



**Svensk Djupstabilisering**  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

**Arbetsrapport 8**  
1998-04-03

**KC-pelarförstärkning av instabil  
slänt. E4, delen Nyland - Ullånger,  
Västernorrlands län.  
Åtgärder och mätningar.**

**Leif Viberg  
Bertil Eriksson  
Stefan Johansson**

## **Svensk Djupstabilisering**

Svensk Djupstabilisering (SD) är ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalk-cementpelare. Verksamheten syftar till att initiera och bedriva en branschsamordnad forsknings- och utvecklingsverksamhet, som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten baseras på en FoU-plan för åren 1996-2000. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen.

Svensk Djupstabilisering har sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och leds av en styrgrupp med representanter för medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om verksamheten lämnas av SD:s projektledare Göran Holm, tel: 013-20 18 61, 070-521 09 39, fax: 013-20 19 13, e-mail: [holm@geotek.se](mailto:holm@geotek.se), <http://www.sgi.geotk.se/sd.htm>.

## **Swedish Deep Stabilization Research Centre**

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 - 2000. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufactures, contractors, consultants, research institutes and universities.

The work of the Swedish Deep Stabilization Research Centre is financed by its members and by research grants.

The Swedish Deep Stabilization Research Centre is located at the Swedish Geotechnical Institute and has a Steering Committee with representatives chosen from among its members.

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, fax: +46 13 20 19 13 or e-mail: [holm@geotek.se](mailto:holm@geotek.se), <http://www.sgi.geotk.se/sd.htm>.



**Svensk Djupstabilisering**  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

## **Arbetsrapport 8**

1998-04-03

# KC-pelarförstärkning av instabil slänt. E4, delen Nyland - Ullånger, Västernorrlands län. Åtgärder och mätningar

Leif Viberg	SGI
Bertil Eriksson	VÄGVERKET PRODUKTION MITT
Stefan Johansson	VÄGVERKET PRODUKTION MITT

# Förord

Svensk Djupstabilisering (SD) baserar verksamheten på sin FoU-plan, som bl a innehåller ett antal stora FoU-projekt. För att öka underlaget för dessa forskningsprojekt satsar SD på kompletterande mätningar/analyser i lämpliga förstärkningsprojekt. Redovisningen av dessa mätningar/analyser granskas ej av SD, utan redovisade resultat och framförda åsikter är författarens. Redovisningarna är arbetsrapporter inom SD. De ingår i SD:s arbetsrapportserie och skall endast användas internt inom SD och ej spridas utanför SD.

Föreliggande arbetsrapport är en redovisning som utgör ett underlag för forskningsprojekt inom ”Stabilitet – utvidgning av beräkningsmodell” och ”Kontroll av jordlager under utförande”.

Linköping i juni 1998

Göran Holm  
Projektledare för SD

## **Arbetsrapport**

Beställning  
(endast för  
medlemmar av SD)

Upplaga

Svensk Djupstabilisering  
c/o Statens geotekniska institut  
581 93 Linköping

Tel: 013-20 18 62  
Fax: 013-20 19 13  
E-post: [sussyl@geotek.se](mailto:sussyl@geotek.se)

150 ex

**Manus 1998-04-03**  
**Får ej återopas !**

**KC-PELARFÖRSTÄRKNING  
AV INSTABIL SLÄNT  
E4 DELEN NYLAND-ULLÅNGER,  
VÄSTERNORRLANDS LÄN  
Åtgärder och mätningar**

**Projektnummer:** 39605271

**Föfattare:** Leif Viberg, SGI  
Bertil Eriksson, Vägverket Produktion Mitt  
Stefan Johansson, Vägverket Produktion Mitt

**Publikationsserie:** Svensk Djupstabilisering

**Finansiärer:** Svensk Djupstabilisering  
Vägverket Produktion  
SGI

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

### FÖRORD 3

1. BAKGRUND OCH SYFTE 4
2. OMFATTNING 4
3. HÄNDELSEFÖRLOPP 4
4. AVSNITTET VID HUMPSJÖN 6
  - 4.1 Topografiska och geotekniska förhållanden 6
  - 5.2 Åtgärder 8
5. PRÄSTTJÄRN 10
  - 5.1 Topografiska och geotekniska förhållanden 10
  - 5.2 Stabilitet 13
  - 5.3 Åtgärder 14
    - 5.3.1 Avschaktning och dränering 14
    - 5.3.2 Förslag till förstärkningsåtgärder 14
  - 5.4 Förstärkning med kalk-cementpelare 14
    - 5.4.1 Allmänt 14
    - 5.4.2 Laboratorieundersökning 14
    - 5.4.3 Dimensionering 15
    - 5.4.4 Anvisningar för arbetsskedet 20
    - 5.4.5 Utförande av pelarinstallation 20
    - 5.4.6 Djupdränering 21
6. MÄTNINGAR AV RÖRELSER OCH GRUNDVATTENNIVÅ 21
  - 6.1 Mätningar före KC-installation 21
  - 6.2 Kontrollmätningar i samband med KC-installation 22
7. ANALYSER 26
  - 7.1 Nederbördsdata 26
8. DISKUSSION 28
  - 8.1 Orsak till skredrörelser 28
  - 8.2 Mätningar under pelarinstallationen 29
  - 8.3 Varför blev det inte skred ? 29
9. SLUTSATSER 30
10. FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR 30

# **KALKPELARFÖRSTÄRKNING AV INSTABIL SLÄNT E4 DELEN NYLAND-ULLÅNGER, VÄSTERNORRLANDS LÄN**

## **Åtgärder och mätningar**

### **FÖRORD**

I samband med nybyggnad av E4 delen Nyland-Ullånger, 1993, inträffade skred i den gamla övergivna E4, som kom att ligga parallellt med och bli delvis överbyggd av den nya vägen. Ena skredplatsen förstärktes med kalk-cementpelare. I samband med denna förstärkning utfördes mätningar av rörelser och grundvattennivåer. Syftet med mätningarna var att kontrollera rörelser och grundvattennivåförändringar under arbetenas utförande. Då mätresultaten bedömdes ha allmänt intresse på grund av de stora rörelser som uppmättes bestämdes att resultaten skulle dokumenteras i en rapport.

Arbetsgruppen har bestått av Leif Viberg, SGI, projektledare, Bertil Eriksson och Stefan Johansson, Vägverket Produktion Mitt.

Bearbetningen och framställningen av rapporten har finansierats av Svensk Djupstabilisering, Vägverket Produktion, Vägverket Produktion Mitt och Statens geotekniska institut.

# KALK-CEMENTPELARFÖRSTÄRKNING AV INSTABIL SLÄNT E4 DELEN NYLAND-ULLÅNGER, VÄSTERNORRLANDS LÄN

## 1. BAKGRUND OCH SYFTE

Under våren och sommaren 1993 genomfördes nybyggnad av E4 söder om Ullånger, beläget ca 45 km NO Härnösand, FIGUR B1:1. På den sträcka som här berörs kom den nya vägen att ligga parallellt med och delvis byggd över den gamla E4. Den nya vägen ligger på en högre nivå än den gamla.

Under byggnadstiden inträffade på två ställen belägna ca 1 km från varandra, FIGUR B1:1, skred och stora rörelser med två månaders mellanrum - juni och augusti - i den gamla övergivna E4:s vägbank. På båda ställena passerar vägen en sjö- Humpsjön respektive Prästjärn. Båda platserna är i stort likartade med avseende på topografi, geotekniska förhållanden och händelseförlopp. Vid Humpsjön gled jordmassorna iväg och en skredgrop bildades, medan rörelserna vid Prästjärn blev betydligt mindre. Decimeterstora vertikala rörelser visade dock att brott i jorden verkligen förelåg.

På båda platserna utfördes förstärkningsåtgärder, som blev av olika typ beroende på olika förutsättningar.

Vid Humpsjön utfördes utskiftning av vägbanksmaterialet mot sprängsten närmast skredet och den nya banken provbelastades.

Vid Prästjärn utfördes flera olika åtgärder: avschaktning, ytdränering, KC-pelare och djupdränering. Förstärkningen med KC-pelare utgör huvudåtgärden. Oss veterligt var den aktuella platsen då den nordligaste i Sverige för KC-pelarförstärkning.

Vid Prästjärn utfördes omfattande mätningar av grundvattennivå och rörelser före och under KC-pelarförstärkningen.

Syftet med denna redovisning är i första hand att dokumentera och sprida information om de omfattande mätningarna som utfördes före och under KC-pelarförstärkningen.

## 2. OMFATTNING

I denna rapport behandlas enbart avsnittet för KC-pelarförstärkning i detalj - sträckan förbi sjön Prästjärn - , eftersom denna bedöms ha allmänt intresse. Avsnittet vid Humpsjön behandlas endast översiktligt.

## 3. HÄNDELSEFÖRLOPP

Ett skred inträffade 1993-06-21 vid Humpsjön strax söder om Ullånger, Västernorrlands län, nedanför E4:s bankslänt på sträckan cirka 17/865-17/970, FIGUR B1:2-6. Vid skredet



förflyttades den tidigare, vid tiden för skredet övergivna E4:an nedåt mot Humpsjön. Maximal förflyttning i sidled är ca 10 m i sektion 17/910 och nedsjunkningen syns som mest vara 1 à 2 meter.

Bankfoten hos sidotippade massor utanför vägens normalsektion berördes av skredet. I skredets centrala del tycks nedre hälften av sidotippsmassornas slänt ha rasat ut vid eller efter skredet. Efter skredet har enligt uppgift igenfyllning av en spricka längs med bankfot utförts. Trafiken begränsades på E4 genom avkoning av vägrenen mot skredområdet. Mätningar av rörelser i nya E4:s del närmast skredet påbörjades omedelbart.

Statens geotekniska institut, SGI, fick i uppdrag av Vägverket Produktion Mitt, Härnösand, att tillsammans med beställaren utreda lämplig förstärkningsåtgärd. I utredningsuppdraget ingick också att utreda stabiliteten för avsnittet 18/760 - 19/000, vid Prästjärn, FIGUR B1:7-9, där de geotekniska och geometriska förhållanden liknar avsnittet vid Humpsjön.

Kompletterande geotekniska undersökningar utfördes på båda avsnitten.

I slutet av augusti 1993 upptäcktes en ca 80 m lång spricka i den äldre, övergivna, E4-vägbanken vid Prästjärn, FIGUR B1:10. Sprickan löpte mellan sektionerna 18/800 och 18/880. Den äldre vägbanken ligger direkt i anslutning till den nybyggda E4, vars yttre slänt delvis ligger på den äldre vägbanken. Platsen ligger i direkt anslutning till då pågående nybyggnad av E4. Trafiken hade släppts på den nybyggda E4, vars profilplan ligger 3-5 m högre än gamla E4. Nya E4:s släntfot täcker delvis gamla E4. Mätningar av såväl grundvattennivå som rörelser påbörjades omgående. Dessutom avstängdes delen av E4 närmast området

Som första åtgärd för avsnittet vid Prästjärn utfördes avschaktning av sidotippade massor utanför normal sektion.

Rörelsen, som får betraktas som en skredrörelse pågick under några veckors tid. Den vertikala rörelsen i den mot Prästjärn vettande delen av gamla E4 sjönk under perioden 31 augusti - 13 september 1993 som mest ca 0,2 m, se FIGUR B . I mitten av september upphörde rörelserna.

Vatten rann tidvis fram vid nya E4:s släntfot och över gamla E4:s vägbana.

I samband med sprängning av några bergklackar i överdiket 1993-09-30 och 1993-10-01 upptäcktes ny sprickbildning - på avsnittet 18/880-18/900 - i förlängningen av den tidigare sprickan.

Huruvida den nya sprickan uppstod i samband med sprängningen eller inte är svårt att avgöra. Ett tunt lager fyllningsmassor låg ovanpå asfaltsytan och en förklaring till upptäckten av sprickan kan vara att en befintlig spricka helt enkelt frilades på grund av vibrationsrörelser i det tunna fyllningslagret. Det mest sannolika är dock att sprickan förorsakades av markvibrationerna. Ansträngningsnivån i slänten torde ha varit hög och även relativt måttliga markvibrationer kan i sådana fall utlösa brott i slänten.

I samband med förstärkningsåtgärderna utfördes mätningar av rörelser och grundvattennivåer såväl före som under utförandet av förstärkningsarbetena.

Av speciellt intresse är de mätningar som utfördes i samband med KC-pelarnas installation, då rörelser och förändringar i grundvattennivåer mättes med korta intervall. Stora förändringar registrerades och arbetena fick anpassas efter de uppmätta värdena på rörelser och grundvattennivå.

En sammanställning av händelseförloppet redovisas i TABELL 1.

TABELL 1. Sammanställning över händelseförloppet vid Humpsjön och Prästtjärn.

DATUM	HÄNDELSER VID RESPEKTIVE AVSNITT	
	HUMPSJÖN	PRÄSTTJÄRN
1993-06-21	Skred i gamla E4	Mätning av grundvattennivå påbörjas
1993-07-20		
1993-07		Avschaktning av sidotippade massor
1993-08	Utskiftning av bankmaterial och ersättning med sprängsten samt provbelastning	
1993-08-30		80 m lång spricka upptäcks i gamla E4
1993-08-31		Mätning av vertikala rörelser påbörjas
1993-09		Ytlig dränering genomförs
1993-09-30 - 10-01		I samband med sprängning av bergklack upptäckt av ny spricka i gamla E4:s vägbana i den tidigare sprickans förlängning norrut
1994-08-18--25		KC-pelarförstärkning genomförs
1994-		Djupdränering genomförs

#### 4. AVSNITTET VID HUMPSJÖN

##### 4.1 Topografiska och geotekniska förhållanden

Som grund för bedömning av geotekniska förhållanden och lämplig åtgärd förelåg följande geotekniska undersökningar:

Vägverket, E4 Härnösand - Örnsköldsvik, delen Nyland-Ullånger, Grundundersökningar, Objekt Y40922-E4, 1991-04-19.

SKANSKA Provtagning med kolvborr och laboratorieundersökningar, sektionerna 17/904 H34 och 17/937 H35, 1993- xxx.

Vägverket, Produktion Mitt, sektion 17/900, 1993-07-07.

De geotekniska undersökningarna för vägprojekteringen hade utförts var 20:e meter under högra körbanan, under höger bankslänt alt ungefär vid höger bankfot (ungefär vid vänster bankfot för tidigare E4) samt 15 - 20 m höger bankfot (ungefär vid höger bankfot för tidigare E4).

Terrängen lutar allmänt sett österut ned mot Humpsjön. Den högre delen av marken lutar tämligen brant för att mer eller mindre plana ut vid Humpsjöns strand. Väster om nya E4 ligger en långsträckt sluttning. Den brantare delen av den ursprungliga markytan ligger i princip under körbanan medan marklutningen planar ut under högra slänten.

Den **tidigare E4:an** har, av tvärsektionerna att döma, legat på bank inom större delen av den aktuella sträckan. Möjligen ligger delar av vänster väggkant och vänstra diket i grund skärning. På tvärsektionerna kan dessutom en ännu äldre vägbank under nya E4 skönjas. Dessa äldre vägar döljer delvis den naturliga markytans topografi.

**Nya E4** ligger i grund skärning i vänstra kanten medan bankhöjden successivt ökar mot höger slänt. Största skärningsdjup är ca 2 m och största bankhöjd är ca 5 m.

De utförda undersökningarna visar att **terrängens brantare högre belägna del** består av fast jord. Viktsonden har där som mest kunnat neddrivas endast någon meter. Sonderingen har i tre fall (av sex) avslutats med slagning. I några fall kan sonderingen ha utförts i den ovannämnda förmodade vägbanken. Det naturliga jordmaterialet bedöms bestå av friktionsjord, sannolikt morän. De grunda sonderingshålén i kombination med den branta marklutningen medför att närhet till berg inte kan uteslutas.

I den **flackare lägre delen av terrängen** består jorden överst av silt och lera som ligger på ett lager friktionsjord. Silt- och lerlagrets mäktighet ökar successivt från ett nollvärde, som ligger någonstans under nya E4:s högra bankslänt, till ca 5 m i sonderingshålén närmast sjön. Ett mer eller mindre fast ytlager förekommer ned till ca 1 m djup. Detta fasta ytlager kan åtminstone ställvis utgöra bankmaterial från de äldre vägarna. Under ytlagret är silt- och lerjorden lös till mycket lös.

Sondering utförd efter skredet har - delvis med hjälp av slagning -neddrivits ca 5 m i det fastare lagret under silt- och lerjorden. Två lösare skikt förekommer i detta lager, vars översta del består av grusig jord. Gruskornen är kantiga, något som tyder på att jordmaterialet kan utgöras av morän.

**Vattenyta** i borrhål 17/900 H24 observerades på 0,7 m djup under markytan (nivå +19,1)

**Urgrävning** under höger bankslänt hade utförts. Enligt uppgift består återfyllningsmaterialet av sprängsten. Projekterad urgrävning framgår av VV:s ritningar A:12:52-54, objekt nr Y-40922-E4, daterade 910419.

Sondering från vägytan visar att **bankmaterialet** delvis har låg relativ fasthet (10-30 hv/0,2 m). Två jordprover togs i samband med avschaktning i 17/900. Jordproverna består av

grusig, sandig silt. Prov 1 är taget H7,5, 2 m under vägytan (nivå +21,0) och prov 2 H9, 4 m under vägytan (+21,0).

## 5.2 Åtgärder

Eftersom förstärkningsåtgärderna inte utfördes med kalkpelare berörs detta avsnitt endast kortfattat.

Eftersom vägbankens övre delar bl a bestod av finkornig jord och beräkningar visade att vägbankens stabilitet ej var fullt tillfredsställande bedömdes att vissa förstärkningsåtgärder erfordrades.

Utgångspunkten var att den nya E4s stabilitet skulle säkerställas, även om jordrörelser skulle kunna uppstå nedanför/utanför den tidigare förstärkta delen av vägbanken.

Förstärkningen utfördes genom att sidotippade massor och en del av vägbanken grävdes bort och ersattes med sprängsten varefter vägbanken provbelastades och mätningar av sättningar utfördes. Åtgärden omfattade sträckan 17/850 - 17/980 inkluderande utspetsning på 10 m längd i vardera änden.

Befintlig bank urschaktades ned till befintlig sprängstensfyllnings överkant och återfyllning sker med sprängsten. Schaktslänthen utförs i lutningen 1:1,25. Bankslänt kläddes med erosions-skydd till slänthlutning 1:1,5. Ett 0,5 m tjockt lager sandigt grus lades mellan schaktslänt och sprängstensfyllningen för att förhindra vandring av finkornigt material in i sprängstens-materialet.

Provbelastning utfördes med 1 m fyllning på höger vägshalva. Överytan packades jämn så att eventuella sprickor lättare kunde observeras. Två peglar anbringades på fyllningens överyta var 20:e m H1 och H5. Dessutom sattes en rad med stakkäppar var 10:e m i raklinje på fyllningen H5 för kontroll av eventuella horisontalrörelser.

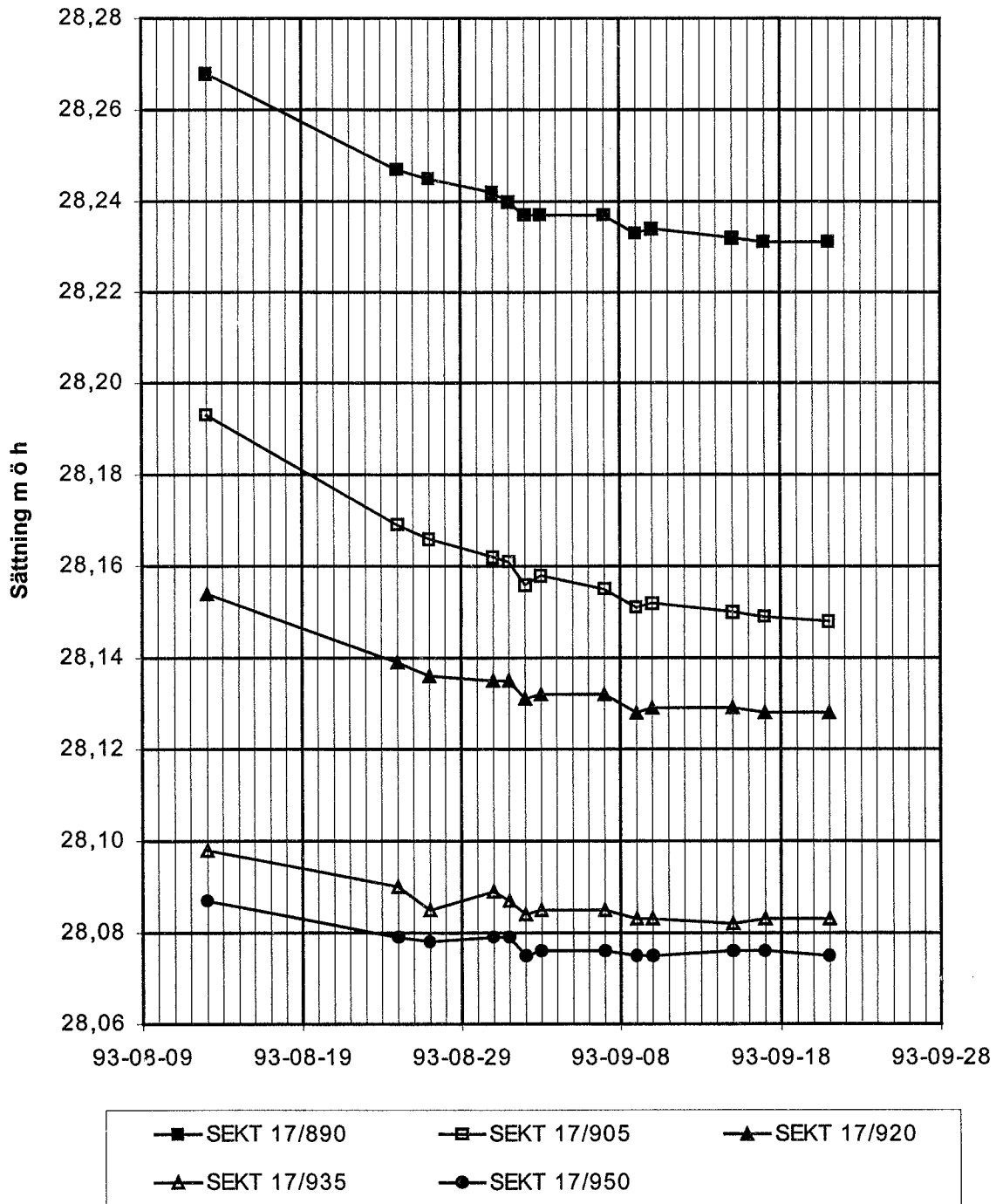
Den föreslagna åtgärden medförde en lägsta beräkningsmässig säkerhetsfaktor  $F_c$  på 1,40 för glidyta som slår upp i vägytan förutsatt att urgrävning och återfyllning utförts på angivet sätt. För glidytor som slår upp i vägslänt är  $F_c > 1,5$ .

Säkerhetsfaktorn för provbelastningen beräknades till  $F_c = 1,38$ .

Dränering av bankfot utfördes i form av öppna diken ned mot Humpsjön (i sektionerna 17/900 och 17/940).

Resultaten av sättningsmätningarna på provbanken redovisas i FIGUR 4:1. Maximal sättning var ca 5 cm. Rörelserna bedömdes inte vara förknippade med dålig släntstabilitet utan bedömdes utgöras av vertikala konsoliderings- och krypsättningar. Efter drygt en månads liggetid hade sättningarna upphört, provbanken kunde tas bort och trafiken släppas på.

## PROVBANKENS SÄTTNING



FIGUR 4:1. Mätning av sättningar hos testbanken. Maximal sättning uppgår till ca 5 cm.

## 5. PRÄSTTJÄRN

### 5.1 Topografiska och geotekniska förhållanden

Som underlag för beskrivning av de topografiska och geotekniska förhållandena ligger följande geotekniska undersökningar:

Vägverket, E4 Härnösand - Örnsköldsvik, delen Nyland-Ullånger, Grundundersökningar, Objekt Y40922-E4, 1991-04-19.

Kompletterande geoteknisk undersökning utförd av Vägverket Produktion Mitt, Objekt nr 240922, 1993-12-29.

Resultaten av fältundersökningarna redovisas på Vägverkets RITN B12 :200-208. I denna rapport redovisas endast sektion 18/8

Upptagna jordprover har undersökts på SGI:s laboratorium och redovisas i TABELL 5:1-2.



## RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium  
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

## SAMMANSTÄLLNING AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

SKRED PÅ VÄG E4 HÄRNÖSAND-ÖRNSKÖLDSVIK, DELEN NYLAND-ULLÅNGER						Tabell	1
						Dnr	9307-331-2
Provtagningsdatum	Provtagningsredskap	Laboratorieundersökning		Utförd av		Datum	930817
930715	Kv Stl	Datum	930720	IMS		Teknisk ledare	ims
Sektion/ Borrhål/ Djup	Benämning enligt 1981 års system*	Densitet $\rho$ t/m <sup>3</sup>	Vattenkvot w %	Konflytgräns w <sub>L</sub> %	Sensitivitet s <sub>t</sub>	Skjuvhållfasthet $\tau$ kPa	Jordartsbenämning (Anmärkning)
<u>18/800 H23</u>							
2.0	ÖB: KONTAKT GRÅ GRUSIG SILTIG SAND/ GRÅ LERIG SILT, ROSTFLÄCKIG						ÖB: si Sa/le Si
	MB: GRÅ LERIG SILT, ROSTFLÄCKIG	1,97	25	24	(42)	(28)	MB: lo Si
3.0	GRÅ GYTTJIG SILTIG LERA MED VÅXT- DELAR, SULFIDRANDIG	1,62	77	80	21	38	gy si Le vx
4.0	GRÅ SILTIG LERA, SULFIDRANDIG	1,69	53	48	26	19	si Le
5.0	GRÅ SILTIG LERA MED SILTSKIKT	1,82	39	36	21	17	si Le si
6.0	GRÅ SILT MED GRUSINSLAG	-	14				Si

\* Baserad på okulär jordartsklassificering. Hänsyn har tagits till förekommande mätdata.  
\*\* Korrigering rekommenderas enligt SGI Information 3.

Akrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk akkreditering (SWEDAC) enligt lag  
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och  
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat

Statens geotekniska institut

S-1103 Linköping, Telefon 012-11 61 00, Telex 1121 12 11

TABELL 5:1 Laboratorieundersökning



## RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium  
REPORT is issued by an Accredited Laboratory

## SAMMANSTÄLLNING AV LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

SKRED PÅ E4 HÄRNÖSAND - ÖRNSKÖLDSVIK DELEN NYLAND - ULLÅNGER						Tabell 2	
						Dnr 2-9307-331	
Provtagningsdatum	Provtagningsredskap	Laboratorieundersökning Datum		Utförd av		Datum 931213	
931125-1126	Kv St	931206-1210		ML IMK		Teknisk ledare IHK	
Sektion/ Borrhål/ Djup	Benämning enligt 1981 års system*	Densitet $\rho$ t/m <sup>3</sup>	Vattenkvot w %	Konflytgräns w <sub>L</sub> %	Sensitivitet s <sub>v</sub>	Skjuvhållfasthet τ kPa	Jordartsbenämning (Anmärkning)
18/840 H31							
1.0	GRÅ, NÅGOT LERIG SILT, ROSTFLÄCKIG	1.94	26	28	(11)	(33) <sup>1</sup>	(tc) Si 1) Stor spridning
1.5	KONTAKT: GRÅ SILT / GRÅ LERA MED ROTTRÄDAR, ROSTFLÄCKIG	-	(42) <sup>1</sup>	50	6.9	38	Si / Le vx 1) Stor spridning W = 39 - 46%
2.0	GRÅ LERA MED ROTTRÄDAR, SULFIDFLÄCKIG	1.61	67	72	12	28	Le vx
2.5	GRÅ, SILTIG LERA MED SILTINSLAG	-	38	35	40	29	si Le
3.0	GRÅ, SILTIG LERA MED SILTINSLAG	1.83	39	35	42	27	si Le
3.5	GRÅ LERA, SULFIDRANDIG	-	71	69	23	27	Le
4.0	GRÅ LERA, SULFIDRANDIG	1.54	77	77	15	22	Le
4.5	GRÅ, SILTIG LERA MED SILTSKIKT, SULFIDRANDIG	-	39	36	31	27	si Le si
5.0	GRÅ, SILTIG LERA, SULFIDFLÄCKIG	1.74	42	38	28	21	si Le

\* Baserad på okulär jordartklassificering. Hänsyn har tagits till förekommande mätdata.

\*\*Skjuvhållfasthet, bestämd med konmetoden. Korrigering rekommenderas enligt SGI Information 3.

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC), enligt Lag  
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och  
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat

Statens geotekniska institut

TABELL 5:2 Laboratorieundersökning



Nya E4 går på skrå i en svag sluttning. Terrängen sluttar såväl österut ned mot sjön Prästtjärn som norrut mot ett flackare landskap. Prästtjärn ligger på 30 - 60 m avstånd från vägmitt. Sluttningen utgör nederdelen av ett långsträckt höjdparti väster om E4. Höjdpartiets krön ligger på nivån +70 m och Prästtjärns vattenyta på +13 m.

Nya E4 övertvårar den gamla vägen successivt från sektion 18/780, där endast en mindre del av den gamla vägen ligger under den nya vägens slänt, till 18/900 där den gamla vägen är helt täckt av den nya.

Gamla E4 ligger på bank och bankhöjden är som mest ca 2 m i höger vägkant.

Nya E4 ligger på bank med låg bank i vänstra (västra) vägkanten och bankhöjden ökar successivt mot högra (östra) vägkanten. Vänstra, övre diket ligger delvis i grund skärning. Största bankhöjd är ca 3 m.

Berg har påträffats i det vänstra vägdiket. Jordmäktigheten ökar successivt från den högre delen av sluttningen ned mot Prästtjärn. Jorden består i den lägre delen av sluttningen överst av ett fast lager silt och lera som ligger på ett löst - medelfast lerlager. Under dessa lager förekommer ett fastare lager troligen bestående av silt på friktionsjord. Friktionsjorden består sannolikt av morän, men någon verifierande provtagning i detta lager finns ej. Silt - och lerlagren har en sammanlagd mäktighet på 0-8 m, varav det fasta ytlagret utgör 0-2 m. Mäktigheten ökar i riktning mot Prästtjärn. Av sonderingarna att döma kan bottenlagren av förmodad silt och friktionsjord ställvis vara tunna eller saknas.

Silt- och lerlager förekommer under gamla E4 och under större delen av nya E4.

Mätningar av grundvattentryck visar att tidvis råder artesiska förhållanden.

## 5.2 Stabilitet

Stabilitetsberäkningar har utförts i sektionerna 18/800 och 18/860. Beräkningarna har utförts med SGI:s beräkningsprogram SSTAB. Analysmetod har varit s k kombinerad analys, vilken innebär att det lägsta värdet av odränerad och dränerad hållfasthet väljs i varje lamell.

Använda skjuvhållfasthetsvärden vid beräkningarna framgår av redovisade beräkningssektioner, se BILAGA 2:1-2.

Trafiklast har antagits vara 10 kPa över hela vägbredden.

Beräkningarna visar att stabiliteten är otillfredsställande för såväl den nya som den gamla vägbanken. Beräknad säkerhetsfaktor för den gamla vägen ligger nära 1,0, vilket "stämmer", eftersom skredrörelser inträffat i denna vägbank.

Risken för bakåtgripande skred, som kan gripa in i nya E4 vid fullt utvecklat skred i den gamla vägbanken, bedömdes vara stor främst på grund av de höga grundvattentrycken.

Stabiliseringsåtgärder bedömdes vara nödvändiga. Åtgärderna redovisas i följande avsnitt.

## **5.3 Åtgärder**

### **5.3.1 Avschaktning och dränering**

Med hänsyn till den höga skredrisken prioriterades vissa stabiliserande åtgärder med skyndsamhet.

Avschaktning av tidigare utlagda schaktmassor - överskottsmassor - utanför projekterad väggkropp utfördes i juli 1993, Vägverkets RITN B:12:201-202, tvärsektioner 18/780 resp 18/800, (ej redovisade i denna rapport).

Ytlig dränering utfördes utanför nya E4:s släntfot på avsnittet 18/780 - 18/900 i augusti 1993. Även viss fördjupning av det vänstra övre diket utfördes.

### **5.3.2 Förslag till förstärkningsåtgärder**

Stabilisering av de båda vägbankarna är en komplex fråga eftersom både den nya och den gamla vägbanken måste stabiliseras. Den gamla vägbanken fungerar som tryckbank för den nya banken.

Olika förstärkningsåtgärder diskuterades underhand.

Djupdränering är en effektiv och relativt billig metod att installera. Metoden kräver emellertid återkommande kontroll av dräneringens funktion under vägens hela livslängd vilket medför driftskostnader. Eftersom grundvattentrycken enligt mätningarna kan stiga snabbt finns risken att bristande funktion i dräneringen inte hinner upptäckas i tid. Djupdränering avfördes därför av dessa skäl som stabiliseringsåtgärd.

SGI föreslog i samråd med Vägverket Produktion Mitt som förstärkningsåtgärder kalk-cementpelare (KC-pelare) i kombination med en tryckbank för den nya vägen. Fördelarna med KC-pelare bedömdes vara att åtgärden fungerar kontinuerligt under vägens livslängd, den kräver inget underhåll samt att den tjänar som stöd för tryckbanken.

## **5.4 Förstärkning med kalk-cementpelare**

### **5.4.1 Allmänt**

Genom förstärkning med kalk-cementpelare bedömde SGI att tillfredsställande säkerhet kunde erhållas för de höga grundvattentryck som uppmäts. Pelarnas dränerande verkan beaktades inte i beräkningarna. Förstärkning med kalk-cementpelare rekommenderades på sträckan 18/770- 18/900.

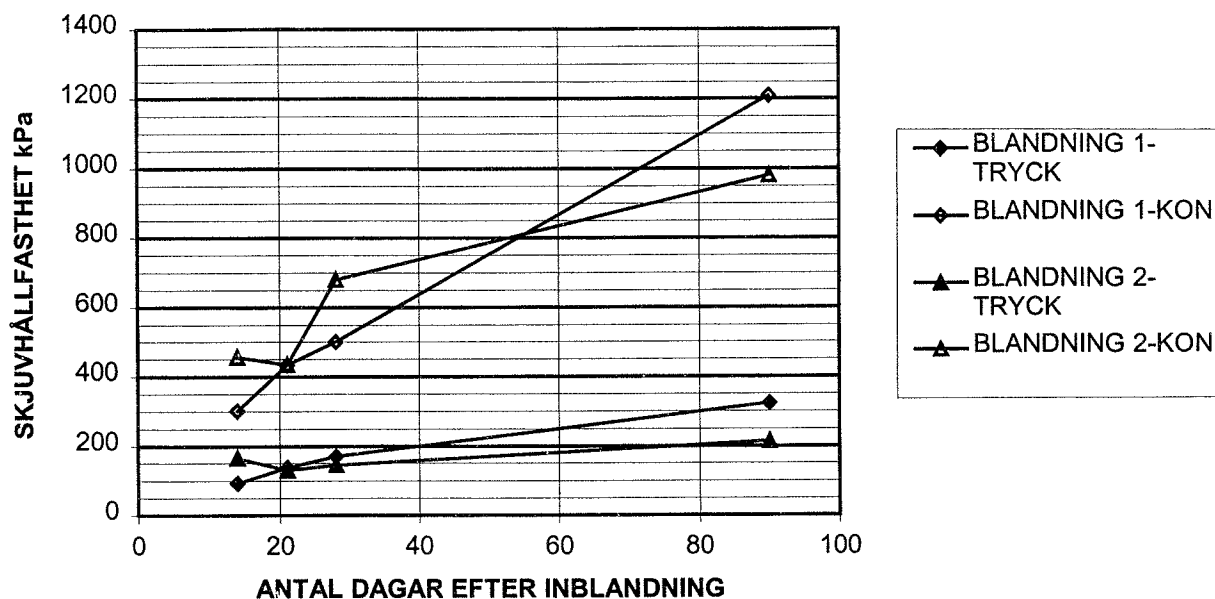
### **5.4.2 Laboratorieundersökning**

För utprovning av lämplig kalk-cementblandning och bestämning av blandningens hållfasthetstillväxt hos den stabiliserade jorden upptogs jordprover med kolvborr, i sektion

18/800 H30 (invid befintligt borrhål nr 268). För att få tillräcklig provmängd krävdes provtagning på varje halvmetr.

Laboratorieundersökningen av kalk-cementblandning utfördes på SGI:s laboratorium. Resultaten framgår av BILAGA 3.

Hållfasthetens tillväxt med tiden redovisas i FIGUR 5:1



FIGUR 5:1 Hållfasthetstillväxt för inblandade prover mätt med tryck- och konförsök. Konvärdena för vissa prover har stor spridning och redovisat värde är då medelvärde.

### 5.4.3 Dimensionering

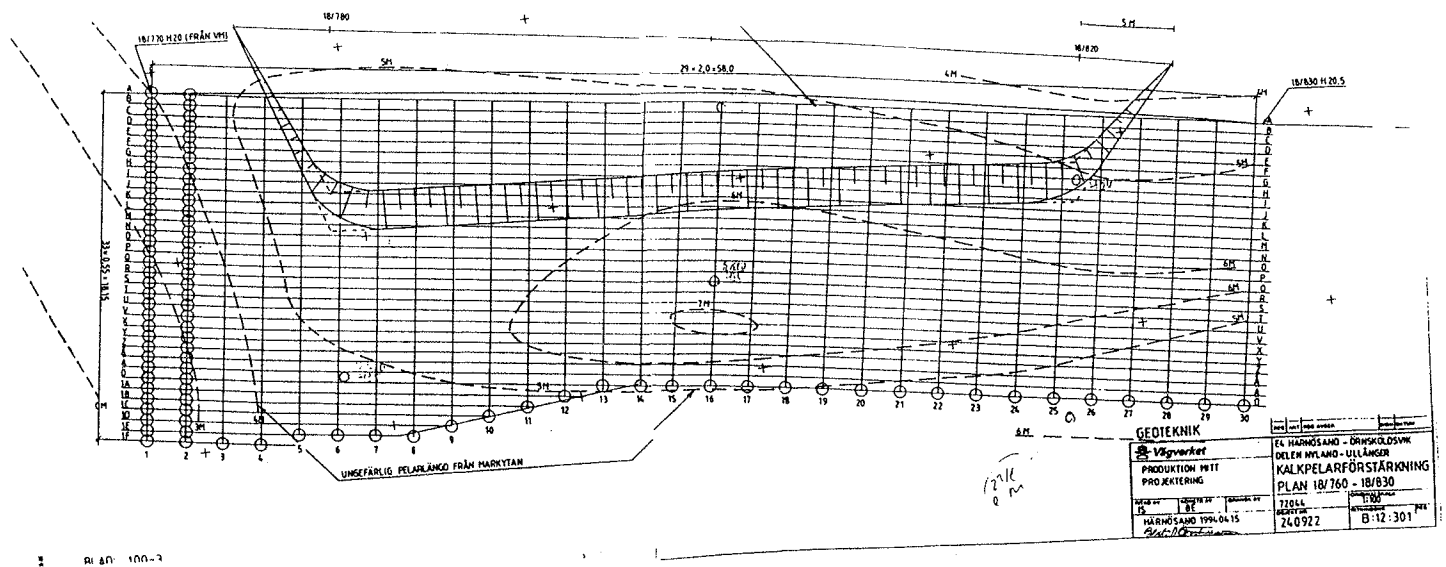
Projekteringen av pelarförstärkningen utfördes under följande förutsättningar:

- Kalk-cementblandade pelare med 11,5 kg kalk och 11,5 kg cement per m pelare
- Pelardiameter 0,6 m
- Pelarna satta i skivor vinkelrätt mot vägens längdriktning med cc-avstånd 2,0 m
- Pelarna skulle gå omlott med varandra med en överlappning på 5 cm

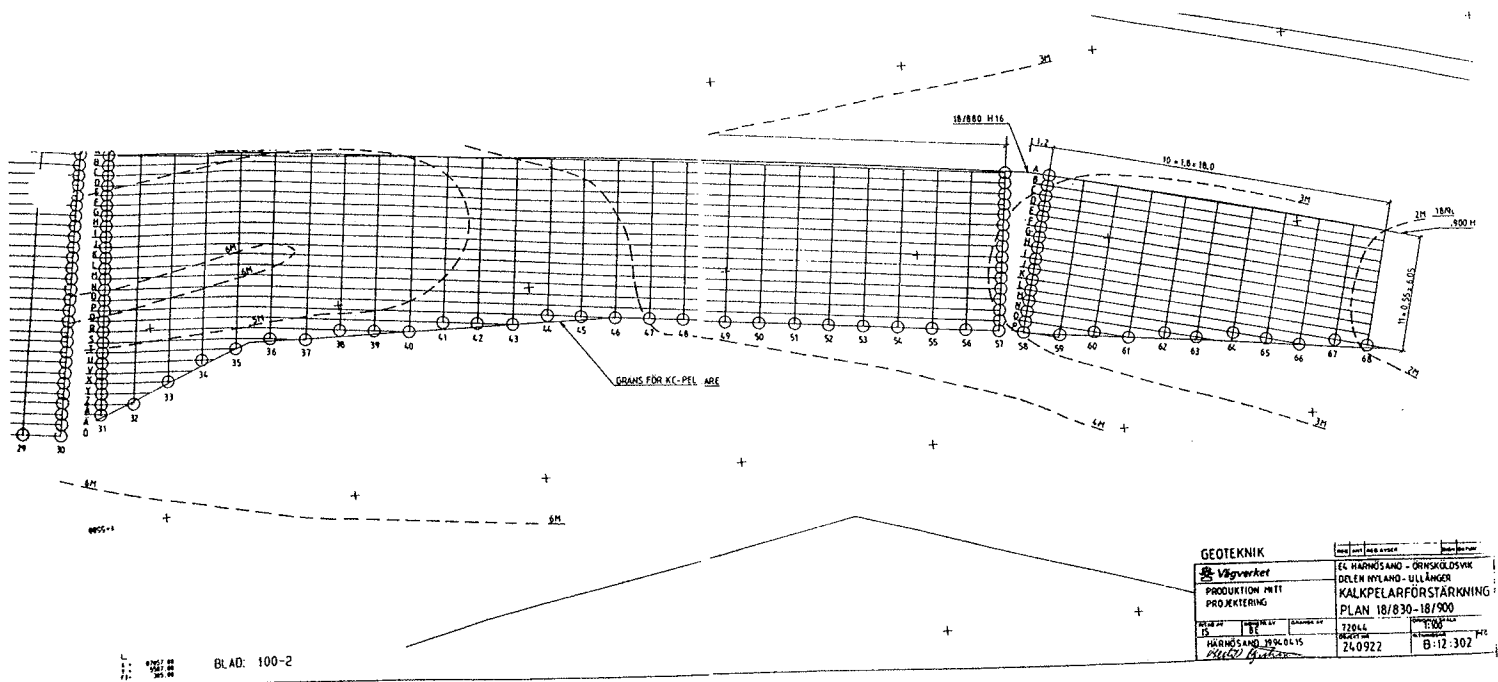
Dimensionering av kalkpelarna utfördes på följande sätt. KC-pelarnas hållfasthet ansattes till 100 kPa. Ett viktat medelvärde av lerans och kalk-cementpelarnas odränerade skjuvhållfasthet beräknades. Stabiliteten för KC-pelarförstärkningen beräknades därefter med c-analys, varvid det framräknade medelvärdet på den odränerade hållfastheten användes. Som riktvärde för dimensioneringen sattes, att säkerhetsfaktorn skulle uppgå till minst 1,5.

Ett exempel på resultat av beräkningarna för dimensioneringen framgår av FIGUR B2:2.

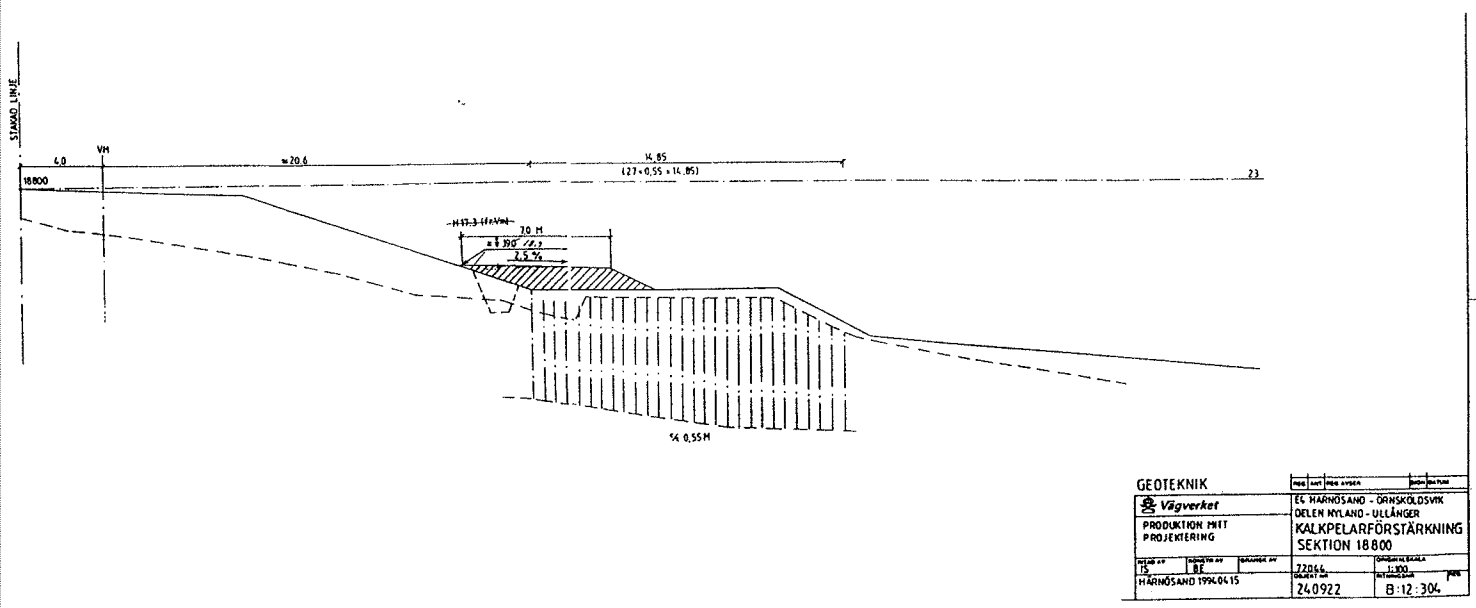
Arbetshandlingar för anbudsfrågan utarbetades av Vägverket Produktion Mitt, Härnösand i samråd med SGI. Plan över pelarförstärkningen framgår av FIGUR 5:2-3 och exempel på tvärsektion visas i FIGUR 5:4.



FIGUR 5:2 Plan över kalk-cementpelarförstärkningen, pelarrad 1-30. Bedömda ler- och silt djup inlagda som djupkurvor. Vägverket Produktion Mitt, Objekt nr 240922, 940415. Ritning nr B:12: 301.



FIGUR 5:3 Plan över kalk-cementpelarförstärkningen, pelarrad 31-68. Bedömda ler- och siltdjup inlagda som djupkurvor i meter under markytan. Vägverket Produktion Mitt, Objekt nr 240922, 940415. Ritning nr B:12: 302.



FIGUR 5:4 Sektion genom kalk-cementpelarförstärkningen, sektion 18/800.  
Vägverket Produktion Mitt, Objekt nr 240922, 940415. Ritning B:12:304.

#### 5.4.4 Anvisningar för arbetsskedet

På grund av områdets låga säkerhet mot skred utfärdades föreskrifter för arbetets genomförande, se BILAGA 4.

Dessa föreskrifter sammanfattas nedan

- Endast en kalkpelarmaskin inom arbetsområdet
- Särskild installationsordning med installation av varannan skiva och minst tre dagars intervall före installation av närliggande skivor
- Säkerställande av pelarkontakt med friktionsjorden under leran och silten
- Mätning av grundvattennivåer och mätning av markrörelser
- Riktvärden för grundvattennivåer och rörelser för avbrytande av pelarinstallationen

Riktvärdena för grundvattennivåer och rörelser enligt BILAGA 4 visade sig dock vara alltför försiktigt valda i detta område. Detta kommenteras vidare i nästa avsnitt.

#### 5.4.5 Utförande av pelarinstallation

Som entreprenör till pelarinstallationen valdes LC Markteknik AB, Göteborg.

Arbetet påbörjades 1994-08-18 och avslutades 1994-09-01. Nollmätningar utfördes 1994-08-18.

Det visade sig snart efter igångsättningen av pelarinstallationen, att de uppsatta riktvärdena på förändringar i rörelser och grundvattennivåer snabbt överskreds. Den föreskrivna arbetsordningen om installation av varannan pelare måste överges och större avstånd mellan nyligen installerade pelarrader valdes. Den verkliga installationsordningen av pelarraderna redovisas i FIGUR 6:1 och FIGUR B 6:4.

Installationen startade 1994-08-18. Då stora rörelser och kraftigt höjd grundvattennivå uppmättes under perioden 23-25 augusti trots den reviderade installationsordningen avbröts arbetena. 43 av totalt 68 rader hade då installerats. Efter kontroll av att rörelserna avstannat och att grundvattennivån sjunkit återupptogs arbetena den 29 augusti. Resterande 25 rader utfördes sedan under perioden 29 augusti - 2 september. Trots att rörelserna t o m blev större än tidigare tilläts arbetena fortsätta.

De stora höjningarna i grundvattennivåerna visade sig vara av momentan natur och nivåerna sjönk relativt snabbt efter pelarsättningen. Då emellertid grundvattennivån vid mätning 1994-09-23 visade en ökande tendens beslöts att utföra dränering, se avsnitt 5.4.6.

Detsamma gällde i princip också de uppmätta horisontalrörelserna. Rörelserna var direkt förknippade med pelarinstallationen och bromsades snabbt efter installationen. I några fall kunde en viss återgång skönjas. Mätningar efter arbetenas avslutande visar att rörelserna avtog snabbt efter sista pelaraden, men att rörelserna har fortsatt relativt lång tid efteråt, dock med avtagande tendens.



En omständighet som också påverkade situationen var att det förekom block i den gamla E4:s vägbank. Flera av blocken måste grävas bort för att pelarmaskinen skulle kunna komma ned. Vid schaktningsarbetet uppstod därvid relativt kraftiga markskakningar, som märktes mycket väl av personal på arbetsplatsen. Denna blockförekomst hade inte upptäckts vid den geotekniska fältundersökningen.

#### 5.4.6 Djupdränering

Vid projekteringen av kalk-cementpelarna hade förutsatts att pelarna skulle ha en viss dränerande effekt och på så sätt bidra till att minska risken för höga grundvattennivåer.

Då det emellertid visade sig att vatten fortsatte att sippra ur marken nedanför KC-pelarförstärkningen tre veckor efter arbetets avslutande, , se mätning av grundvattennivå 23 september, 1994, FIGUR B6:16-18, beslöts att utföra djupdränering.

Dräneringen utfördes med vanliga grundvattenrör med filterspets (typ Geotech). Rören sattes på avsnittet ?? - ?? med 5 m avstånd. Spetsarna drevs ned i friktionsjorden under silt- och lerlagren. Rören kapades 1 m under markytan och anslöts till horisontal dränering som grävdes ned tvärs gamla E4:s bank och mynnade i bankens släntfot.

## 6. MÄTNINGAR AV RÖRELSER OCH GRUNDVATTENNIVÅ

### 6.1 Mätningar före KC-installation

Mätningar av vertikal rörelse och grundvattentryck påbörjades från upptäcksdatum 1993-09-01 och utfördes tills tjälning inträffade 1993-11-29. Sättnings- och grundvattenmätningarna redovisas i BILAGA 5.

#### Rörelsemätningar

Rörelsemätningen har omfattat avvägning av dubbar på ömse sidor om den uppkomna sprickan. Dubbparen har installerats enligt TABELL 6:1.

TABELL 6:1 Installationsdatum för mätdubbar. Observera, att dubbarna 1/1 -3/6 ersatts av nya 1993-09-20.

DATUM	DUBBNUMMER						
	1/1 - 1/2	2/3 - 2/4	3/5 - 3/6	4/7 - 4/8	A1 - A2	B3 - B4	C5 - C6
93-08-31	X	X	X				
93-09-20	X	X	X	X			
93-10-05					X	X	X

Eftersom rörelsen i huvudsak var vertikal utfördes endast avvägning av dubbarna. Resultaten av sättningsmätningarna redovisas i FIGUR B5:3-4 i BILAGA 5. Redovisningen omfattar

dels sättningsdifferensen mellan varje dubbpar, FIGUR B5:3, och dels de enskilda dubbarnas sättning, FIGUR B5:4. Observera, att nya dubbar installerades 1993-09-20, och att detta medfört ett "hack" i sättningskurvorna för dubbarna 1/1-1/2 och 3/5-3/6.

Sättningskillnaden är som störst ca 0,2 m i dubbpar 3/5-3/6. Resultaten visar också, att rörelsen i princip endast pågick i dubbarna närmast Prästtjärn. Det var alltså endast marken nedanför sprickan som rörde sig. Storleken på rörelsen visar också att det är brott i jorden, d v s det är fråga om en skredrörelse.

### **Mätningar av grundvattennivå**

Grundvattenmätningarna före KC-installationen omfattade mätning av grundvattennivån i de undre silt-/moränlagret med hjälp av 5 grundvattenrör med filterspets. Grundvattenrörens läge visas nedan:

<b>Sektion</b>	<b>Avstånd från mittlinje nya E4</b>
18/780	H35
18/800	H22 och H30
18/820	H24
18/840	H20

Resultaten av grundvattenmätningarna, FIGUR B5:1-2, visar att grundvattentrycket i jorden under lerlagret är högt och i två GW-rör - 18/800 H22 och 18/840 H20 - tidvis artesiskt, d v s grundvattnets stighöjd når över markytan. De högsta GW-trycken har uppmätts i 18/800 H22 med som mest ca 0,80 m övertryck. Samtliga GW-rör står i den gamla vägbanken. Om grundvattnets stighöjd relateras till ursprunglig markyta under vägen råder artesiskt tryck i samtliga GW-rör.

### **Samband mellan rörelse och grundvattennivå**

Av mätningarna framgår tydliga samband mellan sättningar och grundvattennivå. Sättningar har uppmätts i dubbarna 1/2, 2/4 och 3/6 vid två tillfällen med förhöjda grundvattennivåer - början av augusti och mitten av oktober 1993. Sättningarna har upphört när grundvattennivåerna sjunkit undan. Sättningarna som uppstod i början av augusti 1993 var av den storleksordningen att skred påbörjades men skredrörelsen avstannade när grundvattennivån sjönk.

## **6.2 Kontrollmätningar i samband med KC-installation**

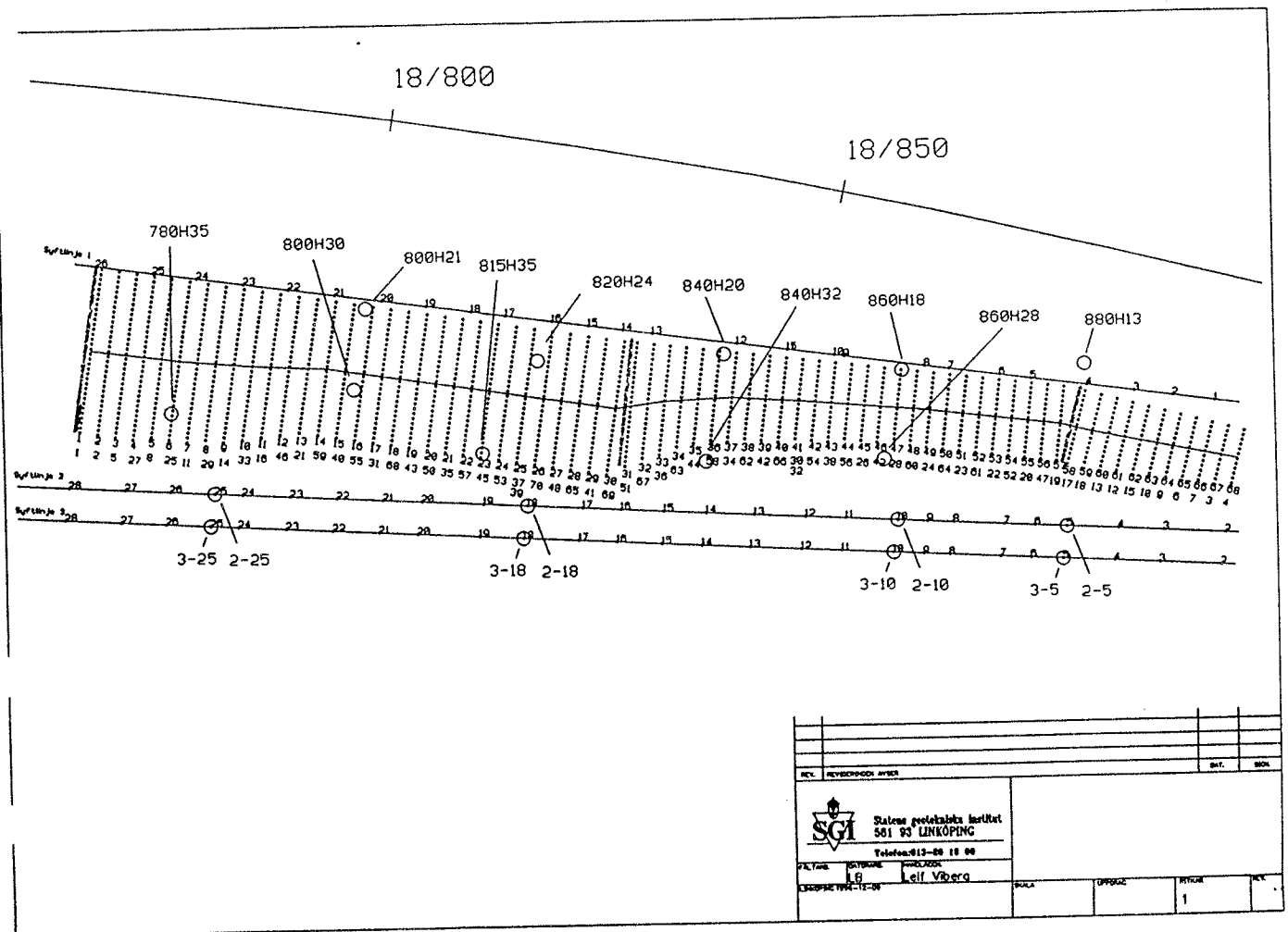
I projekteringen av KC-pelarförstärkningen föreskrevs kontrollmätningar omfattande mätningar av horisontalrörelser och grundvattennivåer. Resultaten av mätningarna redovisas i BILAGA 6.

Syftet med dessa mätningar var att hålla rörelser och grundvattentryck under observation för att kunna förhindra uppkomst av allvarliga rörelser. Vid stora rörelser styrdes

pelarinstallationen så att rörelserna fick avklinga innan arbetena återupptogs inom sådana zoner.

För rörelsemätningar föreskrevs uppsättande av tre parallella syftlinjer i vägens längdriktning bestående av träpålar 50x50 mm på ca 5 m avstånd och med spik islagen i toppen. En linje lades ut längs nya E4:s bankfot, och två linjer strax utanför förstärkningen, se FIGUR 6:1.

Mätning av grundvattennivåer utfördes i ett antal grundvattenrör enligt TABELL 6:2. Rörens lägen framgår av FIGUR 6:1.



FIGUR 6:1. Plan över pelarrader, syftlinjer med mätpunkter och grundvattenrör. I varje pelarrad är varje enskild pelares centrum markerad. Den undre siffraden under pelarraderna anger ordningsföljden för installationen.

TABELL 6:2 Prästjärn. Grundvattenrördata.

SEKTION	H VM	1:a MÄTN	MARK- HÖJD m ö h	ÖK RÖR m ö h	SPETS m ö h
18/780	H35	1993-12-08		19,24	
		1994-08-22		19,27	
		1994-08-19 11:00		Avgrävd	12,04
18/800	H21	1994-08-10	17,5	19,32	
18/800	H30	1993-12-08	17,76 ?	18,63	
		1994-08-04		17,76	
18/815	H35	1994-08-22	15,21	15,82	
		1994-08-24 18:55		16,82	12,04
18/820	H24	1993-12-08	17,62	18,52	
		1994-08-04 09:35		17,64	
18/840	H20	1993-12-08	17,05	18,66	
		1994-08-04		17,98	
		1994-08-23 15:00		17,38	
18/840	H32	1994-08-23	15,06	15,26	
		1994-08-24 19:00		15,68	
					11,41
18/860	H18	1994-08-23	17,38	19,18	
18/860	H28	1994-08-23	15,63	16,21	
		1994-08-24 19:00		17,19	
18/880	H13	1994-08-10	19,07	19,99	13,74

## 7. ANALYSER

### 7.1 Nederbördsdata

Nederbördsdata redovisas i BILAGA 8.

Nederbördsdata är av intresse av två skäl.

1. Finns det ett samband mellan nederbörd och grundvattennivåförändringar och därmed sammanhängande rörelser ?
2. Om svaret är ja på fråga 1. är det angeläget att försöka analysera nederbördens inverkan på rörelserna vid pelarinstallationen för att på så sätt kunna renodla installationens inverkan. Detta visade sig dock vara svårt, se nedan.

Nederbördsdata har inköpts från SMHI. Data består av månadsvärden och dygnsvärden. Närmaste plats med klimatdata är Kramfors, som ligger xx mil zzz om Ullånger. Månadsvärdena bedöms var mer representativa för Ullånger än dygnsvärdena. Speciellt under sommaren medför lokala skurar att relativt stora variationer kan förekomma inom en region. Dygnsvärden kan därför variera från plats till plats. Månadsvärdena utjämnar i viss mån sådana variationer.

Eftersom grundvattennivåerna vid Prästjärn varierar relativt snabbt är det sannolikt att även kortvariga regn påverkar grundvattennivån. Dygnsvärdena är därför av stort intresse. En analys baserad på dygnsvärdena från Kramforsstationen kan dock av ovannämnda skäl bli osäker.

Aktuella månadsvärden redovisas tillsammans med månadsmedelvärden och maximala månadsvärden. Data redovisas i två diagramtyper. Den ena typen består av absoluta värden, FIGUR B8:1-2. I den andra typen visas de aktuella månadsvärdena och maxvärdena i förhållande till medelvärdena, som utgör 0-linje i diagrammet, FIGUR B8:3. I detta diagram framgår tydligare hur den aktuella nederbörden förhåller sig till medel- och maxvärdena.

Av diagrammen framgår nederbördsförhållandena före de två skreden i juni och augusti 1993. Månaden före respektive skred var nederbörden över medel, i juli 1993 var nederbörden t o m mycket över medel och nära det maximala värdet. Å andra sidan var nederbörden för alla månader under perioden december 1992- april 1993 under medelvärdena.

Månadsvärdena under augusti-september 1994, när kalk-cementpelarna installerades låg betydligt under medelvärdena. Regn förekom endast en dag, 1994-08-27.

### Temperaturdata

Även temperaturdata har införskaffats från SMHI. Dessa data består av månadsvärden och månadsmedeltemperatur, FIGUR B8:4. Temperaturen låg nära den normala för de aktuella tidsperioderna under 1993 och 1994.

## Horisontalrörelse

Horisontalrörelser mättes med totalstation i tre linjer, se FIGUR 6:1.

Rörelserna i linje 1 var mycket små och redovisas därför ej. Rörelserna för samtliga mätpunkter i linje 2 och 3 redovisas i FIGUR B6:1-2.

De maximala rörelserna i linje 2 och 3 blev över 30 cm, som är ett mycket högt värde. Det finns ett tydligt samband mellan lerdjup och rörelsernas storlek. De största rörelserna uppstod vid de största lerdjupen.

Rörelser i två punkter (5 och 17 i linje 3) mot tiden redovisas i FIGUR B6:3. Av denna framgår tydligt att rörelserna är direkt beroende av arbetet med pelarinstallationen. När arbetet pågår ökar rörelserna, vid avbrott minskar rörelserna snabbt och vid återupptaget arbete ökar rörelserna igen.

Jämförelse mellan rörelserna i linje 2 och 3 visar att jorden förskjuts i stort sett monolitiskt mellan dessa linjer. Detta innebär att rörelserna inte enbart berör zonen närmast utanför pelarområdet utan att relativt stora volymer jord förskjuts. Hur stort område som berörs kan inte bedömas med stöd av de utförda mätningarna.

## Mätningar av grundvattennivå

Resultaten av grundvattennivåmätningarna redovisas i FIGUR B6:5-17. Jämförelse mellan mätningarna från 1993 och 1994 visas i FIGUR B6:5-8. Grundvattennivåer under arbetena med pelarinstallationen redovisas i FIGUR B6:9-17.

Jämförelse mellan mätningar från 1993 vid skredtillfället och 1994 vid pelarinstallationen, FIGUR B6:5-8 visar att grundvattennivån under installationsarbetena låg under eller lika med 1993 års värden. I några rör låg nivån 1994 betydligt under 1993 års nivå - ca 1 m i 18/800H22 och ca 0,75 m i 18/840H20.

## Samband mellan rörelser/grundvattennivå och avstånd till pelarinstallation

Analys av hur avståndet till pelarrad under installation påverkar grundvattennivå - och därmed också rörelser - har utförts med två metoder.

Den ena metoden är en direkt jämförelse mellan mätt grundvattennivå och avståndet till pelarrad i samma diagram, se FIGUR B6:9, 10, 12, 13. Några säkra slutsatser kan inte dras av diagrammen, därtill är mätintervallen för glesa. Av FIGUR B6:12-13 framgår dock att grundvattennivån är i stort sett opåverkad under arbetets första dagar, då avståndet är större än ca 30 m. När avståndet blir mindre än ca 25 m påverkas grundvattennivån kraftigt.

I den andra metoden har avstånd och grundvattennivå avsatts som x- respektive y-värden. De redovisade resultaten skall i första hand ses som en demonstration av möjligheten att analysera influensavstånd. Mätningarna medger inga säkra slutsatser. Resultaten redovisas i FIGUR B7:1-4.

En förutsättning för analys av influensavstånd är att grundvattenmätningar blir utförda i samband med installation av en viss pelarrad eller inom en kort tidsrymd efter installationen eftersom grundvattennivån sjunker relativt snabbt efter en installation. Som tidsgräns valdes 1 timme. Endast sådana mätningar som uppfyller detta villkor har medtagits i redovisningen. Som framgår av resultaten erhålls inga säkra resultat. I FIGUR B7:2 framgår att grundvattennivån i GW-rör 18/820H24 tycks vara opåverkad för större avstånd än 20 m. För de båda övriga undersökta GW-rören är det svårt att finna någon tydlig trend. Med tätare mätintervall än i det aktuella projektet bör det dock vara möjligt att få fram ett influensavstånd.

## 8. DISKUSSION

### 8.1 Orsak till skredrörelser

Den utförda förstärkningsinsatsen framtvingades av de skredrörelser uppstod i gamla E4:s vägbank nedanför den nybyggda E4. De höga grundvattennivåerna medförde låg beräknad säkerhet mot skred.

Den gamla E4 har funnits under mycket lång tid och några skredrörelser har så vitt känt inte inträffat tidigare.

Ett rimligt antagande är, att rörelserna primärt är relaterade till de höga grundvattennivåerna. Orsaken till de höga grundvattennivåerna kan sökas främst i två faktorer, nämligen nederbörd och uppbyggnaden av vägbanken för den nya E4.

Grundvattennivåer är beroende av nederbördsförhållandena. Nederbördsstatistiken från SMHI, FIGUR B8:2, visar att nederbörden i maj och juni 1993 var högre än medelvärdet, medan juli låg betydligt över medelvärdet nära maximal månadsnederbörd.

Närmaste mätstation med små grundvattenmagasin i SGU:s grundvattennät är Torpshammar, SGU nr 26:7, i Ljungans dalgång, belägen ca 50 km öster om Sundsvall och ca 110 km sydväst om Ullånger.

Närmaste mätstation med stora grundvattenmagasin ligger i Sollefteå, SGU nr 30:3.

Typiskt för små magasin är att de uppvisar stora och snabba nivåvariationer. På grund av magasinens små volymer stiger grundvattennivån snabbt vid påfyllning, men sjunker också normalt snabbt när påfyllningen upphör och magasinet dräneras. Mätningarna av grundvattennivån i det aktuella området vid Ullånger tyder på att grundvattenmagasinet är litet och bör alltså jämföras med mätstationen Torpshammar i första hand.

Nederbördsstatistiken och grundvattennivåerna hos de ovan nämnda grundvattenstationerna talar för att höga grundvattennivåer bör ha förekommit allmänt i regionen vid den aktuella tiden.

Uppbyggnaden av den nya vägbanken har självfallet påverkat grundvattensituationen. Några fakta som talar för att den nya bankens påverkan är dels, att det under sensommaren 1993



stundtals rann vatten över den gamla E4-vägbanan och dels, att det enligt uppgift uppstod svallis på gamla E4 vid påsktid, när bankuppbyggnaden pågick. Den rikliga nederbörden kan väl i och för sig ensam ha åstadkommit dessa effekter, men det är troligt att både nederbörd och bankuppbyggnad har bidragit till de höga grundvattennivåerna.

Bankuppbyggnaden kan påverka portrycken på olika sätt:

1. Vid pålastning på lera uppstår ökade portryck, som klingar av med tiden genom utpressning av porvatten (konsolidering).
2. Den nya banken kan medföra dämning av yt- och grundvatten
3. Den nya banken kan magasinera vatten

## 8.2 Mätningar under pelarinstallationen

Mätningarna under pelarinstallationen visar entydigt stor påverkan på grundvattennivåer och rörelser.

Vid analys av pelarinstallationens påverkan på grundvattennivån och rörelserna måste man även beakta inverkan av de schaktningsarbeten som utfördes för att rensa bort block. Nederbörden under pelarinstallationen var liten och torde inte ha haft någon inverkan på grundvattennivåer och rörelser.

Av mätningarna går det inte att dra någon slutsats om influensområde, d v s hur grundvattennivå och rörelser påverkas av avståndet till pelarsättningen. I något fall tycks dock avståndet ca 25 m vara kritiskt.

## 8.3 Varför blev det inte skred ?

En viktig fråga är varför skred inte uppstod under pelarinstallationen med tanke på de mycket stora rörelserna och höga grundvattentrycken. Här lämnas några tänkbara orsaker. Det bör betonas att analysen nedan är av mer spekulativ art, eftersom mätningarna inte medger en tillräckligt underbyggd analys.

**Lokal påverkan.** Pelarsättningen medförde lokal påverkan. Rörelserna beror främst av undanträngning. Detta styrks av att rörelserna avtar snabbt när installationsarbetena upphör.

**Litet grundvattenmagasin** medför snabbt höjda grundvattennivåer, men också snabbt avklingande grundvattentryck. Detta innebär att grundvattennivån - och därmed också portrycken - inte byggs upp successivt. Uppenbarligen har den höjda grundvattennivån i de flesta fall hunnit avklinga innan nästa pelarrad installerades i närheten av mätarna. De högsta värdena grundvattennivån

**Siltinnehåll** - Hög silt halt medför att jorden kan bete sig "segt" och därmed tåla stora deformationer utan att kollapsa. Den lokala deformationen medförde såväl tryckzoner med höjda portryck som dragzoner med sänkta, troligen negativa portryck. De negativa portrycken verkar stabiliserande.

## 9. SLUTSATSER

De slutsatser som listas nedan gäller endast för de geologiska, geotekniska och geohydrologiska förhållanden som råder vid den aktuella platsen. Under andra förhållanden kan konsekvenserna bli annorlunda.

- Mycket stora rörelser och höga portryck är möjliga utan att skred inträffar
- De stora rörelserna och höga portrycken snabbt övergående
- Avsaknaden av erfarenhetsvärden medförde att kritiska värden - larmnivåer - underskattades
- Dränerande funktion hos KC-pelare inte konstaterad i detta fall
- Mätningarna av rörelser och grundvattennivåer hade stor betydelse för ett lyckat genomförande. Utan mätningar hade osäkerheten varit mycket stor och entreprenaden hade troligen blir dyrare genom t ex längre uppehåll. Man kan inte utesluta att besluten som fattades med stöd av mättningsresultaten kan ha förhindrat skred.
- Rörelserna troligen orsakade av massundanträngning, något som styrks av den snabba uppbromsningen av rörelserna efter installationen.
- Även de höjda grundvattennivåerna bedöms i de flesta fallen vara orsakade av massundanträngningen. Nederbörd och vibrationer har sannolikt också tidvis påverkat grundvattennivån.
- Förstärkningen har fungerat tillfredsställande fram till dags dato – april 1998.

## 10. FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Undersökningen visar, att kunskapen om framför allt rörelser vid pelarinstallation är bristfällig. Om sådan kunskap finns är den i varje fall svåråtkomlig. Här lämnas några förslag till kunskapsuppbyggnad, erfarenhetsåterföring och informations spridning.

1. Fler mätningar av rörelser, grundvattennivåer och portryck bör utföras i olika geologiska och geotekniska förhållanden i samband med KC-installationer. Rörelsemätningarna bör även omfatta inklinometermätningar. Tätare mättningsintervall än i föreliggande utredning bör utföras så att sambanden mellan installation av pelarrader och geotekniska förändringar kan framträda tydligt.

Uppföljande mätningar relativt lång tid efter arbetenas genomförande bör utföras.

2. För att säkerställa erfarenhetsåterföring bör en databas med mätvärden och övriga relevanta data konstrueras och byggas upp successivt. En sådan databas kan tjäna som stöd vid planering och genomförande av pelararbeten. Efter viss tids uppbyggnad kan databasen även få stort värde för forskningen.

Huvudman för databasen bör utses, så att den kan ajourhållas, kvalitetssäkras och göras tillgänglig för intresserade.

**BILAGA 1**  
**KARTA OCH FOTON**



FIGUR B1:1 Geografiskt läge.



FIGUR B1:2 Skredet vid Humpsjön.



FIGUR B1:3 Humpsjön. Skredets norra del.



FIGUR B1:4 Humpsjön. Översikt av skärningen i den övre slänten. Mörkare partier antyder utsipprande grundvatten.



FIGUR B1:5 Humpsjön. Detalj av den övre skärningsslänten. Mörkare partier antyder utsipprande grundvatten.





FIGUR B1:6 Humpsjön. Övervakning genom avvägning av mätdubbar.



FIGUR B1:7 Översikt av avsnittet vid Prästjärn mot söder. Gamla E4 ligger till vänster nedanför nya E4:s slänt och Prästjärn ligger ytterligare till vänster utanför bilden. Till höger om nya E4 skymtar skärningslänt i morän.



FIGUR B1:8 Gamla E4 nedanför nya E4. Prästjärn ligger till höger utanför bilden.





FIGUR B1:9 Norra den av avsnittet vid Prästtjärn. Vy mot söder.



FIGUR B1:10 Prästjärn. Spricka i gamla E4 1993-09-06. Vy mot norr.



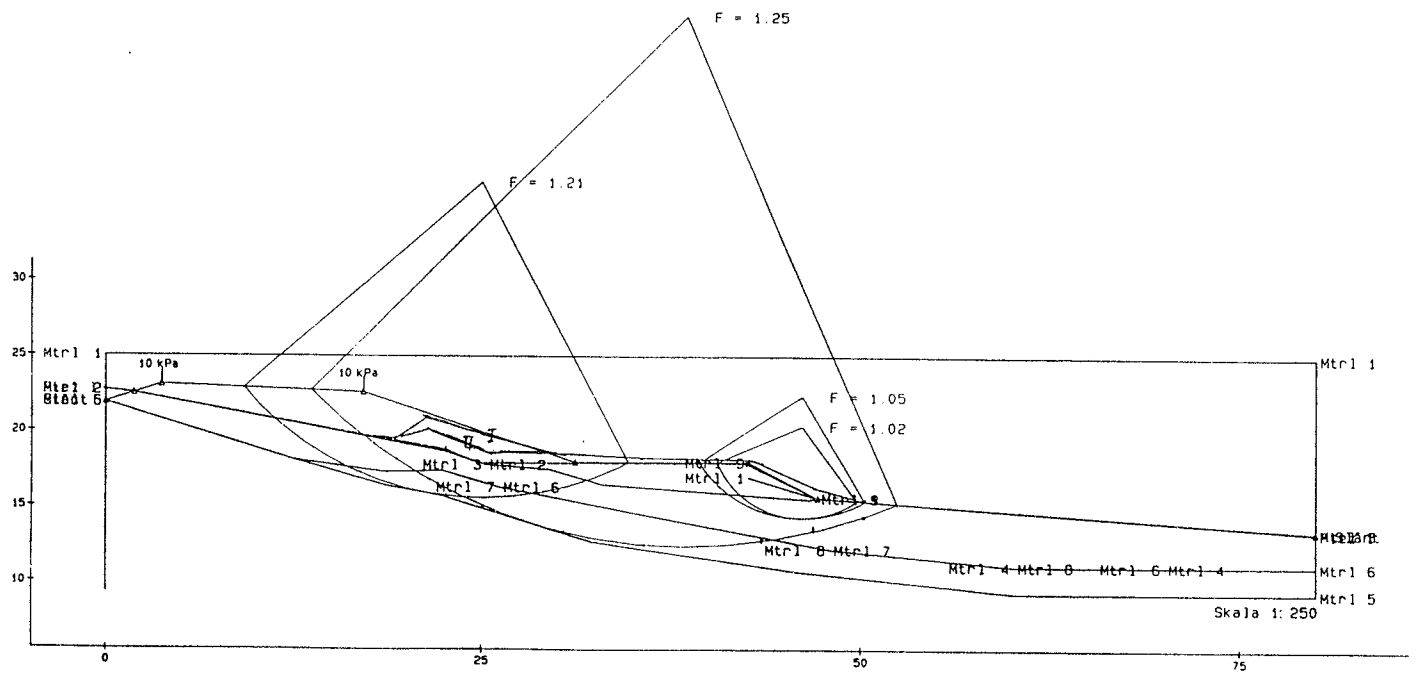
FIGUR B1 :10 Prästtjärn. Spricka i gamla E4 1993-09-06. Vy mot söder.



FIGUR B1:10 Prästtjärn. Spricka i gamla E4 1993-09-06. Vy mot norr.

## **BILAGA 2**

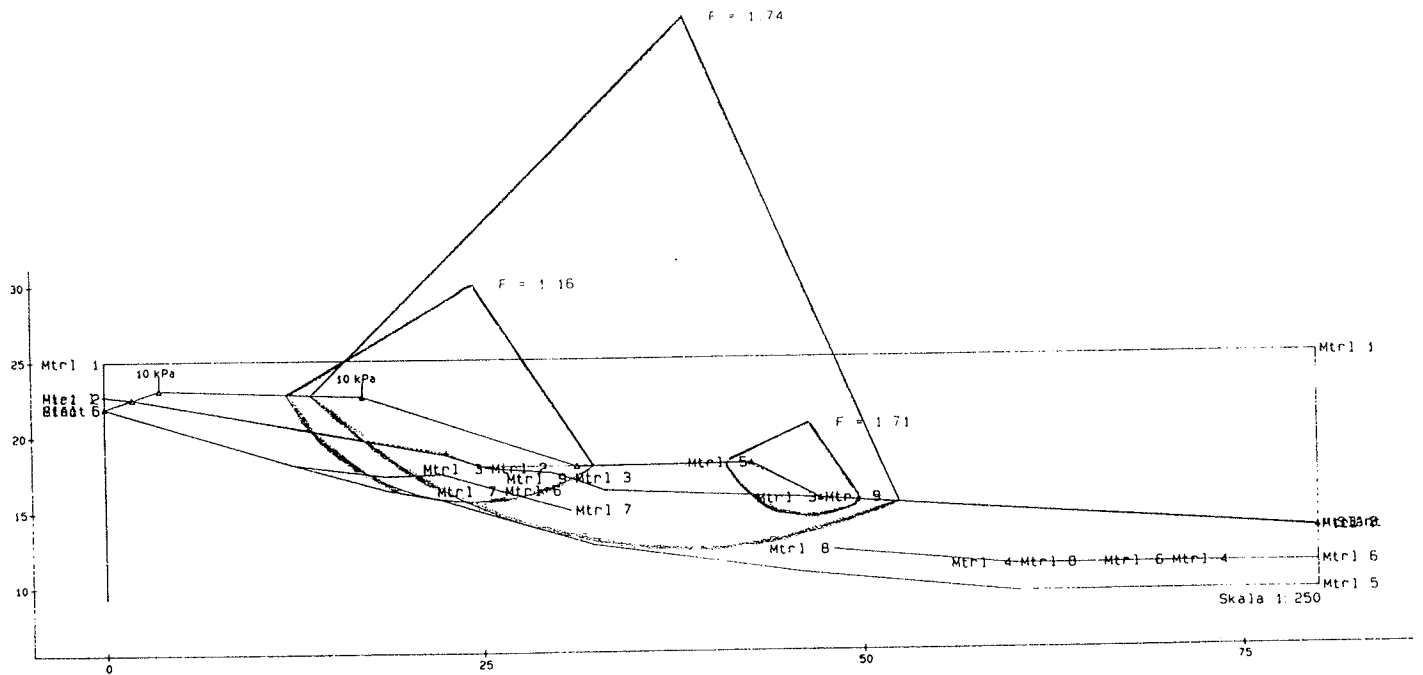
# **STABILITETSBERÄKNINGAR**



	Cu (kPa)	tillväxt	ref.höjd	C (kPa)	F <sub>i</sub> (grad)	densitet	AU	1	2	3
Mtrl 1	2.00	.00	.00	0.00	30.00	19.00	.00	0	0	0
Mtrl 2	30.00	.00	.00	2.00	30.00	19.00	.00	5	4	0
Mtrl 3	30.00	.00	.00	2.00	30.00	18.00	.70	1	4	0
Mtrl 4	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.57	1	4	0
Mtrl 5	100.00	.00	.00	100.00	.00	18.00	.00	0	0	0
Mtrl 6	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.53	1	4	0
Mtrl 7	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.59	1	4	0
Mtrl 8	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.71	1	4	0
Mtrl 9	200.00	.00	.00	8.00	31.00	19.00	.00	5	4	0

E4 Härrösand - Övik sek. 18/800  
Före KP-förstärkning 940214  
8000-1.dat

FIGUR B2:1 Stabilitetsberäkning före KC-pelarförstärkning. Sektion 18/800.



Mtrl	Cu (kPa)	tillväxt	ref.höjd	C (kPa)	F <sub>i</sub> (grad)	densitet	RU	1	2	3
Mtrl 1	.00	.00	.00	0.00	30.00	19.00	.00	0	0	0
Mtrl 2	30.00	.00	.00	2.00	30.00	19.00	.00	5	4	0
Mtrl 3	30.00	.00	.00	2.00	30.00	18.00	.70	1	4	0
Mtrl 4	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.57	1	4	0
Mtrl 5	100.00	.00	.00	100.00	.00	18.00	.00	0	0	0
Mtrl 6	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.53	1	4	0
Mtrl 7	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.59	1	4	0
Mtrl 8	15.00	.00	.00	3.00	30.00	17.00	.71	1	4	0
Mtrl 9	29.80	.00	.00	8.00	31.00	17.00	.59	5	4	0

E4 Härrösand - Övik sek. 18/800  
 15 bm kp-förstärk 940204  
 2000-0...

FIGUR B2:2 Stabilitetsberäkning med KC-pelarförstärkning. Sektion 18/800.

## **BILAGA 3**

### **LABORATORIEUNDERSÖKNING PÅ KALK-CEMENTBLANDAD JORD**

**LABORATORIEUNDERSÖKNING PÅ KALK-CEMENTBLANDAD JORD**

(Utdrag ur SGI:s rapport Dnr 9307-331-2, 1994-05-10)

Inblandning av kalk och cement på upptagna jordprover har utförts på SGI:s laboratorium.

Jordlagren har indelats i två olika grupper med likartade egenskaper - den ena gruppen från 2,0, 3,5 och 4,0 m djup och den andra från 2,5, 3,0, 4,5 och 5,0 m djup.

Jordproverna har blandats med lika delar kalk och cement och med en total mängd motsvarande 25 kg kalk och cement per m pelare med diametern 0,6 m.

Provkropparnas skjuvhållfasthet har bestämts med tryckförsök och konprov 14, 21, 28 och 90 dagar efter inblandning.

Baserat på laboratorieundersökningarna har skjuvhållfasthetsvärdet 100 kPa valts vid stabilitetsberäkningarna. Detta värde uppnås enligt undersökningarna efter 14 dagar för att sedan öka ytterligare.

Resultaten av laboratorieundersökningarna redovisas i denna bilaga.

Laboratorieundersökningar

Hållfasthetstillväxt

Enaxliga tryckförsök (8 diagram)



KEMISKT STABILISERAD JORD

SKRED PÅ E4 HÄRNÖSAND - ÖRNSKÖLDSVIK										Tabell		1	
DELEN NYLAND - ULLÅNGER										Dnr		2-9307-331	
Datum för inblandning		Handläggare		Laboratorieundersökning				Datum		940321			
931214		Leif Viberg		Datum		Utförd av				Teknisk ledare		IMK	
Blandning	Tillsatsmedel				Tid efter inblandning dygn	Lagringstemperatur °C	Densitet $\rho$ t/m <sup>3</sup>	Vattenkvot w %	Konflytgräns $w_L$ %	Skjuvhållfasthet		Anmärkning	
	kg/m pelare	1) Vikts-%	Proportioner Kalk %	Cement %						Tryckförsök $\tau_{fu}$ kPa	Konförsök $\tau_{fu}$ kPa		
BL 1	25		50	50	14	+ 7	1.59	53	-	63 <sup>2</sup>	94	302*	*Max 436 Min 272
					21	+ 7	1.65	53	-	139	435*	*Max 435 Min 435	
					28	+ 7	1.62	55	-	170	500*	*Max 627 Min 436	
					90	+ 7	1.64	54	-	323	1209*	*Max 1742 Min 980 Håligheter	
BL 2	25		50	50	14	+ 7	1.82	34	-	40 <sup>2</sup>	166	456*	*Max 467 Min 436
					21	+ 7	1.84	34	-	131	435*	*Max 435 Min 435	
					28	+ 7	1.79	34	-	146	681*	*Max 980 Min 500 Sprickor	
					90	+ 7	1.82	34	-	214	980*	*Max 980 Min 980	
<p>1) Beräknad på jordens torra vikt.</p> <p>2) Blandningens vattenkvot före inblandning av kalk/cement.</p> <p>Blandning : 1    Sek: 18/840 H31    2.0, 3.5, 4.0m</p> <p>Blandning : 2    Sek: 18/840 H31    2.5, 3.0, 4.5, 5.0m</p>													

Ackrediterat laboratorium utses av Styrelsen för teknisk ackreditering (SWEDAC) enligt lag.  
Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45 001.

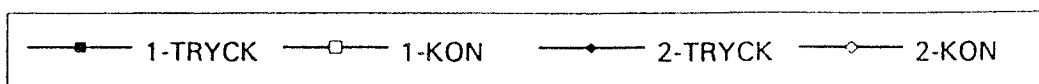
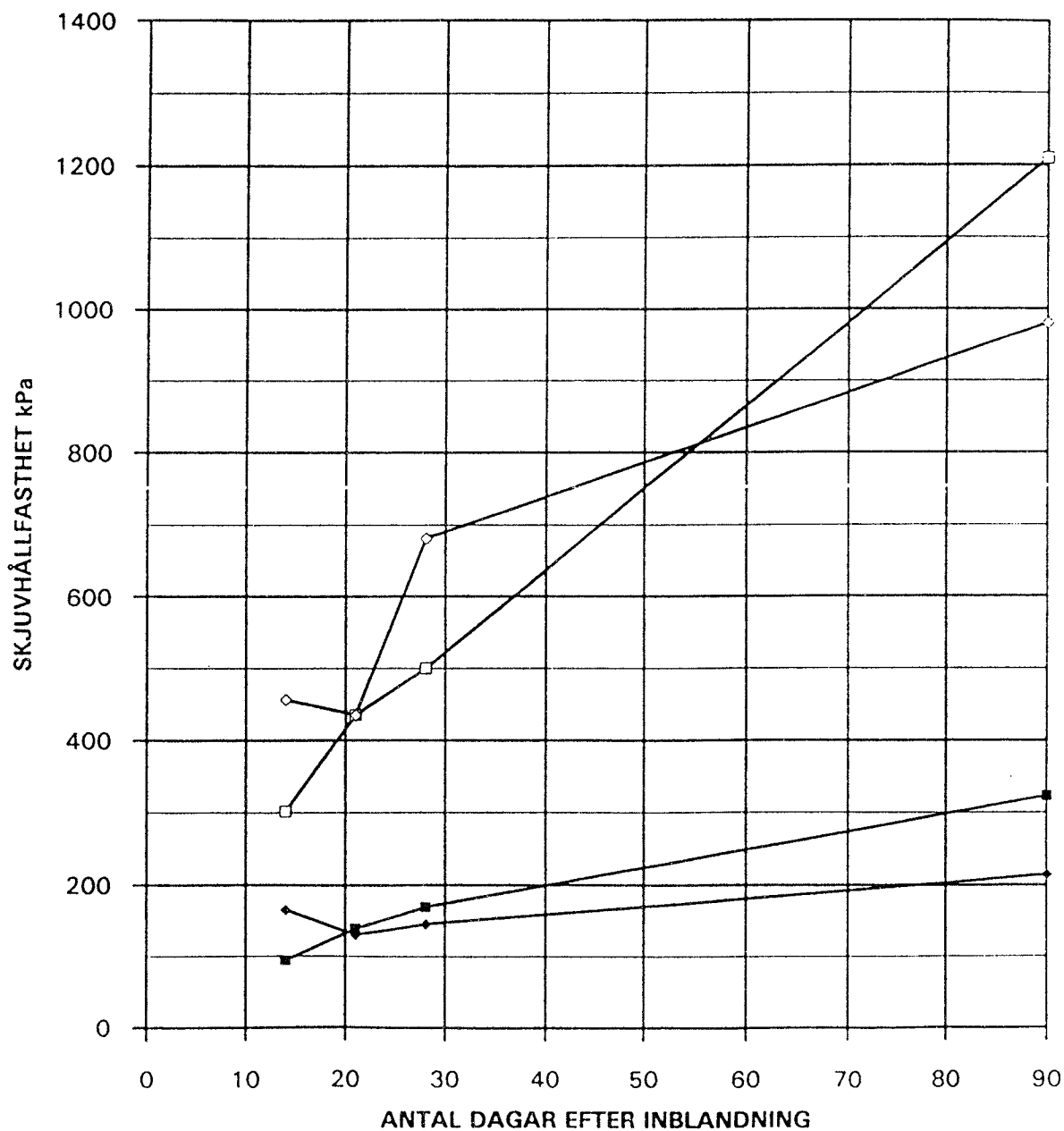
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

## KALK-CEMENTBLANDADE JORDPROVER

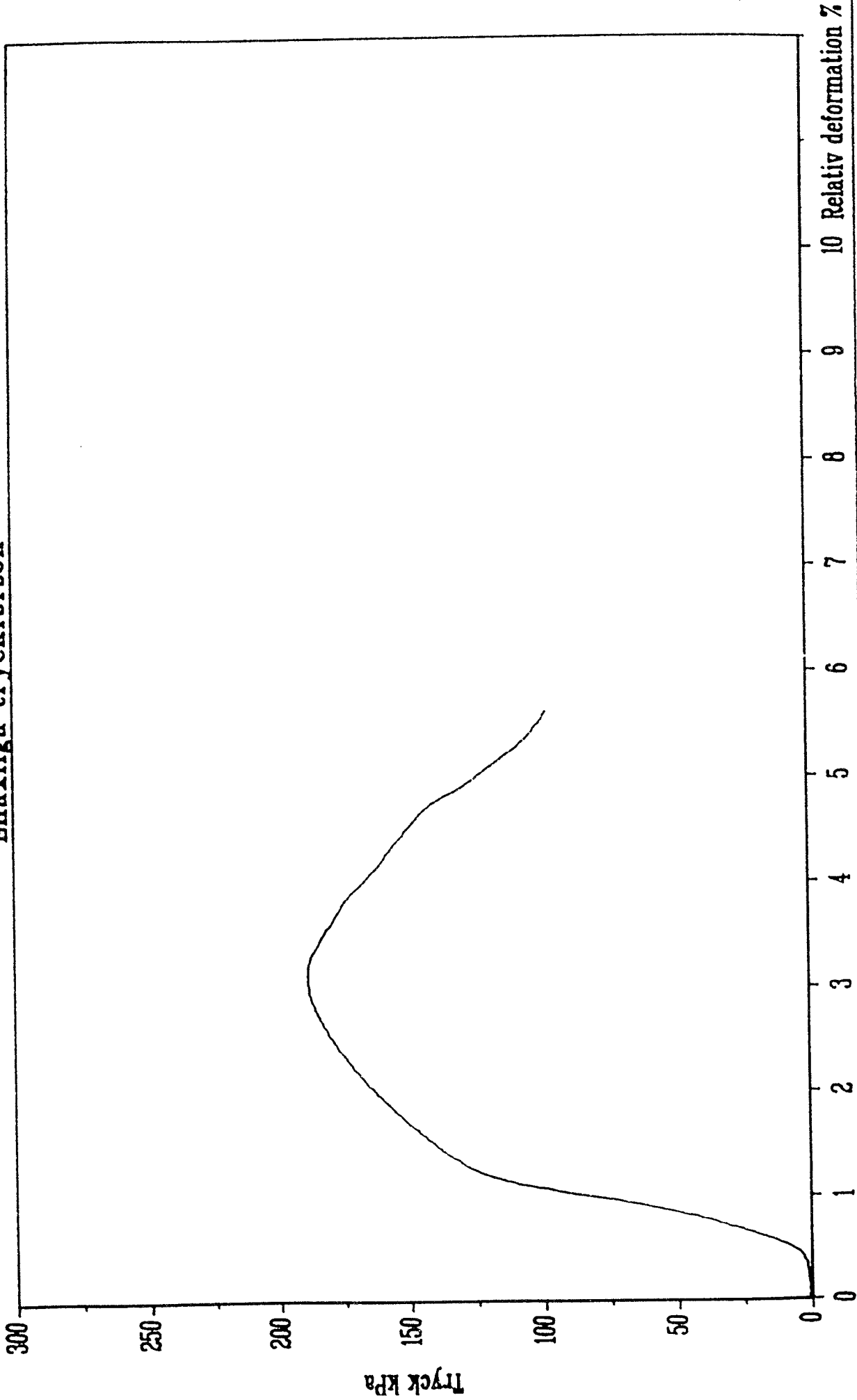
## SEKTION 18/840

Prov 1 består av jord från 2,0, 3,5 och 4,0 m djup

Prov 2 - " - 2,5, 3,0, 4,5 och 5,0 m djup



# Enaxliga tryckförsök



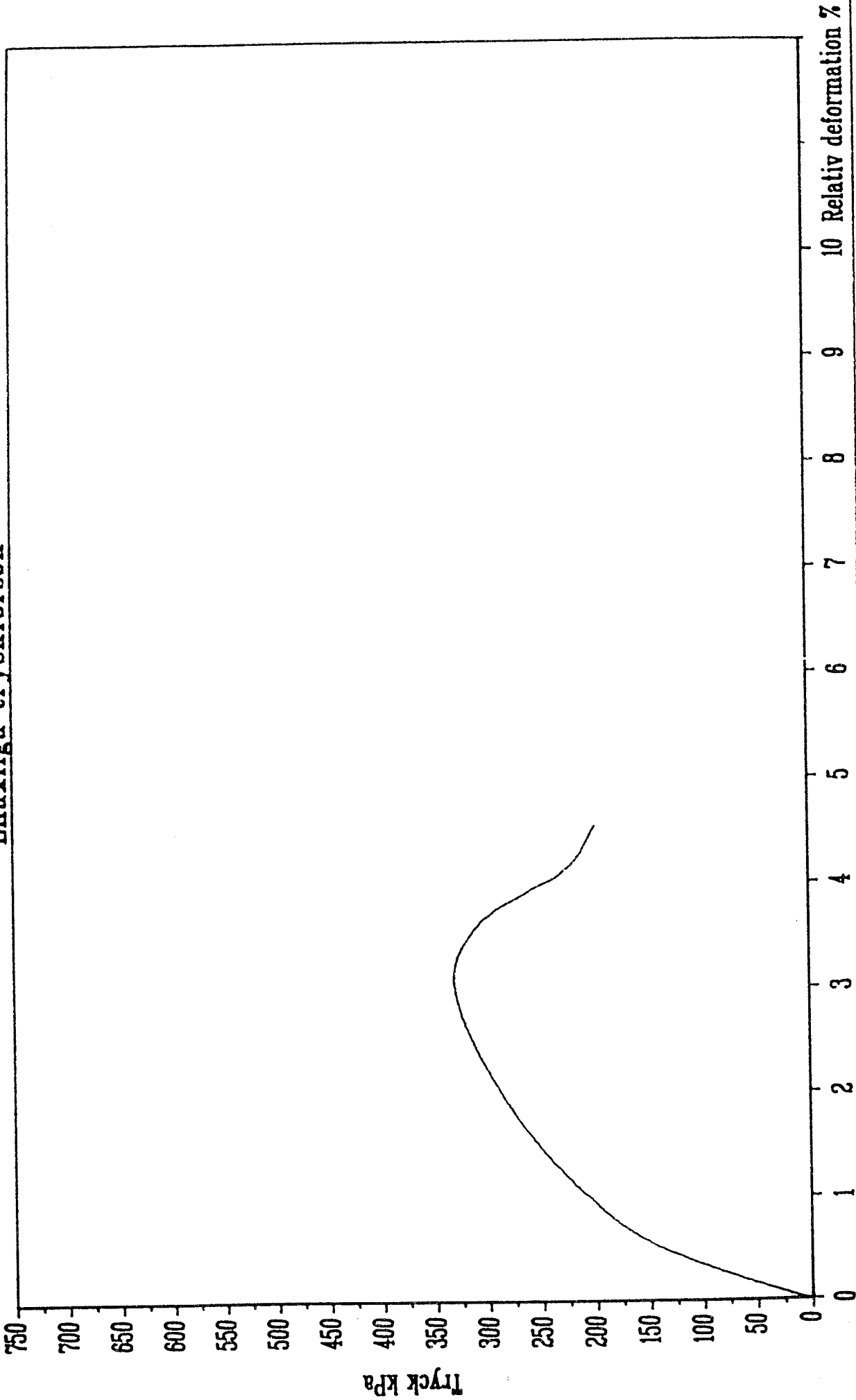
Prov : 29307331A B.L.I  
 Nivå : 14 dygn  
 Pmax = 188.5 kPa vid 3.03 % deformation

Provhöjd : 100.0 mm  
 Filnamn : 931229A.kpd  
 Deformationshastighet = 1.03 mm/minut

Provtagningsdatum : 931214  
 Provningdatum : 1993-12-29 ML



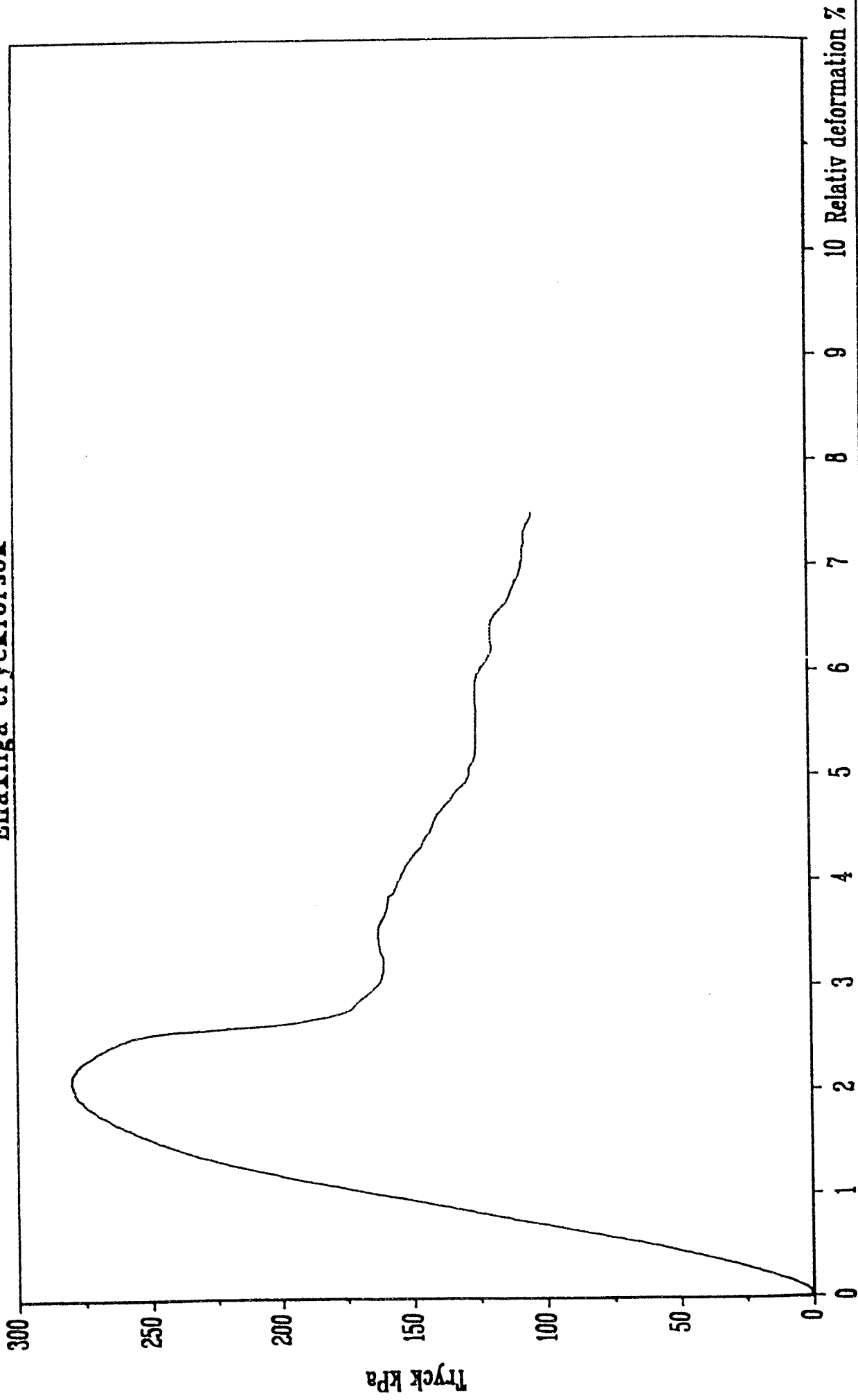
# Enaxliga tryckförsök




Prov : 28307331b B.L.2  
 Nivå : 14 dygn  
 Pmax = 331.9 kPa vid 3.08 % deformation  
 U<sub>adm</sub> = 270 MPa  
 Deformationshastighet = 1.01 mm/minut  
 Provtagningsdatum : 831214  
 Provningsdatum : 1993-12-29 ML  
 LIT 7-2257-27

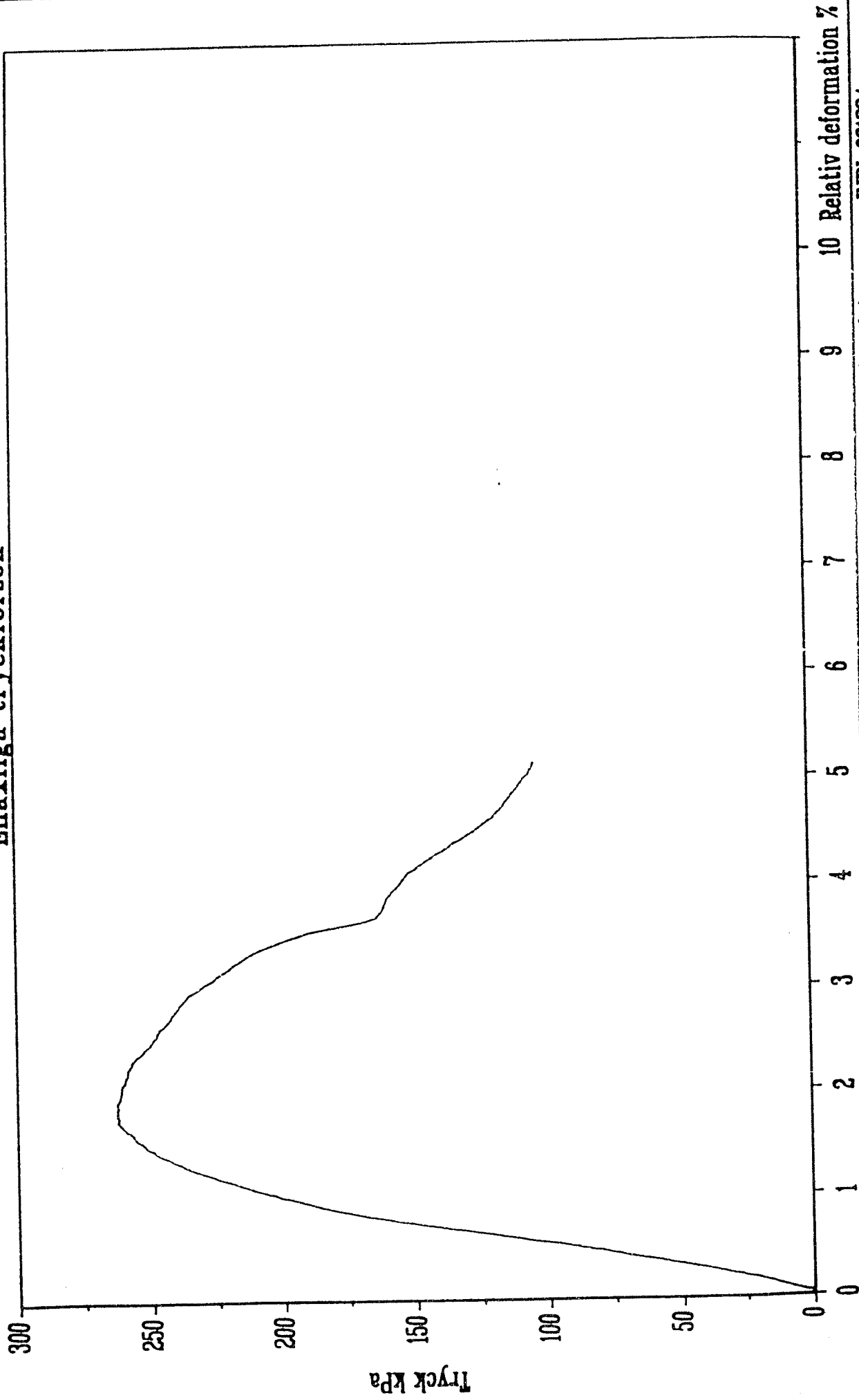


# Enaxliga tryckförsök



	Prov : BL 1k/c3628	Provhöjd : 107.0 mm	Provtagningsdatum : INBL 831224
	Nivå : DYGN 21	Filmamn : 940104a.kpd	Provningsdatum : 1994-01-04
P <sub>max</sub> = 279.5 kPa vid 2.08 % deformation U <sub>akt</sub> = 20.0 1D <sub>0</sub>		Deformationshastighet = 1.02 mm/minut	

# Enaxliga tryckförsök



Prov : BL 2k/c 2105  
 Nivå : DYGN 21

Pmax = 262.6 kPa vid 1.75 % deformation  
1000000

Provhöjd : 1030 mm  
 Filnamn : 940104b.kpd

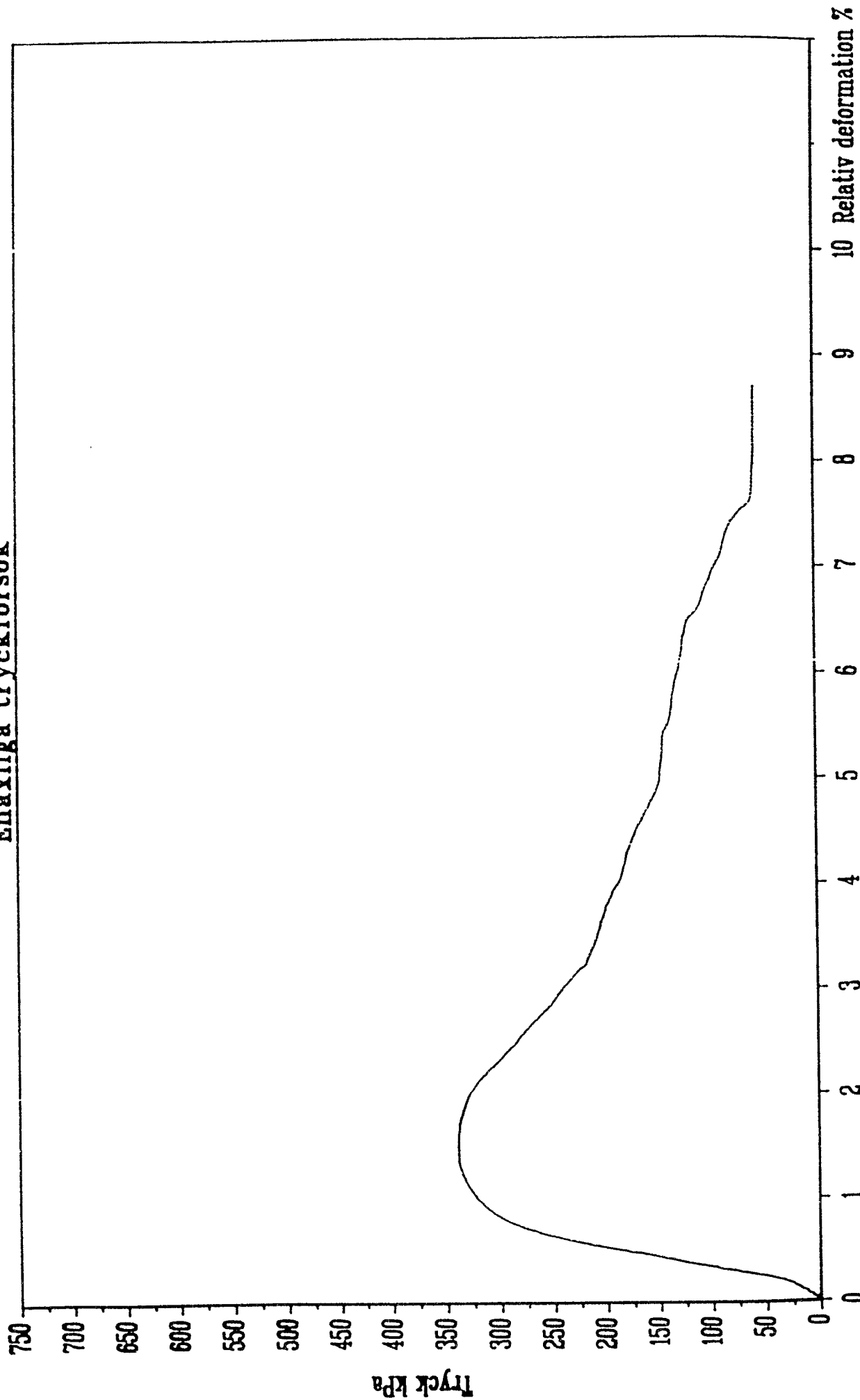
Deformationshastighet = 102 mm/minut

Provtagningsdatum : INBL 931224  
 Provningdatum : 1994-01-04

ST



# Enaxliga tryckförsök



Prov : BL 1k/c 3437

Nivå : DYG 28

Pmax = 339.2 kPa vid 1.49 % deformation

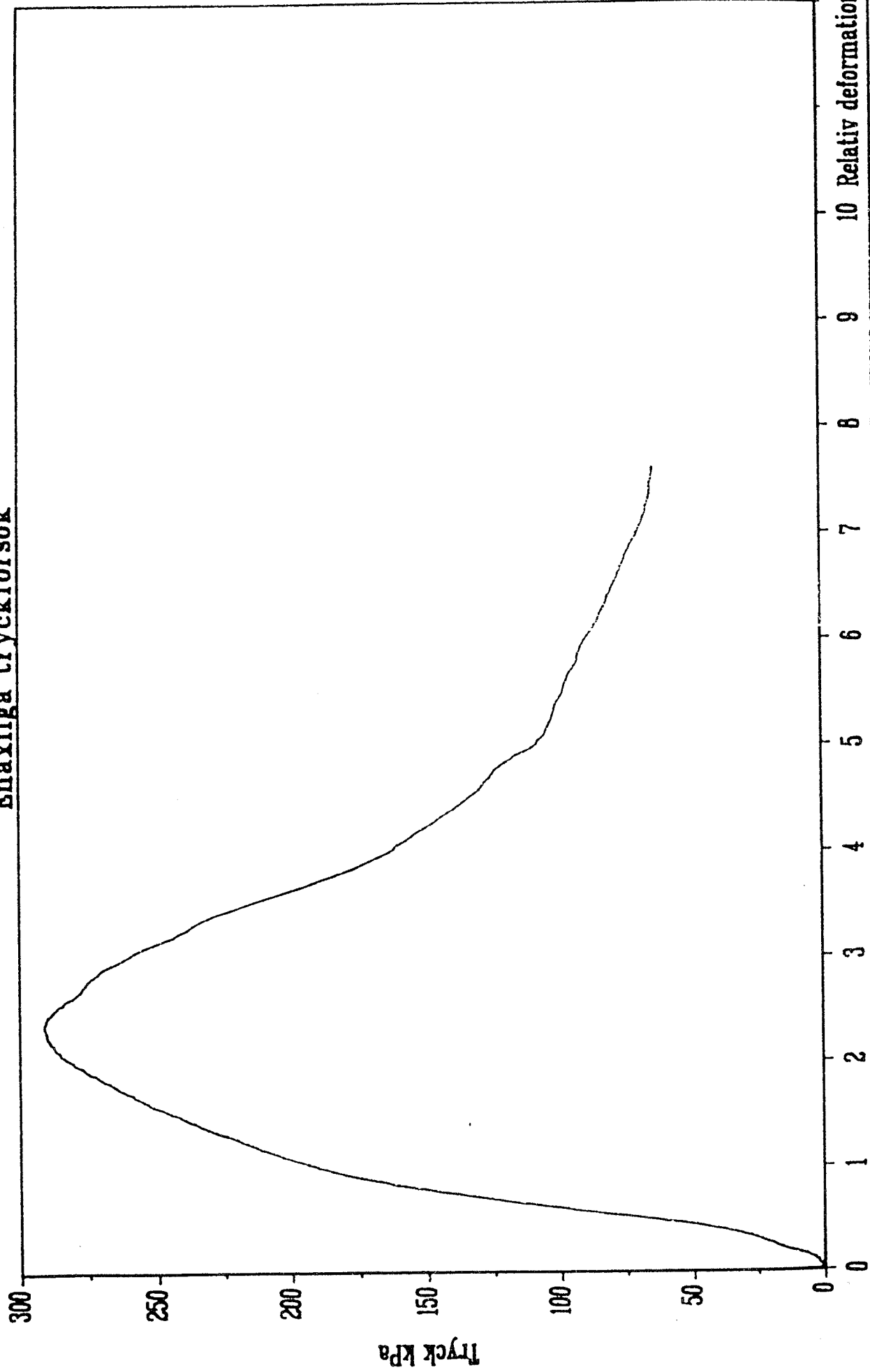
Provhöjd : 103.0 mm      Provtagningsdatum : INBL 831214

Filnamn : 940111akpd      Provningsdatum : 1994-01-11

Deformationshastighet = 1.03 mm/minut



# Enaxliga tryckförsök



Prov : BL 2k/c 2393

Nivå : DYGN 28

Pmax = 280.1 kPa vid 2.34 % deformation

Modul = 286 MPa

Provhöjd : 105.0 mm

Filnamn : 94011b.kpd

Deformationshastighet = 1.03 mm/minut

Provtagningsdatum

Provningsdatum

: INBL 931214

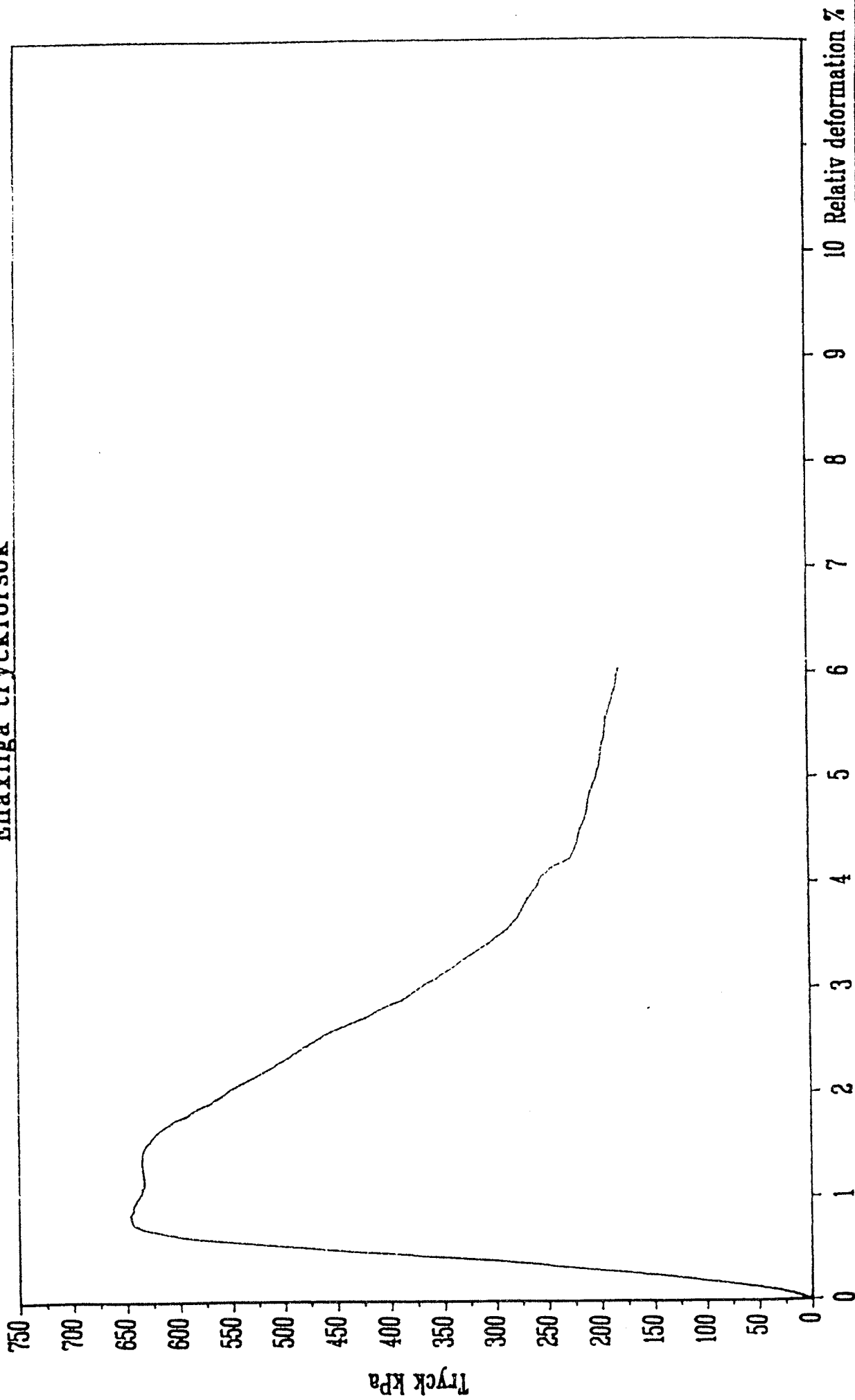
: 1994-01-11

87





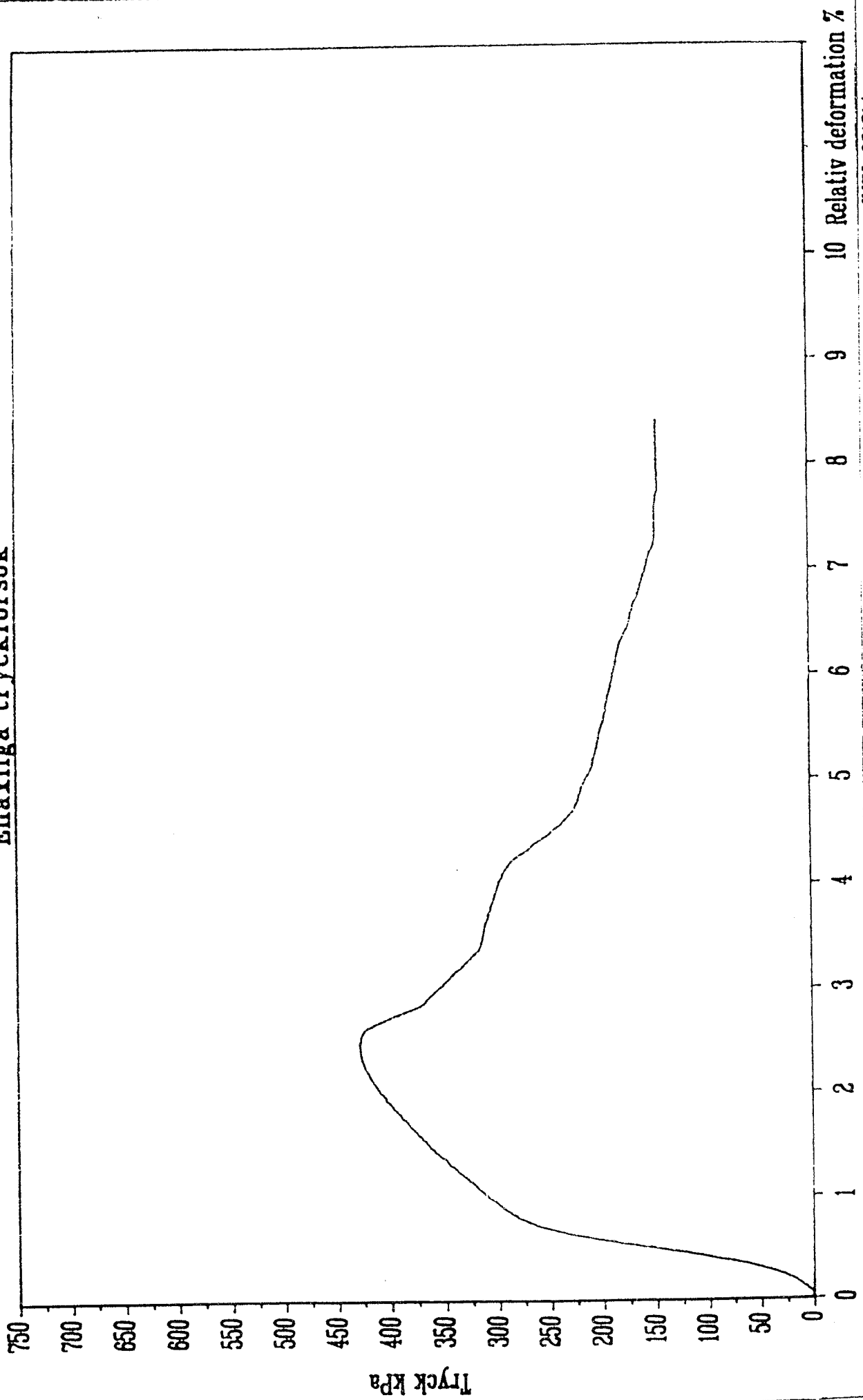
# Enaxliga tryckförsök



Prov : BL 1k/c 4307	Provtagningsdatum : INBL 931214
Nivå : DYG 90	Provningsdatum : 1994-03-14
Pmax = 646.7 kPa vid 0.85 % deformation	Deformationshastighet = 1.02 mm/minut



# Enaxliga tryckförsök



Prov : BL 2k/c 2338

Nivå : DYG 90

P<sub>max</sub> = 428.1 kPa vid 2.47 % deformation

Modul = 54.4 MPa

Provhöjd : 95.0 mm

Filnamn : 940314b.kpd

Deformationshastighet = 1.02 mm/minut

Provtagningsdatum : NBL 931214

Provningsdatum : 1994-03-14



## **BILAGA 4**

### **ANVISNINGAR FÖR KALK-CEMENTPELARFÖRSTÄRKNING**

**KM 18/770-18/900**



SGI

1994-05-10

9407-331-2

BILAGA 4

1

## **ANVISNINGAR FÖR KALKCEMENTPELARFÖRSTÄRKNING KM 18/770-18/900**

(Utdrag ur SGI:s rapport Dnr 9307-331-2, 1994-05-10)

### **1. ALLMÄNT**

Kalkcementpelarna (KC-pelarna) skall installeras med c-avstånd enligt plan till fast botten. Av stabilitetsskäl är det av stor vikt att säkerställa att pelarna förs ned till fast botten.

Med hänsyn till stabiliteten ner mot sjön rekommenderas att endast en kalkpelarmaskin används vid installation av samtliga pelare.

Övervakning av arbetsområdets stabilitet skall ske under förstärkningsarbetets utförande, se punkterna 6.1-3.

### **2. UTSÄTTNING**

Utsättning görs i rutnät enligt planritning.

### **3. KRAVSPECIFIKATIONER AV KC-PELARE**

#### **3.1 Installation**

Pelarnas diameter skall vara 600 mm. Vid kalkcementinblandning får stigningen hos blandningsverktyget uppgå till högst 25 mm/varv. Kalkcementinmatningen får avbrytas ca 0,5 m under markytan. Kalkcementdamm, renblåsningskalk och cement skall vattenbegjutas. För att reducera portrycksökningen i jordlagren skall matningstrycket ej vara högre än erforderligt för kalkpelarinstallationen

Toleranser: Planläge

Tvårs pelarskivans längdriktning  $\pm 0,05$  m,

I pelarskivans längdriktning  $+0,05$  m (d v s överlappning 5-10 cm)

Lutning  $\pm 0,01$  m/m

Protokollföring m.m.: Ordningsföljd och datum noteras för respektive pelare. Kontinuerlig registrering av kalkcementinblandningen för varje pelare. Angiven tolerans på kalk-cement mängd skall vara avläsbar. Tidpunkt och mängd för påfyllning av kalk respektive cement skall anges.

**SGI**

1994-05-10

9407-331-2

BILAGA 4

2

### 3.2 Stabiliseringsmedel

Stabiliseringsmedlet (kalk+cement) skall vara 23 kg/m  $\pm$  10 % med förhållandet

50/50 räknat i viktprocent, dvs 11,5 kg kalk och 11,5 kg cement per meter pelare.

Kalk Kornstorlek 0-0,2 mm, CaO-halt >80 % och hårdbränd  
Flytbarhet >70 bestämd enligt Cementas siktningsmetod.

Cement: Std Portlandcement, kornstorlek 0-0,2 mm.

## 4. INSTALLATIONSORDNING

Installationen görs i etapper och stegvis enligt nedan. Minst tre dygn bör förflyta innan närliggande pelarrad installeras.

Pelarna skall sättas i rader tvärs vägens längdriktning enligt följande:

I etapp 1 sätts pelare i rad 1, 3, 5, 7,.....och 67.

I etapp 2 sätts pelare i rad 2, 4, 6, 8,.....och 68.

Installeringen av samtliga pelarrader påbörjas närmast sjön och drivs i riktning mot vägen.

## 5. PELARLÄNGD

Pelarna skall vara väl förankrade i bottenlagret under lerlagret och sättas mot eller i fasta lager under det undre siltlagret.

Ungefärliga jorddjup redovisas på RITNING B:12:301-302 (VV Produktion Mitt;objekt nr 240922, 940415). Redovisade i FIGUR 5:2-3. Dessa djup utgör endast riktvärden och skall ej styra pelarlängderna.

## 6. KONTROLLARBETEN

På grund av områdets låga säkerhet mot skred erfordras särskild uppmärksamhet på områdets stabilitet. I följande avsnitt anges program för övervakning av markrörelser och grundvattentryck samt kontroll av pelarnas hållfasthet och homogenitet.

## 6.1 Övervakning av grundvattentryck

Grundvattentrycket övervakas genom mätning i befintliga grundvattenrör. Ytterligare två grundvattenrör installeras - ett i vardera sektion 18/860 H29 och 18/880 H27, motsvarande 2 m utanför kalk-cementpelarförstärkningen. Rören skall vara intakta under hela arbetsperioden. Rör som utgör hinder för arbetets genomförande eller förstörs skall ersättas och installeras då utanför förstärkningen.

Rören skall nollmätas före arbetets påbörjande och därefter minst en gång per dag. De två rör som står närmast pelarmaskinen skall mätas minst tre gånger per dag, varav den första mätningen skall utföras på morgonen innan pelarinstallationen påbörjas.

## 6.2 Övervakning av markrörelser

Tre syftlinjer sätts ut längs vägen vid arbetsområdet. En linje sätts ut i den nya vägslänten mellan kalk-cementpelarförstärkningen och vägens krönkant. Två linjer sätts i området mellan kalk-cementpelarförstärkningen och Prästtjärns strand. Linjerna skall vara så långa att ändpunkterna ligger väl utanför förstärkningsområdet.

Träpålar 50x50 mm används och sätts ut på 4-5 m avstånd med spik islagen på toppen.

För att få god mätnoggrannhet skall utsättning och efterföljande kontroller göras med mätinstrument typ totalstation.

Mätspikarna mäts in i horisontal- och vertikalled.

Befintliga dubbar i gamla vägen skall avvägas så länge de finns kvar under byggnadstiden.

Mätning och avvägning skall ske 2 gånger per 8 timmars skift. Okulär kontroll av fluktlinjerna skall ske varje morgon innan pelarinstallationen påbörjas.

Protokoll över grundvatten- och rörelsemätningarna skall upprättas.

## 6.3 Avbrytande av pelarinstallation

Geotekniker skall ha fortlöpande information om mätningresultat.

Pelarinstallationen skall avbrytas temporärt om ettdera av följande villkor uppfylls:

1. Grundvattnets stighöjd överstiger markytan.
2. Grundvattnets stighöjd ökar hastigt - mer än ca 5 cm per 3 tim. Accellererande ökning av grundvattentrycket är särskilt alarmerande.

**SGI**

1994-05-10

9407-331-2

BILAGA 4

4

3. Markrörelser > 5 mm uppstår. (räknat från nollmätning före förstärkningsarbetets påbörjande)

#### **6.4 Kontroll av kalk-cementpelarnas skjuvhållfasthet och homogenitet**

Kontroll av kalk-cementpelarnas skjuvhållfasthet och homogenitet skall utföras på ca 1 % av pelarna ca 2 veckor efter installation. Kontrollen kan ske med kalkpelarsondering och utvärdering av pelarhållfasthet ur sonderingsdiagram.

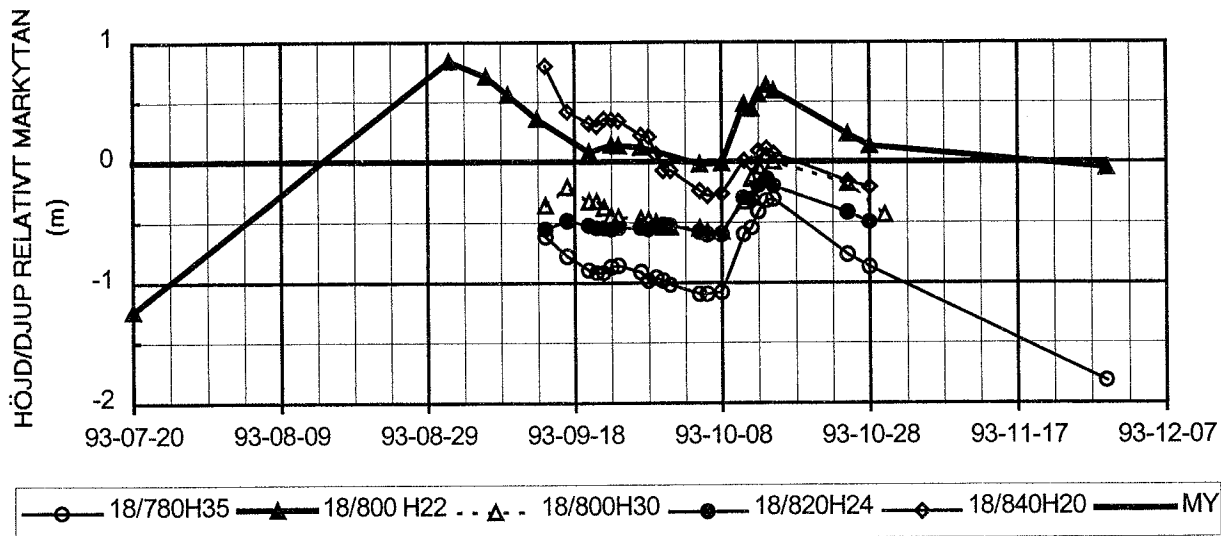


## **BILAGA 5**

# **MÄTNINGAR AV RÖRELSER OCH GRUNDEVATTENNIVÅ FÖRE KC-INSTALLATION**

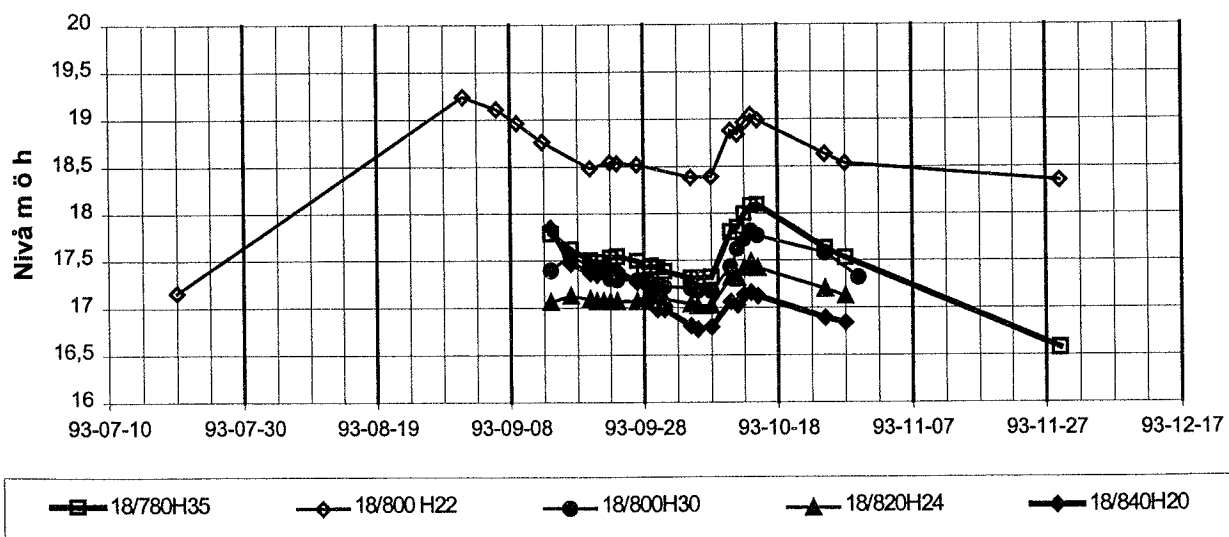


### GRUNDVATTEN DJUP UNDER MARKYTAN PRÄSTTJÄRN 1993

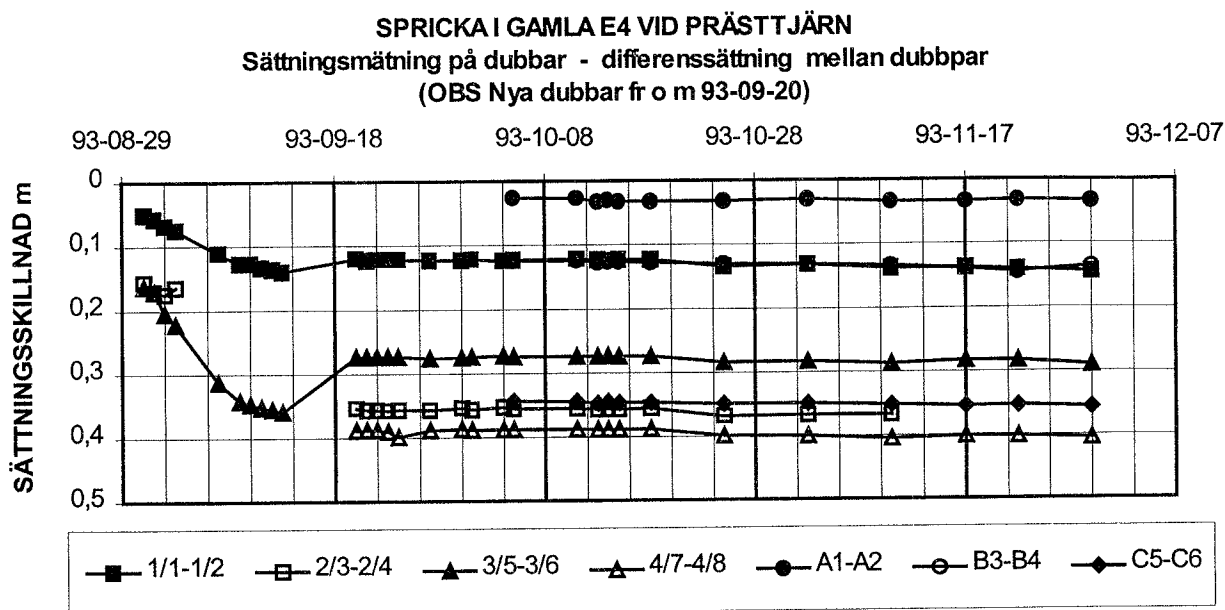


FIGUR B5:1 Prästjärn. Grundvattennivå relativt markytan.

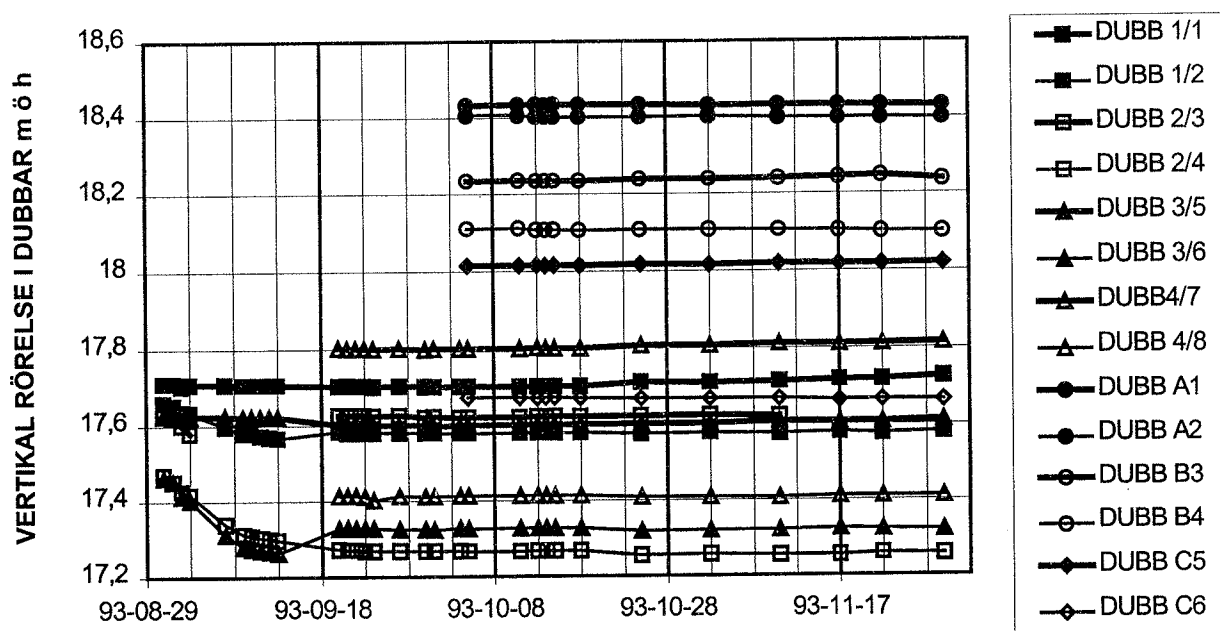
### GRUNDVATTENNIVÅ PRÄSTTJÄRN 1993



FIGUR B5:2 Prästjärn. Grundvattennivå relativt höjd över havet.



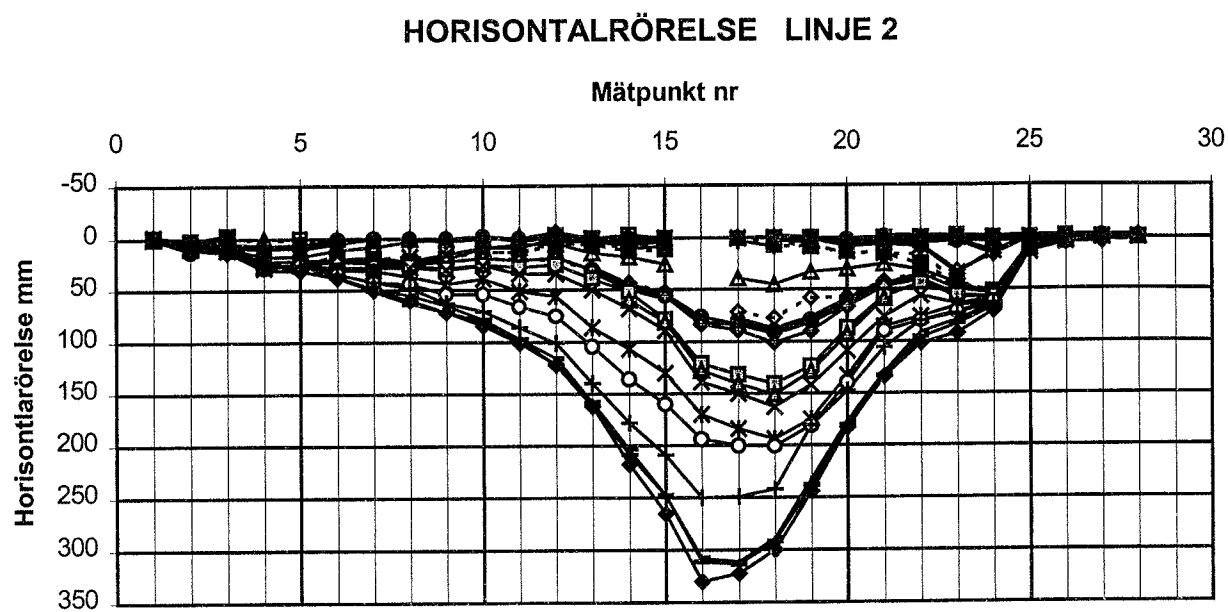
FIGUR B5:3 Prästtjärn. Sättningsmätning. differenssättning mellan dubbpar.



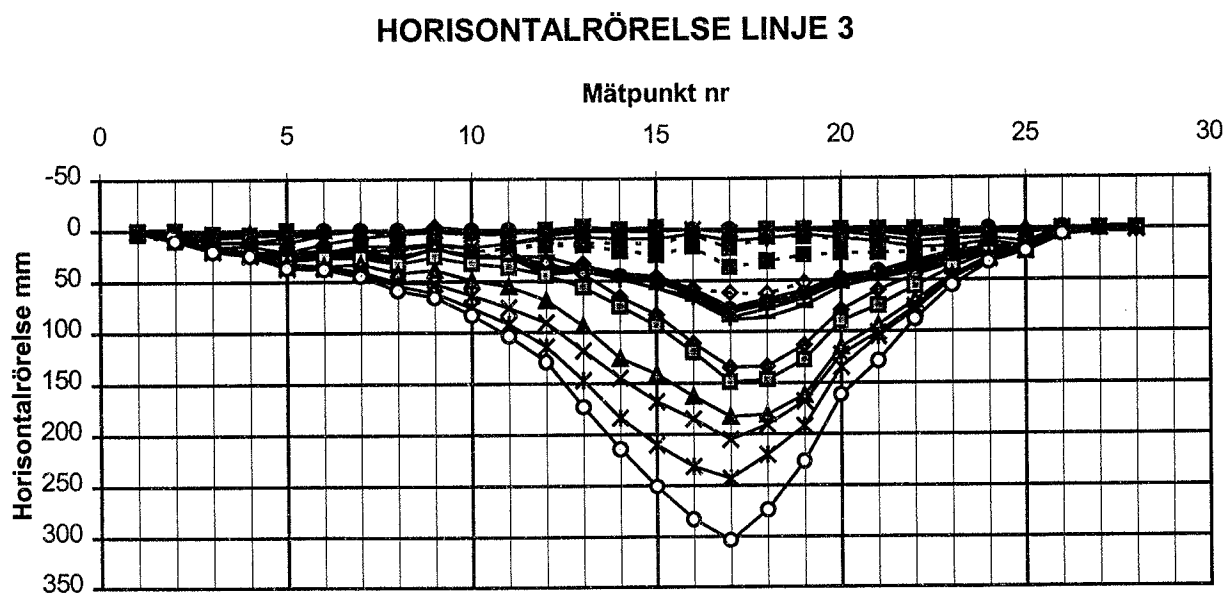
FIGUR B5:4 Prästtjärn. Sättningsmätning. Sättningsbelopp för enskilda dubbar.

## **BILAGA 6**

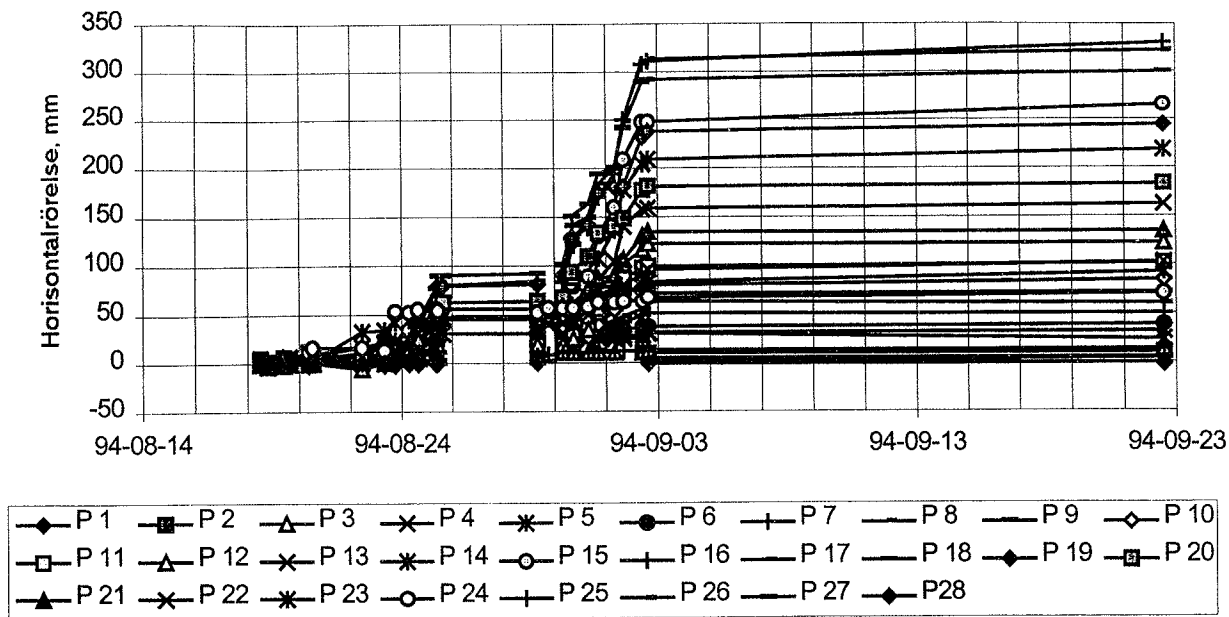
# **MÄTNINGAR AV RÖRELSER OCH GRUNDVATTENNIVÅ I SAMBAND MED KC-INSTALLATION**



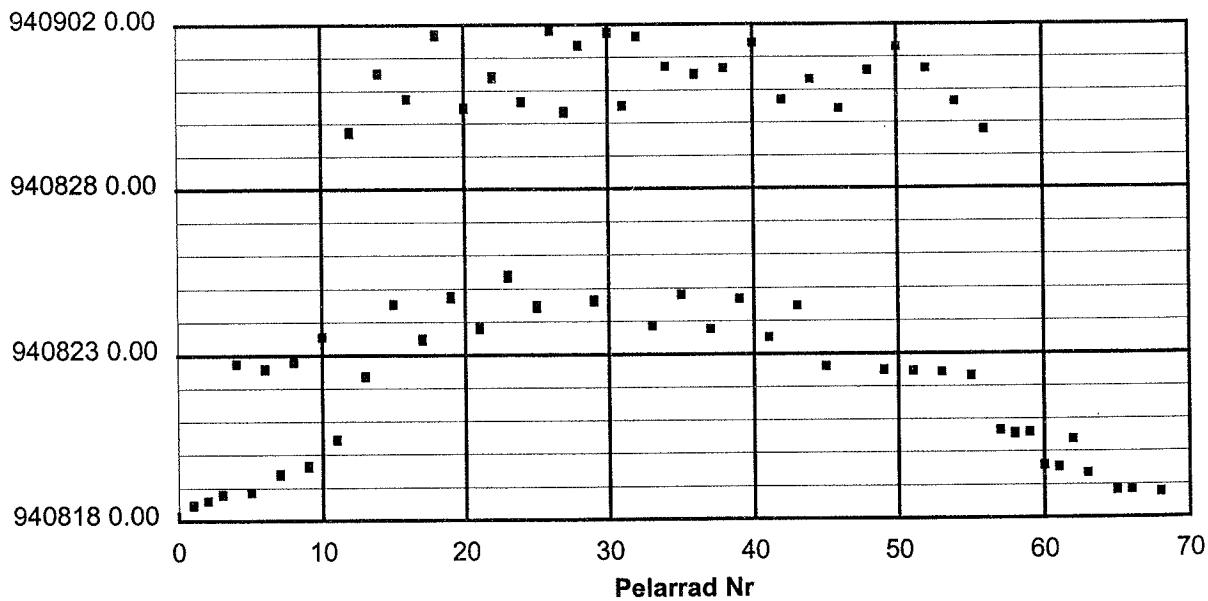
FIGUR B6:1 Prästtjärn. Horisontalrörelse i mätlinje 2 under installation av KC-pelare.



FIGUR B6:2 Prästtjärn. Horisontalrörelse i mätlinje 3 under installation av KC-pelare.



FIGUR B6:3 Prästjärn. Horisontalrörelse i enskilda mätpunkter i linje 2 under installation av KC-pelare.



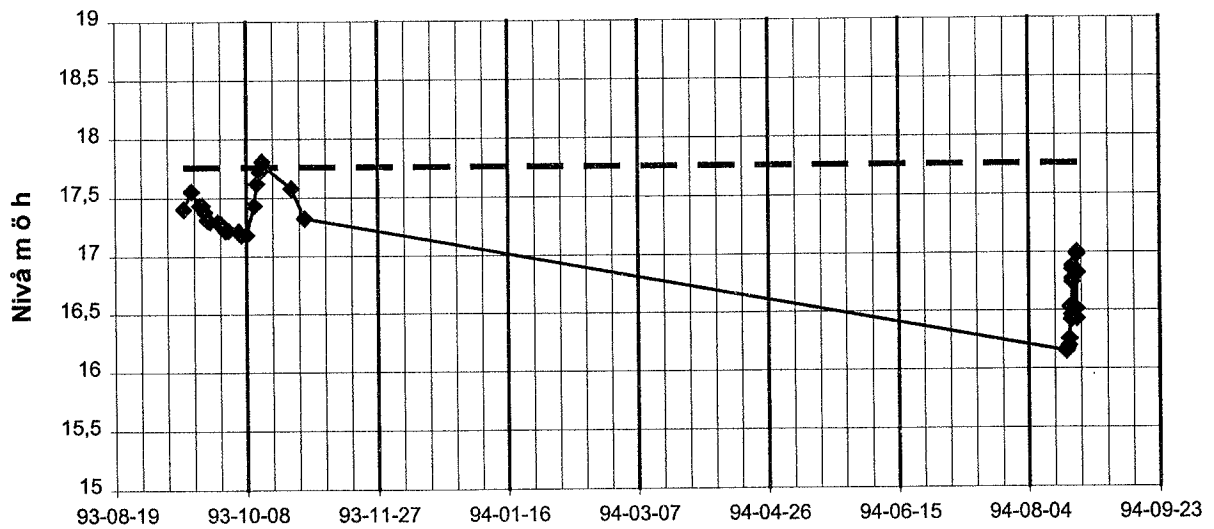
FIGUR B6:4 Prästjärn. Installationsordning för pelarader.

**GRUNDVATTENNIVÅ PRÄSTTJÄRN 1993-94  
18/800 H22**



FIGUR B6:5 Prästtjärn. Långtidsmätning av grundvattennivå i GW-rör 18/800 H22 1993-94.

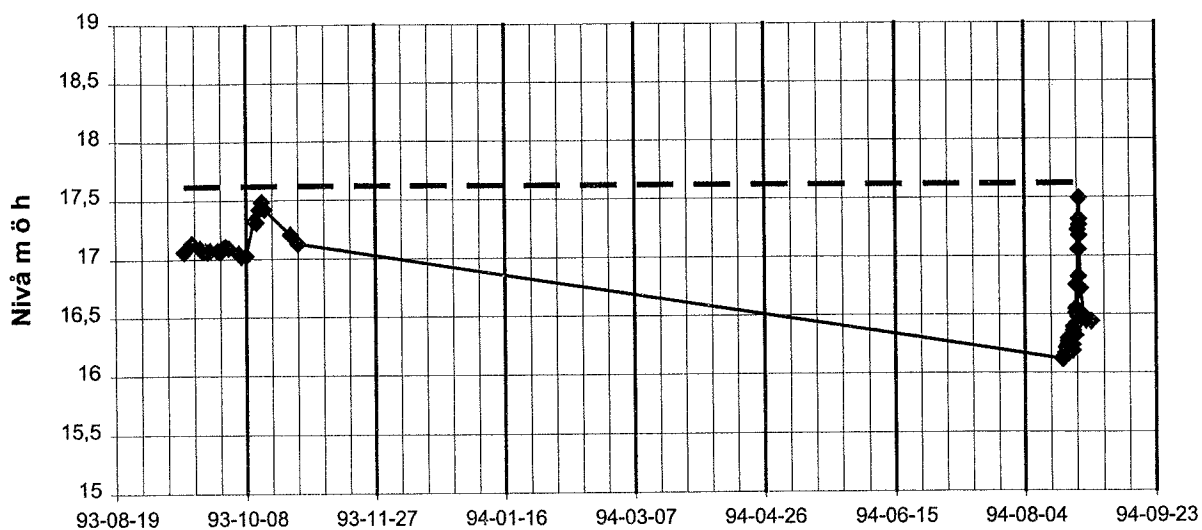
**GRUNDVATTENNIVÅ PRÄSTTJÄRN 1993-94  
18/800 H30**



FIGUR B6:6 Prästtjärn. Långtidsmätning av grundvattennivå i GW-rör 18/800 H30 1993-94.

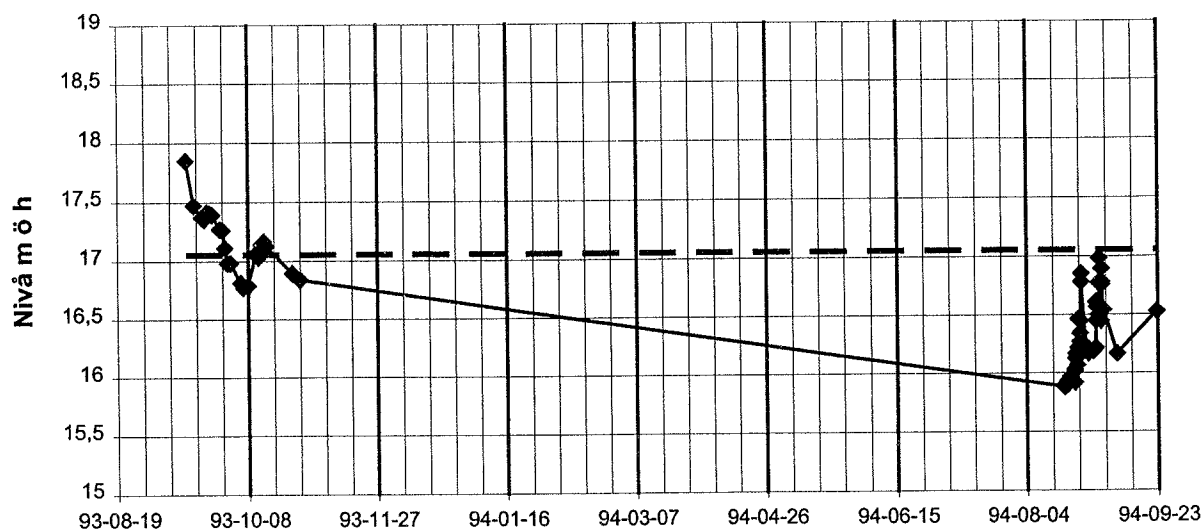


**GRUNDVATTENNIVÅ PRÄSTTJÄRN 1993-94**  
**18/820 H24**

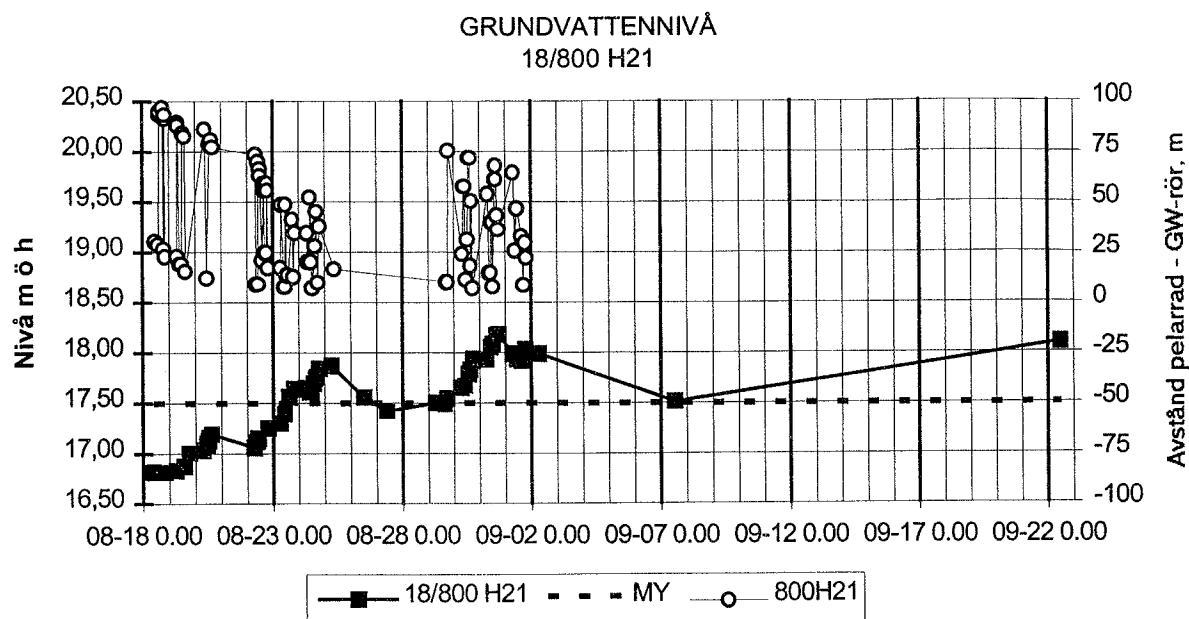


FIGUR B6:7 Prästtjärn. Långtidsmätning av grundvattennivå i GW-rör 18/820 H24 1993-94.

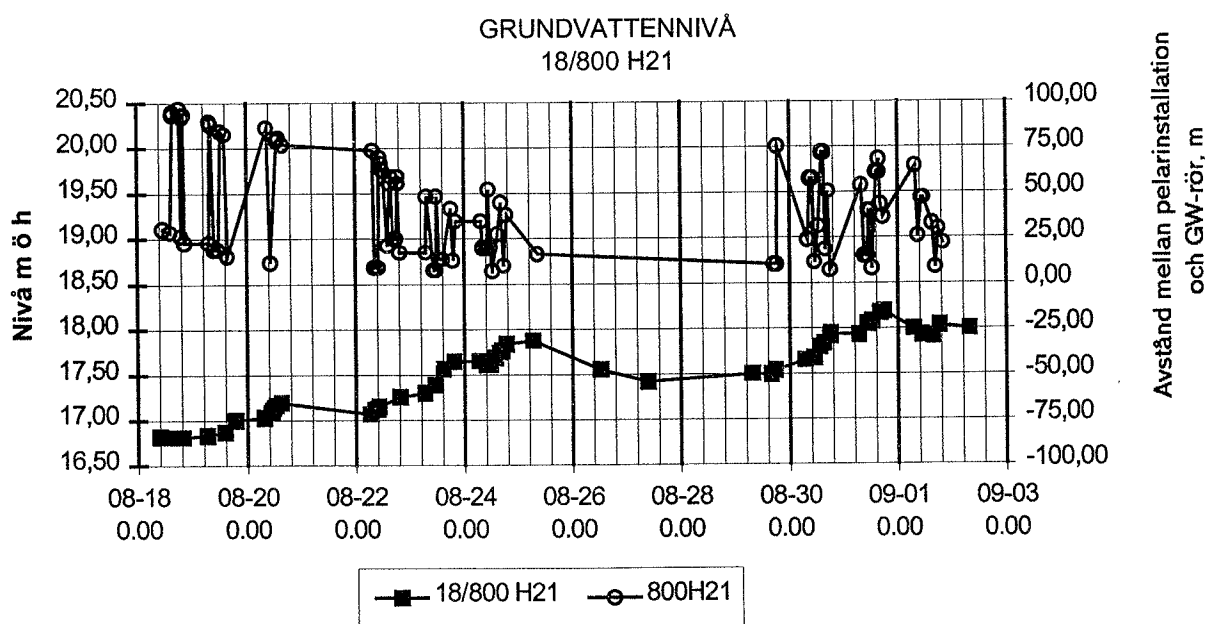
**GRUNDVATTENNIVÅ PRÄSTTJÄRN 1993-94**  
**18/840 H20**



FIGUR B6:8 Prästtjärn. Långtidsmätning av grundvattennivå i GW-rör 18/840 H20 1993-94.

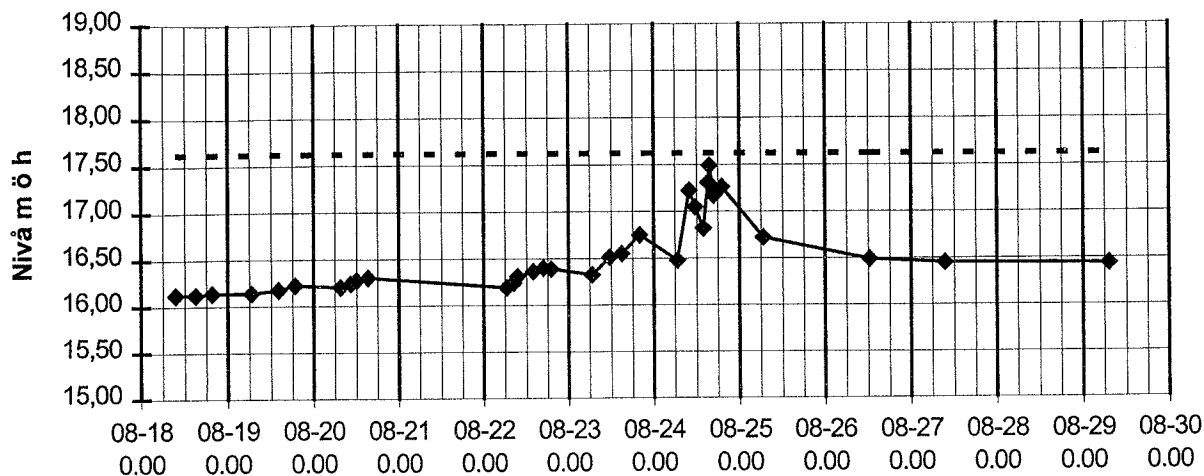


FIGUR B6:9 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/800 H21 redovisas på vänstra y-axeln.  
Avståndet mellan aktuell installation av pelarrad och GW-röret redovisas på högra y-axeln.



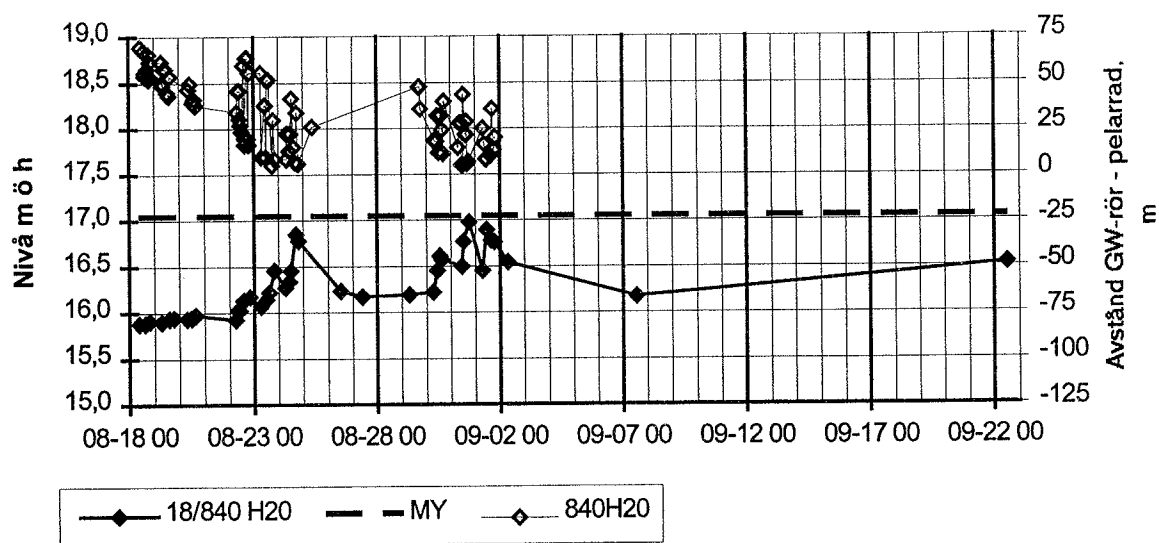
FIGUR B6:10 Prästtjärn. Detalj av FIGUR B6:9.

GRUNDVATTENNIVÅ  
18/820 H24



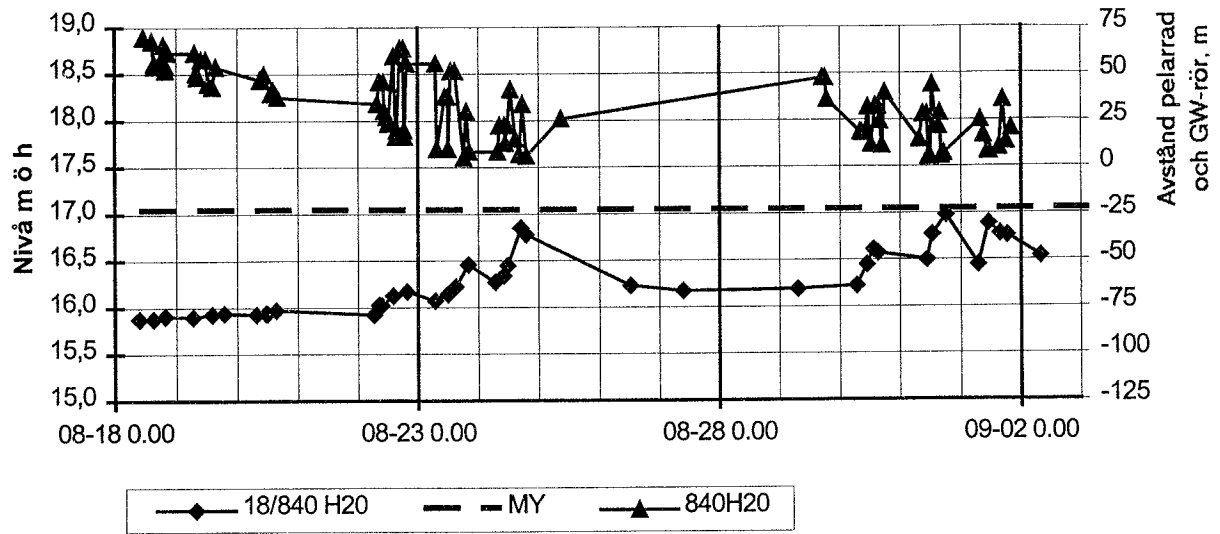
FIGUR B6:11 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/820 H24.

GRUNDVATTENNIVÅ  
18/840 H20



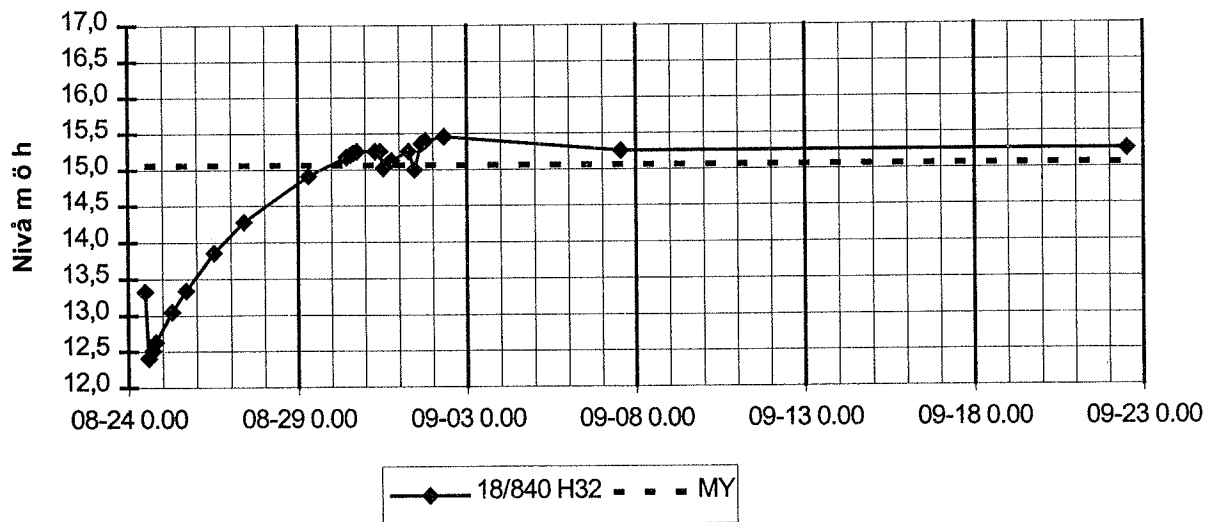
FIGUR B6:12 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/840 H20 redovisas på vänstra y-axeln.  
Avståndet mellan aktuell installation av pelarrad och GW-röret redovisas på högra y-axeln.

**GRUNDVATTENNIVÅ  
18/840 H20**

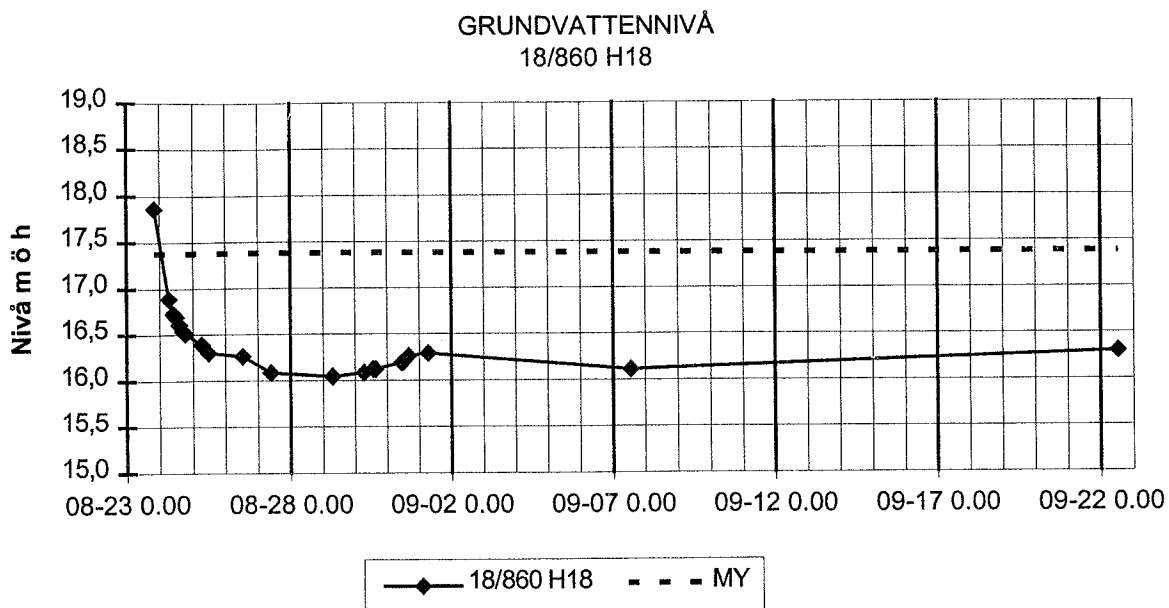


FIGUR B6:13 Prästtjärn. Detalj av FIGUR B6:12.

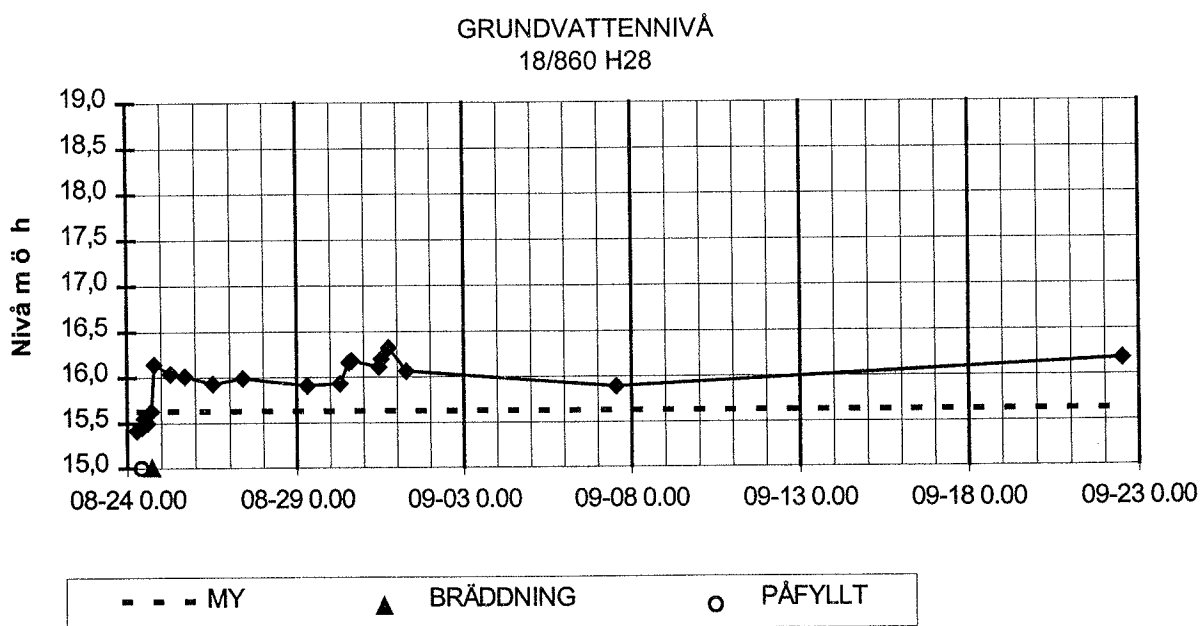
**GRUNDVATTENNIVÅ  
18/840 H32**



FIGUR B6:14 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/8400 H32.

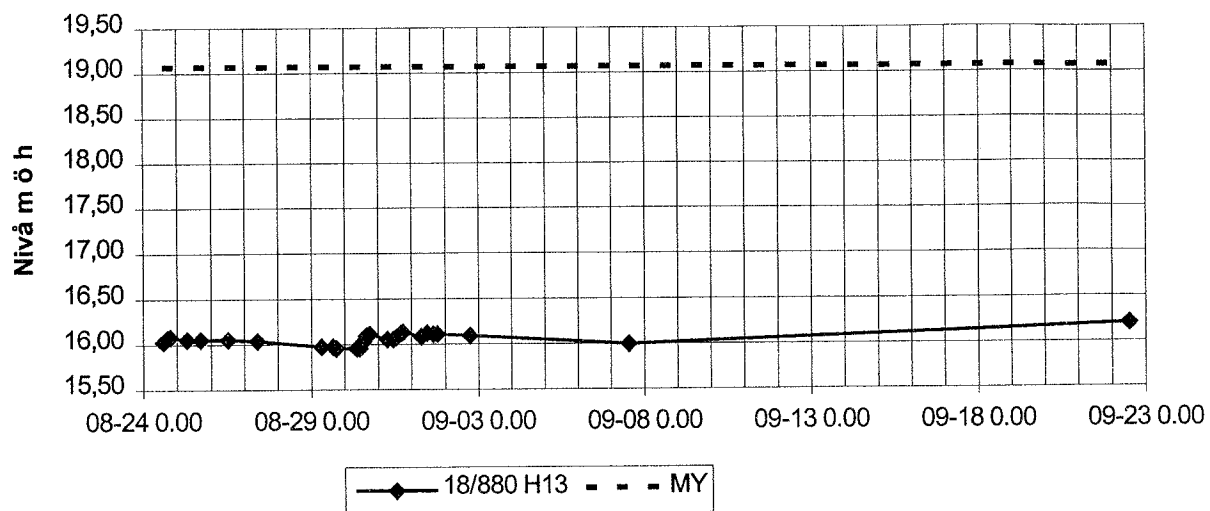


FIGUR B6:15 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/860 H18.



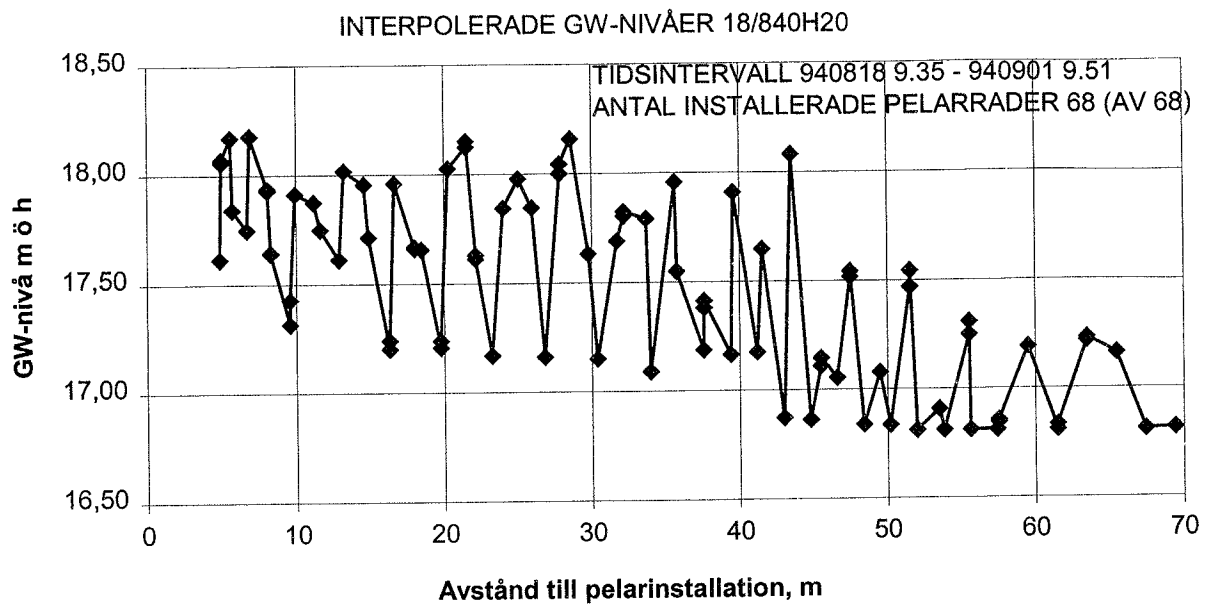
FIGUR B6:16 Prästtjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/860 H28.

GRUNDVATTENNIVÅ  
18/880 H13

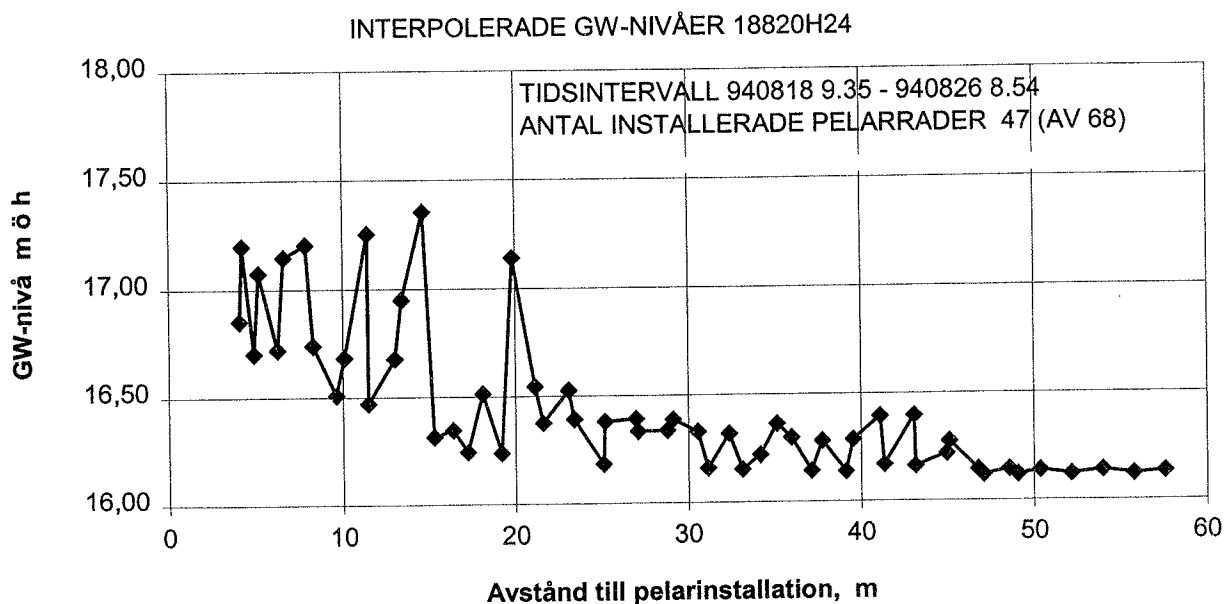


FIGUR B6:17 Prästjärn. Grundvattennivå i GW-rör 18/880 H13

**BILAGA 7**  
**ANALYSER**



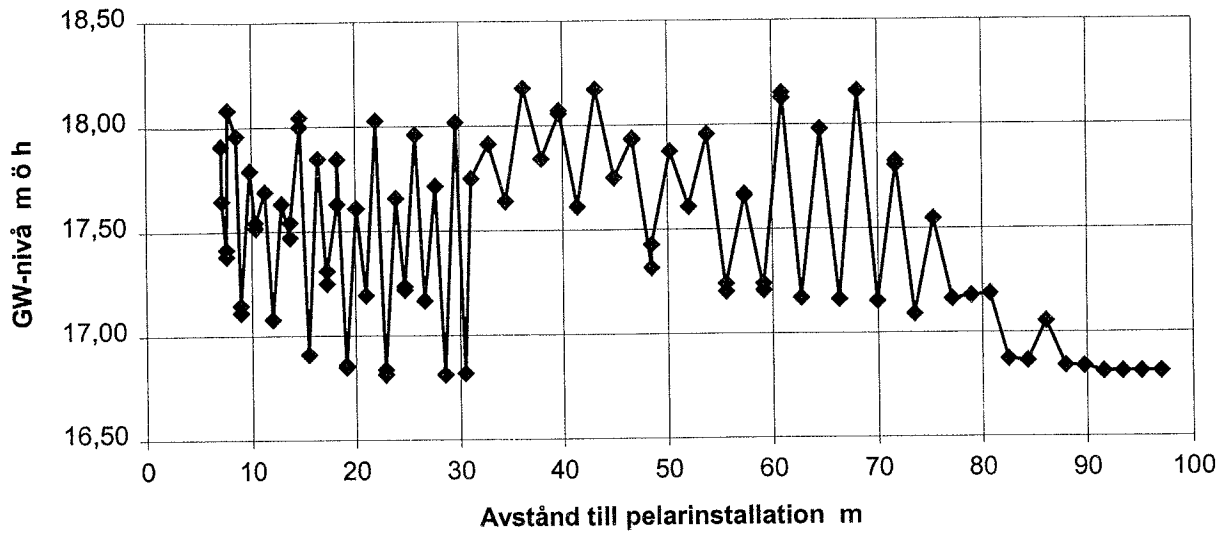
FIGUR B7:1 Prästtjärn. GW-rör 18/840 H20. Försök till analys av samband mellan avstånd till pelarinstallation och grundvattenförändringar.



FIGUR B7:2 Prästtjärn. GW-rör 18/820 H24. Försök till analys av samband mellan avstånd till pelarinstallation och grundvattenförändringar.



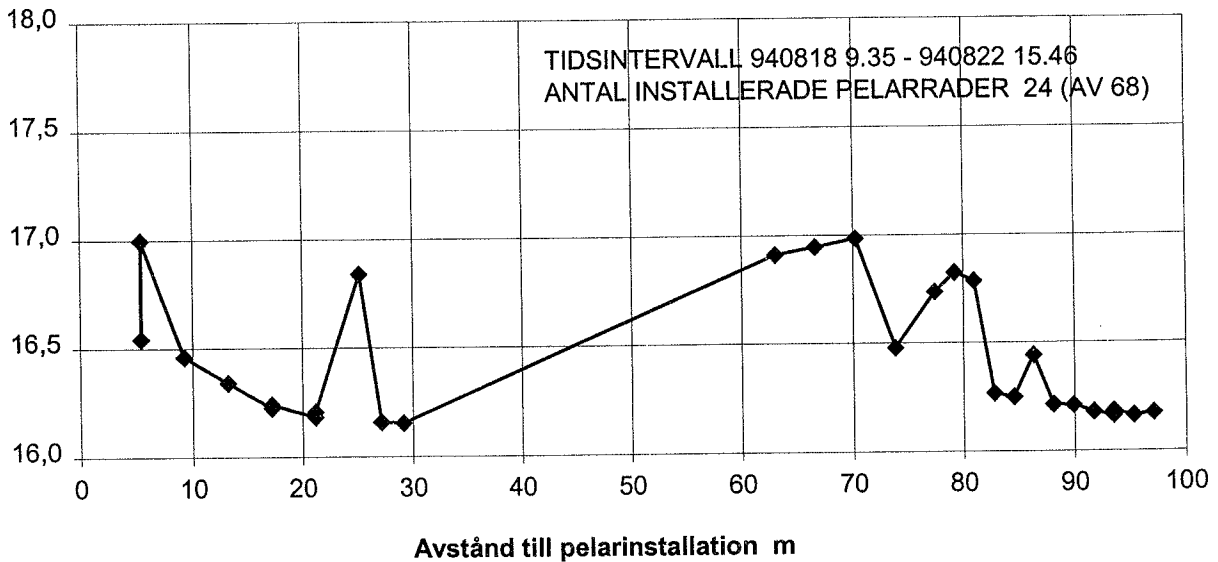
## INTERPOLERADE GW-NIVÅER 18/800H21



FIGUR B7:3

Prästjärn. GW-rör 18/800 H21. Försök till analys av samband mellan avstånd till pelarinstallation och grundvattenförändringar.

## INTERPOLERADE GW-NIVÅER 18/800H30



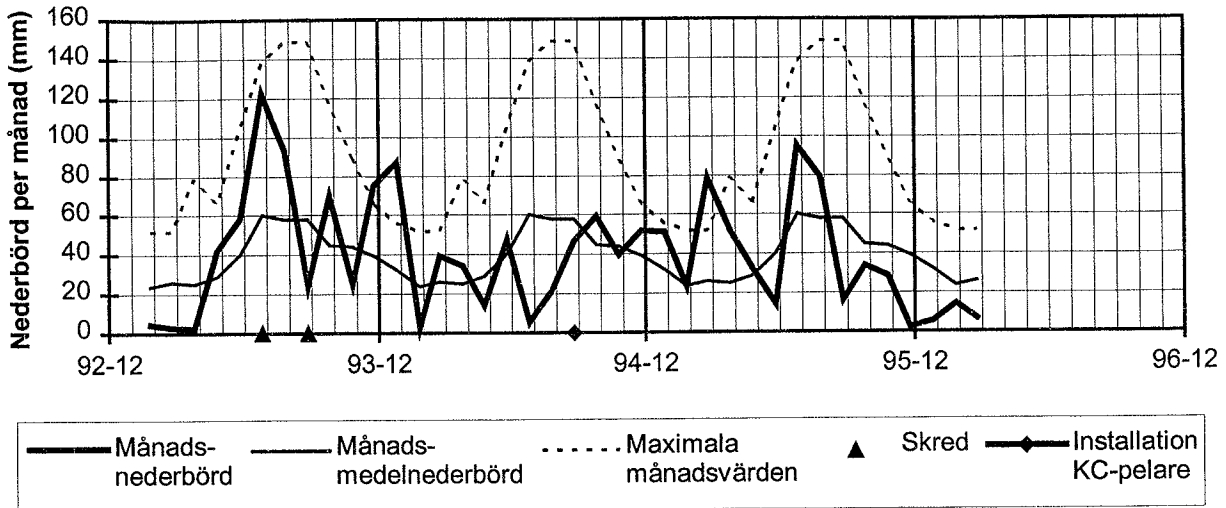
FIGUR B7:4

Prästjärn. GW-rör 18/800 H30. Försök till analys av samband mellan avstånd till pelarinstallation och grundvattenförändringar.

## **BILAGA 8**

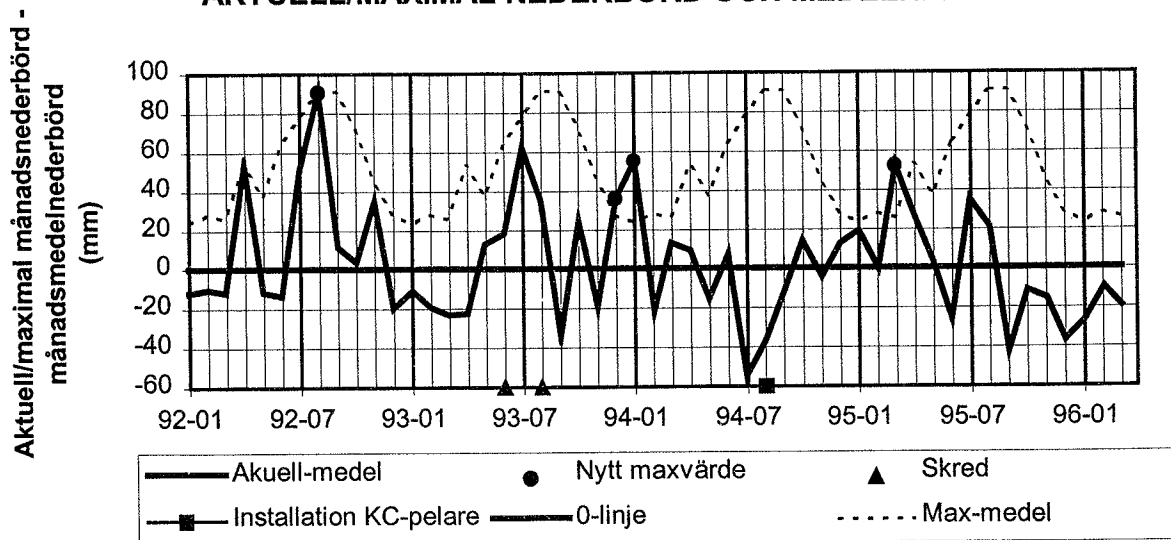
### **NEDERBÖRDS- OCHTEMPERATURDATA Väderstation Kramfors-Gistgårdsön**

**AKTUELL MÅNADSNEDERBÖRD I RELATION TILL MEDEL- OCH MAXIMAL NEDERBÖRD PER MÅNAD**

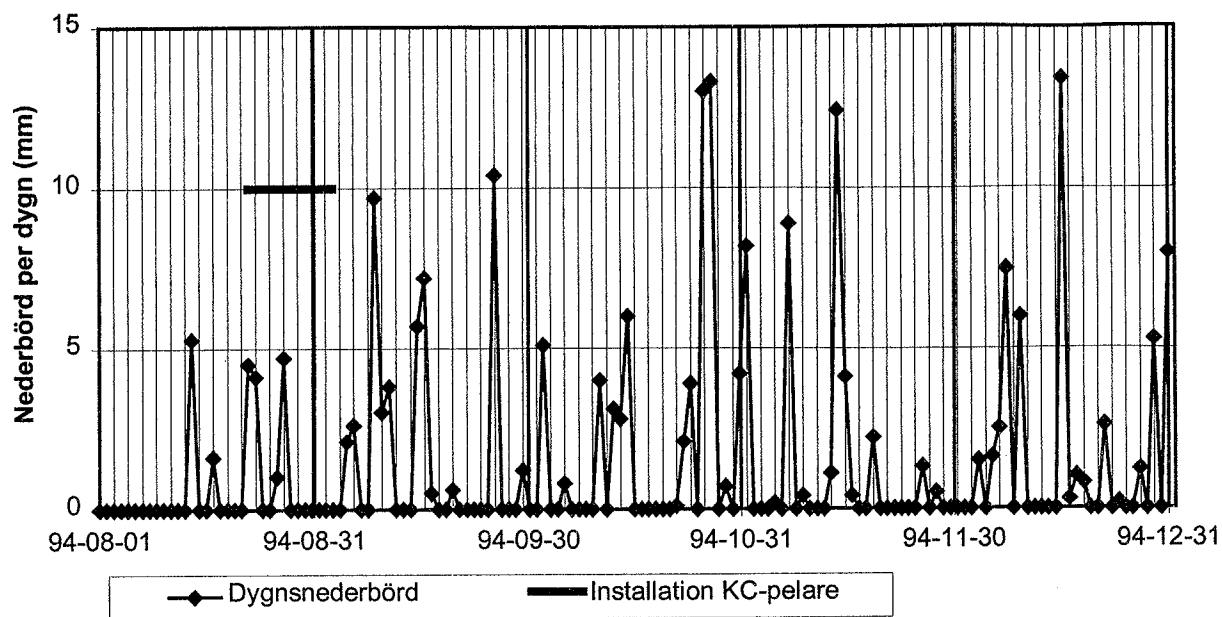


FIGUR B8:1 Aktuell månadsnederbörd i relation till medel- och maximal nederbörd per månad.

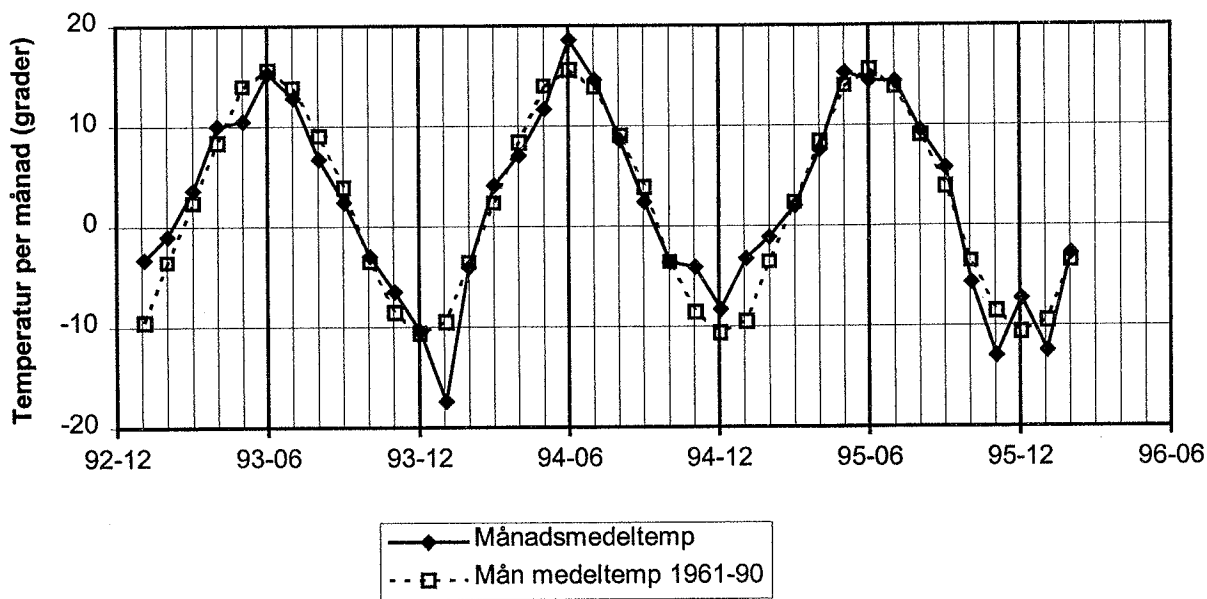
**DIFFERENS PER MÅNAD MELLAN AKTUELL/MAXIMAL NEDERBÖRD OCH MEDELNEDERBÖRD**



FIGUR B8:2 Differens per månad mellan maximal nederbörd och medelnederbörd under perioden 1992-95.



FIGUR B8:3 Dygnsnederbörd under och efter installationen av KC-pelare.



FIGUR B8:4 Lufttemperatur under perioden 1993-95.

## Publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering

### Arbetsrapport

- 1 Arlandabanan, Norra Böjen. Sättningar hos järnvägsbank på kc-pelare** 1998  
Ulf Stjerngren, Jacobson & Widmark
- 2 KC-förstärkning för schakt inom spont, Filipstad Brygge, Oslo** 1998  
Phung Doc Long, Stabilator AB & Håkan Bredenberg, Stabilator AB
- 3 Inblandningsmekanismer vid djupstabilisering med kalk-, kalk/cementpelare oeg cementpelare** 1998  
Stefan Larsson, Tyréns
- 4 Undersökning av KC-pelare med avseende på dess "homogenitet"** 1998  
Roland Tränk, SGI
- 5 Bestämning av egenskaper i cellstabiliserad torv** 1998  
Nenad Jelusic, Vägverket Region Mitt, Torbjörn Edstam, SGI & Yvonne Rogbeck, SGI
- 6 Rörelser och portryck vid kalkpelarinstallation. Redovisning av mätresultat.** 1998  
Åke Johansson, SGI
- 7 Masstabilisering av väg 590, Askersund** 1998  
Yvonne Rogbeck, SGI

### Rapport

- 1 Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare** 1997  
Torbjörn Edstam
- 2 Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie** 1997  
Helen Åhnberg & Håkan Pihl



**Svensk Djupstabilisering**

**c/o SGI, 581 93 Linköping**  
**Tel: 013-20 18 61, Fax: 013- 20 19 13**  
**<http://www.sgi.geotek.se/sd.htm>**