar av grundvattentryck i 22 borrhål inom undermarksanläggningen (Bilaga A). Av dessa har 12 borrhål valts för fortsatta tryckmätningar (Figur B.1, B.2 och B.3). Dessa borrhål antingen penetrerar eller ligger i anslutning till Singözonen, Zon H2, Zon 8, Zon 9 eller silobyggnaden. Koordinater och orientering av borrhålen framgår av Tabell B.1. Av de borrhål som ingick i mätprogrammet under byggnadsskedet har 3 st (HK11, HK14 och SH3/167) gjutits igen. Sex borrhål har försetts med enkelmanchett för att ge möjlighet till framtida användning. I borrhål HK6, HK7c, HK12 och Kb20 är manchetten av mekanisk typ medan den i HK9 och HK10 är av hydraulisk typ.

De 12 borrhål som ingår i det nuvarande kontrollprogrammet är sammankopplade i fyra mätstationer (Figur B.1).

Station 1:	HK1
Station 2:	HK2, HK3, HK4, HK5, Kb19
Station 3:	HK7a, HK7b, HK13, Kb25
Station 4:	HK8, Kb26

Varje station har dubbla tryckgivare och anslutning för referenstryckgivare vid kalibrering. Tryckgivarna är absoluttryckgivare av typen DRUCK PDCR10, som registrerar tryck upp till 10, 15 eller 20 bar. Avläsning görs manuellt från en display med en upplösning av 0.01 m vattenpelare. En schematisk bild av mätutrustningen som i princip finns ansluten till respektive borrhål visas i Figur B.4. Manchetterna består av 1 m långa tätningselement som expanderar mot borrhålsväggen med ett övertryck av ca 15 bar. Manschettkonfigurationen och antal mätsektioner för respektive borrhål framgår av Tabellerna B.2 - B.5 och Figur B.5.

Mätprogrammet består av:

- manuell avläsning av grundvattentrycket i samtliga mätsektioner (38 st) 2 gånger per månad. Vid varje måttillfälle avläses även lufttrycket i anläggningen vid respektive mätstation med tryckgivare och medförd barometer.
- kalibrering av tryckgivare mot referenstryckgivare 2 gånger per år. Referenstryckgivaren precisionskalibreras på laboratorium strax innan fältkalibreringen.
- övervakning och kontroll av mätutrustningarna i samband med de manuella tryckavläsningarna, dvs 2 gånger per månad. En årlig kontroll utförs av de mekaniska manchetterna i de temporärt "pluggade" borrhålen.



### B.1.2 Korrigerig av mätdata

Kontrollerna har visat att tryckgivarnas linearitet är bra, men det kan dock förekomma relativt stora tidsdrifter i nollpunkt och förstärkning (Jönsson, 1994). Dessa tidsdrifter är av samma storleksordning som de trender som förekommer i uppmätta grundvattentryck efter byggnadsskedets avslutande, varför en korrigerig av mätdata har utförts sedan 1988.

Vid korrigerigen av mätdata tas hänsyn till två olika typer av drifter:

- i) Drift i nollpunkten medför en tidsberoende förskjutning av de avlästa värdena över tryckgivarens hela skala. Förskjutningen är oberorende av tryckens storlek.
- ii) Drift i förstärkning innebär att tryckgivarens respons på en viss tryckändring ändras med tiden.

Tryckgivarna kalibreras med några månaders mellanrum, mot 4 väl bestämda tryck. Kalibreringsfunktionen har antagits vara linjär dvs:

$$P_t = K_0 + K_1 \times P_a$$

, där  $P_t$  = det totala trycket (grundvattentryck+luftryck)  
 $K_0$  = koefficient för nollpunktsdrift  
 $K_1$  = koefficient för förstärkningsdrift  
 $P_a$  = avläst tryck på tryckgivaren

Driften i nollpunkten medför att  $K_0$  ändrar sig mellan olika avläsningstillfällen. För att ta hänsyn till detta sker en enpunktskalibrering mot aktuellt luftryck vid varje mättillfälle enligt:

$$P_k = P_a - (P_0 - P_1)$$

, där  $P_k$  = kalibrerat tryck för drift i nollpunkt  
 $P_a$  = avläst tryck på tryckgivaren  
 $P_0$  = avläst luftryck på tryckgivaren  
 $P_1$  = aktuellt luftryck mätt med barometer

Till viss del är driften av nollpunkten ( $K_0$ ) beroende av driften i förstärkningen ( $K_1$ ). För att ta hänsyn till båda dessa ansätts följande ekvation:

$$P_t = C_0 + C_1 \times P_k + C_2 \times T + C_3 \times T \times P_k$$

, där  $P_t$  = det totala trycket (grundvattentryck + luftryck)  
 $T$  = tiden i dagar från föregående mättillfälle

Koefficienterna  $C_0 - C_3$  bestäms genom multipel linjär regression för på varandra följande kalibreringar och byts följaktligen ut efter varje kalibreringstillfälle. De två sista termerna i ekvationen beskriver driften i nollpunkt respektive förstärkning.

Vid beräkning av grundvattentrycket i meter vattenpelare i det lokala höjdsystemet, subtraheras aktuellt lufttryck från korrigerat totalt tryck enligt:

$$P_s = (P_t - P_1) / (\rho \times g) + Z$$

, där  $P_s$  = korrigerat grundvattentryck  
 $P_t$  = korrigerat totalt tryck  
 $P_1$  = aktuellt lufttryck  
 $\rho$  = vattnets densitet  
 $g$  = gravitationen  
 $Z$  = tryckgivarens nivå i det lokala höjdsystemet

Då grundvattnets densitetsfördelning ej är känd antas vattnets densitet vara 1000 kg/m<sup>3</sup>.

En sammanställning av grundvattentrycken i alla borrhål redovisas i Bilaga C. För varje borrhål visas alla mätningar som har gjorts. Endast de mätningar som ingår i nuvarande kontrollprogram har korrigerats enligt ovanstående. De mätningar som utförts under byggnadsskedet är okorrigerade. För två borrhål, Kb23 och Kb24, saknas uppgift om nivån för tryckgivaren. För dessa kan därför inget grundvattentryck beräknas, utan endast det relativa trycket (uppmätt tryck) redovisas.

## **B.2 MÄTNING AV INLÄCKANDE GRUNDVATTEN**

Kontrollprogrammet för mätning av inläckande grundvatten under driftskedet beskrivs i Bilaga 4 (H. Larsson och G. Åhrling, 1988-03-31) till "Kontrollprogram för driftskedet" (SKB, 1990). En revidering av kontrollprogrammet gjordes 1991-04-15 (Vattenfall Energisystem AB, 1991) och togs i drift från och med 1992-02-03. Byggnadsarbeten med nytt Thompsonöverfall med högre precision, samt inköp av utrustning för nya mätpunkter utfördes under vintern 1991-1992 (Vattenfall Energisystem AB, 1992). Mätningar av inläckage saknas därför under 1991.

### **B.2.1 Mätprogram**

Under driftskedet genomförs mätningar av inläckande grundvatten och dokumentation av anläggningens fuktförhållanden. Syftet är att visa om och var förändringar av grundvattentillrinningen inträffar. Programmet består av följande delar:

- Mätning av vattenflöden i pumpgropar och mätöverfall
- Bedömning av vattenflöden från bergsalar och silobotten
- Dokumentation av fuktförhållanden i dräner och på bergytor
- Undersökning av effekten av dränageborrning

Mätning av inläckande grundvatten görs i (Figur B.6, Tabell B.6):

- brunnar i anslutning till bergsal för medelaktivt avfall BMA (01A, B)
- bassäng och brunn i anslutning till inlastningsbyggnaden IB (05A, B)
- pumpgropar vid silokupol (6, 7)
- slangar i silodränagetunnel SDT (V11-18, G19-30)
- Thompsonöverfall i övre delen av nedre byggtunneln NBT (08)

- pumpgrop i underhållsbyggnaden UB (31B)
- pumpgrop i nedre bergdränagebassängen NDB (32B)

Pumpgropen i UB erhåller tillrinningen från central- (CT) och bergsalstunneln (BST) samt från bergsalarna (BMA, BLA, BTF). Pumpgropen i NDB erhåller tillrinningen från alla övriga tunnlar samt silon (S) och möjligtvis även inlastningsbyggnaden (IB). Vissa tveksamheter råder om flödet i mätpunkt 05 (IB) avbördas till pumpgropen i UB eller NDB (muntlig uppgift Eva Widing och Anders Bodén, Vattenfall Hydropower, 1995). Summan av flödena till UB och NDB utgör hela grundvattenflödet in till SFR1. I mätöverfallet i NBT mäts inflödet till bygg- (BT), drift- (DT) och tvärtunneln (TT).

Fram till 1991 mättes flödet endast i pumpgroparna i UB och NDB samt i Thompsonöverfallet (Tabell B.7). Mätningar vid Thompsonöverfallet (NBT) gjordes en gång per år. Under 1991 förekom inga flödesmätningar. Från och med 1992-02-03 mäts flödet i alla ovanstående punkter samtidigt en gång per kvartal.

Vattenflödet i pumpgroparna i UB och NDB beräknades fram till 1991 från pumpkapaciteten och kontinuerlig registrering av pumparnas gångtid. Manuell avläsning av gångtiden gjordes en gång per månad. I samband med idrifttagningen (april 1988) samt januari 1990 gjordes även en manuell mätning av flödet till pumpgroparna genom att mäta vattenvolymen (gropens area · vattenytans stigning) över en viss tid. Under 1991 ändrades pumparnas funktion. En revidering av mätprogrammet genomfördes 1991-04-15 och flödet i pumpgroparna beräknas från och med 1992-02-03 en gång per kvartal genom manuell mätning av ökning i vattenvolymen per tidsenhet.

Inläckande grundvatten från varje bergsal samlas i en ledning som ansluter till en samlingsledning i bergsalstunneln (BST). Sedan 1992-02-03 görs kvartalsvisa mätningar av inläckaget till bergsal BMA i mätpunkterna 01A och 01B. Sedan 1992-02-03 görs även kvartalsvisa mätningar av inläckaget till inlastningsbyggnaden (IB) samt delar av tunnlar BT och ST i mätpunkterna 05A och 05B. Mätningarna utförs i brunnar som pumpas ur och tiden bestäms för ökning av en viss vattenvolym i brunnen.

Inläckaget till silotoppen mäts i punkterna 06 och 07 med vattenmätare på tryckledningarna från pumpgroparna på silons bentonitbädd. Dränage från siloväggar och silobotten leds ut i silodränagetunneln (SDT) i 20 slangar, där vattenflödet mäts en gång per kvartal. Flödet mäts med mätkärl under tidtagning. Vid svagare dropp anges antalet droppar per minut.

*Fuktdokumentation av alla bergytor och dräner* har utförts under februari - mars 1988 i samband med överlämning till drift (Vattenfall, 1988) och i april - maj 1993 (Vattenfall Energisystem AB, 1993b).

I drifttunneln finns fem provytor för *utvärdering av dränageborrning*. De borrades i maj och juni 1986 i tunnelns norra vägg där Singözonen korsar tunneln. Förändringar av fuktförhållandena dokumenteras genom regelbunden observation av borrhålen. Borrhålen har besiktigats hösten 1986 och hösten 1987 och resultaten redovisas i slutdokumentation för system 130.

### B.3 GRUNDVATTENKEMISKT PROVTAGNINGS- OCH ANALYSPROGRAM

Det grundvattenkemiska provtagnings- och analysprogrammet beskrivs i Bilaga 2 (P. Wikberg, 1988-11-16) till "Kontrollprogram för driftskedet" (SKB, 1990).

#### B.3.1 Mätprogram

Nuvarande kontrollprogram för vattenanalyser består av följande borrhål och provtagningspunkter (Figur B.1, B.2, B.3 och B.5):

- HK1 P1
- HK7a P1
- HK10 P1
- HK8 P1

Borrhål HK8 har ersatt HK11 som provtagningspunkt i Zon 8, eftersom HK11 tidvis var otillgängligt. Tidigare analyser visar att det är optimalt att ta 2 prover per år. Vid varje provtagningsstillfälle tas 2 surgjorda och 2 obehandlade 250 ml prov samt ett 100 ml obehandlat prov. Ett surgjort och ett obehandlat prov sänds för kemianalys och provet på 100 ml analyseras m.a.p. syre-18. De två återstående proven fryses och sparas. Vid varje provtagningsstillfälle skall 3 liter vatten tappas ut innan provet tas.

#### B.3.2 Analysprogram

De komponenter som analyseras är:

<b>Katjoner</b>	<b>Anjoner</b>	<b>Spårämnen</b>	<b>Övrigt</b>
Natrium	Vätekarbonat	Järn	pH
Kalium	Klorid	Mangan	konduktivitet
Kalcium	Sulfat		
Magnesium	Fluorid		
	Bromid		

Anjoner och katjoner analyseras med jonkromatograf, och spårämnen analyseras med spektrofotometer. Analyserna skall kompletteras med ICP analys. Alla analyser liksom även pH och konduktivitetmätningar görs på laboratorium.

Under 1992 utökades det ordinarie kontrollprogrammet med provtagning och analys av isotoperna syre-18, deuterium och tritium. Provtagningen utfördes i ett utökat antal borrhål och sektioner i förhållande till ordinarie provtagning. Isotopanalysen utfördes i följande borrhål och sektioner; HK1:1-2, HK2:1-4, HK3:1-4, HK4:1-4, HK5:2-4, HK7A:1-3, HK7B:1-2, HK8:1-3, HK10:1, HK13:1-3, KB19:1-2,4, KB25:2-4 samt KB26:1.

**B.4 REFERENSER**

- Carlsson, L., B. Grundfelt and A. Winberg, 1987: "Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR). Evaluation of the groundwater flow situation at SFR". SKB Progress Report SFR 86-07. May 1987.
- Jönsson, S., 1994: "SFR - Registrering av grundvattentryck under 1993". GEOSIGMA AB. GRAP 94010. Mars 1994.
- SKB, 1990: "Slutförvar för radioaktivt driftavfall - SFR. Kontrollprogram för driftskedet". PM SoA 5/88, Rev. 2, 1990-05-10.
- Vattenfall, 1988: "SFR1 Forsmark - Fuktdokumentation av tunnlar och berggrum. mars 1988". Stockholm, 1988-04-28.
- Vattenfall, 1989: "SFR1 - Forsmark. Bergkontroll årsredovisning 1988". PF-Nir/Akn-TE20. Stockholm, 1989-02-15.
- Vattenfall Energisystem AB, 1990: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1989". Bilaga 6. SFR - inläckande vatten 900110. Stockholm, 1990-04-23.
- Vattenfall Energisystem AB, 1991: "SFR1 Forsmark. Program för mätning av inläckande grundvatten i berganläggningen". 1991-04-15. Bilaga 7 i " SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1992". Vattenfall Energisystem AB, Stockholm, mars 1993.
- Vattenfall Energisystem AB, 1992: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1991". Stockholm, april 1992.
- Vattenfall Energisystem AB, 1993a: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1992". Stockholm, mars 1993.
- Vattenfall Energisystem AB, 1993b: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Fukt- och dräninventering 1993". Stockholm, juli 1993.
- Vattenfall Hydropower, 1994: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1993". Stockholm, 1994-04-12.
- Widing E. och A. Bodén, 1995: "Personlig kommunikation".

Tabell B.1 Borrhålskoordinater och orienteringar (SKB, 1990, Bilaga 3).

Borrhål	Deklin.	Inklin.	T	U	Z
HK 1	0	65	3901.7	1644.6	451.2
HK 2	0	90	3353.9	1627.0	414.2
HK 3	0	90	3180.6	1664.4	417.5
HK 4	216.9	75	3111.7	1655.4	422.5
HK 5	140	70	3112.3	1655.3	422.6
HK 7a	150.3	2	3025.4	1680.3	367.6
HK 7b	141.0	85	3025.3	1677.0	366.5
HK 8	186.0	5	3023.9	1745.7	413.9
HK 13	0	90	3106.4	1604.6	375.4
Kb 19	167.7	-15.3	3179.0	1662.0	419.2
Kb 25	109.4	11.4	3092.5	1618.6	374.4
Kb 26	217.5	-26	3023.4	1744.1	415.5

T-, U- koordinaterna utgör ett lokalt koordinatsystem som transformeras från RAK-system 0<sup>938</sup> enligt

$$T = 16130.736 - 0.608114 (X - 6690000) - 0.793850 Y$$

$$U = -361.171 + 0.793850 (X - 6690000) - 0.608114 Y$$

Z: höjdkoordinat med referensnivån +500 m vid Östersjöns medelvattennivå.

Tabell B.2 Data för borrhål HK1, HK2 och HK3 avsedda för mätning av grundvattentryck (SKB, 1990, Bilaga 3).

Borrhål HK 1

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
10-11	442.1-441.2	X	
11-43.5	441.2-411.8		P2
43.5-44.5	411.8-410.9	X	
44.5-65	410.9-392.3		P1

Borrhål HK 2

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
1-2	413.2-412.2	X	
2-42	412.2-372.2		
42-43	372.2-371.2	X	
43-80	371.2-334.2		P4
80-81	334.2-333.2	X	
81-118	333.2-296.2		P3
118-119	296.2-295.2	X	
119-136	295.2-278.2		P2
136-137	278.2-277.2	X	
137-170.3	277.2-243.9		P1

Borrhål HK 3

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
4-5	413.5-412.5	X	
5-44	412.5-373.5		P4
44-45	373.5-372.5	X	
45-56	372.5-361.5		P3
56-57	361.5-360.5	X	
57-80	360.5-337.5		P2
80-81	337.5-336.5	X	
81-106	336.5-311.5		P1

Tabell B.3 Data för borrhål HK4, HK5 och HK7a avsedda för mätning av grundvattentryck (SKB, 1990, Bilaga 3).

Borrhål HK 4

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
4-5	418.6-417.7	X	
5-27	417.7-396.4		P4
27-28	396.4-395.5	X	
28-43	395.5-381.0		P3
43-44	381.0-380.0	X	
44-83	380.0-342.3		P2
83-84	342.3-341.4	X	
84-101	341.4-324.9		P1

Borrhål HK 5

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
3-4	419.8-418.9	X	
4-11	418.9-412.3		Blind
11-12	412.3-411.3	X	
12-56	411.3-370.0		P4
56-57	370.0-369.1	X	
57-79	369.1-348.4		P3
79-80	348.4-347.4	X	
80-96	347.4-332.4		P2
96-97	332.4-331.5	X	
97-131	331.5-299.5		P1

Borrhål HK 7a

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
1-2	367.6-367.6	X	
2-19	367.6-367.0		P3
19-20	367.0-366.9	X	
20-47	366.9-366.0		P2
47-48	366.0-366.0	X	
48-74.7	366.0-365.0		P1



Tabell B.4 Data för borrhål HK7b, HK8 och HK13 avsedda för mätning av grundvattentryck (SKB, 1990, Bilaga 3).

Borrhål HK 7b

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
3-4	363.5-362.5	X	
4-7	362.5-359.5		P2
7-8	359.5-358.5	X	
8-21.1	358.5-345.5		P1

Borrhål HK 8

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
5-6	413.4-413.4	X	
6-35	413.4-410.8		P3
35-36	410.8-410.7	X	
36-62	410.7-408.5		P2
62-63	408.5-408.4	X	
63-104	408.4-404.8		P1

Borrhål HK 13

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
3-4	372.4-371.4	X	
4-33	371.4-342.4		P3
33-34	342.4-341.4	X	
34-53	341.4-322.4		P2
53-54	322.4-321.4	X	
54-76.6	321.4-298.8		P1

Tabell B.5 Data för borrhål Kb19, Kb25 och Kb26 avsedda för mätning av grundvattentryck (SKB, 1990, Bilaga 3).

Borrhål Kb 19

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
2-3	419.7-419.9	X	
3-50	419.9-430.5		Blind
50-51	430.5-430.7	X	
51-65	430.7-433.9		P4
65-66	433.9-434.1	X	
66-76	434.1-436.4		P3
76-77	436.4-436.6	X	
77-94	436.6-440.4		P2
94-95	440.4-440.6	X	
95-110	440.6-444.0		P1

Borrhål Kb 25

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
5-6	373.2-373.4	X	
6-7	373.0-373.2		Blind
7-8	372.8-373.0	X	
8-21	370.2-372.8		P4
21-22	370.0-370.2	X	
22-39	366.7-370.0		P3
39-40	366.5-366.7	X	
40-48	364.9-366.5		P2
48-49	364.7-364.9	X	
49-62	362.1-364.7		P1

Borrhål Kb 26

Sektion	Z-koordinat	Manschett	Mätsektion
8-9	419.0-419.5	X	
9-81.7	419.5-451.3		P1

Tabell B.6 Mätsektioner för mätning av inläckande grundvatten samt tillrinningsområden (Vattenfall Energisystem AB, 1991, sid. 4).

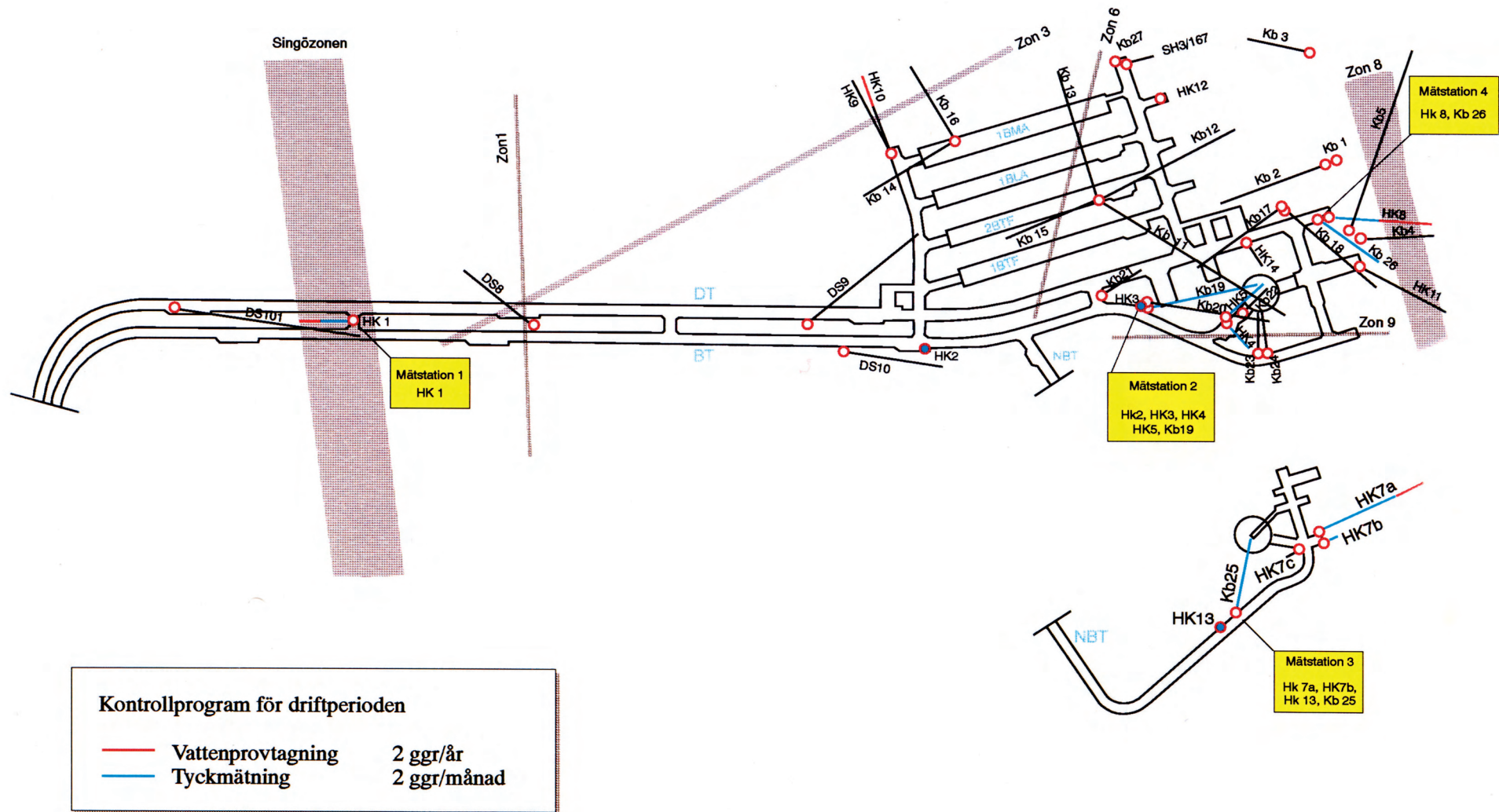
<u>Mätsektion</u>	<u>Placering</u>	<u>Tillrinningsområde</u>
01a	Brunn i anslutningstunnel till BMA	BMA
01b	Provtagningsbrunn i BMA	BMA, förvaringsfacken
05a	Bassäng i silotunnel utanför inlastningsbyggnad	IB + del av ST och BT
05b	Provtagningsbrunn i IB	IB, inlastningszonen
06	Silo 1, pumpgrop på bentonitbädd	Halva silokupolen mot IB
07	Silo 1, pumpgrop på bentonitbädd	Halva silokupolen mot STT
08	Thompsonöverfall i NBT	BT, DT, TT, 2VB, STT
11-18	Slangar i SDT	Vardera ca 1/8 av siloväggen
19-30	Slangar i SDT	Silobotten
31	Pumpgrop i UB	Mätsektion 01-04 samt BST, CT, DB, UB, 3VB, EB, del av ST
32	Pumpgrop i NDB	Mätsektion 05-08 samt NBT, SBT, SDT och NDB
02-04, 09-10	Reservation för eventuellt tillkommande mätsektioner	

Tabell B.7 Mätmetod och mätfrekvens för mätsektioner för mätning av inläckande grundvatten (modifiering av Vattenfall Energisystem AB, 1991, sid. 7).

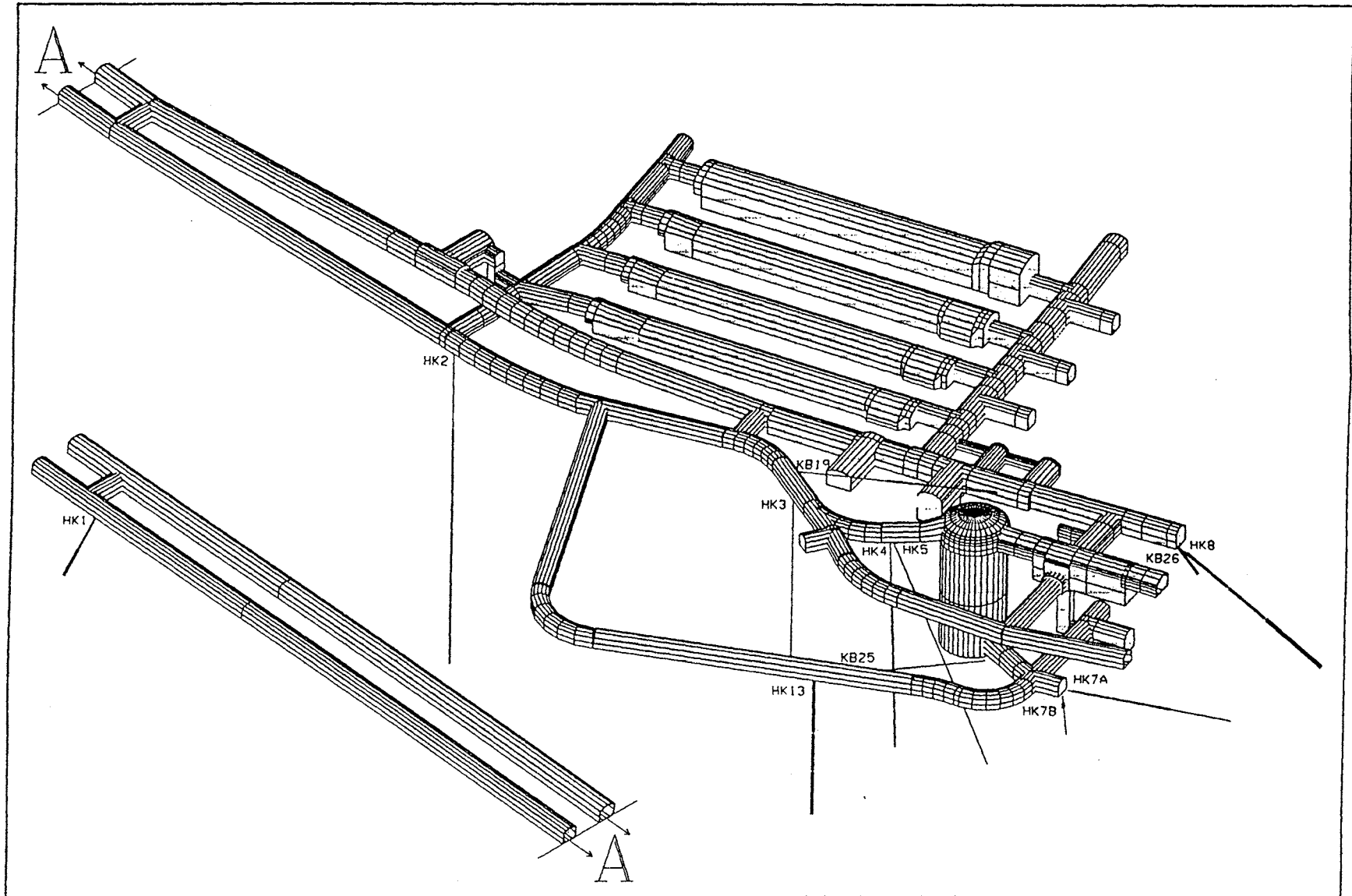
Mätsektion	Plats	Mätmetod	Period	Mätfrekvens	Ref.
01A 01B	BMA BMA	Nivåmätning i brunn Nivåmätning i prov- tagningsbrunn	920203 - 920526 -	Kvartal Kvartal	5, 6 5, 6
05A 05B	IB IB	Nivåmätning i brunn Nivåmätning i prov- tagningsbrunn	920203 - 920526 -	Kvartal Kvartal	5, 6 5, 6
06-07	Silo	Vattenmätare	920526 -	Kvartal	5, 6
08	NBT	Thompsonöverfall Nytt överfall Ny mätlinjal	880329, 900110 920203 - 940510 940905 -	År Kvartal	2, 4 5, 6
V11-18 G19-30	SDT SDT	Mätkärl Mätkärl	920203 - 920203 -	Kvartal Kvartal	5, 6 5, 6
31B	UB	Pumpens gångtid Nivåmätning i pump- grop	880114 - 881229 880427, 900110 920203 -	Månad År Kvartal	3 1, 4 5, 6
32B	NDB	Pumpens gångtid Nivåmätning i pump- grop	880114 - 881229 880427, 900110 920203 -	Månad År Kvartal	3 1, 4 5, 6

#### Referenser för basdata:

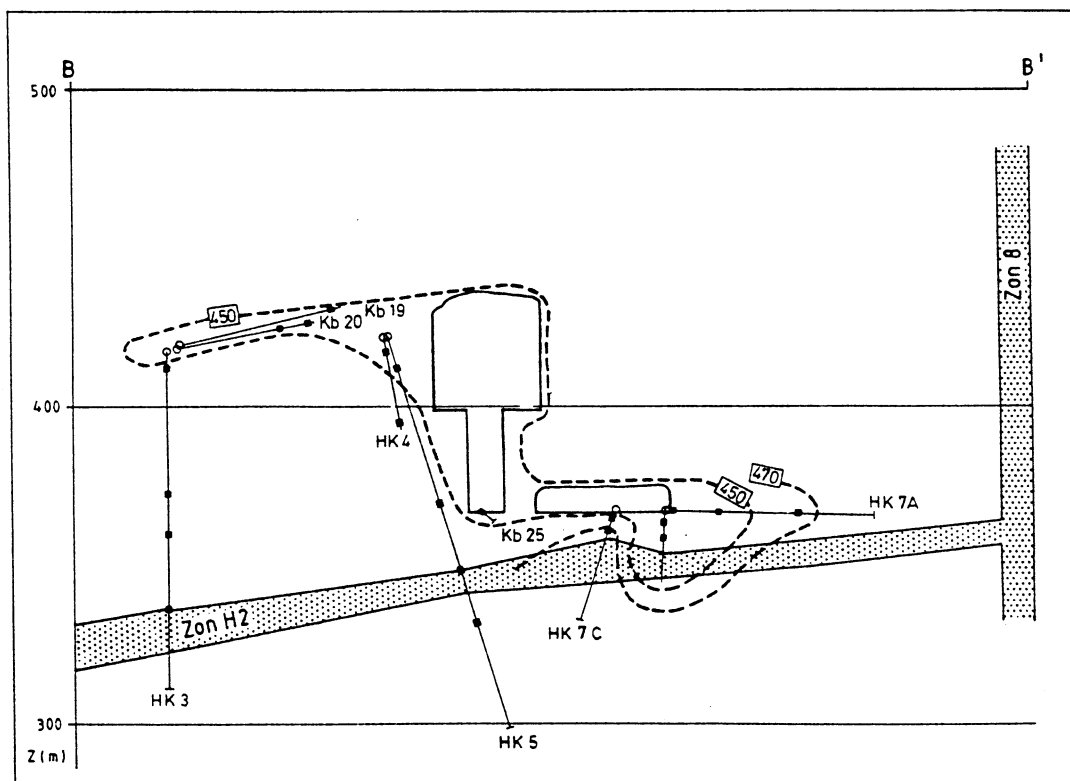
1. Vattenfall, 1988: "SFR1 Forsmark - Fuktdokumentation av tunnlar och bergrum. mars 1988." Bilaga 5. System 764, bergdränage. Mätning av inläckande grundvatten. Stockholm, 1988-04-27.
2. Vattenfall, 1988: "SFR1 Forsmark - Fuktdokumentation av tunnlar och bergrum. mars 1988." Bilaga 6. System 764, bergdränage. Mätning av vattenflöde i Thompsonöverfall. Stockholm, 1988-03-29.
3. Vattenfall, 1989: "SFR1 - Forsmark. Bergkontroll årsredovisning 1988". PF-Nir/Akn-TE20
4. Vattenfall Energisystem AB, 1990: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1989". Bilaga 6. SFR - inläckande vatten 900110. Stockholm, 1990-04-23.
5. Vattenfall Energisystem AB, 1993a: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1992". Stockholm, mars 1993.
6. Vattenfall Hydropower, 1994: "SFR Kontrollprogram - Bergkontroll. Besiktningsgruppens årsrapport 1993". Stockholm, 1994-04-12.



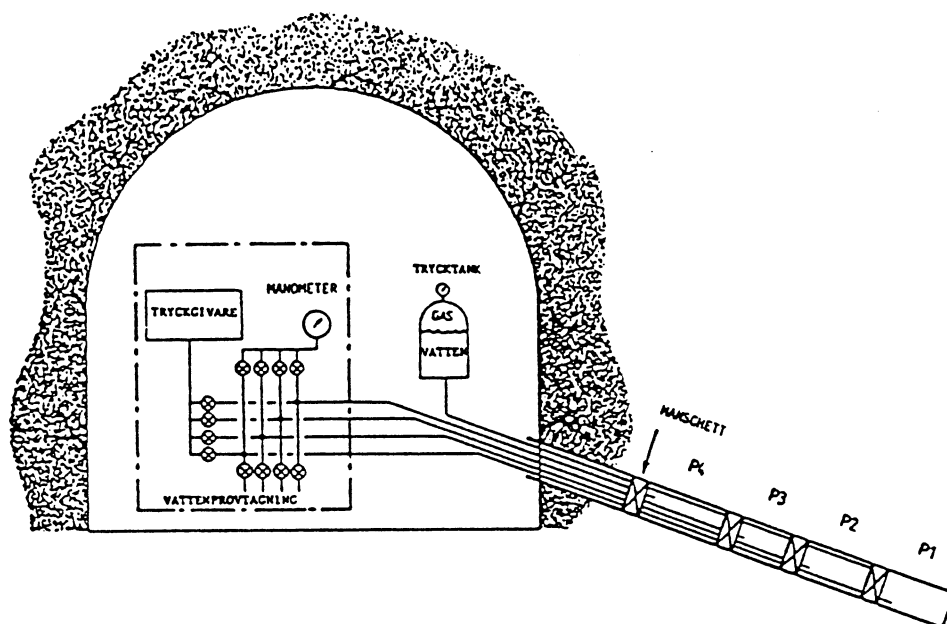
Figur B.1 Borrhål och mätstationer för mätning av grundvattenttryck samt vattenprovtagning i SFR1 (modifierad från Carlsson et al., 1987).



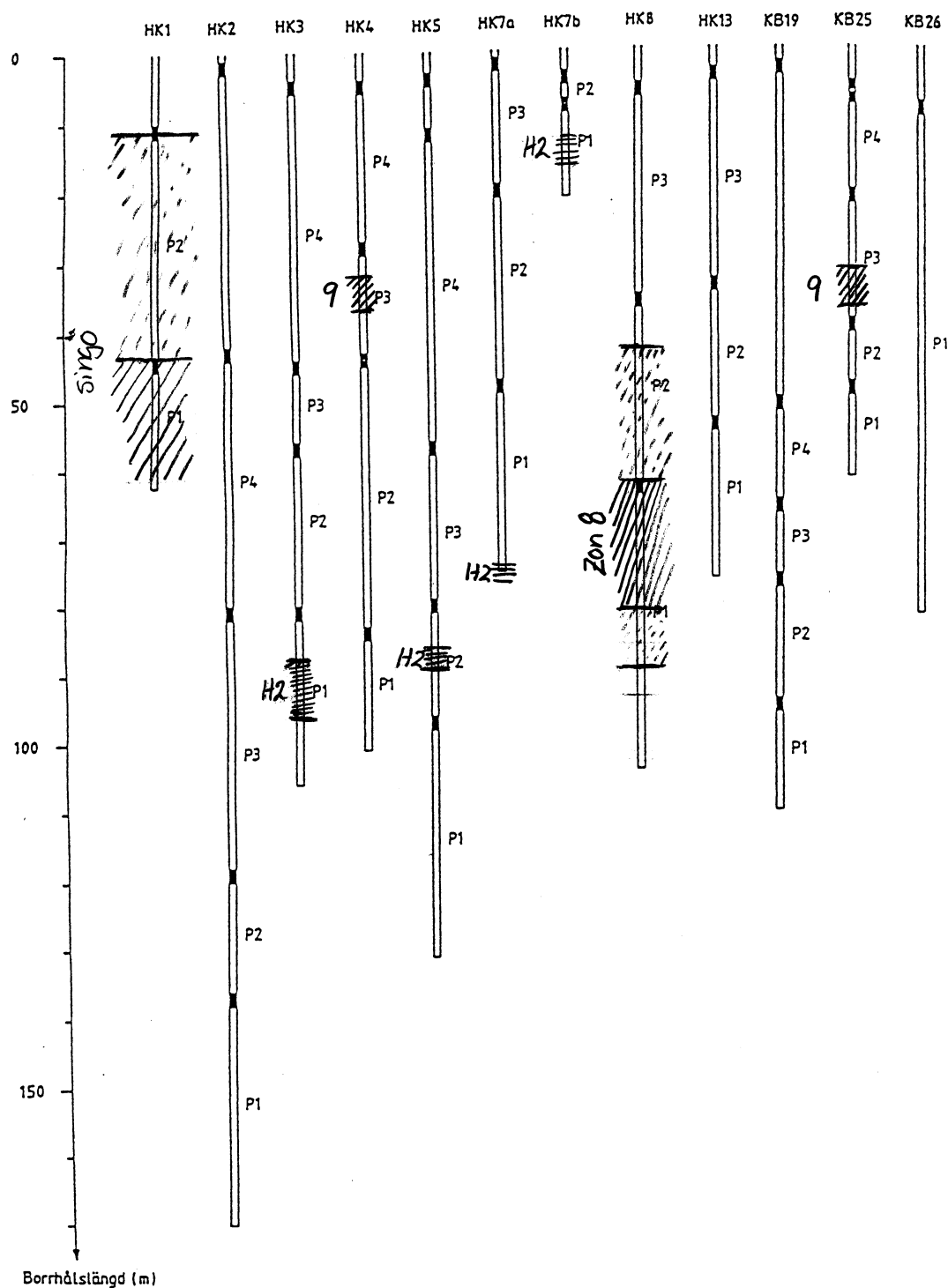
Figur B.2 3-dimensionell bild av SFR1 med borrhål för mätning av grundvattentryck (Jönsson, 1994).



Figur B.3 Borrhål för mätning av grundvattentryck i SFR1 i en NÖ-SV sektion genom silon (Carlsson et al., 1987).

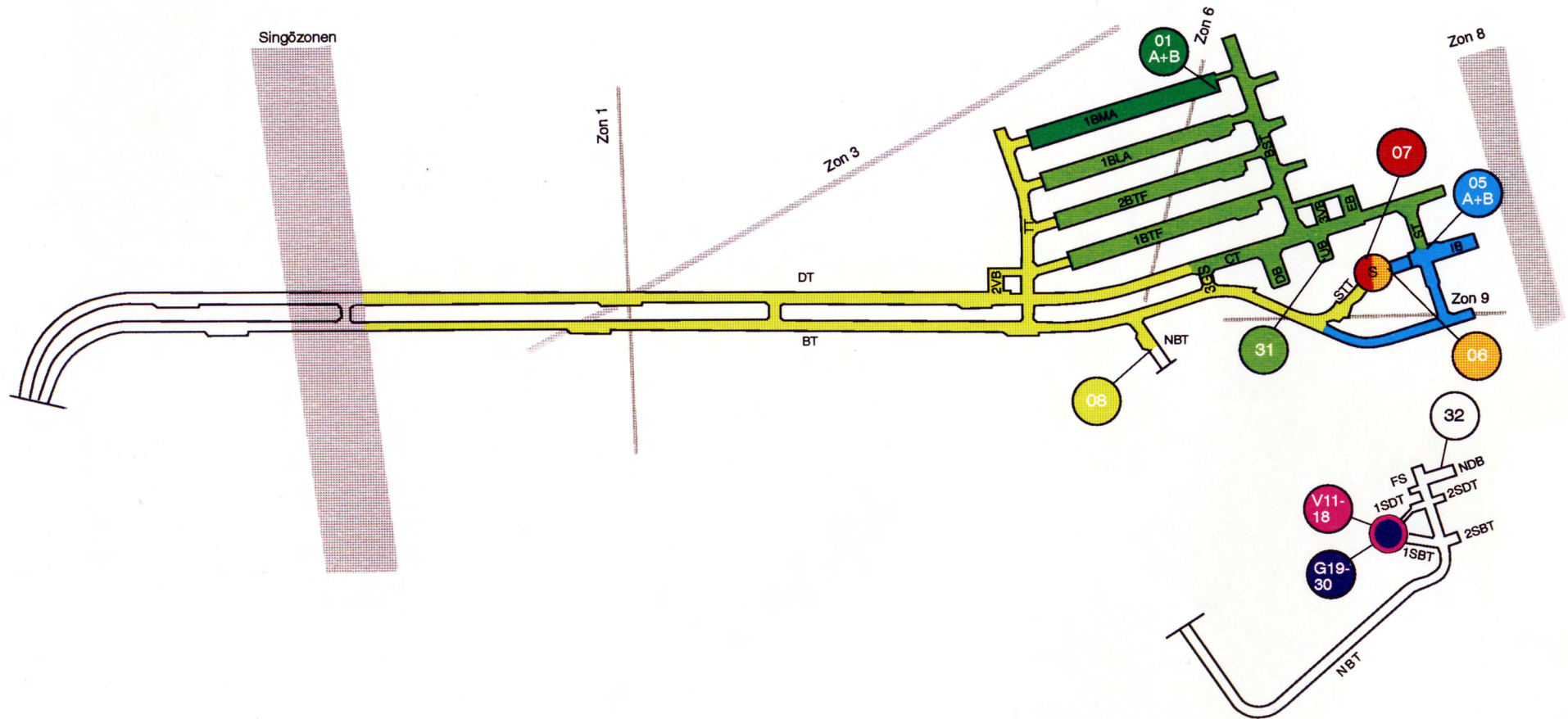


Figur B.4 Schematisk bild av utrustning för mätning av grundvattentryck i SFR1 (SKB, 1990, Bilaga 3).



Figur B.5 Manschettplacering och mätsektioner i borrhålen i SFR1 (modifierad efter SKB, 1990, Bilaga 3).





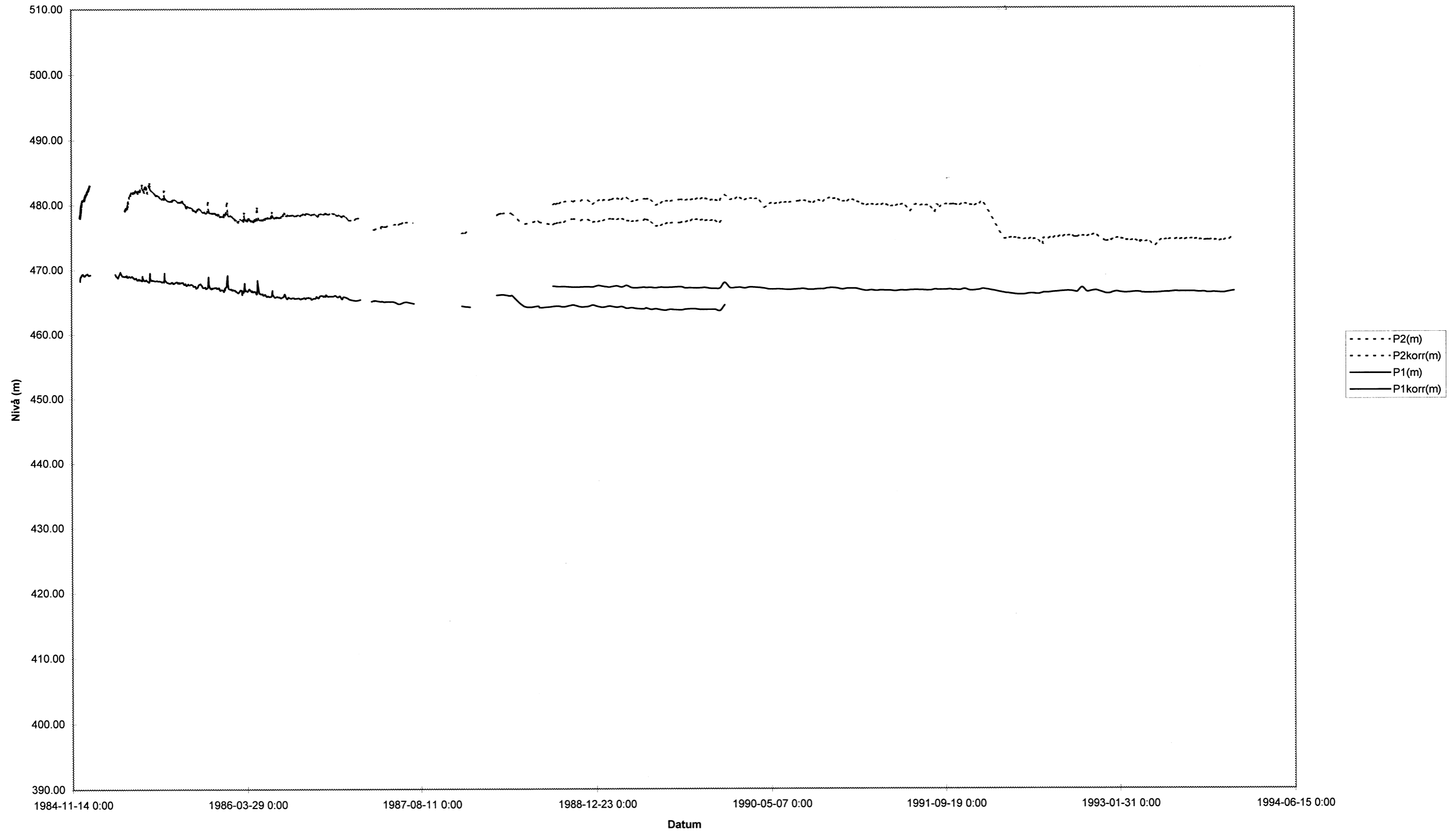
Figur B.6 Mätning av inläckande grundvatten i SFR1 (modifierad efter Vattenfall Energisystem AB, 1991, Bilaga 1).

**SAMMANSTÄLLNING AV GRUNDVATTENTRYCK  
I ALLA BORRHÅL I SFR1**

BORRHÅL	BETECKNING GEOTAB	SEKTION	NIVÅ lokalt system	ZONER	STATUS	MÄTSERIER		Kommentar
						Startdatum	Slutdatum	
KB1			382 - 385 379 - 382	H2 (376-383) H2 (376-383)	Igengjuset	1982	1982	Punktmätning
KB2			349 - 352 343 - 352	H2 (362.5-372.8)	Igengjuset	1982	1982	Punktmätning
KB4			341 - 359	Zon 8(rim+core); c: 384.7-389.8, r:389.8-392.3 Zon H2 (371.1-377.0)	Igengjuset	1982	1982	Punktmätning
KB5			361 - 364 358 - 361 355 - 358 352 - 355 349 - 355	Zon H2 (390.7-403.6) Zon 8 rim (364.7-367.6) Zon 8 core (367.6-374.1) Zon 8 rim (374.1-376.3)	Igengjuset	1982	1982	Punktmätning
HK1	KFR01	P1 P2	392.3 - 410.9 411.8 - 441.2	Singö(core)(393.2-411.8) Singö(rim)(411.8-441.7)	Aktiv	1984-12-08	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK2	KFR02	P1 P2 P3 P4	297.7 - 333.2 334.2 - 371.2 372.2 - 393.2 394.2 - 412.2			1985-02-18	1986-02-18	Okorr.data
HK2	KFR02	P1 P2 P3 P4	243.9 - 277.2 278.2 - 295.2 296.2 - 333.2 334.2 - 371.2		Aktiv	1986-03-24	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-27
HK3	KFR03	P1 P2 P3 P4	311.5 - 336.5 337.5 - 360.5 361.5 - 372.5 373.5 - 412.5	H2(321.5-330.5)	Aktiv	1985-02-13	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK4	KFR04	P1 P2 P3 P4	324.9 - 341.4 342.3 - 380.0 381.0 - 395.5 396.4 - 417.7	Zon 9 (387.7-392.6)	Aktiv	1985-03-12	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK5	KFR05	P1 P2 P3 P4	299.5 - 331.5 332.4 - 347.4 348.4 - 369.1 370.0 - 411.3	H2(339.9-342.7)	Aktiv	1985-07-29	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK7A	KFR7A	P1 P2 P3	365.0 - 366.0 366.0 - 366.9 367.0 - 367.6	H2(365.3)	Aktiv	1985-10-01	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK7B	KFR7B	P1 P2	345.5 - 358.5 359.5 - 362.5	H2(350.6-354.6)	Aktiv	1985-10-02	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK7C	KFR7C	P1 P2	334.6 - 360.9 361.8 - 363.7	H2(345.9-359.0)	Förseglad m. manschett	1985-10-02	1987-08-13	Okorr.data
HK8	KFR08	P1 P2 P3	404.8 - 408.4 408.5 - 410.7 410.8 - 413.4	Zon 8 (rim NE+core)(r 406.1-406.9, c 406.9-408.5) Zon 8 (rim SW)(408.5-410.3)	Aktiv	1986-01-22	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK9	KFR09	P1 P2 P3 P4	415.5 - 417.0 417.1 - 418.7 418.8 - 420.4 420.5 - 421.8	Zon 3 (417.4-417.9)	Förseglad m. manschett	1985-11-22	1987-09-23	Okorr.data
HK10	KFR10	P1 P2 P3 P4	345.0 - 359.9 360.6 - 374.7 375.4 - 385.3 386.0 - 416.5	Zon 3 (345.4-354.6)	Förseglad m. manschett	1985-11-22	1987-09-23	Okorr.data
HK11	KFR11	P1 P2 P3 P4	396.5 - 403.8 404.0 - 406.6 406.7 - 409.2 409.3 - 412.3	Zon 8 (rim NE+core)(r 397.5-398.9, c 398.9-402.2) Zon 8 (rim SW)(402.2-406.2)	Igengjuset	1985-12-21	1987-08-13	Okorr.data
HK12	KFR12	P1 P2 P3	361.3 - 377.6 378.6 - 391.6 392.6 - 408.6	H2(379.6-390.6)	Förseglad m. manschett	1986-03-12	1987-09-23	Okorr.data
HK13	KFR13	P1 P2 P3	298.8 - 321.4 322.4 - 341.4 342.4 - 371.4		Aktiv	1986-03-23	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
HK14	KFR14	P1 P2	392.2 - 398.6 399.3 - 407.8		Igengjuset	1986-07-10	1987-09-23	Okorr.data
KB19	KFR19	P1 P2 P3 P4	440.6 - 444.0 436.6 - 440.4 434.1 - 436.4 430.7 - 433.9		Aktiv	1985-02-13	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
KB20	KFR20	P1 P2 P3 P4	436.3 - 439.8 433.1 - 436.1 427.2 - 429.8 425.5 - 427.0		Förseglad m. manschett	1985-02-13	1987-07-24	Okorr.data
KB23	KFR53	P1 P2 P3	400.0 - 403.1 403.5 - 410.9 411.3 - 415.9	Zon 9 (406.7-409.0)	Förseglad	1985-04-20	1985-05-30	Okorr.data
KB24	KFR54	P1 P2 P3	379.0 - 385.9 386.6 - 396.3 397.0 - 414.8	Zon 9 (388.8-393.2)	Förseglad	1985-04-20	1985-05-30	Okorr. data
KB25	KFR55	P1 P2 P3 P4	362.1 - 364.7 364.9 - 366.5 366.7 - 370.0 370.2 - 372.8	Zon 9 (367.1-368.0)	Aktiv	1985-05-09	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
KB26	KFR56	P1	419.5 - 451.3		Aktiv	1986-01-23	pågår	Okorr.data till 1989-12-27 Korr.data från 1988-08-22
SH3	KFR83	P1	409.9 - 401.3		Igengjuset	1985-12-21	1987-09-23	Okorr.data

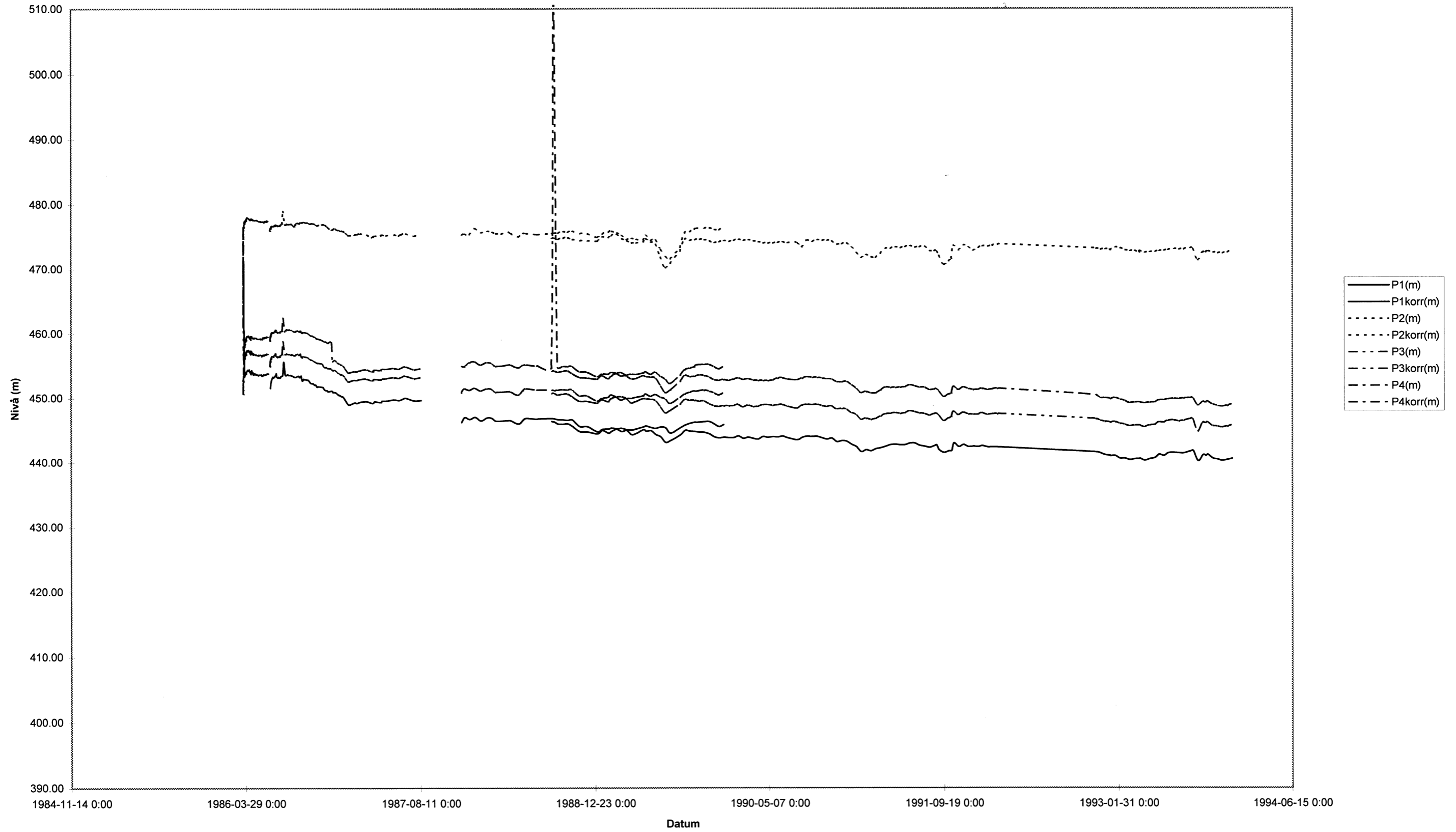
HK1

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK1**



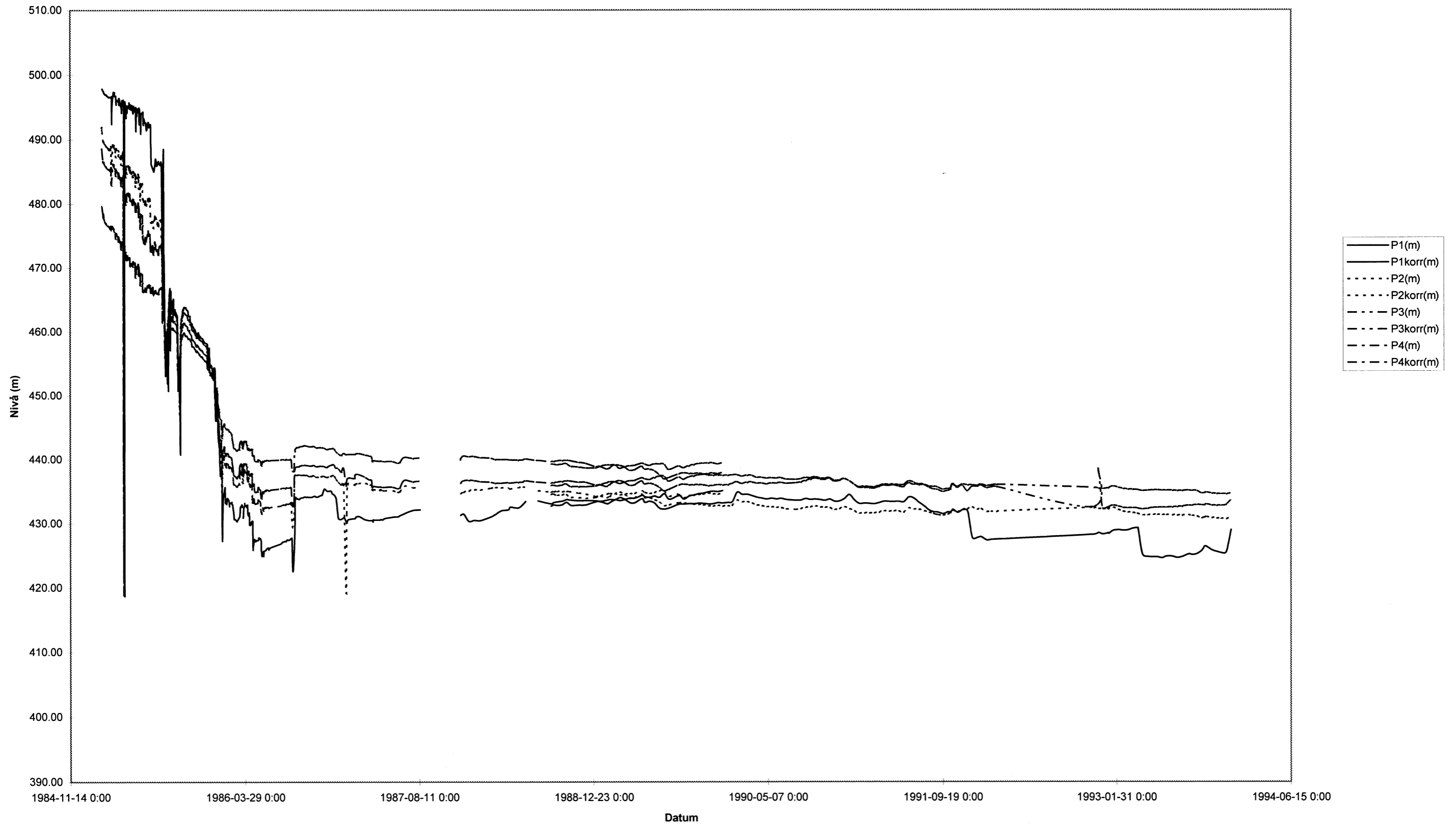
HK2

KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET  
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK2



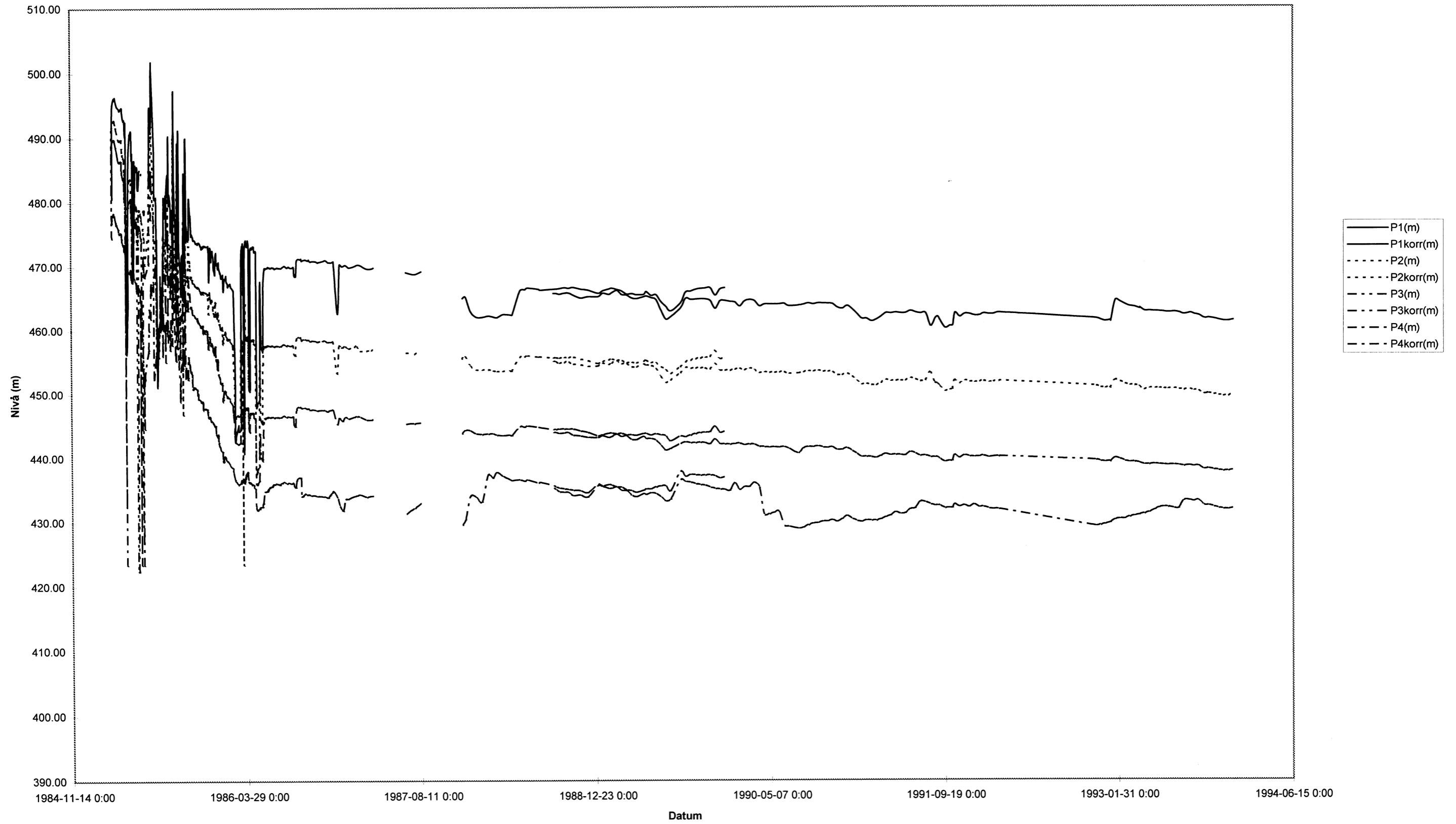
HK3

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK3**



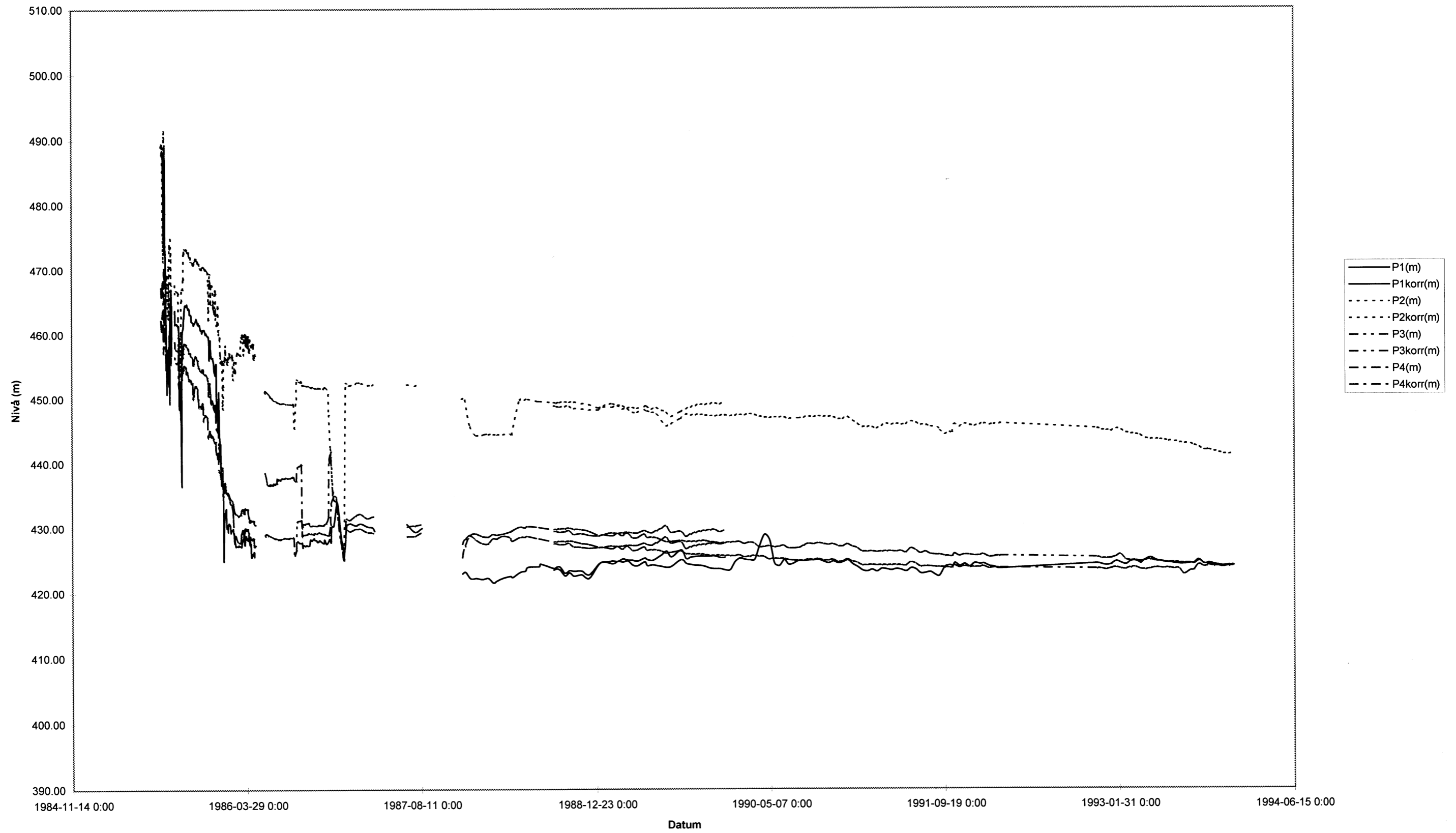
HK4

KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET  
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK4



HK5

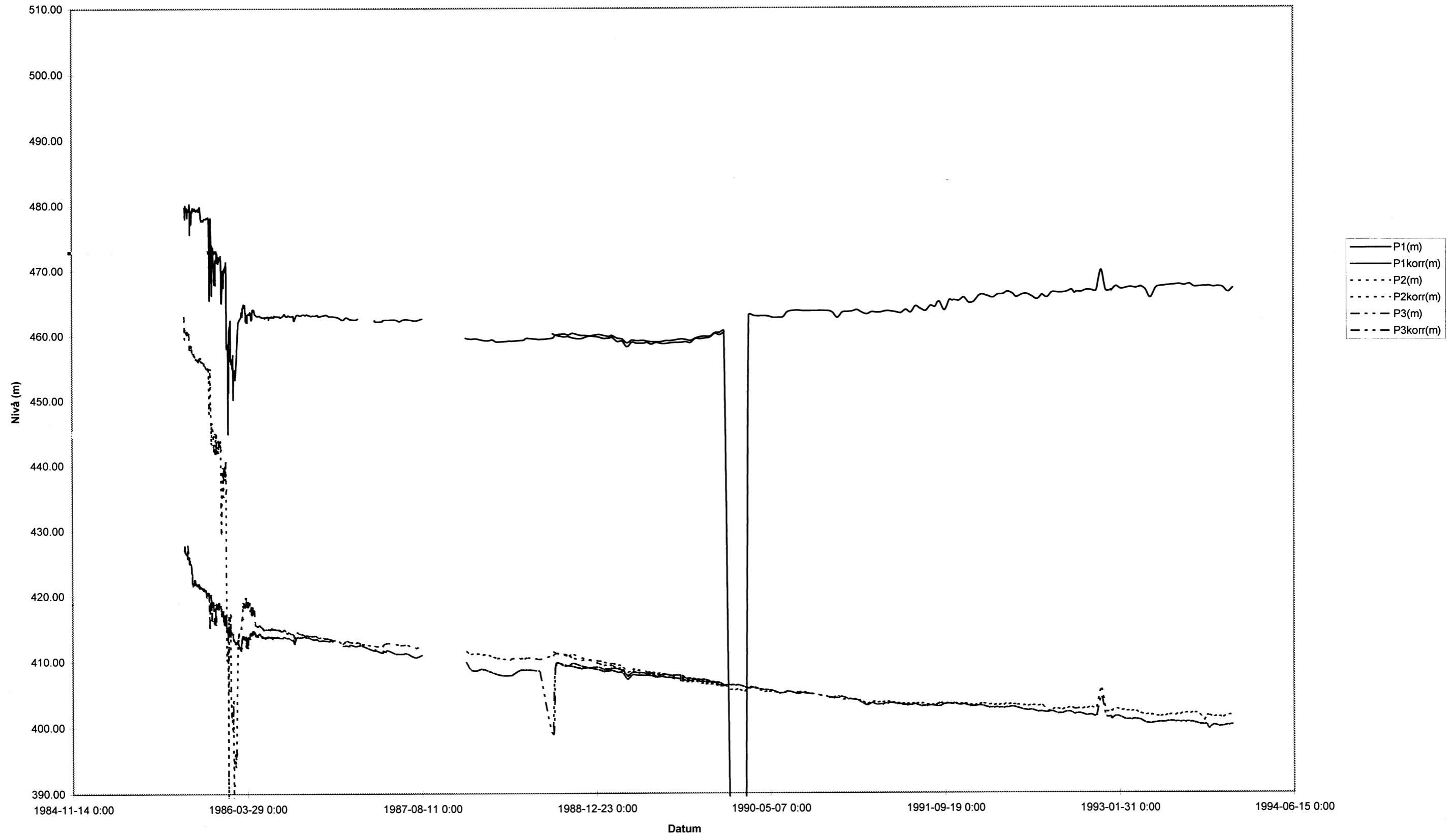
KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET  
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK5





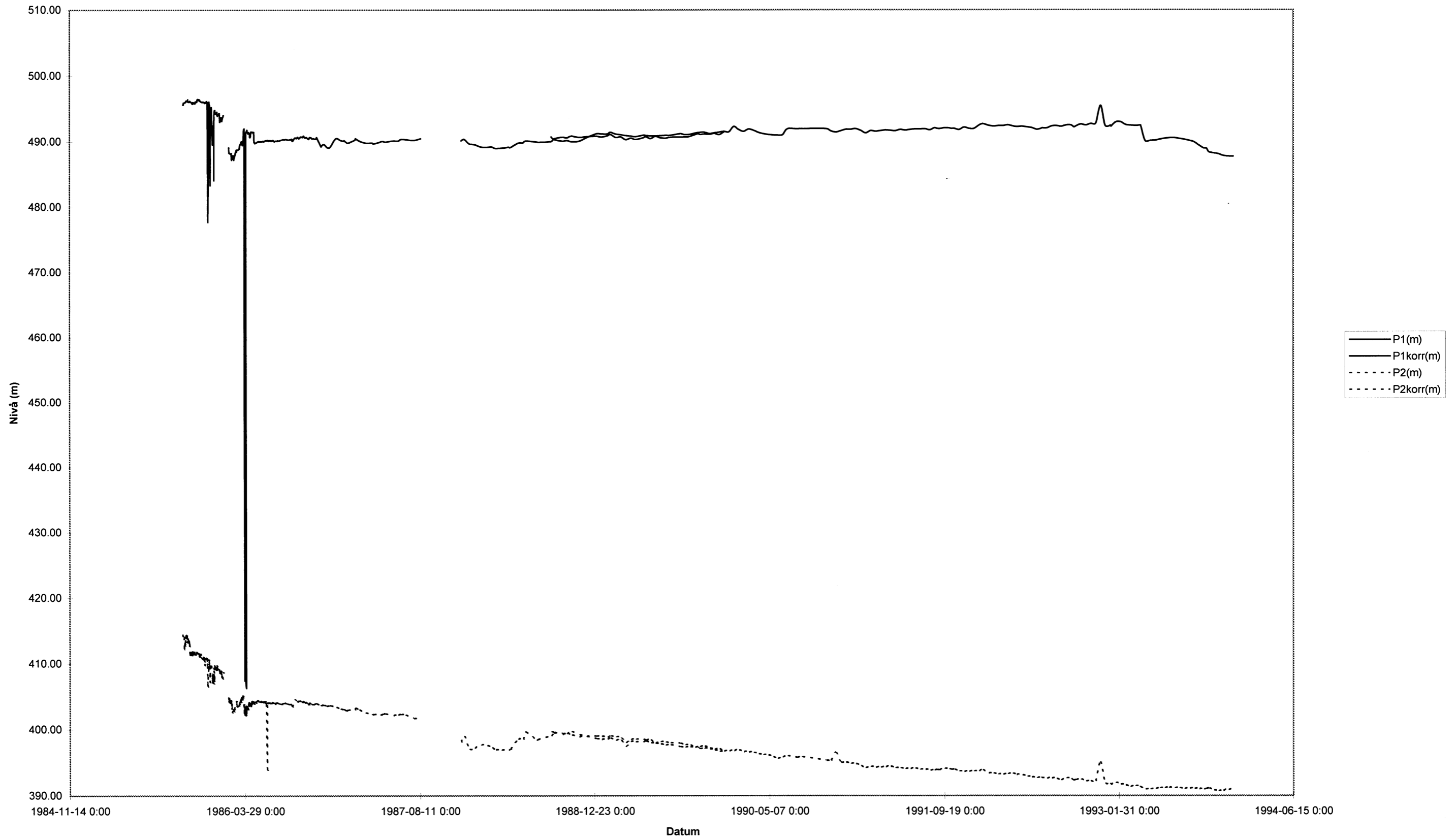
HK7A

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK7a**



HK7B

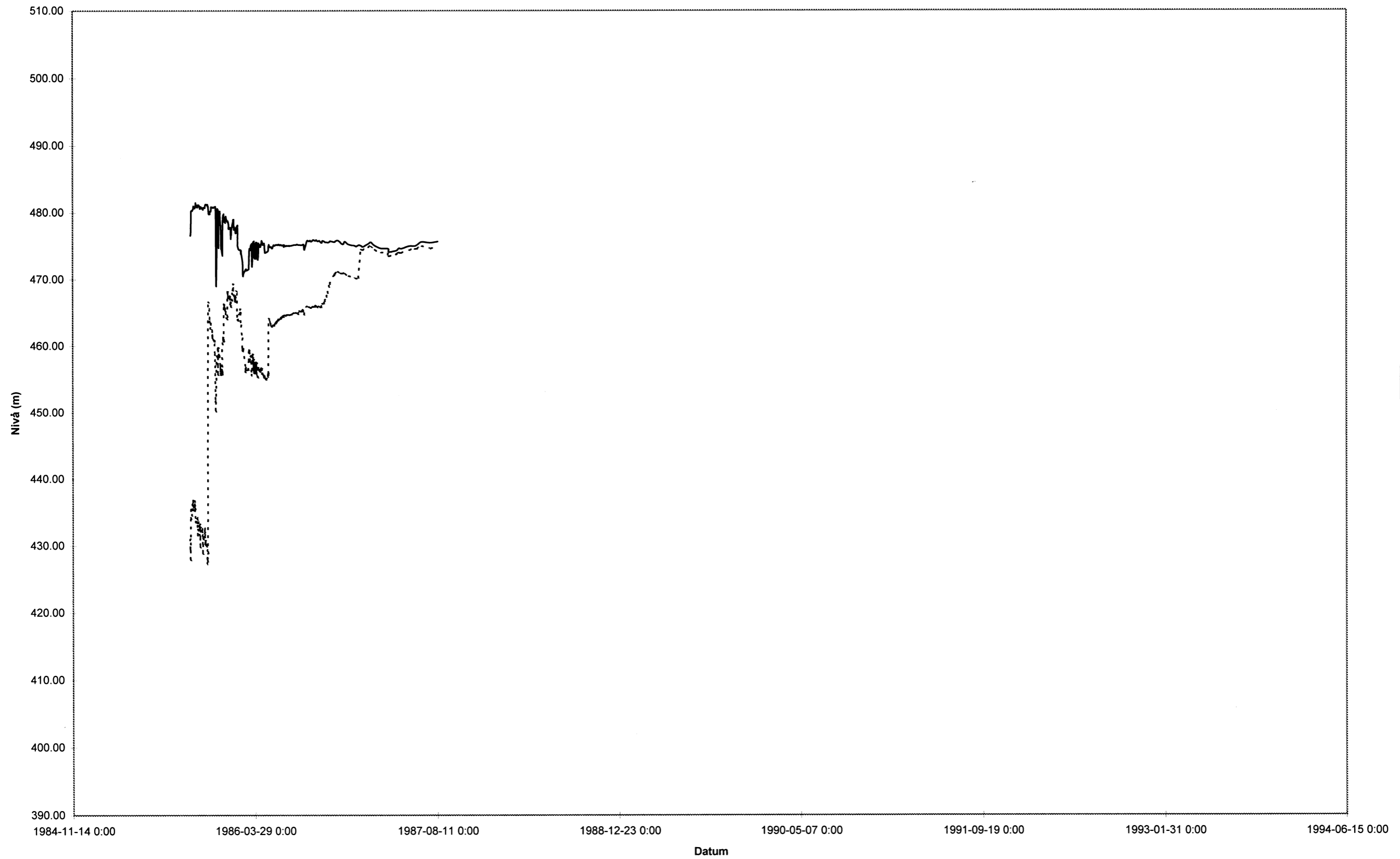
**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK7b**



HK7C

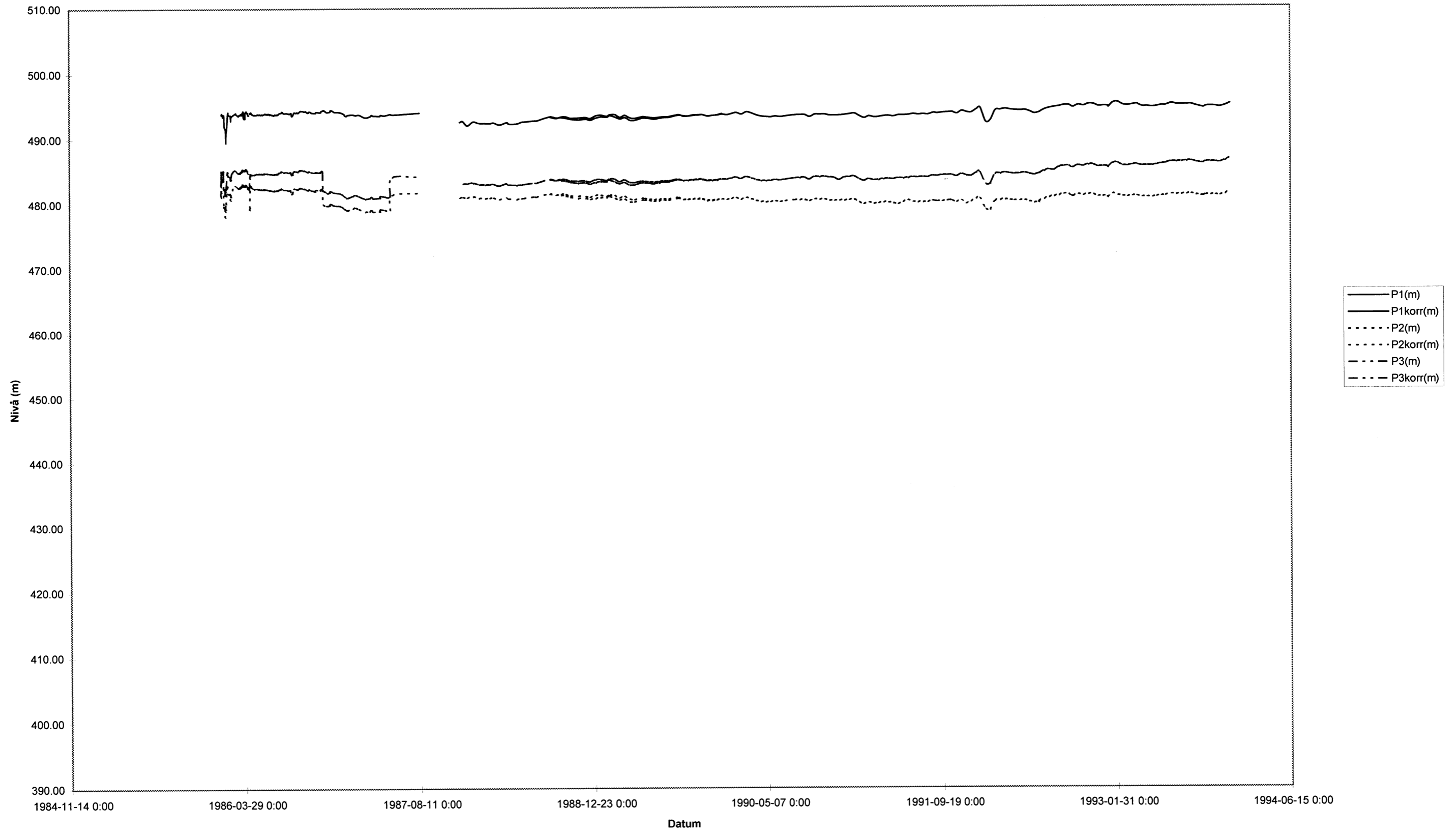
KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK7c



HK8

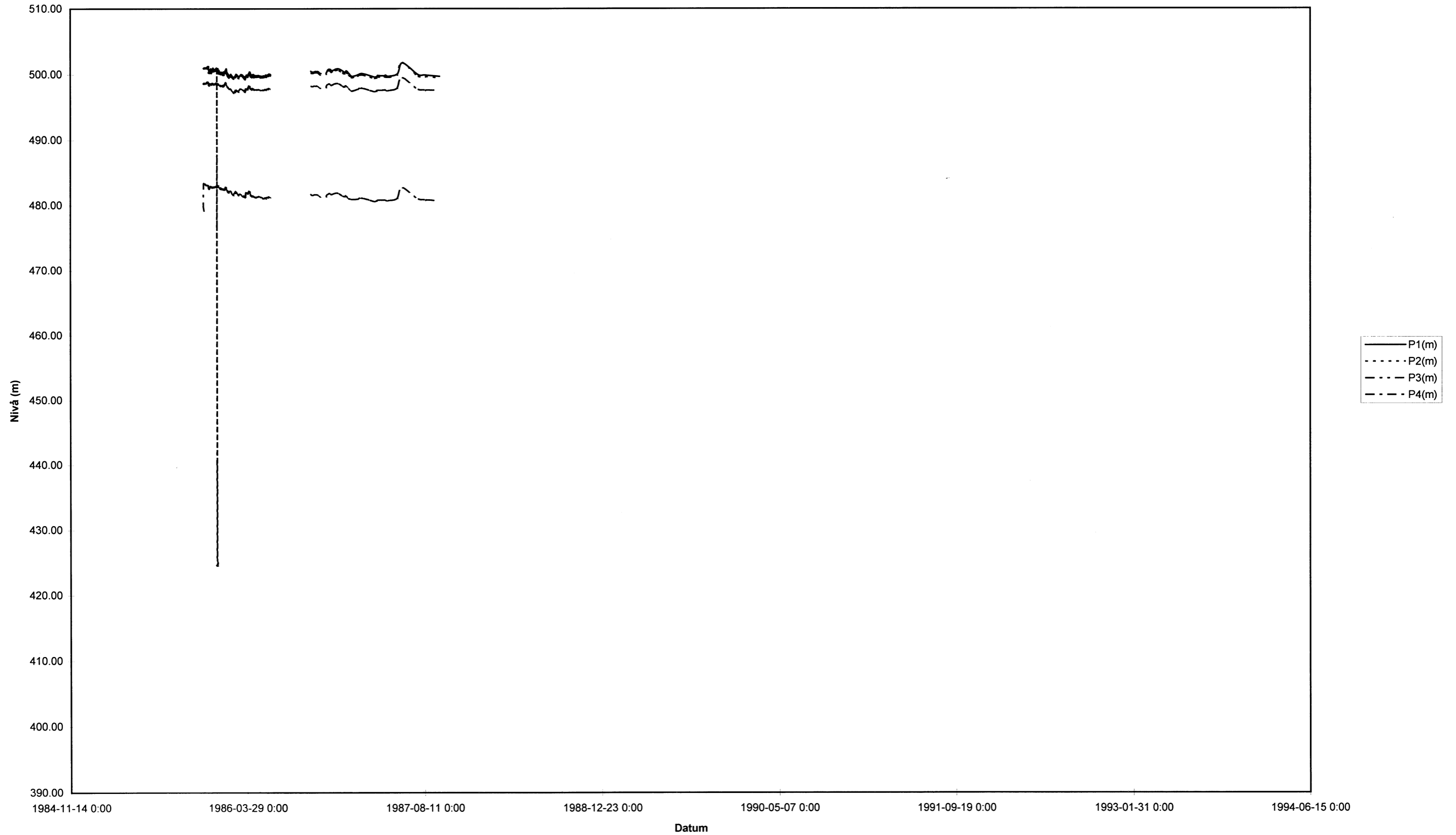
**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK8**



HK9

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

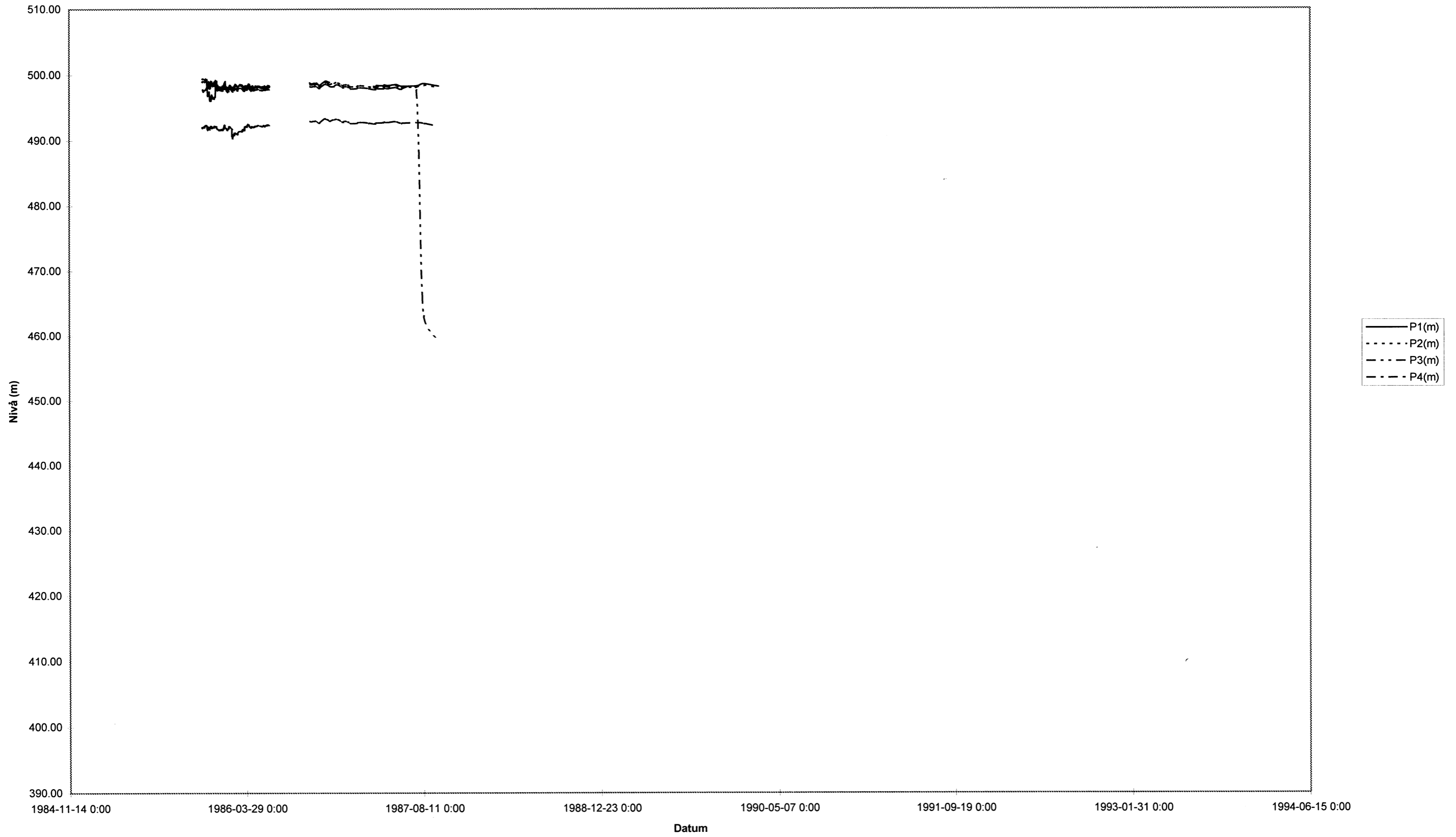
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK9



HK10

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

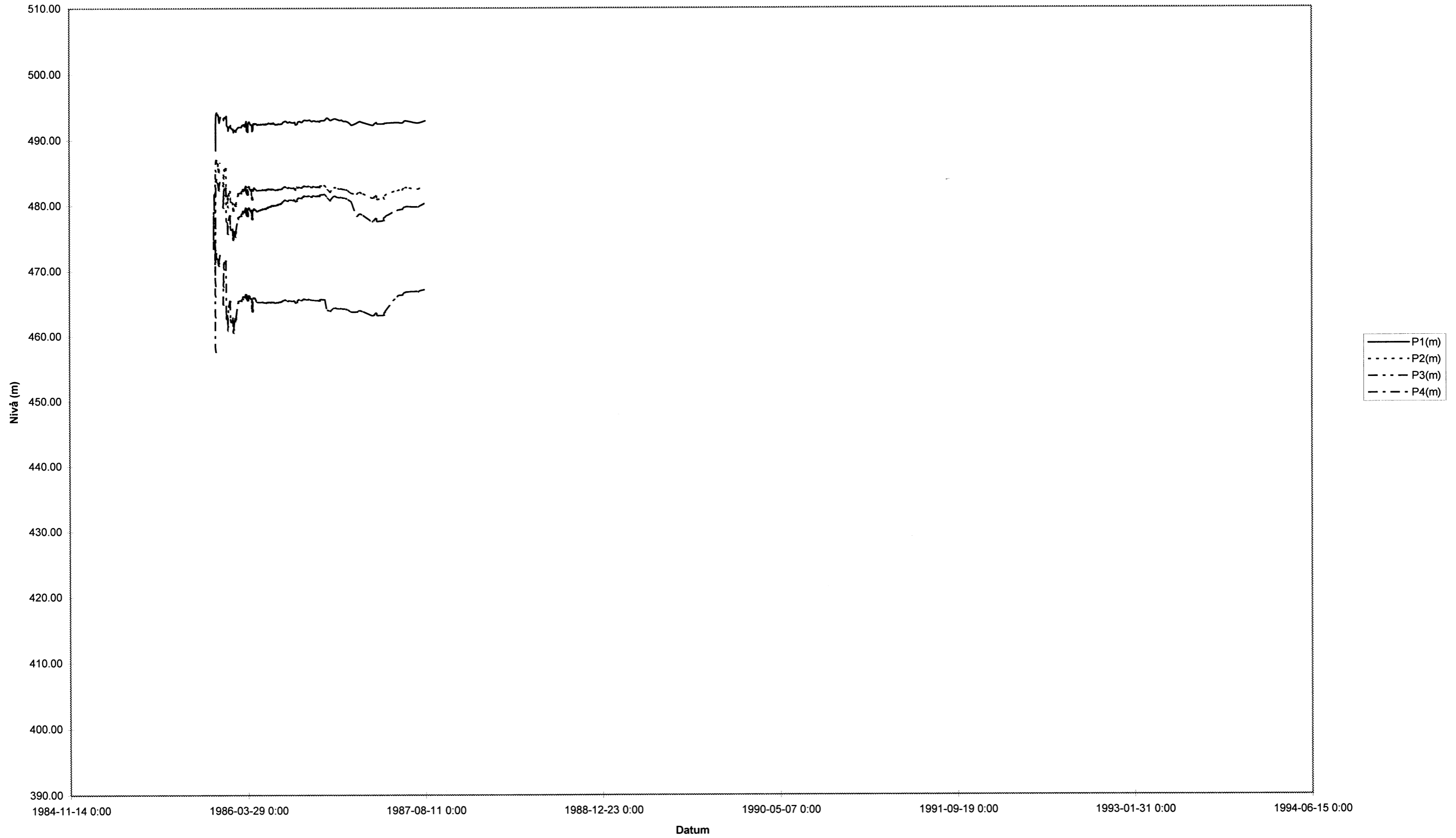
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK10



HK11

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

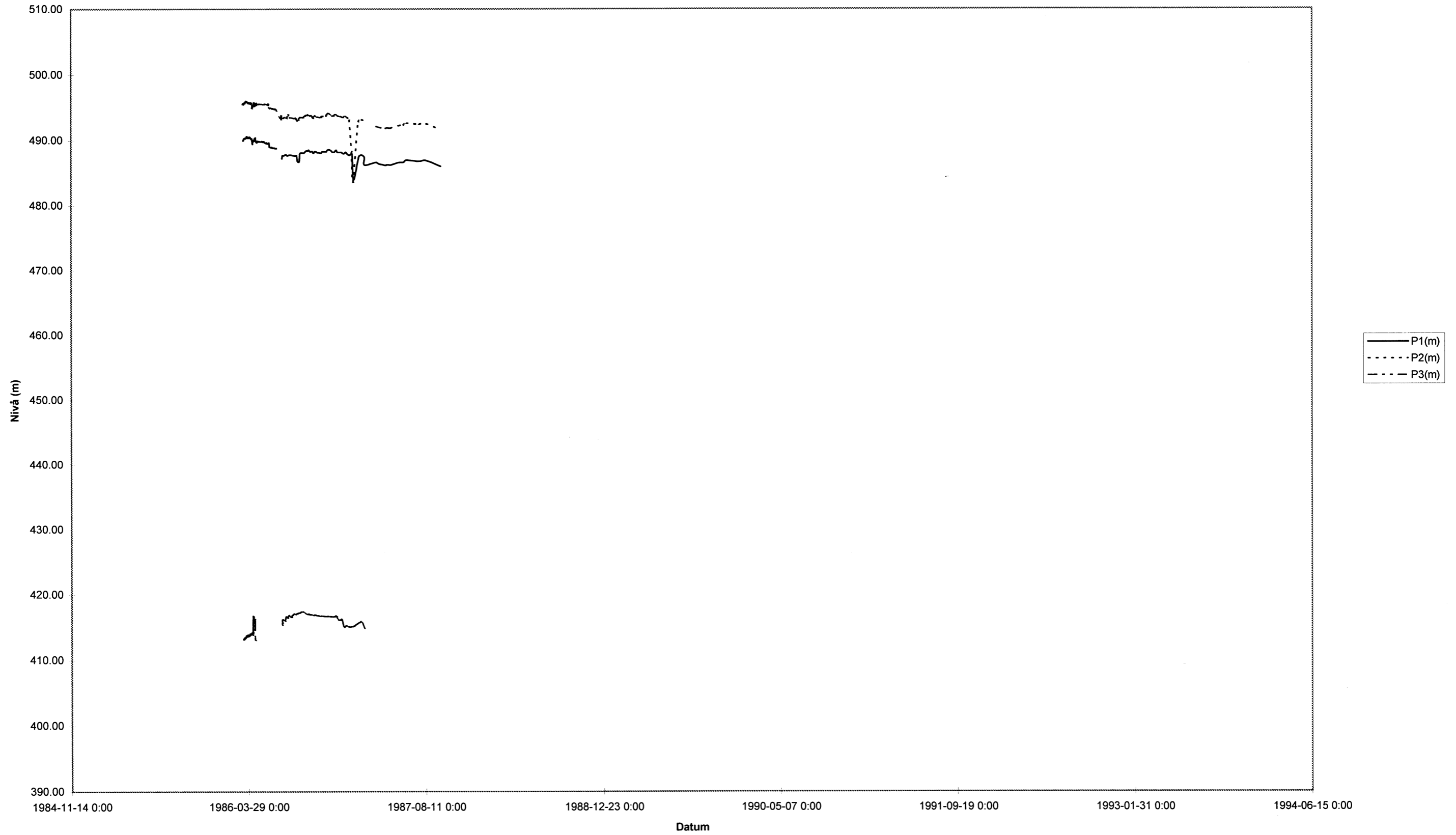
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK11



HK12

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

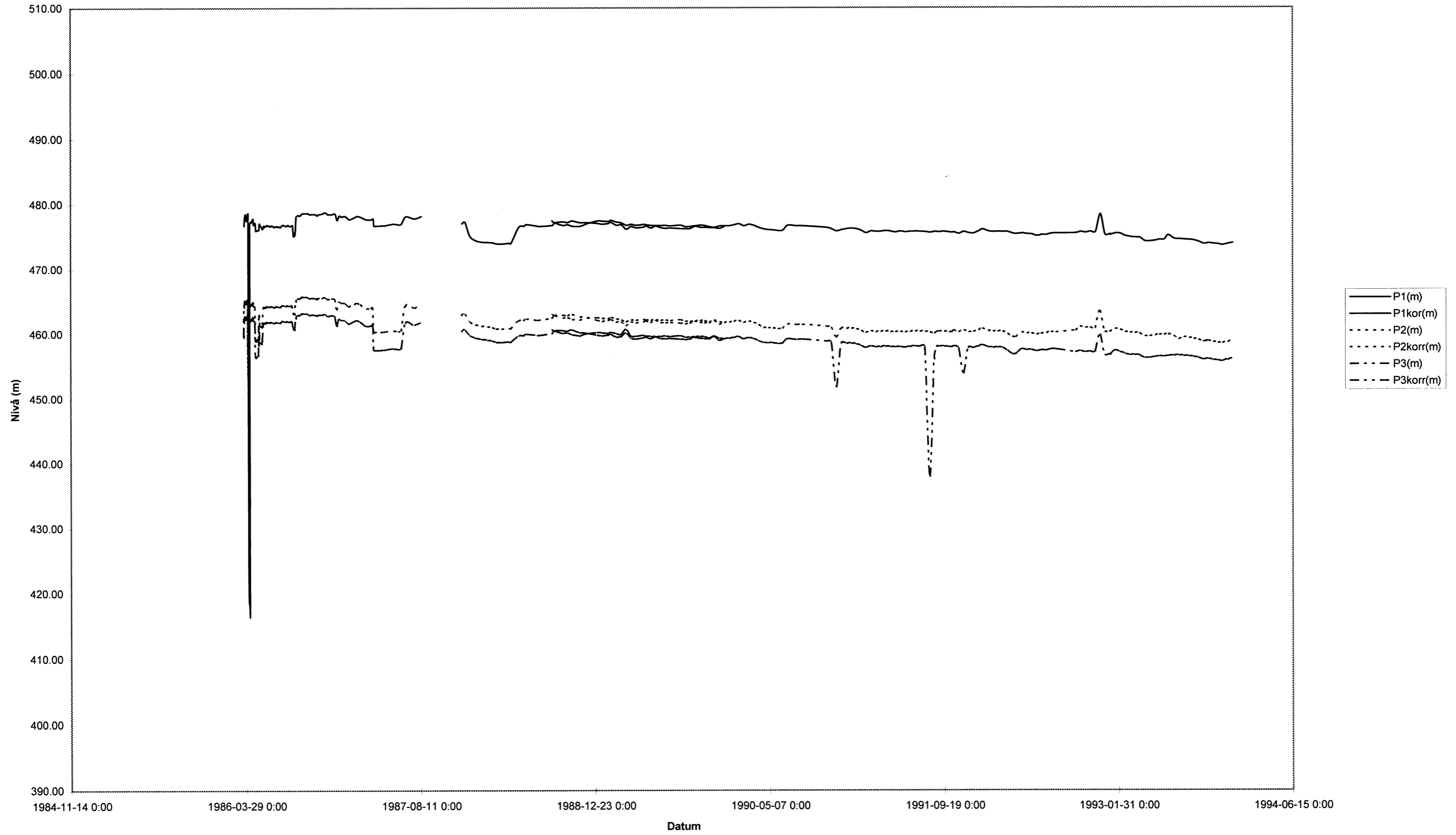
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK12





HK13

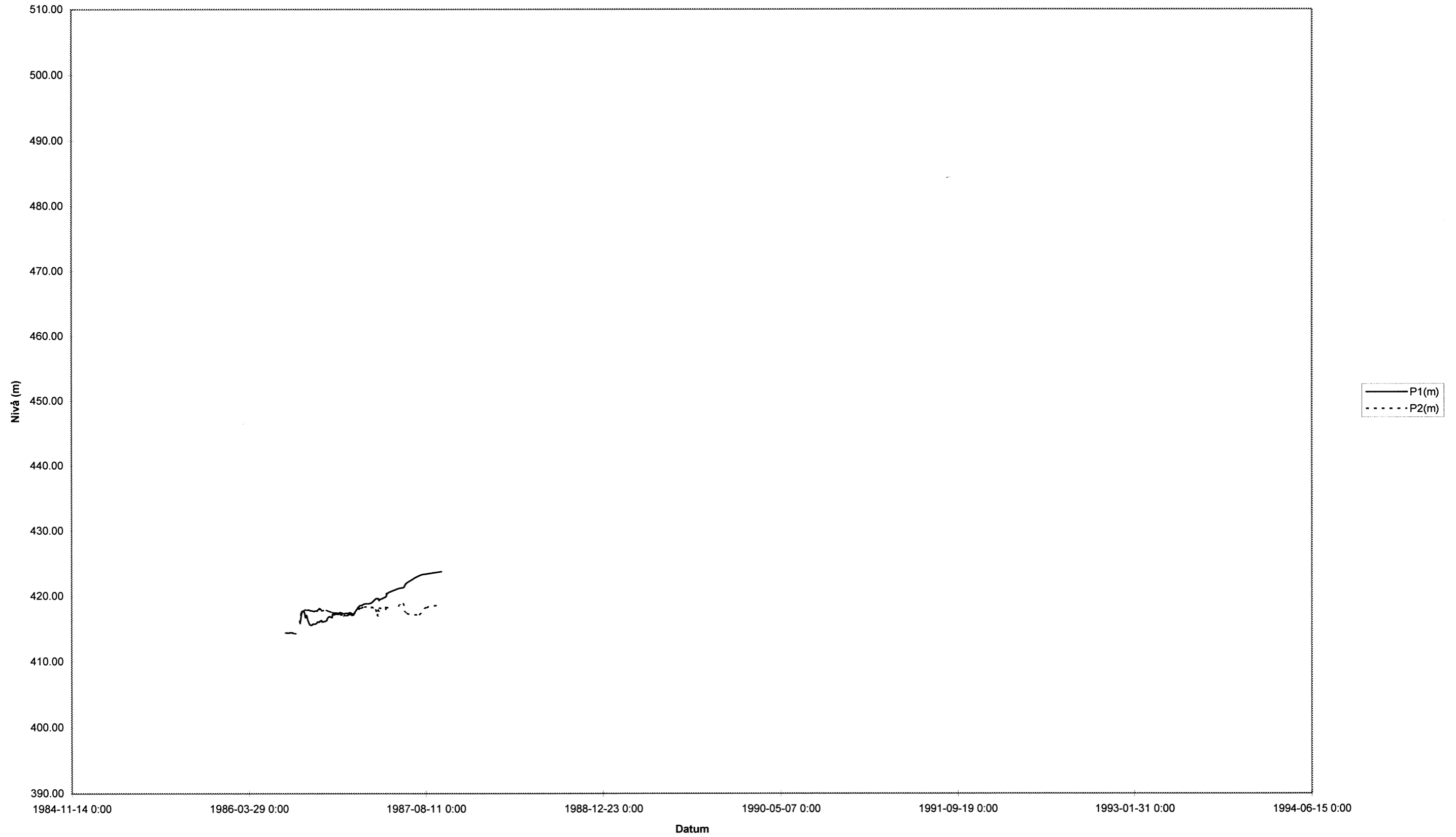
KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET  
GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK13



HK14

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL HK14





KB20

KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL Kb20



KB23

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL Kb23**



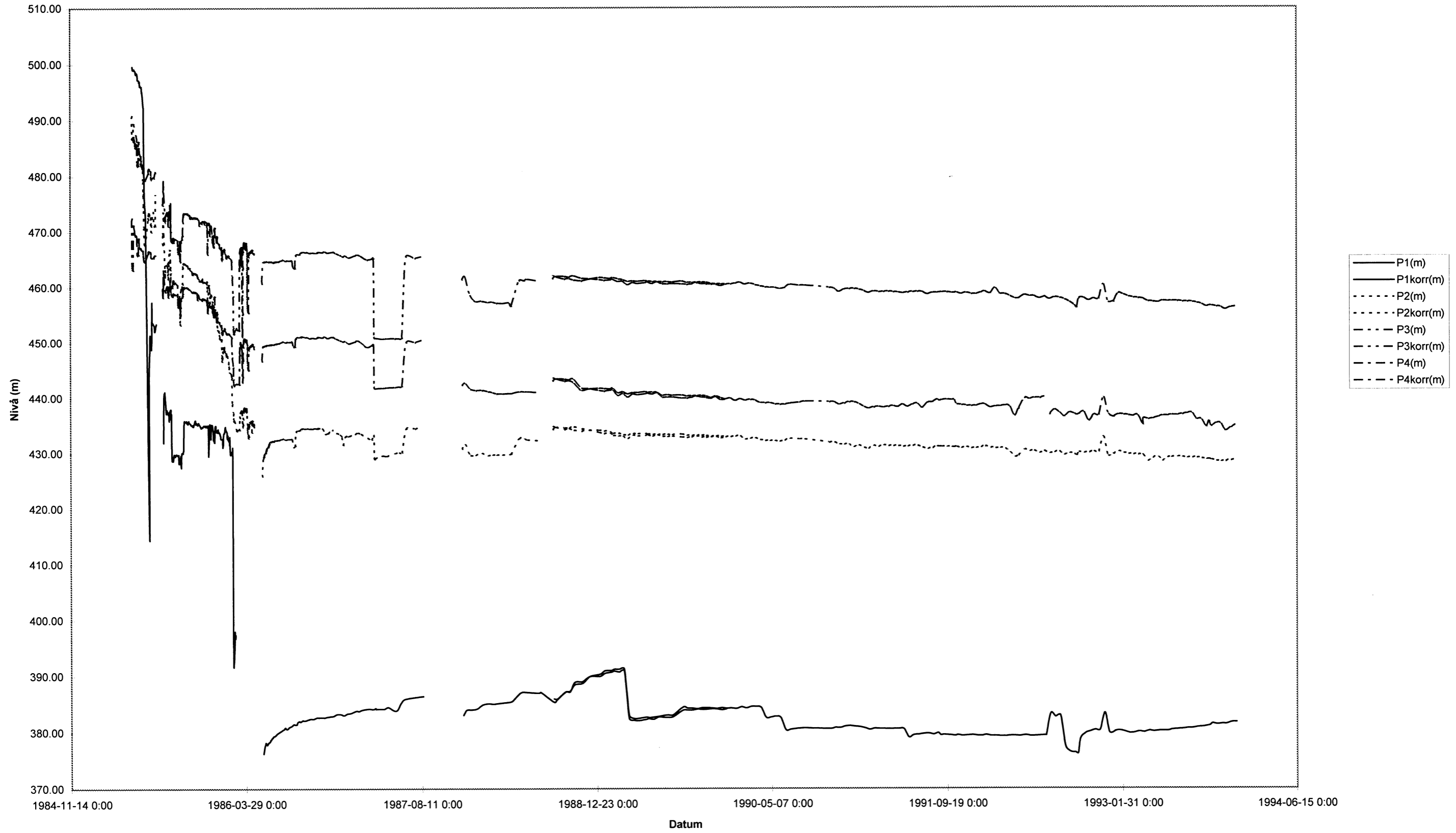
KB24

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL Kb24**



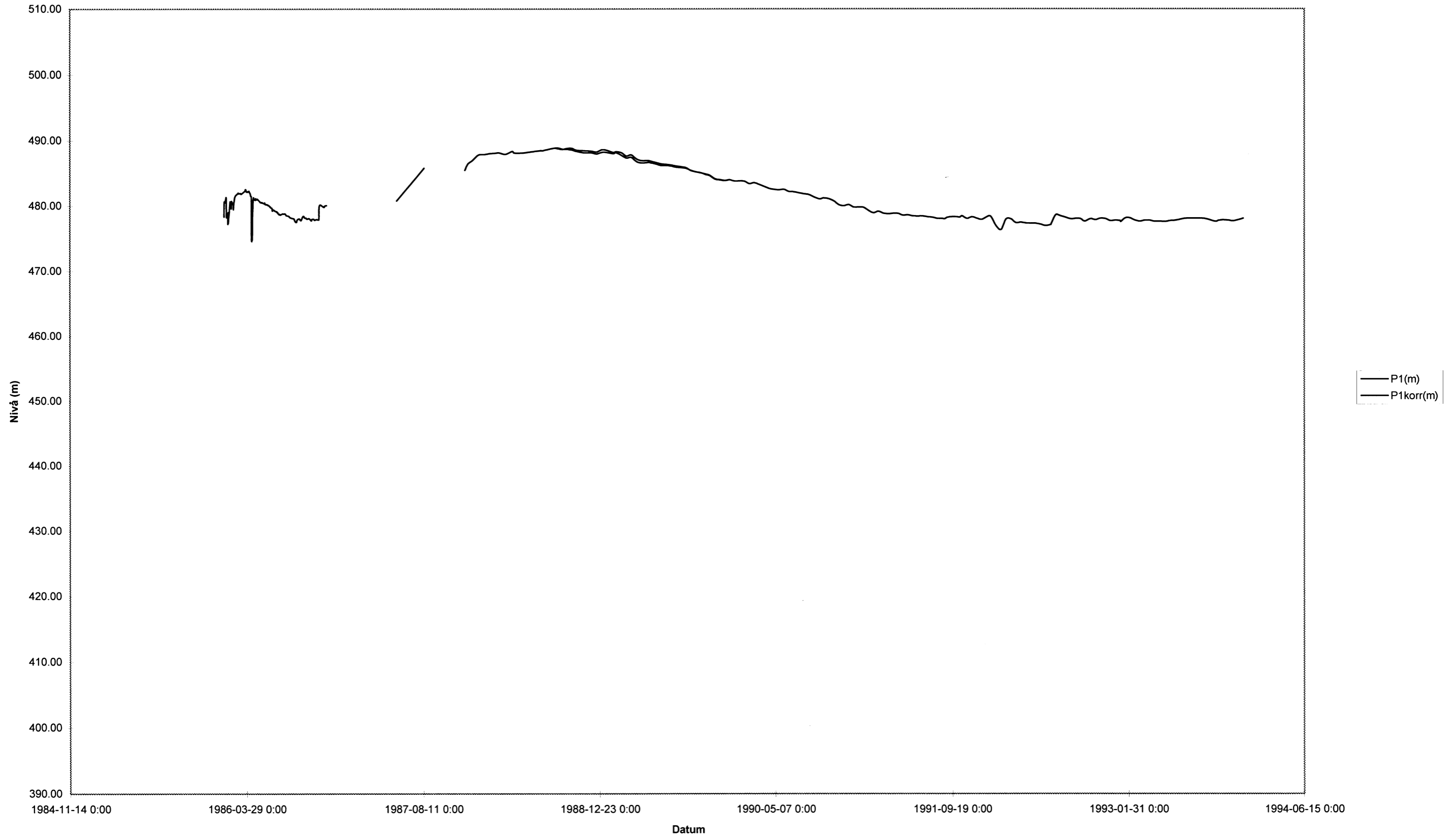
KB25

**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL Kb25**



KB26

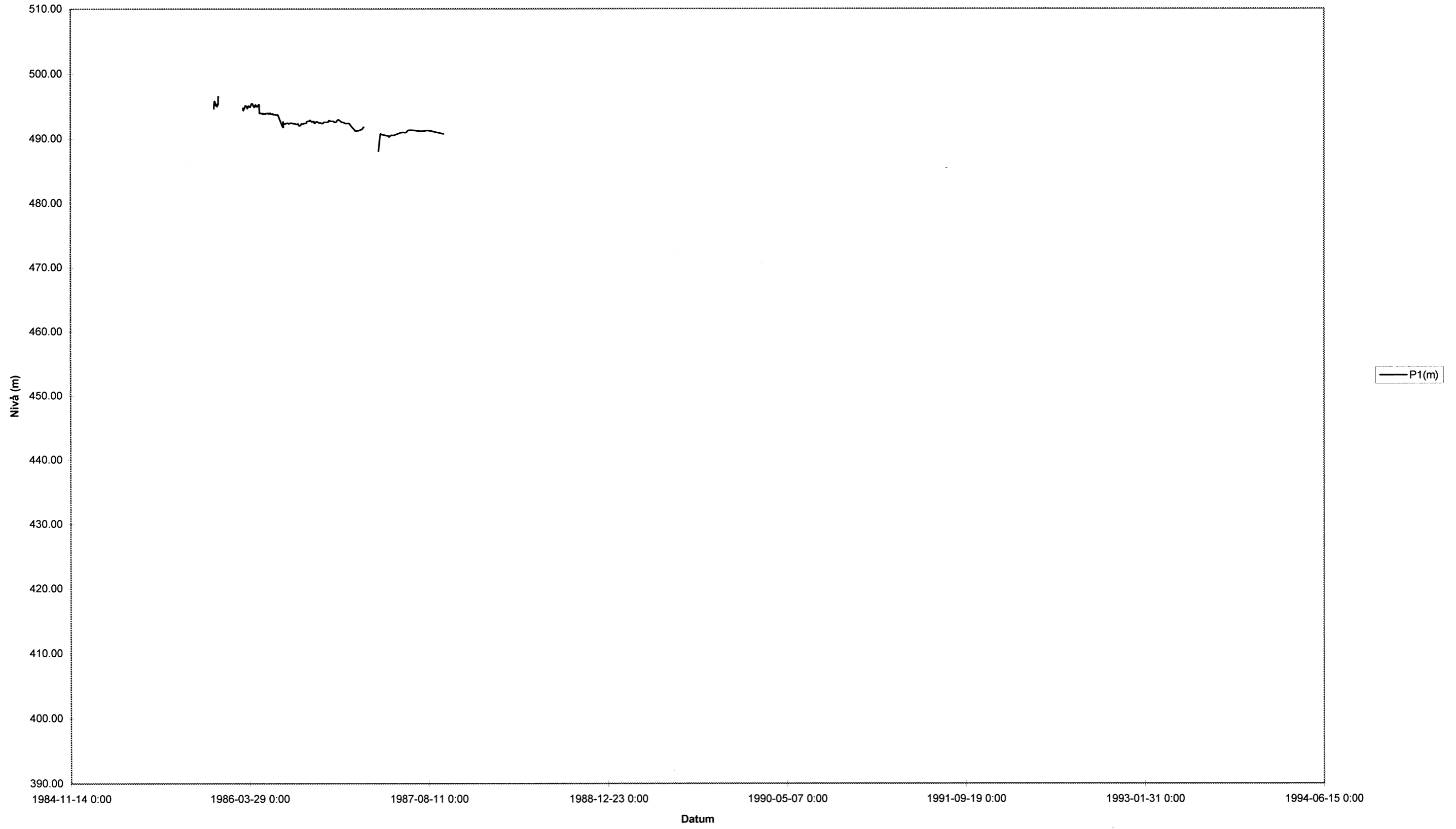
**KONTROLLPROGRAM - DRIFTSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL Kb26**





SH3

**KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET**  
**GRUNDVATTENTRYCK I BORRHÅL SH3/167**



**SAMMANSTÄLLNING AV INLÄCKAGE TILL SFR1**

## KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

### Inläckage i olika delar av SFR. Resultat från mätdammar (Christiansson och Bolvede, 1987; Tabell 1)

AVSNITT	INLÄCKNING L/MIN	ANMÄRKNING
Tillfartstunnlar 0-200 m	ca 30	Baserat på mätdammar 1/200 och 5/170
Tillfartstunnlar 200-390 m	115-130	Baserat på mätdammar 1/390 och 5/390
1BTF	15	Mätdamm
2BTF	13	Mätdamm
1BLA	ca 5	Mätdamm
1BMA	20	Bedömd
Silo	<2(!)	Mätdamm, kontrollerad i dräner
Summa	max ca 220	

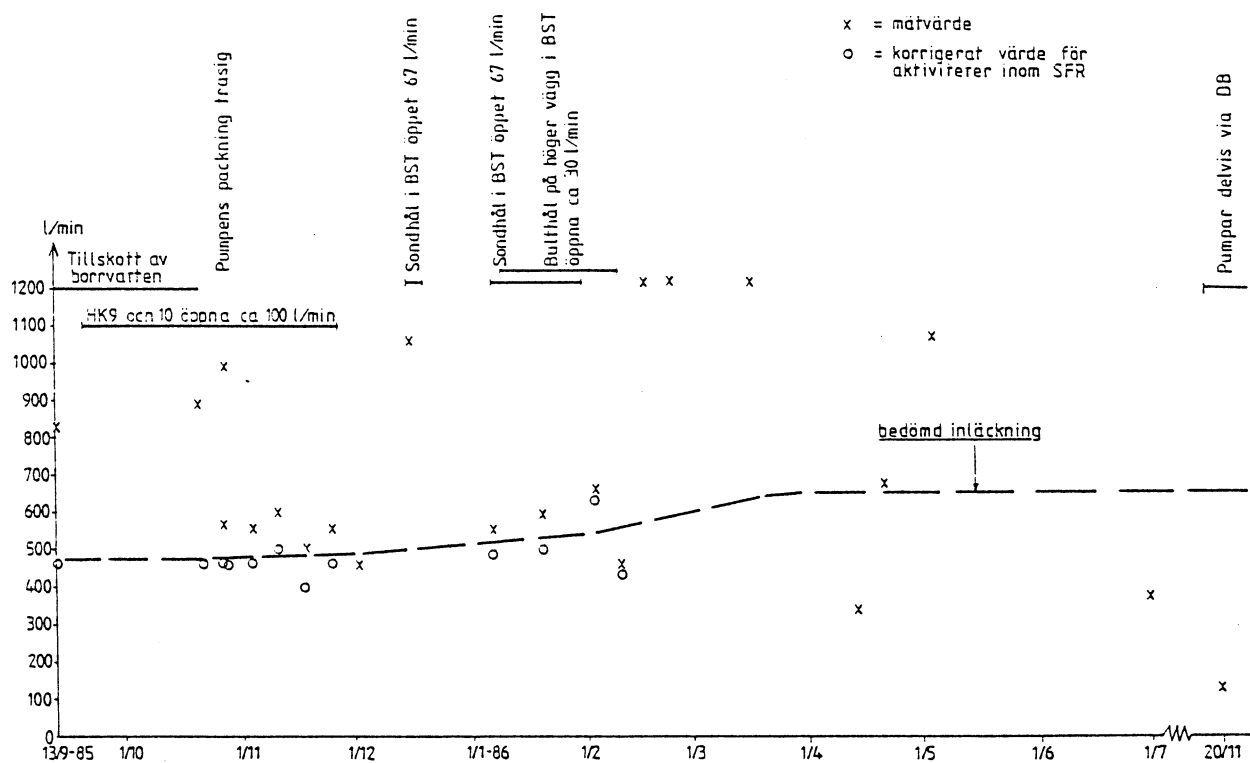
### KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

#### Bedömd fördelning av vatteninläckning till SFR (Christiansson och Bolvede, 1987; Tabell 2)

Avsnitt	Bedömd inläckning	Anmärkning
1/000 - 1/800	62      1/min	tak och väggar
5/000 - 5/800	93      1/min	tak och väggar
Lagerområde utom zon H2	73      1/min	tak
Lagerområde väggar	<u>15</u> 1/min	bedömt 20% från väggar
Summa ca	250      1/min	
Sula	65 - 125 1/min	bedömt 25-50% från sulan
Zon H2	<u>90</u> 1/min	uppmätt
Summa ca	405- 465 1/min	
Totalt inflöde	650      1/min	uppmätt
"Saknas"	205- 245 1/min	31-38% Troligen ur bulthål, se text.

## KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET

### Bedömd total vatteninläckning till SFR (Christiansson och Bolvede, 1987; Bilaga 6)



## KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET / DRIFTSKEDET

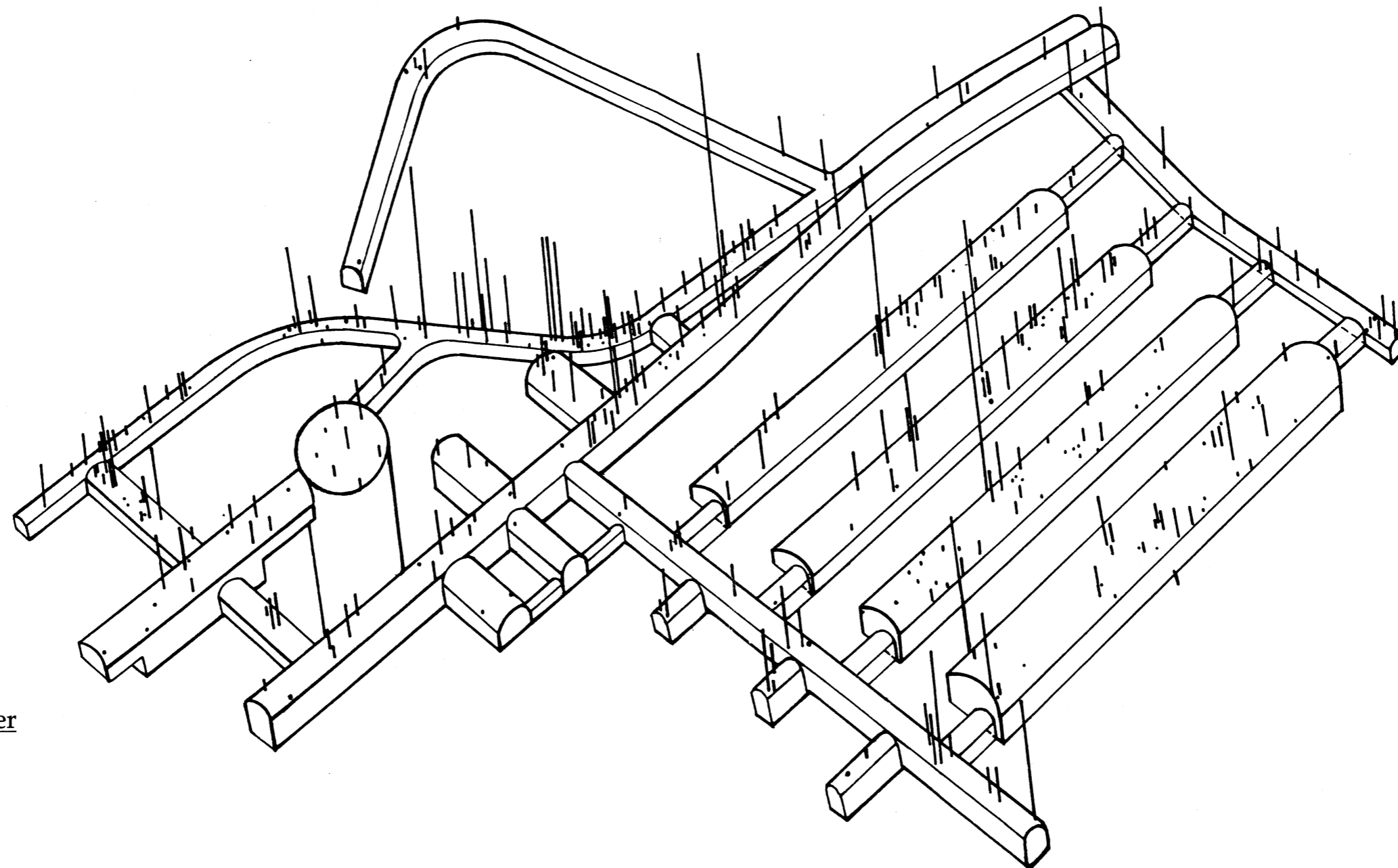
## Sammanställning av mätningar av inläckande grundvatten till olika delar av SFR

SFR - Mätning av inläckande grundvatten																																																		
Del	CT+BST+BMA+BLA+BTf+DB+UB+EB												DT+BT+TT+NBT+S+(IB&ST)																																					
	Berg BMA			Bergrum BMA			Totalt BMA			Bassäng UB			BT, DT, TT, 2VB, STT			IB+del av ST och BT			IB			Totalt Silotopp mot IB			Silotopp mot STT			Silotopp			Silovägg			Silobotten			Totalt Silo			Bassäng NDB			Totalt SFR			TEST			TEST	
Ställe	Brunn BMA		Brunn BMA		01A+01B		31B		Thompsonöverfall NBT		Bassäng i ST		Brunn i IB		IB+d ST&BT		Pumpgrup silotopp		Pumpgrup silotopp		6 + 7		V11-18		G19-30		260		31B+32B		NDB-Thomp-			UB-BMA																
Mätpunkt	01A	01B	01A+01B		31B		8		0.014		0.56		05B		05A+05B		6		7		6 + 7		V11-18		G19-30		260		31B+32B		IB,ST,BT-Silo			UB-BMA																
Area (m2)	1				240		20		0.014		0.56		05B		05A+05B		6		7		6 + 7		V11-18		G19-30		260		31B+32B		IB,ST,BT-Silo			UB-BMA																
Datum	Stighöjd	Tid	Flöde	Tid	Volym	Flöde	Flöde	Stighöjd	Tid	Flöde	Höjd	Flöde	Stighöjd	Tid	Flöde	Flöde	Tid	Volym	Flöde	Tid	Volym	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde	Stighöjd	Tid	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde	Flöde															
	(m)	(min)	(l/min)	(dagar)	(m3)	(l/min)	(l/min)	(m)	(min)	(l/min)	(cm)	(l/min)	(m)	(min)	(l/min)	(l/min)	(dagar)	(m3)	(l/min)	(dagar)	(m3)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(m)	(min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)	(l/min)														
1986-11-15											11	337.1																																						
1988-03-29								0.424	690	147.5																	1.82	830	570.1	717.6		233	147	79.4	47.0		20.6													
1988-04-27								0.22	420	125.7																	0.85	420	526.2	651.9		189	126	80.7	51.7		19.3													
1990-01-10																																																		
1992-02-03	0.13	10	13		Ingen m	13.0	0.06	120	120	12	419.0	0.19	10	10.6	Ingen mätr	10.6																																		
1992-05-26	0.11	10	11	146	3	0.0143	11.0	0.05	120	100	12	419.0	0.18	10	10.1	0	10.1	109	19	0.12	109	22	0.14	0.26	1.79	0.0087	2.06	0.21	120	455.0	555.0	24	89	82.0	75.5	1.8	0.4	18.0	2.0											
1992-08-17	0.09	10	9	83	1.5	0.0126	9.0	0.05	120	100	12	419.0	0.15	10	8.4	0	8.4	83	17	0.14	83	22	0.18	0.32	1.78	0.0096	2.11	0.21	120	455.0	555.0	25	91	82.0	75.5	1.5	0.4	18.0	1.6											
1992-11-12	0.14	10	14	87	3	0.0239	14.0	0.06	120	120	12	419.0	0.24	10	13.4	0	13.4	87	18	0.14	87	22	0.18	0.32	1.85	0.0069	2.17	0.21	120	455.0	575.0	20	106	79.1	72.9	2.3	0.4	20.9	2.4											
1993-02-08	0.09	10	9	88	3	0.0237	9.0	0.06	120	120	12	419.0	0.21	10	11.8	0	11.8	88	17	0.13	88	19	0.15	0.28	1.64	0.0084	1.93	0.2	120	433.3	553.3	1	111	78.3	75.7	2.1	0.3	21.7	1.6											
1993-05-27	0.09	10	9	108	4.5	0.0289	9.0	0.15	360	100	12	419.0	0.18	10	10.1	0	10.1	108	14	0.09	108	22	0.14	0.23	1.77	0.0078	2.01	0.6	360	433.3	533.3	2	91	81.3	78.6	1.9	0.4	18.8	1.7											
1993-08-30	0.1	10	10	95	3	0.0219	10.0	0.06	120	120	12	419.0	0.18	10	10.1	0	10.1	95	Ingen mätare	95	26	0.19	Ingen m	1.82	0.0045	Ingen mäta	0.21	120	455.0	575.0	24	110	79.1	72.9	1.8	0.4	20.9	1.7												
1993-11-24	0.1	10	10	86	4.5	0.0363	10.0	0.05	120	100	12	419.0	0.16	10	9.0	0	9.0	86	15	0.12	86	15	0.12	0.24	1.66	0.0042	1.90	0.18	120	390.0	490.0	-40	90	79.6	85.5	1.8	0.4	20.4	2.0											
1994-02-08	0.1	10	10	76	4.5	0.0411	10.0	0.13	300	104	12	419.0	0.15	10	8.4	0	8.4	76	12	0.11	76	14	0.13	0.24	1.83	0.0024	2.07	0.41	240	444.2	548.2	15	94	81.0	76.4	1.5	0.4	19.0	1.8											
1994-05-10	0.1	10	10	91	3	0.0229	10.0	0.06	120	120	12	419.0	0.17	10	9.5	0	9.5	91	15	0.11	91	15	0.11	0.23	1.59	0.0030	1.82	0.2	120	433.3	553.3	3	110	78.3	75.7	1.7	0.3	21.7	1.8											
1994-09-05	0.09	10	9	118	3	0.0177	9.0	0.05	120	100	11.7	393.3	0.16	10	9.0	0	9.0	118	21	0.12	118	9	0.05	0.18	1.38	0.0030	1.56	0.19	120	411.7	511.7	8	91	80.5	76.9	1.8	0.3	19.5	1.8											
1994-12-08	0.08	10	8	94	6	0.0443	8.0	0.06	120	120	11.7	393.3	0.15	10	8.4	0	8.4	94	15	0.11	94	4	0.03	0.14	1.65	0.0030	1.80	0.2	120	433.3	553.3	30	112	78.3	71.1	1.5	0.3	21.7	1.5											
BMA Zon 6							Bergsalar+BST+CT+DB+ UB+3VB+EB+del av ST Zon 6 + Skiffrighet						DT+BT+2VB+TT+STT Singö+Zon 3+Zon 6+ Zon 9 + Skiffrighet						Silo Skiffrighet						DB+BT+2VB+TT+STT+ NBT+Silo+ (IB + del av ST+BT) Singö + Zon 3, 6 & 9 + Skiffrighet																									

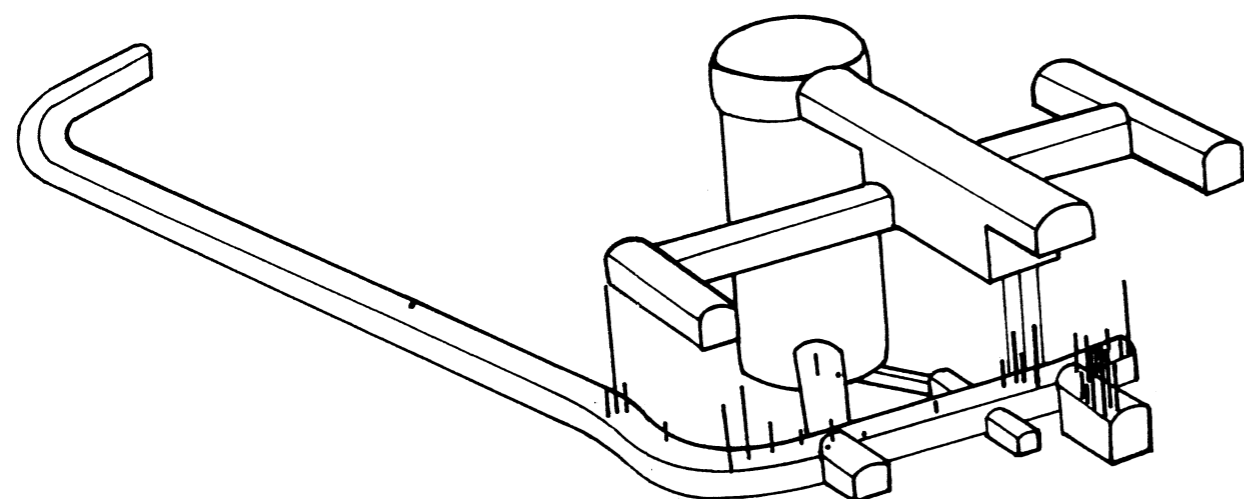
**KONTROLLPROGRAM - BYGGNADSSKEDET**

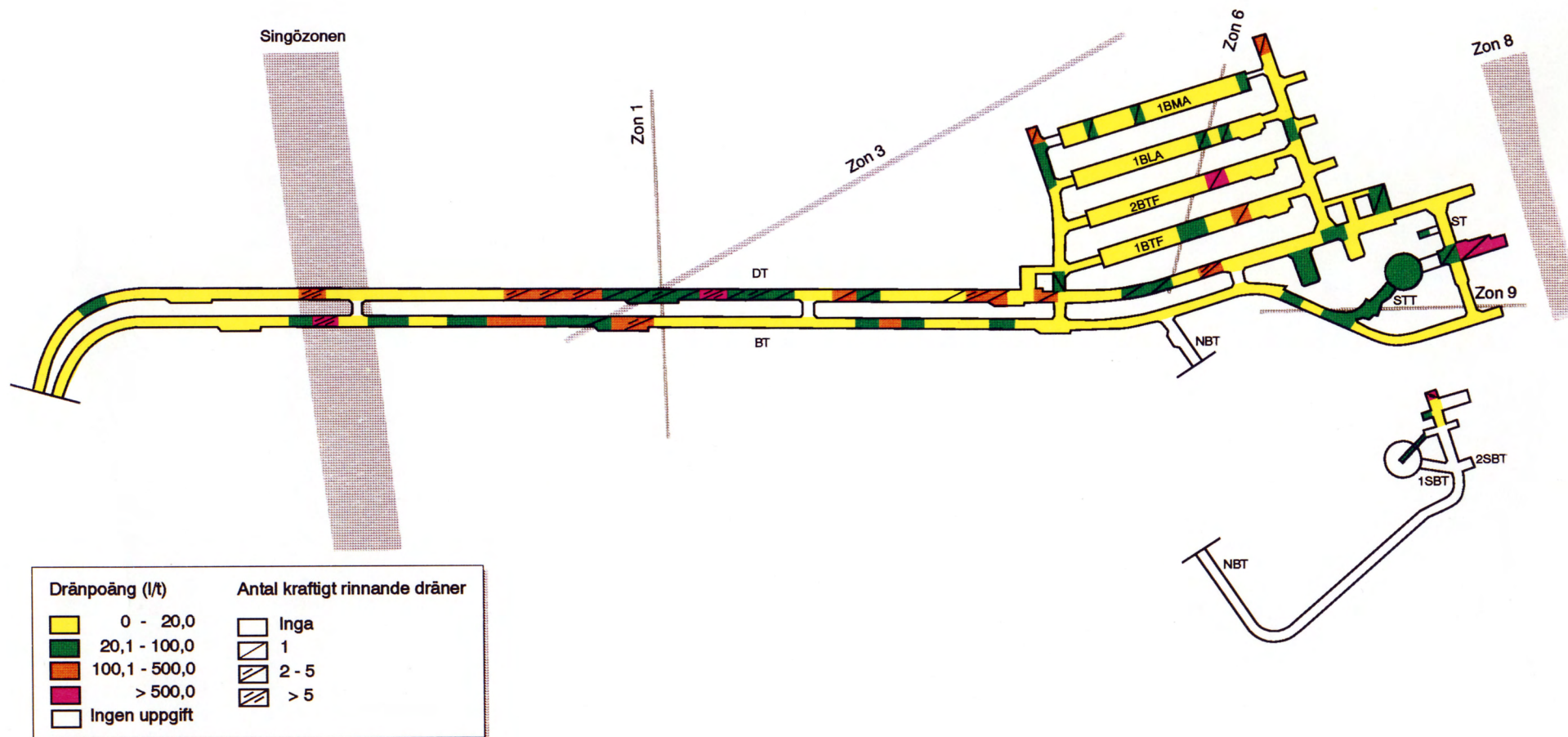
**Inläckande grundvatten i sprickor i olika delar av SFR  
Resultat från tunnelkartering under byggtiden oktober 1983 - maj 1986  
(Christiansson och Bolvede, 1987; Appendix, Ritning 2)**

Lagerområdet sett från norr



Lagerområdet sett från öster

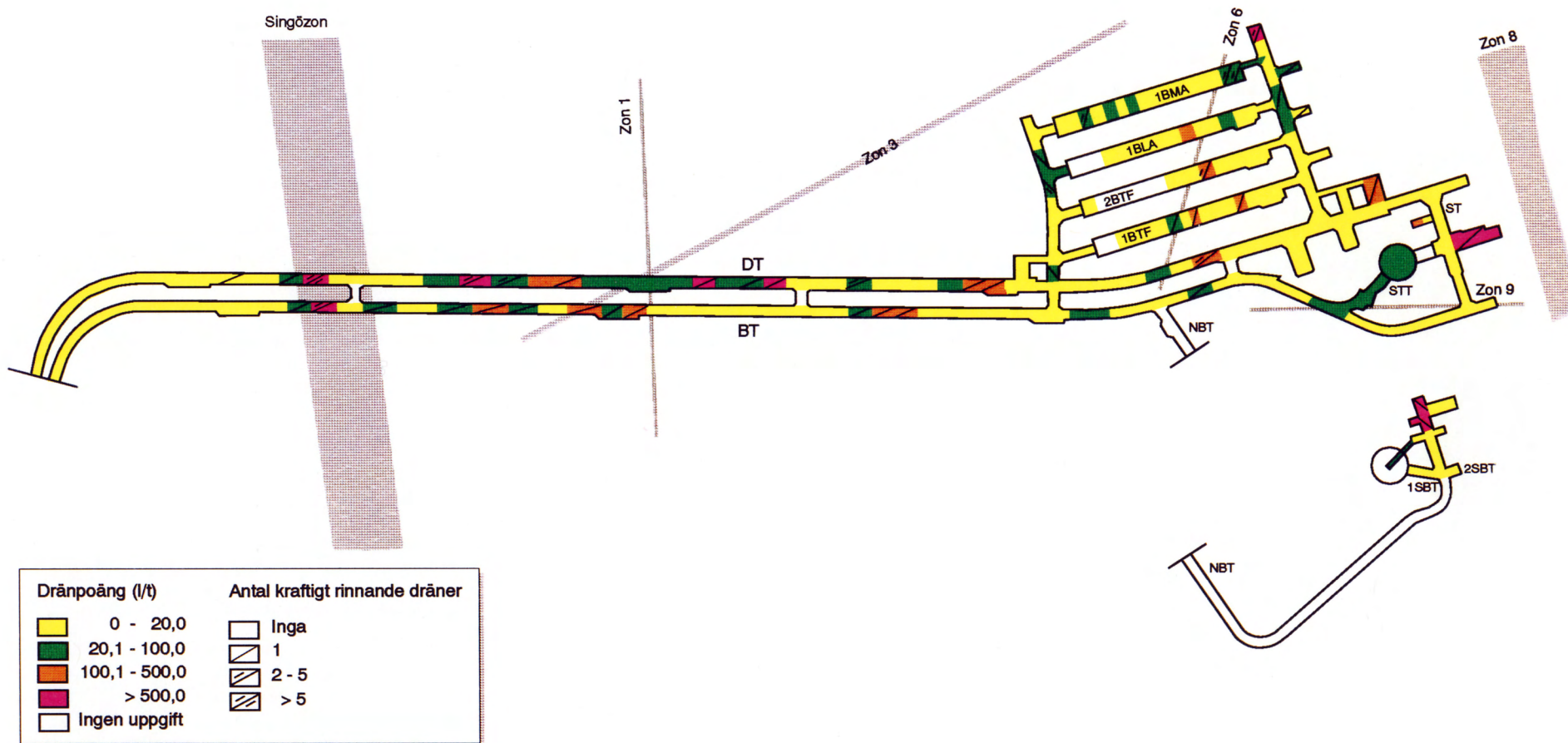




### Kontrollprogram - driftskedet

Sammanställning av fuktdokumentation i dräner i olika delar av SFR. Februari - mars 1988 (data från Vattenfall, 1988).

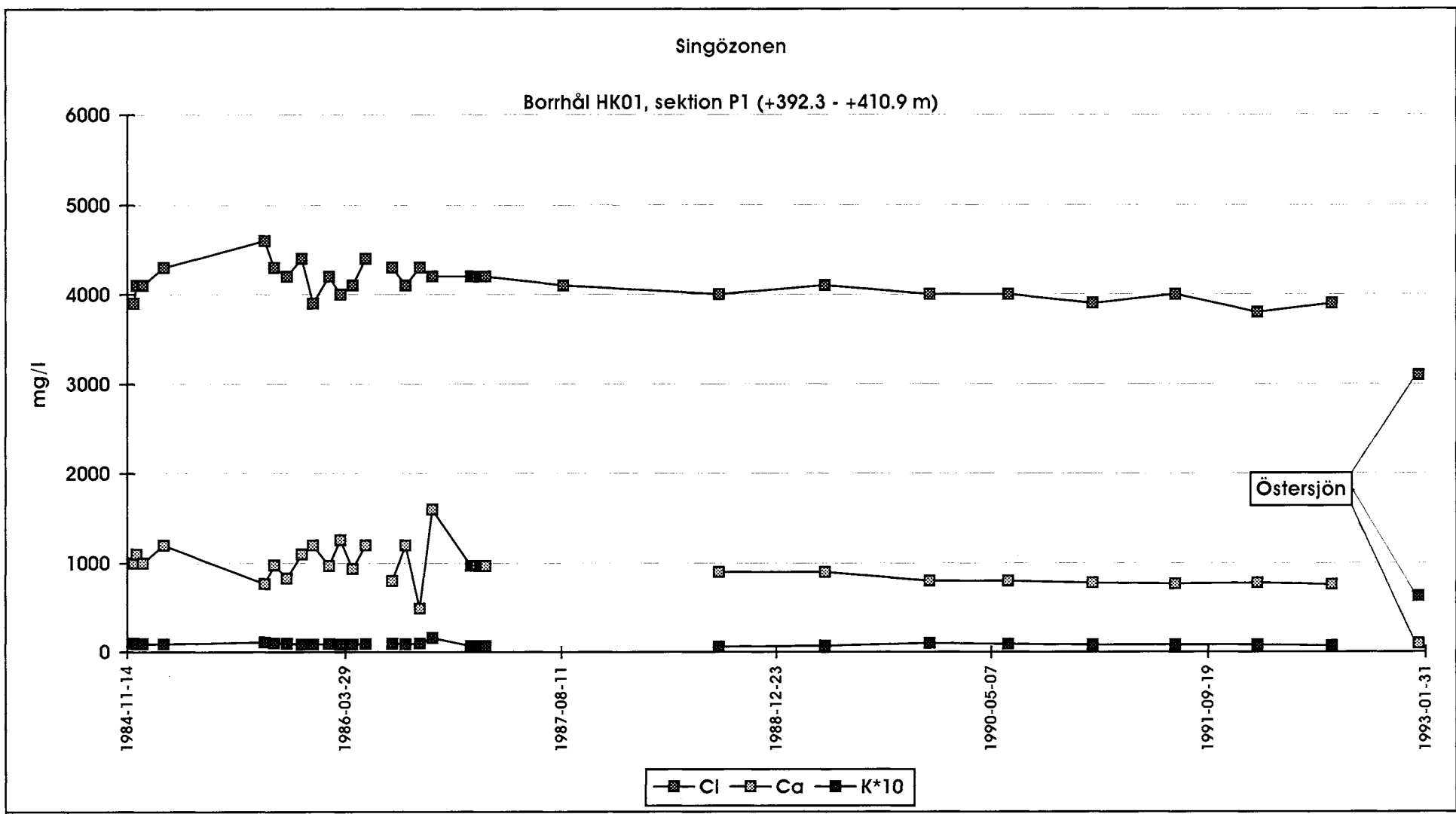


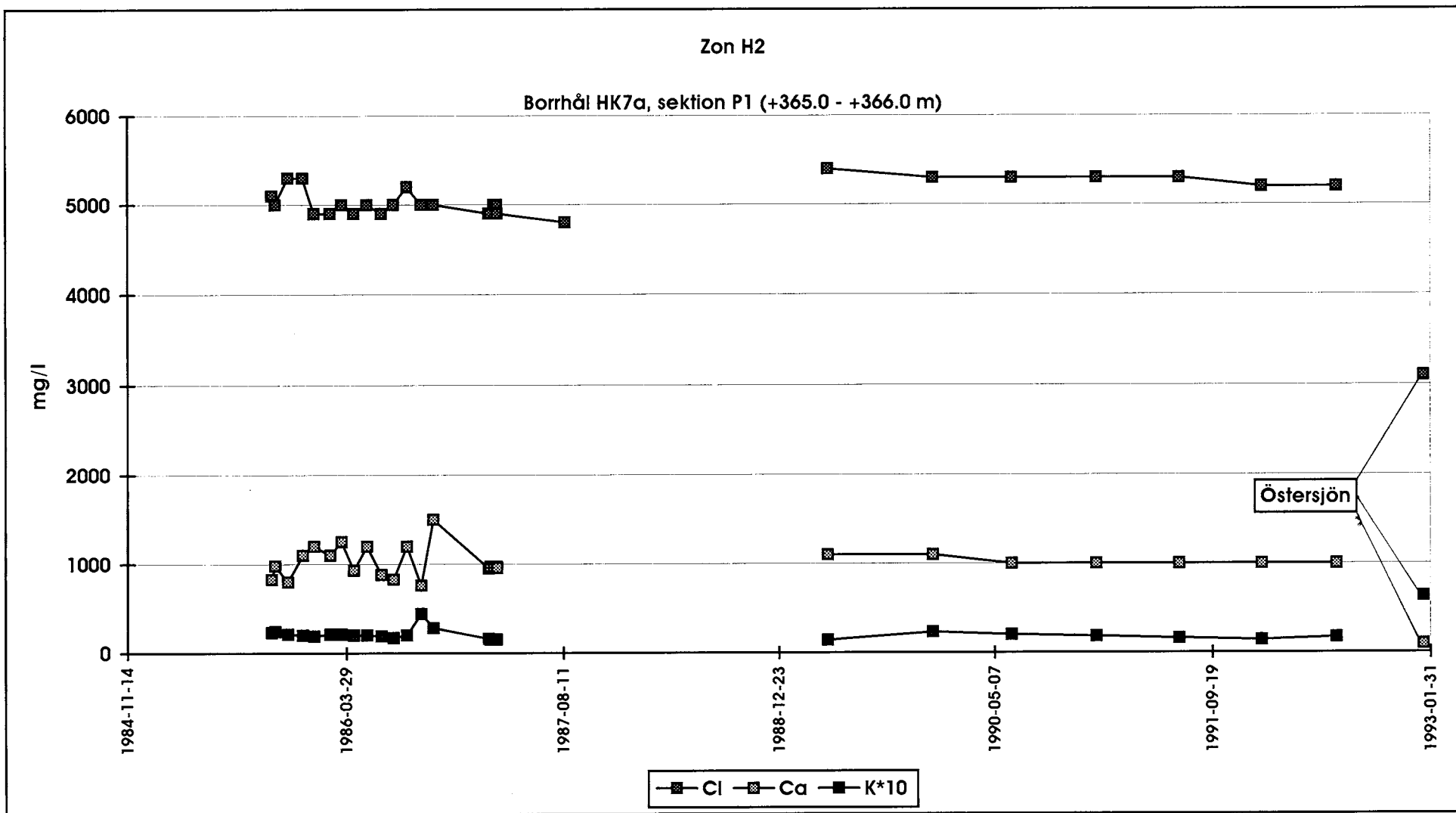


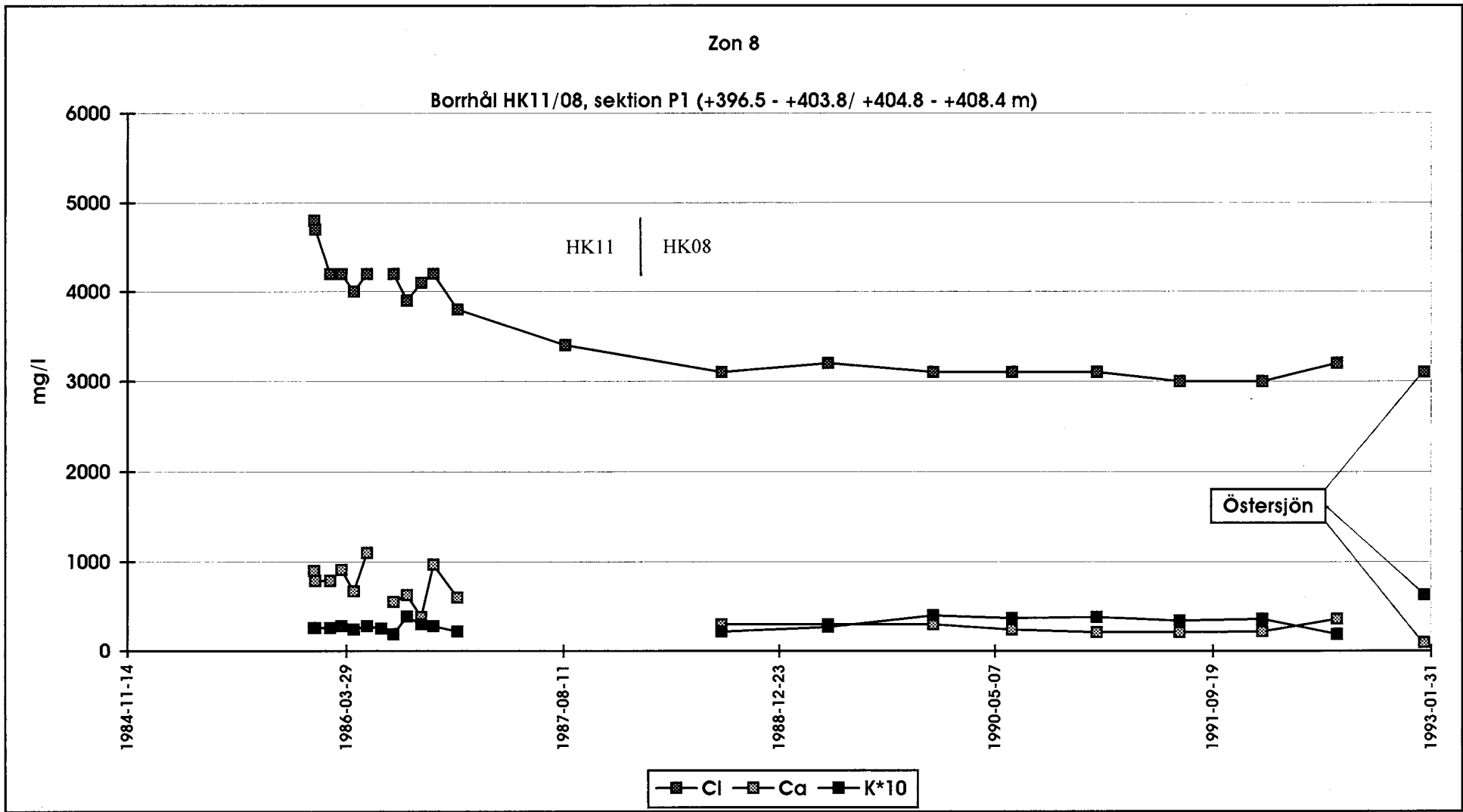
### Kontrollprogram - driftskedet

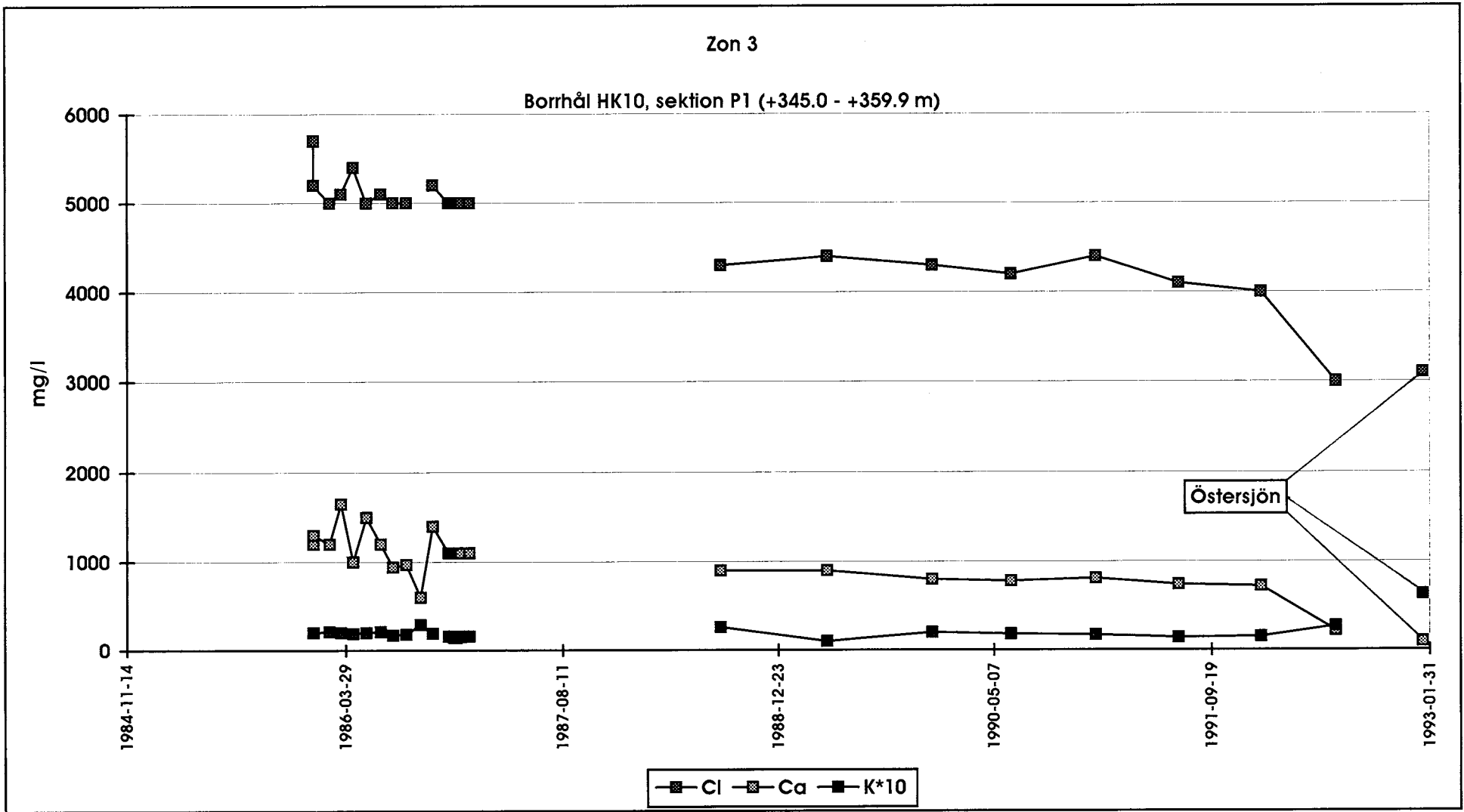
Sammanställning av fuktdokumentation i dräner i olika delar av SFR. April - maj 1993 (data från Vattenfall Energisystem AB, 1993).

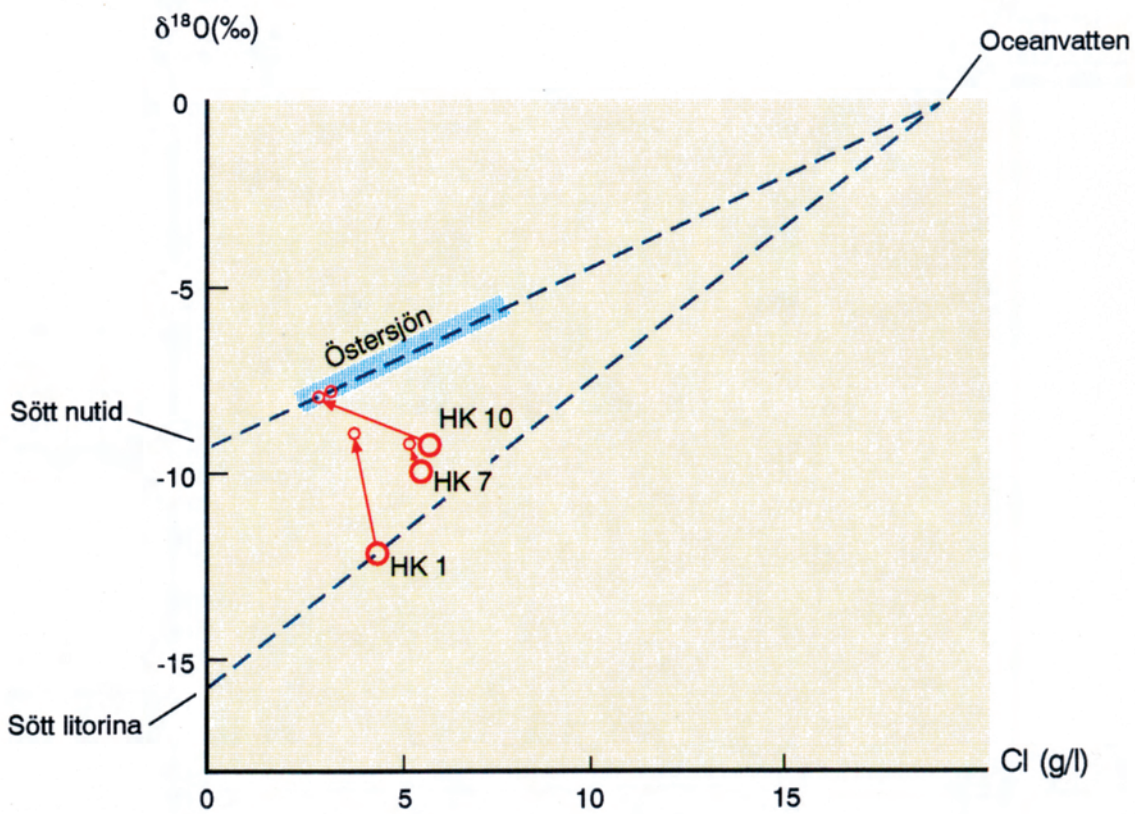
**SAMMANSTÄLLNING AV VATTENKEMI  
I BORRHÅL I SFR1**











Syre-18 halt och kloridhalt för några SFR-vatten och andra salta grundvatten (modifierad efter Wikberg, 1986)