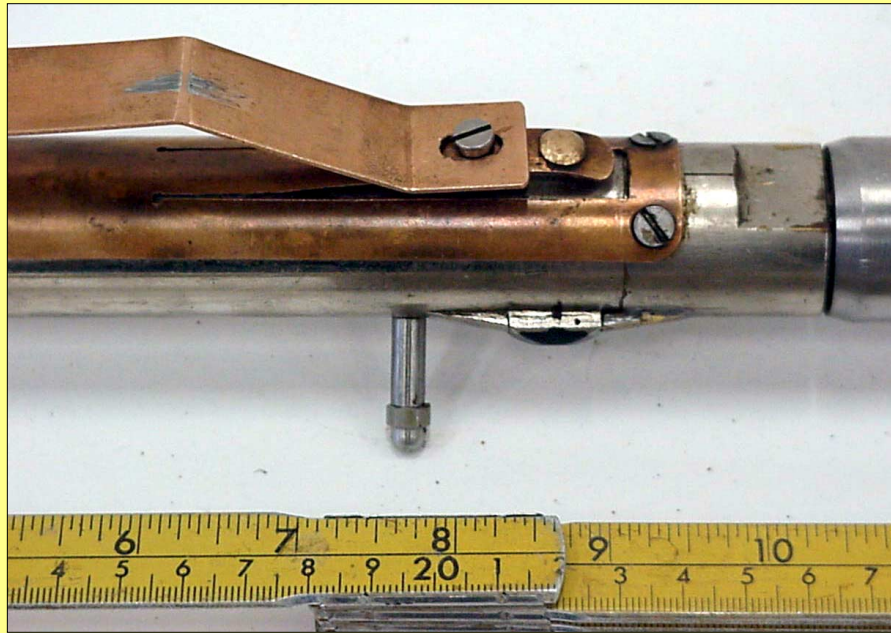




STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



## Metodutveckling för styrd inklinometermätning – fasta och manuella inklinometrar

KARL-GUSTAV JOELSON

Varia 514

LINKÖPING 2002





**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

# Varia 514

## Metodutveckling för styrd inklinometermätning – fasta och manuella inklinometrar

KARL-GUSTAV JOELSON

<b>Varia</b>	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI Litteraturtjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: <a href="mailto:info@swedgeo.se">info@swedgeo.se</a> Internet: <a href="http://www.swedgeo.se">www.swedgeo.se</a>
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--02/514--SE
Projektnummer SGI	10929
Dnr SGI	1-0105-0293
©	Statens geotekniska institut

## Förord

Inklinometermätning utförs av Statens geotekniska institut (SGI) i cirkulära PVC-rör, med skarvhylsor av aluminium. Dessa rör används vid både manuell och automatisk mätning. I mitten av 1990, vid en genomgång av utförda inklinometermätningar, konstaterades att en noggrann utredning av metoden var befogad.

Ett utvecklingsprojekt (Varia 503) genomfördes av SGI. Projektet indelades i två etapper som bestod av det manuella systemet och systemet med fast installerade inklinometrar. Projektet studerade repeterbarhet, långtidsstabilitet och installationseffekter. I rapporten framkom det bland annat att orienteringen av mätriktningen var ett delvis olöst problem och att antalet mätprobar maximeras till ca 20 st.

Med ovanstående som bakgrund startades detta projekt vid SGI, som går ut på att installera och mäta i fyrkantrör. Befintliga mätutrustningar modifieras så att dessa kan användas i de fyrkantiga rören.

Projektet har finansierats och utförts av Statens geotekniska institut.

En referensgrupp, bestående av Ulf Bergdahl, Leif Eriksson och Elvin Ottosson har varit knuten till projektet.

Rapporten har redigerats av Jan Lindgren, SGI.

Linköping i februari 2002

Karl-Gustav Joelsson  
Projektledare



# Innehållsförteckning

## Förord

<b>Sammanfattning</b> .....	7
<b>1 Bakgrund</b> .....	8
<b>2 Syfte</b> .....	8
<b>3 SGI nuvarande inklinometersystem</b> .....	9
3.1 SGI:s manuella inklinometer .....	9
3.2 SGI:s fast installerade inklinometer .....	9
<b>4 Nytt inklinometersystem</b> .....	10
4.1 Rörsystem .....	10
4.2 Skarvningssystem .....	10
Limmad skarv .....	11
Limmad/popnitad skarv .....	11
Aluminiumhylsa/popnitad skarv .....	11
4.3 Modifiering av SGI:s manuella inklinometer .....	11
4.4 Modifiering av fasta inklinometerar .....	12
<b>5 Böjprovning av olika rörsystem med och utan skarv</b> .....	13
5.1 Provningsutrustning .....	13
5.2 Böjprovade rörtyper .....	14
5.3 Resultat .....	14
Oskarvade rörprofiler .....	14
Skarvade rörprofiler .....	15
<b>6 Installationsmetoder</b> .....	16
6.1 Installation med rotation och samtidig spolning .....	16
6.2 Installation genom skruvborrning, nedpressning och slagning .....	17
<b>7 Installation av inklinometerrör vid Segelbåtshamnen</b> .....	18
7.1 Omgång 1 (rör 1) .....	18
7.2 Omgång 2 (rör 2) .....	18
7.3 Omgång 3 (rör 3) .....	18
<b>8 Mätning av inklinometerör vid Segelbåtshamnen</b> .....	20
8.1 Mätning i rör 1. ....	20
8.2 Mätning i rör 3. ....	20
8.3 Rörens form .....	21
<b>9 Installation av inklinometerrör vid Kolbyttemon</b> .....	23
9.1 Omgång 1. ....	23
9.2 Omgång 2. ....	23

<b>10</b>	<b>Mätning av inklinometerrör vid Kolbyttemon</b> .....	24
	10.1 Rörets form .....	24
11	Jämförelse mellan olika inklinometersystem. ....	26
12	Resultat och förväntad nytta jämförelse med andra befintliga inklinometersystem. ....	27
13	Referenser .....	27



## Sammanfattning

Projektet ”Metodutveckling för styrd inklinometermätning – fasta och manuella inklinometrar” är uppdelat i etapper, där etapp 1 omfattar utredning av installationssätt i olika jordar och kontroll av rörens läge.

Projektet ger följande svar:

- Inklinometerrör som är kvadratiska och skarvade med aluminiumhylsa uppfyller väl ställda förväntningar.
- Installation i olika jordar medför inga problem.
- Vid manuell mätning kan rörets läge i jorden bestämmas och även korrigera eventuella fel i mätriktningen.
- Relativt lätt att modifiera den manuella inklinometern och Geometeriks inklinometergivare till ett styrt system.
- Adapter mellan fyrkantsröret och det cirkulära röret måste modifieras så att mätkroppen och dumbyn går igenom denna.
- Gradskivan måste även den modifieras enligt ovan.
- Borrbandvagn som installerar inklinometerrör bör vara utrustad med stödben

En andra etapp bör omfatta försök, som visar samverkan mellan olika inklinometerrör och omgivande jord.

# 1 Bakgrund

Vid SGI har horisontalrörelser i jord mätts sedan 1950-talet. Egen utrustning för de manuella mätningarna började utvecklas under tidigt 1960-tal. Under mitten av 1980-talet utvecklades ett mätsystem med ett antal inklinometergivare (f n maximalt 15 st givare) sammanfogade till ett givarpaket, åtskilda med distansrör av olika längd beroende på önskad installationsnivå för varje givare. Givarpaketet (det så kallade inre systemet) installeras stationärt i ett och samma inklinometerrör (yttre systemet). Signalerna från givarna registreras av en mät dator, bearbetas och lagras. I vanligt tal kallas detta system automatisk inklinometer, en mer riktig benämning är fast installerad inklinometer eller multipelinklinometer. Systemet ger möjlighet att kontinuerligt registrera lutningsförändringar under en längre tidsperiod. Ett mätintervall på 1 timme brukar vanligtvis väljas, även om utrustningen tillåter såväl längre som kortare mätintervall.

I takt med att systemet med fast installerade inklinometergivare vunnit terräng och blivit allt mer använt, har tillgången till längre, kontinuerliga mätserier ökat. I de fall manuella mätningar utförts före installation respektive efter det att de fasta inklinometergivarna avinstallerats, har direkta jämförelser mellan mätresultat från de två systemen kunnat göras. I institutets projekt Dnr 1-9511-564 (Johansson L., Möller B., Ottosson E .) har bland annat denna jämförelse utförts. Vad som framförallt noterades var att en stor avvikelse många gånger erhöles mellan de horisontalrörelser som beräknats på basis av lutningsförändringar som uppmätts med de bägge systemen. Mätningen med fast installerade inklinometerar har vanligtvis gett större horisontalrörelser än med manuell inklinometer, särskilt om de verkliga rörelserna varit små. Projektet visar dessutom att efter installation av de fast monterade inklinometerarna, gav stångsystemet en krypning, rotation, av inklinometrarna som pågick under flera månader, i något fall upp till ett år. Detta påverkar mätresultatet särskilt vid relativt små horisontalrörelser.

# 2 Syfte

Syftet med projektet ”Metodutveckling för styrd inklinometermätning – fasta och manuella inklinometrar” har varit att ta fram ett torsionsstyvt yttersystem och inklinometer som styrs av rörets form. Därvid elimineras rotationen av fasta inklinometrar vid installation, vilket visat sig kunna ske vid användandet av cirkulära plaströr.

## 3 SGI nuvarande inklinometersystem

### 3.1 SGI:s manuella inklinometer

Den manuella inklinometer som utvecklats vid institutet finns i princip beskriven i SGI:s publikation SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER No 3 (1961) och SGI VARIA nr 3 (Bergdahl, 1977). Mätkroppen består av en cylinder med två par glidklackar på 200 mm inbördes avstånd, vilka pressas mot mätröret av en fjäder. Inuti cylindern finns en tyngd upphängd i en bladfjäder. Då mätkroppens längdaxel avviker från vertikalen uppkommer ett moment i bladfjädern. Momentet i fjäderns veka led avkänns med hjälp av trådtöjningsgivare. Genom kalibrering erhålls samband mellan mätkroppens lutning i mätriktningen och utslaget på en mätbrygga.

Ett cirkulärt rör av PVC med ytterdiamern 52 mm och godstjockleken 5 mm används som mätrör. PVC-rören skarvas med en 150 mm lång aluminiumhylsa som rillas fast.

Vid mätning förs mätkroppen ned i mätröret med hjälp av ett vridstyvt stångsystem. Horisontalriktningen för den uppmätta lutningen avläses mot en gradskiva vid rörets övre ände. Gradskivan orienteras mot en avlägsen fixpunkt med hjälp av tillhörande kikarsikte.

Inklinometermätning kan antingen utföras enligt ”maxlutningsmetoden” eller som ”riktningsbestämd” mätning.

Maxlutningsmetoden innebär att man bestämmer den maximala lutningen (största avvikelser från vertikalen) hos röret på valda nivåer. Maxlutningsmetoden kan användas vid bestämning av pålars maximala krökningsradier eller när man på förhand vet rörelsens riktning.

Vid riktningsbestämd mätning sker lutningsbestämning i två mot varandra vinkelräta riktningar vanligen benämnda X och Y. Fördelen med den riktningsbestämda mätningen är att man kan bestämma både deformationens storlek och riktning, medan man vid maxlutningsmetoden utan horisontalvinkelmätning endast kan bestämma deformationens storlek i den riktning i vilken inklinometererröret har sin maximala lutning.

### 3.2 SGI:s fast installerade inklinometer

Mätsystemet består av ett antal mätkroppar (givare) som installeras fast i samma typ av rör och med samma dimension som vid manuell mätning. Mätkropparna installeras på bestämda nivåer i inklinometererröret med hjälp av distansrör och kopplas via kablar till en mätenhet vid markytan. Mätkroppen består av en magnetförsedd pendel monterad över en sensor som känner av förändringar i magnetfältet. Pendeln är upphängd i en bladfjäder. I mätkroppen finns även elektronik som omvandlar förändringar i magnetfältet till elektrisk ström inom mätområdet 4–20 mA. I mätkroppens mätriktning är en bladfjäder monterad som pressar fyra stycken styrklackar mot inklinometererröret, så att pendeln hänger i inklinometererrörets centrum.

## 4 Nytt inklinometersystem

### 4.1 Rörsystem

De på marknaden vanligast förekommande inklinometerrören är cirkulära. Vissa system har invändiga spår för att styra inklinometrarna. Dessa rör med spår har förhållandevis stor godstjocklek och är specialtillverkade.

För att kunna använda rör av standardformat blev det slutliga valet ett kvadratisk standardrör med sidmålet 60 mm och en godstjocklek av 2 mm. Fyrkantströren är tillverkade av PVC-plast, samma material som tidigare använda cirkulära 50 mm inklinometerrören med godstjocklek 4 mm. Fyrkantströren levererades i 3,0 m längder. Spets till inklinometerrören är en utanpåliggande teleskopspets.

Toleranser: väggjocklek 1,85 till 2,05 mm och utvändigt tolerans 60,05 till 60,5 mm.

### 4.2 Skarvningssystem

Målsättningen var att använda en aluminiumhylsa som skarv även för detta nya fyrkantrör. Vid kontakt med svenska tillverkare av aluminiumprofiler (Gränges och SAPA) konstaterades att det inte fanns någon standardprofil med rätt dimension. Kontakt togs då med försäljare av plastprofiler, men svaret blev detsamma som för aluminiumprofilerna. För att inte förlora tid, påbörjades installationsarbetet genom att utföra skarvningen med att fyra 0,2 m långa plastplattor.

Senare under projektet gång har fyrkantprofil av aluminium med utvändigt mått 65 mm och godstjockleken 2 respektive 2,5 mm godstjocklek hittats hos en importör.

Tolerans för pressad aluminium-fyrkant- & sexkantsstång enligt SS-EN 755-4, 755-6 är vid dimensionen 50–65 mm  $\pm 0,5$  mm. Beroende av toleransen på plaströret väljs antingen hylsa med 2 eller 2,5 mm godstjocklek.

Vid skarvning av inklinometerrören har en klämma tagits fram som fungerar som mothåll, *Figur 1*.



*Figur 1 – Mothållsklämma.*

## Limmad skarv

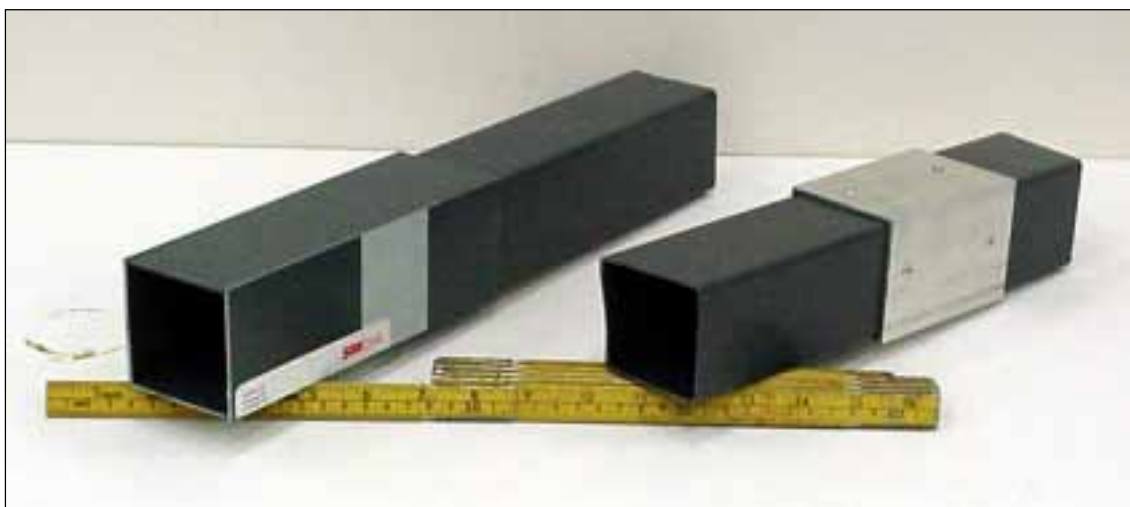
Vid installation av Rör 1 vid Segelbåtshamnen i Linköping provades limmade skarvar bestående av fyra 0,2 meter långa plastplattor (i PVC). Dessa limmades i halva sin längd fast på inklinometerröret med TANGIT (ett PVC lim) på förrådet. Andra hälften limmades vid skarvningen i fält med BONDLINE (enkomponentlim). Provningar i testhall visade att limning med BONDLINE ger en mycket stark men styv skarv. Vid böjprovningarna har fyrkantsrören gått av intill limningen med BONDLINE. Limning med TANGIT ger en stark skarv, men den sista limningen i fält bedöms ta för lång tid beroende på härdtiden, framförallt vintertid.

## Limmad/popnitad skarv

Skarv utfördes med fyra stycken 0,2 m långa plastplattor, som limmades i halva sin längd med TANGIT och popnitades (3,2 x 6,2 mm) två stycken nitar i varje skarvplatta. Den andra rördelen skarvades med Silikonlim och två stycken popnitar i varje plastplatta.

## Aluminiumhylsa/popnitad skarv

Inklinometerröret i Kolbyttemon och rör nummer 2 och 3 i Segelbåtshamnen installerades med en skarv bestående av aluminiumfyrkantsprofil. Aluminiumprofilen hade dimensionen  $D_y = 65$  mm,  $D_i = 60$  mm. För att fixera aluminiumprofilen på plats popnitades denna med 3,2 x 10,8 mm långa nitar, en nit på varje sida om skarven, *Figur 2*.



*Figur 2 – Olika skarvar. Limmad popnitad skarv till vänster och popnitad aluminiumhylsa till höger.*

### 4.3 Modifiering av SGI:s manuella inklinometer

SGI:s manuella inklinometer är framtagen till cirkulärt PVC-rör med yttermåtten 50 mm, vilket innebär att en övergång mellan inklinometerröret och fyrkantsröret måste tillverkas. Dessutom har glidklackarna modifierats genom att förlänga dessa så att de ligger an i hörnen på fyrkantsrören. Originalfjädersnåren på inklinometern har modifierats så att trycket mot glidklackarna blir större, *Figur 3 och 4*. För att mätprocessen ska kunna utföras på ett effektivt sätt kommer gradskiva och adaptorn mellan fyrkantsröret och det cirkulära röret att modifieras i nästa etapp, så att mätropparna går igenom dessa.



Figur 3 – Modifierad SGI-inklinometer.



Figur 4 – Detalj modifierad SGI-inklinometer.

#### 4.4 Modifiering av fasta inklinometerar

GEOMETRICS inklinometergivare har modifierats på samma sätt som SGI:s manuella inklinometer. Fjäderspänningen har ökats och glidklackarna har även de förlängts. Det har även tagits fram en plastadapter, som gör att inklinometergivarna kan monteras ihop ovanpå varandra med mätriktning tvärs den andra givaren, *Figur 5*.

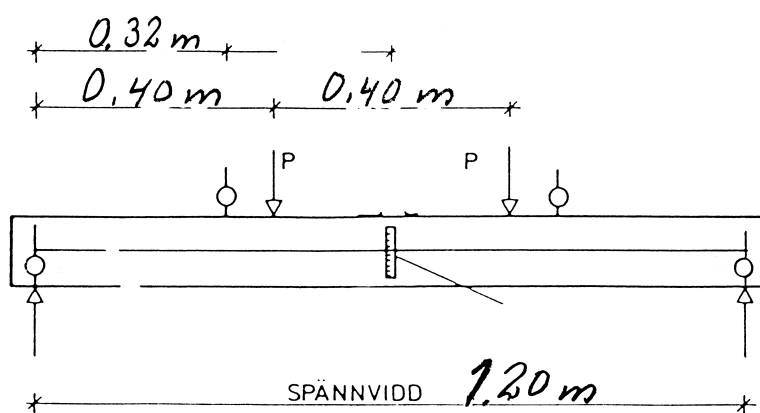


Figur 5 – Adapter för mätning i alla kvadranter.

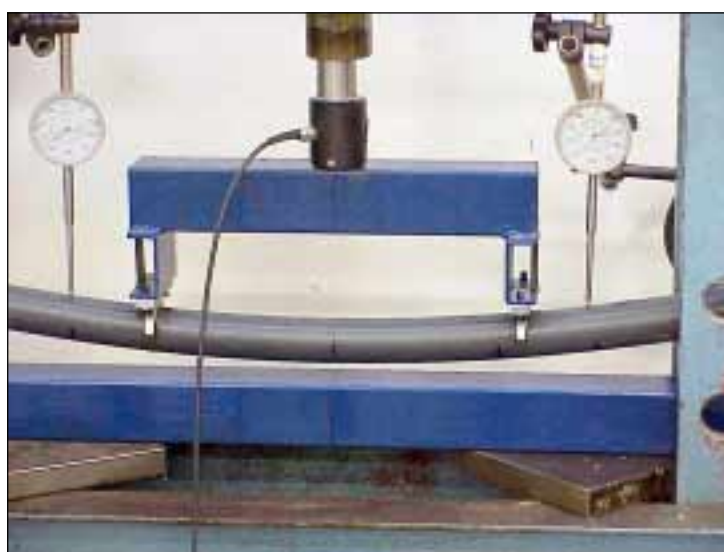
## 5 Böjprovning av olika rörsystem med och utan skarv

### 5.1 Provningsutrustning

För att jämföra böjstyvheten för det nya fyrkantröret med andra rör och tillhörande skarvar tillverkades provningsutrustning, se *Figur 6*, där *Figur 6b* visar försök med oskarvat NT-rör 50/42 mm. Utrustningens geometriska utformning är en förminskning av utrustningen för provning av pålskarvar, se SBN Godkännanderegler, Kapitel 2.3. Mätning av deformation i mitten av skarven har inte utförts. Längden mellan de undre upplagen är 1,2 m. Avståndet mellan mätklockorna är 0,56 m och avståndet mellan de övre upplagen är 0,4 m, se *Figur 6a*. Vid provningen av rören avlästes först nollavläsning innan lastgivaren och det övre upplaget sattes på plats, *Figur 6b*.



*Figur 6a – Provningsanordning med lastplacering och mätutrustning.*



*Figur 6b – Försöksupställning böjprovning.*

## 5.2 Böjprovade rörtyper

Böjprovningar har utförts på det nya fyrkantröret oskarvat både diagonalt och mot de plana sidorna. Skarvning har testas med aluminiumhylsa 0,1 m respektive 0,15 m fogade med fyra popnitar i varje rördel. Dessutom har skarvar med fyra stycken plastplattor 0,2 m långa provats med olka sammanfogningsteknik. För jämförelse har SGI:s runda rör med diametern 52 mm provats oskarvat och med den vanliga aluminiumhylsan 0,2 m lång som rillas fast samt SISGEO:s cirkulära plaströr Ø 70 mm och 5 mm godstjocklek (med fyra frästa spår för att styra inklinometrarna) oskarvat och med en 0,2 m lång plasthylsa som fästs med två popnitar i vardera rördel.

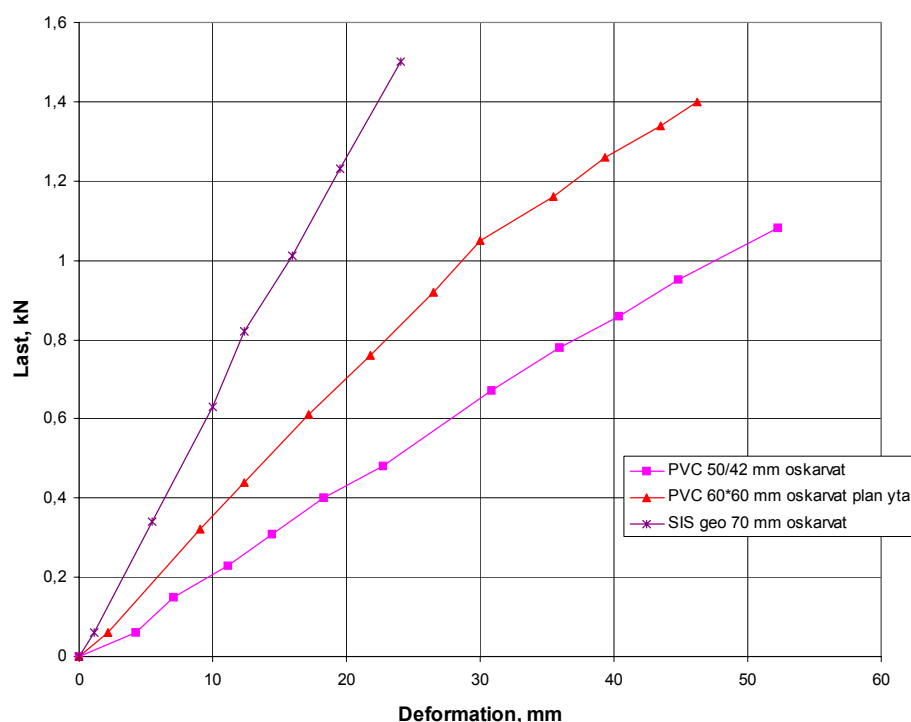
## 5.3 Resultat

### Oskarvade rörprofiler

Från sammställningen i *Tabell 1* och *Figur 7* framgår att SISGEO-röret är ca tre gånger styvare än det som hittills används vid SGI (PVC 50/42 mm). Vid 20 mm deformation åtgår det 1,24 kN för SISGEO-röret mot 0,43 kN för Ø50/42mm-röret. Fyrkantströret 65x65 mm erfordrade ca 0,68 kN för 20 mm deformation, detta gäller för försök både på diagonalen som mot de plana sidorna.

Tabell 1 – Böjprovning av oskarvade rör.

Typ av rör	Kraft vid 10 mm deformation	Kraft vid 20 mm deformation
PVC Ø 50 / 42 mm	0,20 kN	0,43 kN
PVC 60 × 60 plan yta	0,35 kN	0,70 kN
PVC 60 × 60 diagonal	0,33 kN	0,68 kN
SISGEO Ø 70 mm	0,63 kN	1,24 kN



Figur 7 –  
Sammanställning  
av böjprovning,  
oskarvade rör.



## Skarvade rörprofiler

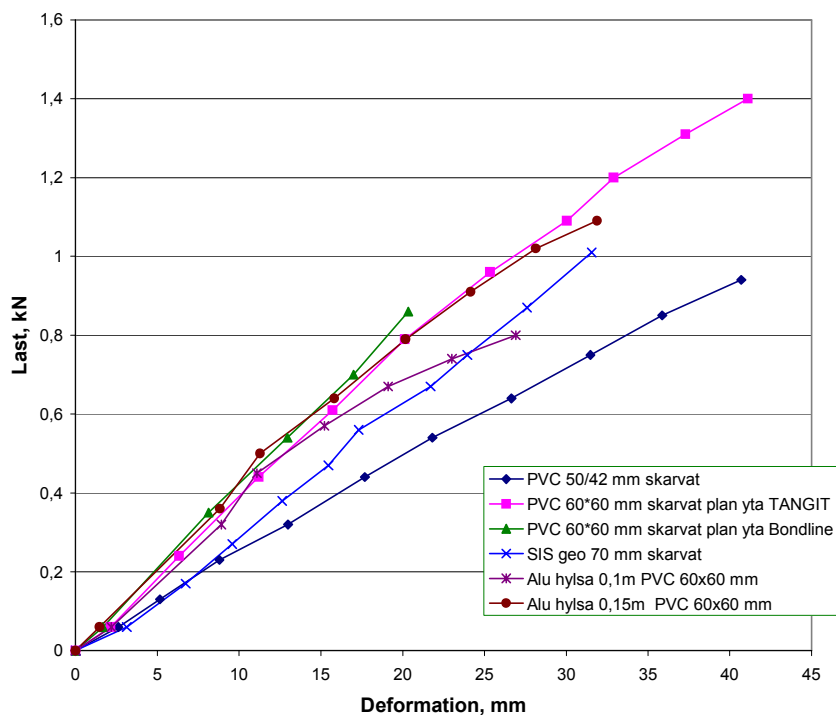
I *Tabell 2* visas en sammanställning av resultatet av böjprovning av de tre typerna rör med skarvar av aluminium respektive plast. För typerna Ø 50/42 mm och 65x65 mm erfordras en något större kraft för att ernå en viss deformation jämfört med de oskarvade rören. Däremot visade SISGEO Ø 70 mm att kraften reducerades till ungefär hälften för det skarvade röret i förhållande till det oskarvade. Orsaken till detta är att skarven är så mycket ”svagare” än själva röret att en vinkeländring erhålls i skarvsnittet.

*Tabell 2 – Böjprovning av skarvade rör.*

Typ av rör	Kraft vid 10 mm deformation	Kraft vid 20 mm deformation
PVC Ø 50/42 mm Aluminiumhylsa	0,25 kN	0,50 kN
PVC 60 × 60 Aluminiumhylsa 0,1 m	0,38 kN	0,68 kN
PVC 60 × 60 Aluminiumhylsa 0,15 m	0,39 kN	0,78 kN
SISGEO Ø 70 mm Plasthylsa	0,28 kN	0,62 kN

Som ovan beskrivits kunde inledningsvis inte standardprofiler i plast eller aluminium hittas på den svenska marknaden. Efter dessa besked tillverkades en egen skarv genom att klippa till fyra stycken 0,2 m långa plastplattor (i PVC). Dessa limmades halva sin längd fast med TANGIT (PVC-lim) på fyrkantsrören. Andra hälften i skarvsnittet har provats med olika typer av lim TANGIT, BONDLINE och Silikon med popnit. Vid limning med TANGIT erhålls en stark och flexibel skarv, men den sista limningen i fält bedöms ta för lång tid beroende på härdtiden, framförallt vintertid. Limning med BONDLINE ger en mycket stark skarv, men inte flexibel och vid probböjningarna har fyrkantsröret gått av strax efter limningen med BONDLINE.

Resultaten av alla provade skarvar framgår av *Figur 8*.



*Figur 8 –  
Sammanställning  
av böjprovning,  
skarvade rör.*

## 6 Installationsmetoder

Projektet har också omfattat framtagning av installationsmetoder, som kan användas i både lös lera och i fast silt. För att uppnå största noggrannhet vid inklinometermätningen såväl manuellt som automatiskt bygger detta på att inklinometerrören installeras så vertikalt som möjligt. Vid installation av rören skall om möjligt dessa inte belastas vare sig statiskt eller dynamiskt.

Borrbandvagnen bör vara utrustad med stödben då det efter inklinometermätning i rören konstaterades att alla rör hade fått en installationslutning i tredje kvadranten. Vid alla installationstillfällena har bandvagnen stått i linjen 0 – 180 grader. Nollan har varit orienterad från bandvagnen vid alla tillfällen. Denna observation kan bero på att det funnits läckage i hydraulsystemet för sidlutning av bormasten.

### 6.1 Installation med rotation och samtidig spolning

Installationsmetoden för fyrkantörören innebär att man först förborrar med en i projektet tillverkad borkkrona. Denna borkkrona har diameter 67 mm vilken har tre spolhåll i fronten, och är fäst på ett slitsrör till pressometern. Slitsröret har ytterdiameter 65 mm och på detta har svetsats ett skruvämne som rymmer ett borrhål av 90 mm i diameter, *Figur 9*. Vid installationen av fyrkantröret förborras till fullt djup med slitsrör och vattenspolning. Vid installation i lera fylls borrhålet vid upptagning av borrhålen med enbart vatten som smörjning och hydrostatiskt mothåll i borrhålet. Vid installation i sand/silt fylls borrhålet vid upptagning av borrhålen med en blandning av bentonit och cement. Efter upptagning av borrhålen trycks inklinometerroret ner till fast botten. För att anbringa tryckkraft på spetsen av inklinometerroret har det i projektet tagits fram en adapter som styr röret in- och utvändigt. Genom adaptern löper stångsystemet (32 mm västergångat hejarsondsstål med dellängd om 1,5 m) ner till teleskopspetsen, *Figur 10*.



*Figur 9 – Borkkrona diameter 90 mm.*



*Figur 10 – Adapter för slagning.*

## 6.2 Installation genom skruvborrning, nedpressning och slagning

När jorden består av silt och grundvattenytan är belägen på stort djup börjar installationen med att skruvborrning (diameter 70 mm) utförs ner till grundvattenytan. I detta skruvborrhål pressas inklinometerröret ner så långt som möjligt med innersystemet. Innan slagning påbörjas sätts en gummimellanlägg mellan nackadaptern och stångadaptern. Gummiavskraparen har till uppgift att dämpa slageffekten på själva plaströret. Under projektets gång har också en spets, som inte överför rotation från borrstålet till inklinometerspetsen tagits fram, genom att spetsen är lagrad på en stålkula, *Figur 11*.



*Figur 11 – Roterbar spets.*

## 7 Installation av inklinometerrör vid Segelbåtshamnen

### 7.1 Omgång 1 (Rör 1)

Vid installation av inklinometerröret vid Segelbåtshamnen förborrades det med den i avsnitt 6.1 beskrivna utrustningen ner till 16,5 m djup under markytan. Vid upptagning av borrstrången fylldes borrhålet med vatten. Skarvning av inklinometerrören utfördes genom att halva skarven var limmad med TANGIT på förrådet. Ihopfogningen av inklinometerrören utfördes med limning av andra halvan med BONDLINE och fixerades med tape. Under neddrivningen av inklinometerrören vattenfylldes dessa för att erhålla ett hydrostatiskt mottryck i inklinometerröret.

### 7.2 Omgång 2 (Rör 2)

Installation av inklinometerrör med aluminiumhylsa längd 0,1 m, popnitad på båda sidor om skarven, utfördes genom skruvborrning ner till 4,0 m under markytan. När spetsen nått nivån ca 15,5 m under markytan blev matningstrycket större och slag med hydraulhammaren fick användas. På detta sätt drevs inklinometerröret ner till 16,5 m djup under markytan. Vid upptagning av innersystemet konstaterades lera på detta. Lodning och tolkning av inklinometerröret utfördes och det konstaterades att vid 15,5 m under markytan hade inklinometerröret gått av. Detta resultat var förvånande med hänsyn till böjprovningen. Vid närmare granskning upptäcktes att popnitarna som användes vid skarvningen var någon millimeter kortare än de som användes vid böjprovningen. Popnitarna hade måtten 3,2 x 6,2 mm. Detta innebär att den erforderliga expansion av popniten på insidan av skarven inte blivit tillräcklig stor.

### 7.3 Omgång 3 (Rör 3)

Längre popnit införskaffades med dimension 3,2x10,8 mm och ny installation utfördes. På samma sätt som vid Omgång 2 utfördes skruvborrning ner till 4,0 m under markytan. Med innersystemet bestående av 32 mm gamla vänstergängade hejarsondsstål med längden 1,5 m, trycktes inklinometerröret ner till 15,0 m under markytan, där det tog stopp. Vid denna spetsnivå började ”mjuk”slagning på innersystemet med hydraulhammaren, vilket innebär att man slår till och från slagningen i mycket korta intervall. På detta sätt drevs inklinometerröret ner till spetsnivån 15,5 m under markytan till stopp. Innersystemet togs upp och röret lodades med hjälp av en ficklampa, som firades nedåt med ljuskäglan uppåt. Röret såg ut att vara rakt utifrån ljuskäglan. Därefter tolkades röret med en dummy som är tillverkad av en kasserad inklinometer. Med hjälp av dummyn kunde det konstateras att inklinometerröret var intakt, *Figur 12 och 13.*



*Figur 12 –  
Detalj dummy i fyrkantsrör.*



*Figur 13 – Dummy.*

## 8 Mätning av inklinometerör vid Segelbåtshamnen

### 8.1 Mätning i Rör 1

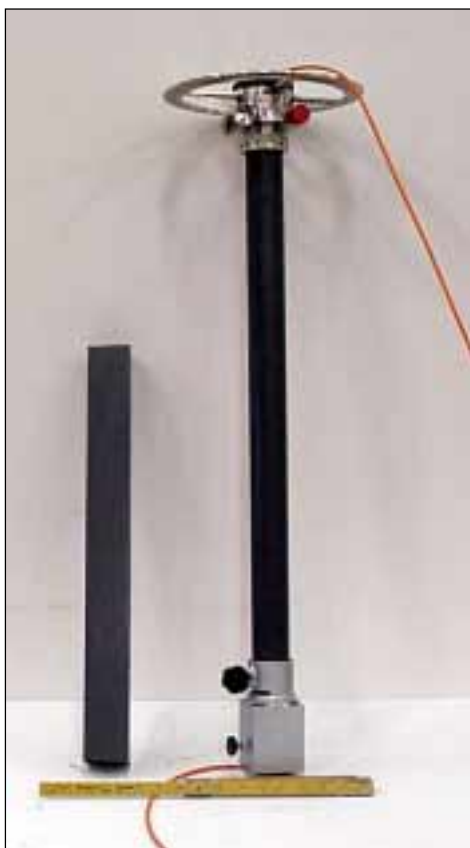
Efter utförd installation fick inklinometerören ”vila” i tre dagar. För att kontrollera att inklinometerörret var intakt efter installationen tolkades detta med hjälp av en dummy, som var tillverkad av en trasig inklinometer typ Geometrik och SGI:s stångsystem. Tolkningen utfördes i både X-och Y-led. Mätning av lutning och vridning av det installerade inklinometerörret utfördes med den modifierade SGI-inklinometern i båda koordinatriktningarna. Mätresultat redovisas i *Figur 16*. Vid mätningen konstaterades att den modifierade proben inte gick att få igenom gradskivan till SGI-inklinometern. Detta beror på att en adapter har tillverkats som en övergång mellan fyrkantsröret och det cirkulära 50 mm inklinometerörret och den modifierade proben erfordrar större diameter än 50 mm, *Figur 14* och *15*.

Exempel på redovisning av utförd mätning visas i *Figur 16*.

### 8.2 Mätning i Rör 3

Vid mätningen konstaterades att i dagsläget får man utgå från att bottennivån är utgångsfix då det gäller inställning av horisontalvinkeln. Mätningen av inklinometerörret tillgår enligt följande:

- Med stångsystemet förs proben ner till nedersta mätnivån.
- Horisontalvinkeln (0 eller 90 grader) ställs in.
- Lutningen avläses på mätbryggan.
- Avvikelse från inställd horisontalvinkel avläses.



*Figur 14 – Detalj adapter mellan 4-kantsrör och cirkulära rör.*

*Figur 15 – Adapter och gradskiva.*

### Rör 3 – mätning i 360 graders riktning.

Nivå	Delta vinkel 7000 / 7001	Nollmätning Lutning mm/m	Mätning 1 Lutning mm/m	Delta mellan mätningarna
2	2,0 / 3,0	-38,0	-37,5	0,5
3	2,0 / 2,5	-29,2	-29,2	0
4	2,0 / 2,5	-37,6	-37,7	-0,1
5	2,0 / 2,0	-44,7	-45,1	-0,4
6	2,0 / 2,0	-43,5	-43,4	0,1
7	1,0 / 1,5	-43,1	-43,0	0,1
8	0,5 / 0,5	-39,4	-38,8	-0,4
9	0,5 / 0,75	-33,0	-33,0	0
10	0,25 / 0,5	-26,3	-26,3	0
11	-0,25 / -0,25	-27,7	-27,4	0,3
12	0 / 0	29,4	-29,2	0,2
13	0,5 / 0,5	-32,8	-32,9	-0,1
14	-0,5 / -0,25	-35,9	-35,9	0
15	-0,5 / -0,5	36,4	-36,4	0
16	0 / 0	-38,5	-38,6	-0,1

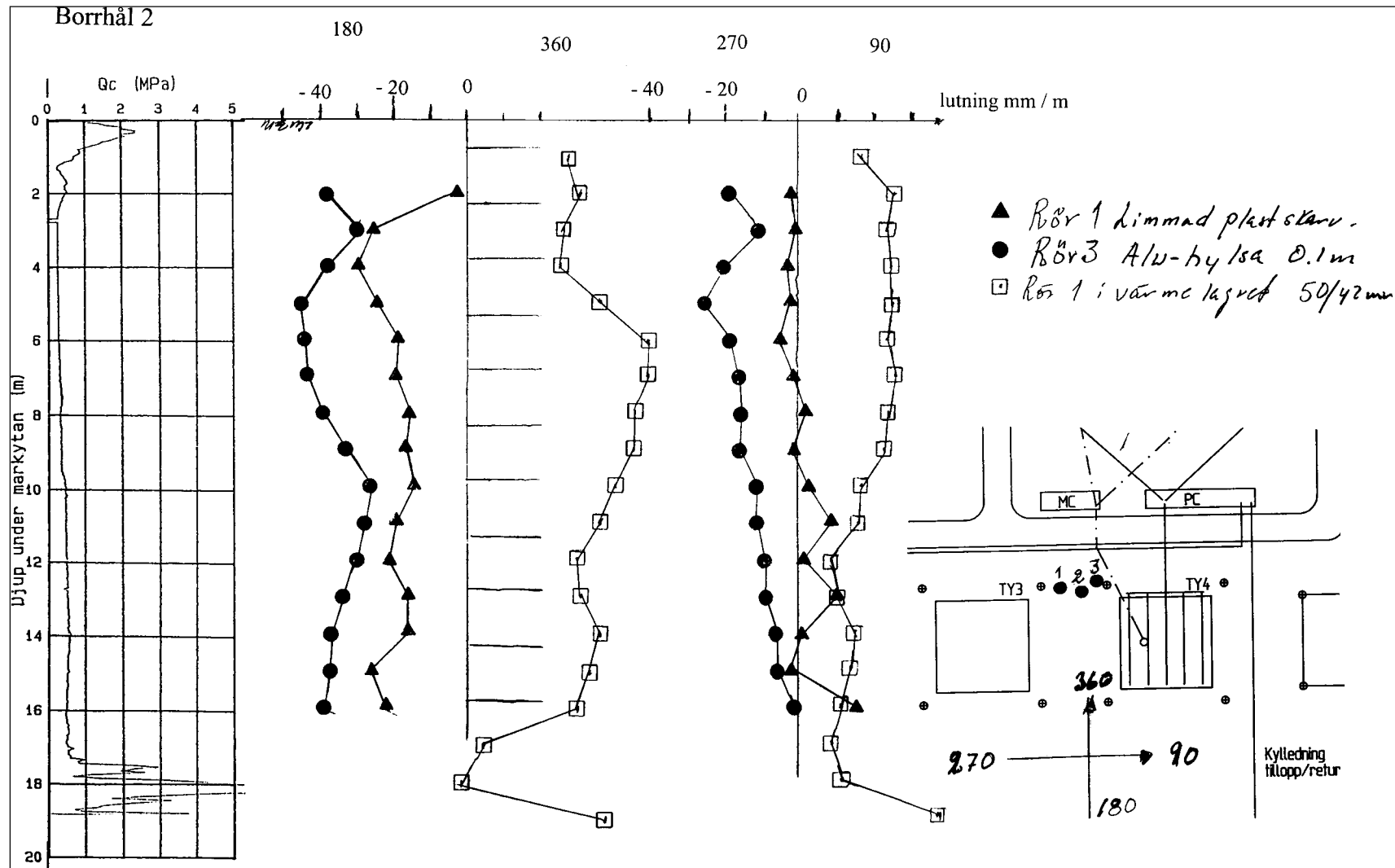
### Rör 3 – mätning i 90 graders riktning.

Nivå	Delta vinkel 7000 / 7001	Nollmätning Lutning mm/m	Mätning 1 Lutning mm/m	Delta mellan mätningarna
2	3,25 / 3,0	-18,9	-18,6	0,3
3	3,0 / 4,0	-10,1	-10,2	-0,1
4	2,5 / 3,0	-20,0	-20,1	-0,1
5	2,25 / 2,5	-25,2	-25,5	-0,3
6	2 / 2,0	-18,8	-19,0	-0,2
7	2,0 / 2,1	-17,7	-17,7	0,0
8	1,3 / 1,1	-15,7	-15,6	0,1
9	0,9 / 1,0	-15,7	-15,6	0,1
10	1,87 / 1,5	-12,1	-12,2	-0,1
11	1,5 / 1,1	-12,3	-12,8	-0,5
12	1,1 / 0,5	-9,8	-10,2	-0,4
13	0 / 0,75	-9,2	-9,6	-0,4
14	0,25 / -0,75	-6,8	-7,3	-0,5
15	0 / 0	-6,3	-6,6	-0,3
16	0 / 0	-0,5	-0,5	0,0

Exempel på redovisning av utförd mätning visas i *Figur 16*.

### 8.3 Rörens form

Båda fyrkantrörens form påminner om varandra med lutningar varierande mellan 10 och 40 mm/m. Tidigare har ett cirkulärt rör Ø 50/42 installerats i samma område. Detta rörs utseende visas även det i *Figur 16*. Fyrkantrör nr 3 och det cirkulära röret har i stort sätt samma utseende och samma lutning, om man bortser från de nedersta tre nivåerna av det cirkulära röret.



Figur 16 – Resultat av utförd inklinormätning i Segelbåtshamnen.



## 9 Installation av inklinometerrör vid Kolbyttemon

### 9.1 Omgång 1

Installationsförsök utfördes på samma sätt som vid Segelbåtshamnen. Förborring gjordes ner till 10 m djup. När borrhålet togs upp skulle borrhålet stabiliseras genom att fyllas med en blandning av cement och bentonit, som pumpades ut genom borrhålet. Bentonit/cement blandades och när detta skulle pumpas ner i borrhålet så slutade injekteringspumpen att fungera, varför installationsförsöket avbröts.

### 9.2 Omgång 2

Vid detta försök utgjordes skarven av en aluminiumprofil. Rör med denna typ av skarv bedömdes kunna installeras utan borrhålsstabilisering.

Förborring med skruvborrar görs så långt det är möjligt, därefter trycks/pressas inklinometerröret ner. Då det inte går att pressa inklinometerröret längre slås detta ner med hjälp av innersystemet, så att slaget från hydraulhammaren hamnar mot stålspetsen i nederändan av inklinometerröret.

Installation av inklinometerröret i Omgång 2 utfördes på detta sätt. Förborringen kunde utföras ner till ca 8 meter under markytan. Från denna spetsnivå slogs inklinometerröret ner till 10,5 m under markytan enligt ovan. Innersystemet togs upp och inklinometerröret tolkades med både ficklampa och dummy och båda tolkningarna visade sig vara tillfredsställande. Sand/silt, som tagits upp med skruven vid förborringen, placerades vid röret och därefter vattenbegjöts sanden/silten så att den transporterades ner utmed inklinometerröret som därmed stabiliserades. Vid neddrivningen av inklinometerröret med hjälp av slagning, dämpades slagenergin mot plaströret med hjälp av en gummimellanlägg, som placerades mellan nackadaptern och slagskon, som sitter på plaströret.

## 10 Mätning av inklinometerrör vid Kolbyttemon

Inklinometermätning i det installerade röret utfördes helt utan problem. Exempel på redovisning av utförd mätning visas i *Figur 17*.

### Rör 1 – mätning i 360 graders riktning.

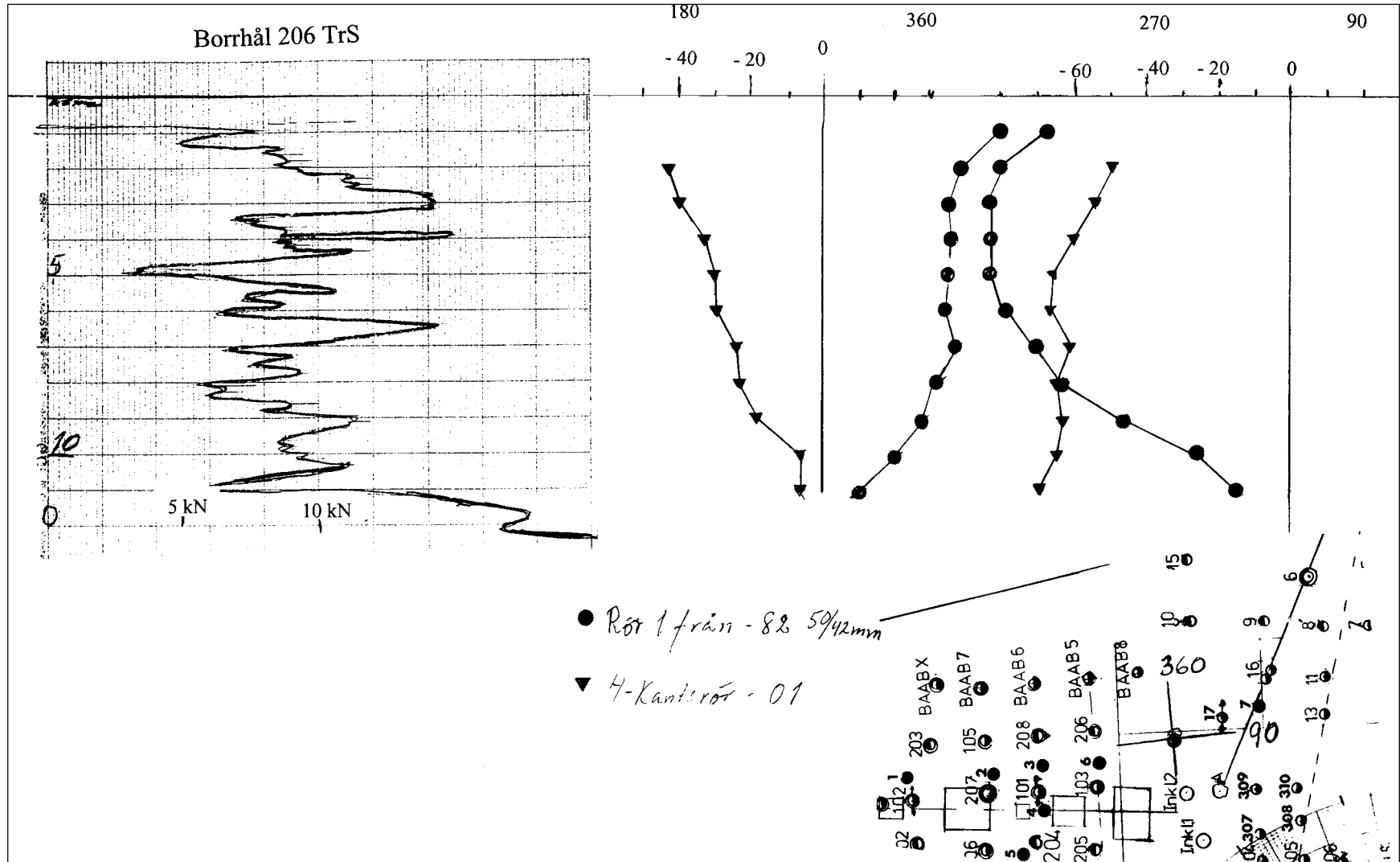
Nivå	Delta vinkeln 7000 / 7001	Nollmätning Lutning mm/m	Mätning 1 Lutning mm/m	Delta mellan mätningarna
2	2 / 1,75	-49,2	-42,2	1,1
3	2,5 / 2,20	-39,3	-,39,3	0,1
4	2 / 1,5	-33,1	-33,1	0,5
5	1,5 / 1,1	-29,9	-29,9	0,5
6	4,5 / 1,25	-29,4	-29,4	-0,5
7	1,3 / 1	-23,2	-23,2	-0,2
8	0,8 / 0,75	-23,2	-23,2	-0,4
9	0,25 / 0	-17,9	-17,9	0,2
10	0 / 0	-6,4	-6,4	0,0
11	0 / 0	-6,0	-6,0	0,0

### Rör 1 – mätning i 90 graders riktning.

Nivå	Delta vinkeln 7000 / 7001	Nollmätning Lutning mm/m	Mätning 1 Lutning mm/m	Delta mellan mätningarna
2	1,9 / 2,5	-49,0	-49,2	0,2
3	2,3 / 2,8	-54,1	-54,2	0,1
4	1,9 / 2,5	-59,9	-60,2	0,3
5	1,5 / 2,0	-65,5	-65,8	0,3
6	1,4 / 2,0	-65,9	-66,5	0,6
7	0,9 / 1,5	-60,8	-61,0	0,2
8	1 / 1,25	-63,4	-64,2	0,8
9	0 / 0,9	-62,2	-62,9	0,7
10	0 / 0,5	-62,1	-64,8	0,7
11	-0,25 / 0	-69,6	-69,9	0,3

### 10.1 Rörets form

Fyrkantrörets lutning ökar i den ena riktningen från 10 till ca 40 mm/m medan rörets lutning i den andra riktningen är nära konstant motsvarande 60 mm/m. Ett tidigare installerat cirkulärt rör Ø 50/42 uppvisar en liknande rörform men med något större lutning än fyrkantröret.



Figur 17 – Resultat av utförd inklinometermätning kolbyttekon.

## 11 Jämförelse mellan olika inklinometersystem

I nedanstående tabell visas några utvalda uppgifter för tre olika inklinometersystem.

*Data för olika inklinometersystem.*

	<b>SISGEO</b>	<b>Geometrik/SGI</b>	<b>SGI 4-kantsrör</b>
Pris fast givare/st	7 000 kr	4 500 kr	5 000 kr
Pris kabel/rör etc. / nivå	1 100 kr	500 kr	400 kr
Max antal givare/rör	20	15–20	40
Mätnoggranhet manuell mätning	3 mm/10 m rör	3 mm/10 m rör	3 mm/10 m rör

## 12 Resultat och förväntad nytta jämförelse med andra inklinometersystem

Det framtagna systemet med fyrkantrör har baserats på institutets befintliga fasta inklinometrar av typ Geometrik. Mindre anpassningar av glidklackar och fjäder till den nya rörformen har skett. SGI har kalibreringsutrustning som är framtagen för Geometrikinklinometrarna samt rutiner för kalibrering av dessa. Det i projektet framkomna fördelarna kan sammanfattas som:

- Manuell och automatisk inklinometermätning kan utföras i det nya rörsystemet.
- Farhågor och misstankar som att inklinometergivarna inte mäter i antagen riktning kan nu kontrolleras med hjälp av det manuella mätsystemet.
- Upp till tre gånger så många fasta inklinometergivare kan monteras i ett och samma rör.
- Givare och innersystem som redan finns framtagna kan användas.
- De befintliga styrda inklinometersystem på marknaden, bedöms ha för böjstyva rör för att kunna återge eventuella rörelser i lös svensk lera.
- *Figur 8* redovisar böjprovningar på skarvade inklinometerrör. SIS GEO:s resultat beror på att popnitar finns enbart i en och samma koordinataxel, i och med detta blir inte skarven dragstark.

## 13 Referenser

**Bergdahl, U (1977).** Horisontalrörelsemätning med inklinometer SGI Varia 3, Linköping.

**SBN Godkännanderegler 1975:8.** Pålar - regler för dimensionering samt för pålningens utförande. Statens planverk

**Johansson Lars, Möller Björn, Ottosson Elvin (2001).** Inklinometermätningar – Studie av repeterbarhet, långtidsstabilitet och installationseffekter. SGI Varia 503 Linköping.



Statens geotekniska institut  
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: [sgi@swedgeo.se](mailto:sgi@swedgeo.se) Internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)