



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



IVAR ÖHMAN
LARS OLSSON

Supertuben i Kista

R47: 1993

Utvärdering

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129287

 BYGGFORSKNINGSRÅDET

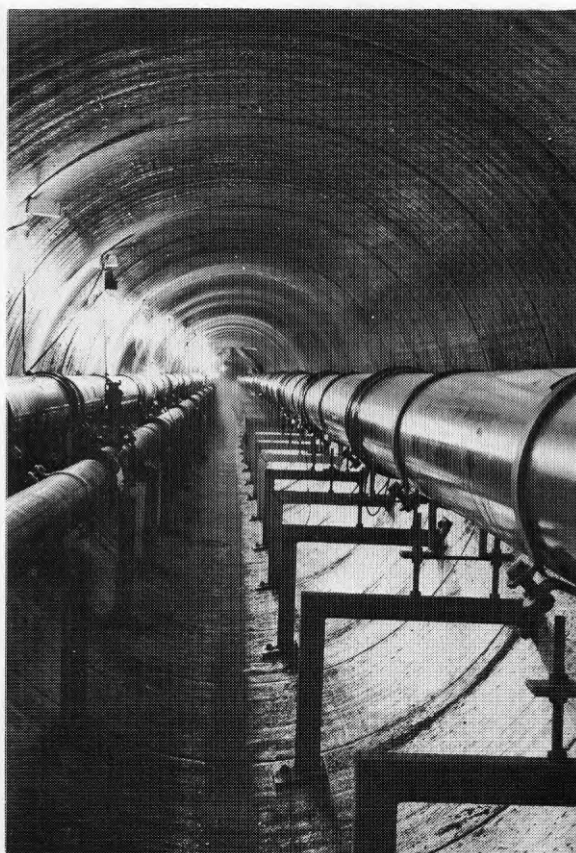
BFR

R47:1993

SUPERTUBEN I KISTA

Utvärdering

Ivar Öhman
Lars Olsson



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 880434-5 från Byggforskningsrådet till Stockholm Vatten AB, Stockholm.

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD
BIBLIOTEKET

REFERAT

Syftet med denna rapport är att skapa en fördjupad förståelse för de tekniska problem som möter geotekniken och ledningsprojektören i deras arbete med att få den bästa möjliga totallösningen med hjälp av en supertub.

Supertuben är en kulvert för samförläggning av olika medialedningar i en stadsdel med möjligheter att från tuben pressa ut servisledningar i erforderlig omfattning.

I projektet skulle man i full skala pröva dels rörpressning på långa sträckor och smörjningsmetoder för att uppnå detta, dels jämföra olika rörmaterial och dels metoden att pressa ut servisledningar från supertuben. Vidare skulle konsekvenserna för omgivningen studeras liksom möjligheterna att styra omgivningspåverkan. Hela projektet avslutades i september 1991.

Studierna av vattensmörjning på rör vid pressning har givit ett värdefullt underlag för värdering av möjligheterna att dels minska mantelmotståndet och dels att bättre kunna bemästra problemen med vattendistribution till vattenytan. Genom att ange hur smörjningen skall ske och dokumenteras underlättas möjligheterna att följa upp hur vattensmörjningen fungerar. Analys av sambandet mellan smörjvattentryck som anpassas till grundvattentrycket ger det bästa resultatet vid smörjning med vatten. Vid för högt vattentryck får man oönskade effekter.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R47:1993

ISBN 91-540-5596-2

Byggforskningsrådet, Stockholm

gotab 98778, Stockholm 1993

INNEHÅLL

1. **FÖRORD**
2. **SAMMANFATTNING**
3. **BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING FÖR SUPERTUBSKONCEPTET**
4. **PROJEKTERING AV SUPERTUBSANLÄGGNINGAR - ALLMÄNNA RÅD**
 - 4.1 **VA-tekniska synpunkter**
 - 4.1.1 Koncentration av abonnenter
 - 4.1.2 Nivåer och framtida åtkomlighet
 - 4.1.3 Material för inredningar och anslutningar
 - 4.1.4 Säkerhetsfrågor
 - 4.1.5 Nya krav på material i tub och inredning. Fogar
 - 4.1.6 Underhållsfrågor
 - 4.1.7 Möjligheten att samförlägga andra faciliteter
 - 4.1.8 Dränerings- och länshållningsmöjligheter
 - 4.1.9 Täthetskrav på tuben
 - 4.1.10 Miljö- och tidsaspekter
 - 4.2 **Geotekniska synpunkter**
 - 4.2.1 Geologiska förutsättningar
 - 4.2.1.1 Hinderfrihet
 - 4.2.1.2 Stratigrafi
 - 4.2.2 Geotekniska förutsättningar
 - 4.2.2.1 Sättningar
 - 4.2.2.2 Tryck- och mottagningsbrunnar
 - 4.2.2.3 Dimensioneringsförutsättningar för tuben

- 4.3 Arbetstekniska synpunkter**
- 4.3.1 Förutsättningar för entreprenören och utrustningar
- 4.3.2 Orsaker till jordbrott vid rörfront
- 4.3.3 Arbetarskydd
- 4.3.4 Tillåtna smörjtryck och -mängder
- 4.3.5 Risk för isärglidning av rören
- 4.3.6 Toleranser i sida och höjd, deformationskontroll
- 4.3.7 Tillåtna uppehåll och åtgärder
- 4.3.8 Åtgärder vid hinder
- 4.3.9 Kontrollorganisation
- 4.3.10 Ersättningsregler
- 4.3.11 Rörhantering

5. EXPERIMENTPROJEKT ÄRVINGEFÄLTET I KISTA

5.1 Planmässiga förutsättningar

- 5.1.1 Bakgrund
- 5.1.2 Planområdet
- 5.1.3 Detaljplaneförslaget
- 5.1.4 Ledningsdragning
- 5.1.5 Ekonomi
- 5.1.6 Planbeskrivning

5.2 VA-tekniska förutsättningar

- 5.2.1 Rörinredning
- 5.2.2 Samförläggning
- 5.2.3 Täthetskrav
- 5.2.4 Toleranskrav i sida och höjd, deformationer

5.3 Geologiska-geotekniska förutsättningar

- 5.3.1 Geologisk beskrivning
- 5.3.2 Geoteknisk beskrivning
- 5.3.3 Dimensioneringsförutsättningar
- 5.3.4 Presskraftprognos
- 5.3.5 Hinderprognos

- 5.4 Övriga förutsättningar**
 - 5.4.1 Finansiering, experimentbyggandet
 - 5.4.2 Entreprenörer, utrustningar
 - 5.4.3 Intresse prova systematiserad smörjningsteknik

- 5.5 Beskrivning av projektet Supertuben, Kista**
 - 5.5.1 Plan
 - 5.5.2 Profiler
 - 5.5.3 Brunnar
 - 5.5.4 Styr rör
 - 5.5.5 Rören
 - 5.5.6 Arbetsutrustning
 - 5.5.7 Installation av va
 - 5.5.8 Anslutning av va
 - 5.5.9 Utsedda entreprenörer
 - 5.5.10 Kontrollorganisation
 - 5.5.11 Tider

- 5.6 Program för FoU-projektets genomförande**
 - 5.6.1 Allmän beskrivning av FoU-projektet
 - 5.6.2 Program för pressning
 - 5.6.3 Program för smörjning

- 5.7 Mättningsprogrammet**
 - 5.7.1 Mätningar på tuben
 - 5.7.1.1 Presskrafter
 - 5.7.1.2 Vattenflöde vid smörjning
 - 5.7.1.3 Vattentryck vid smörjning
 - 5.7.1.4 Riktning
 - 5.7.1.5 Deformationer
 - 5.7.2 Omgivningspåverkan
 - 5.7.2.1 Portryck
 - 5.7.2.2 Jordtryck
 - 5.7.2.3 Vertikalrörelser
 - 5.7.2.4 Horisontalrörelsemätning
 - 5.7.2.5 Grundvattennivåer
 - 5.7.2.6 Beskrivning av mätstationer

- 5.8 Försökets genomförande**
 - 5.8.1 GAP-rör (Etapp 1)
 - 5.8.2 Betongrör (Etapp 2)

5.9 Resultat

- 5.9.1 Mätresultat från etapp 1
 - 5.9.1.1 Mätresultat från tuben
 - 5.9.1.2 Mätresultat avseende omgivningspåverkan
- 5.9.2 Mätresultat från etapp 2
 - 5.9.2.1 Mätresultat från tuben
 - 5.9.2.2 Mätresultat avseende omgivningspåverkan
- 5.9.3 Övriga observationer

5.10 Diskussion av resultat

- 5.10.1 Diskussion av resultat från tuben
 - 5.10.1.1 Presskrafter
 - 5.10.1.2 Smörjvattentryck och flöde
 - 5.10.1.3 Hydraulisk spräckning
 - 5.10.1.4 Deformation av rören
 - 5.10.1.5 Tubens riktning
 - 5.10.1.6 Isärpressning i rörfogar
- 5.10.2 Diskussion av resultat från omgivningspåverkan
 - 5.10.2.1 Pågående sättningar
 - 5.10.2.2 Förutsägbara sättningar
 - 5.10.2.3 Långtidssättningar
- 5.10.3 Utvärdering av GAP-rör resp. betongrör

6. EKONOMI

- 6.1 **Ekonomi Kistaprojektet**
- 6.2 **Ekonomisk jämförelse med traditionell rörgrav**

7. SLUTSATSER

8. REFERENSER

BILAGOR

- Bilaga 1 Sammanställning över mätstationer
- Bilaga 2 Redovisning av totala presskrafter exkl. förluster
- Bilaga 3 Redovisning av smörjvattentryckmätningar
- Bilaga 4 Redovisning av portrycksmätningar
- Bilaga 5 Resultat från jordtrycksdosor
- Bilaga 6 Redovisning av sättningsmätningar
- Bilaga 7 Redovisning av sidopressning jord

1. FÖRORD

Behovet av att kunna pressa ledningar på långa sträckor har ökat under de senaste åren. Detta är framkallat av önskemål om att kunna nyttja tidigare svår-exploaterade markområden. Ledningsläggning i stadsmiljö med öppen schakt medför stora störningar för trafiken och de omkringboende. Djupa schakter med spont är dessutom i sig dyra.

Supertuben är en kulvert för samförläggning av olika medialedningarna i en stadsdel med möjligheter att från tuben pressa ut servisleddningar i erforderlig omfattning.

Geoteknikerns kunskap skall därvid ges stor vikt vid för planering och placering av supertuben. Berörda mark- och ledningsägare samt projektörens synpunkter beaktas för att få den bästa ekonomiska och tekniska lösningen. Intressenterna träffar överenskommelse om samförläggning och utnyttjande av kulverten.

Syftet med denna rapport är att skapa en fördjupad förståelse för de tekniska problemen som möter geoteknikern och ledningsprojektören i deras arbete med att få den bästa möjliga totallösningen med hjälp av en supertub.

När Stockholms stad anvisade mark för byggande av lägenheter och kontor på Ärvingefältet i Kista gavs tillfälle att pröva idén med supertuben. Området utgör ett plant öppet fält. På vissa delar av fältet råder synnerligen svåra grundförhållanden med stor mäktighet av lös lera. Konventionellt byggande av valedningar innebär därför att omfattande markförstärkningar måste vidtas med höga grundläggningskostnader som följd.

I stället för ett utförande med öppen schakt och spontslagning valde man pressning av ett större rör för samförläggning av ingående mediarör, den så kallade supertuben.

Kulverten i Kista är det första projektet med supertub som genomförts i full skala. Det har därför varit av intresse att noga följa arbetet ur flera olika synvinklar. Stockholm Vatten har tillsammans med Bygghälsorådet, som lämnat vissa anslag och ett experimentbyggnadslån, genomfört ett forskningsprojekt i anslutning till utförandet av supertuben.

Uppgiften har varit att utforma experimentbyggandet och att följa upp pressningsteknik med vattensmörjning, geoteknik, drivningsdata och samförläggningens möjligheter samt inverkan på omgivningen.

Bengt Spångberg, Stockholm Vatten, är idégivaren bakom supertuben. Tyréns Företagsgrupp AB har sökt fullfölja de idéer som Spångberg har arbetat med under lång tid. Teknologier doktor Carl-Olof Morfeldt, Mineconsult, har varit behjälplig med att föra fram idéerna till ett projekt. Tyréns har upprättat anbudshandlingar, deltagit i upphandling, upprättat program för experimentbyggandet samt genomfört uppföljningen av experimentbyggandet. Entreprenadarbetet med pressning av supertuben har utförts av BAB Construction AB, Göteborg.

Projektering och genomförande av projektet leddes av Ivar Öhman, Tyréns, med Per Lennart Svensson som geoteknisk sakkunnig. I utvärderingen av försöken har även Lars Olsson, Tyréns, deltagit.

Vid genomförandet av experimentbyggandet har följande referensgrupp bidragit med teknisk rådgivning:

Bergdahl, Ulf	Statens Geotekniska Institut
Bergström, Torsten	Svenska vatten- och avlopps- verksföreningen, VAV
Forsell, Gunvor	Byggforskningsrådet
Sellberg, Björn	Byggforskningsrådet
Lyckhult, Lars Åke	Stockholm Vatten AB
Svensson, Per Lennart	TYRÉNS

Sundbyberg i april 1992

TYRÉNS FÖRETAGSGRUPP AB

Ivar Öhman
Projektledare

Lars Olsson
Teknologie doktor

2. SAMMANFATTNING

Supertubens idé är att samförlägga ledningar i en lång skyddskulvert som pressas fram i marken. Metoden är ett schaktfritt alternativ till konventionella metoder för kulvertförläggning. Servisledningar pressas enligt förslaget ut från supertuben till byggnaderna.

I samband med att Ärvingefältet i Kista utanför Stockholm skulle bebyggas beslöt Stockholm Vatten att pröva supertubskonceptet. BFR bidrog därvid med experimentbyggnadsmedel för projektets genomförande och FoU-medel till utvärdering.

I projektet skulle man i full skala pröva dels rörpressning på långa sträckor och smörjningsmetoder för att uppnå detta, dels jämföra olika rörmaterial och dels metoden att pressa ut servisledningar från supertuben. Vidare skulle konsekvenserna för omgivningen studeras liksom möjligheterna att styra omgivningspåverkan. Hela projektet avslutades i september 1991.

Supertuben ligger mellan 3 och 5 m under markytan. Grundvattentrycknivån, mätt i friktionsjorden under leran, ligger ca 1 m under markytan.

Före pressningen gjordes noggranna geotekniska undersökningar. Pressningen skedde i en lös lera, skjuvhållfasthet 10–13 kPa.

I forskningsprojektet gjordes mätningar dels på rören som pressades och dels i yttre markstationer för att undersöka inverkan på omgivande jord.

Mätningarna på rören omfattade följande parametrar.

- Total presskraft
- Spetskraft
- Smörjvattentryck och -flöde
- Avvikelser i höjd- och sidled

Omgivningspåverkan mättes i tre mätstationer på vardera av de två sträckor som experimentbyggandet omfattade. Mätstationerna innehöll flera typer av instrument för att mäta följande parametrar:

- Sättningar
- Sidorörelser i jorden med inklinometer
- Jordtryck med jordtrycksdosor
- Porttryck och grundvattennivå

Studierna av vattensmörjning på rör vid pressning har givit ett värdefullt underlag för värdering av möjligheterna att dels minska mantelmotståndet och dels att bättre kunna bemästra problemen med vattendistribution till mantelytan. Genom att ange hur smörjningen skall ske och dokumenteras underlättas möjligheterna att följa upp hur vattensmörjningen fungerat. Analys av sambandet mellan smörjvattentryck på rörens mantelyta och grundvattennivån visar att ett lågt smörjvattentryck som anpassas till grundvattentrycket ger det bästa resultatet vid smörjning med vatten. Vid för högt vattentryck får man oönskade effekter.

Mätningarna visar att rätt utförd smörjning reducerar presskrafterna och möjliggör pressning av rör på betydligt längre sträckor än vad som tidigare varit möjligt. Losspressning av rör efter uppehåll kan därvid ske vid rimliga presskrafter.

Mätningarna av omgivningspåverkan visar att man får en påverkan på jorden, men att deformationerna är små och att risken för att skada närliggande ledningar och anläggningar m.m. inte är särskilt stora.

En analys av de olika studier och mätningar som gjorts både i supertuben och på mätstationerna visar att det är viktigt hur byggbeskrivning för rörpressning utformas.

För projektet har även gjorts en ekonomisk jämförelse med motsvarande konventionellt utförda förläggning i ledningsgrav. Anläggningskostnaderna för ett utförande med supertuben visar sig därvid bli ca 30-40 % lägre än utförande med konventionell rördragning.

Experimentbyggandet med supertuben i Kista var omfattande. Projekteringen av anslutande ledningar och serviser kunde av flera orsaker inte samordnas med projekteringen av supertuben för att det skulle bli möjligt att genomföra principen med att borra och pressa ut servisledningar från tuben. Servisledningarna som bekostades av exploatören installerades enligt exploatörens eget val ytligt i öppen schakt och anslöts till teleskopiska sadelbrunnar på Supertubens hjässa.

Försöken med supertuben i Kista visar att det är ekonomiskt riktigt och tekniskt fullt möjligt att samförlägga olika ledningar i stora kulvertar och att pressa kulvertar med stora dimensioner långa sträckor i lera genom ett utförande med vattensmörjning.

Supertubens huvudidé har visat sig hålla och kan bidra till ett minskat behov av störande schakter i framtiden. Kostnaderna för ledningsarbeten minskar i områden med svåra markförhållanden vid utförande med supertuben.

Metoden kräver vidareutveckling och det återstår att pröva metoden med borrade och pressade servisledningar. Samförläggning av ledningar har stor potential och motiverar ytterligare utvecklingsarbete. På grund av samordningssvårigheter blev endast vatten- och avloppsledningar samförlagda i Kista.

3. BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING FÖR SUPERTUBS KONCEPTET

I storstadsområden har man koncentrerat bebyggelsen på och i nära anslutning till fastmarksområden. Följden har blivit att stora markområden, med dåliga grundförhållanden, ligger obebyggda i dessa städer.

Att i stadsmiljö lägga ledningar med öppen schakt innebär störningar för trafik, näringsliv och omringboende.

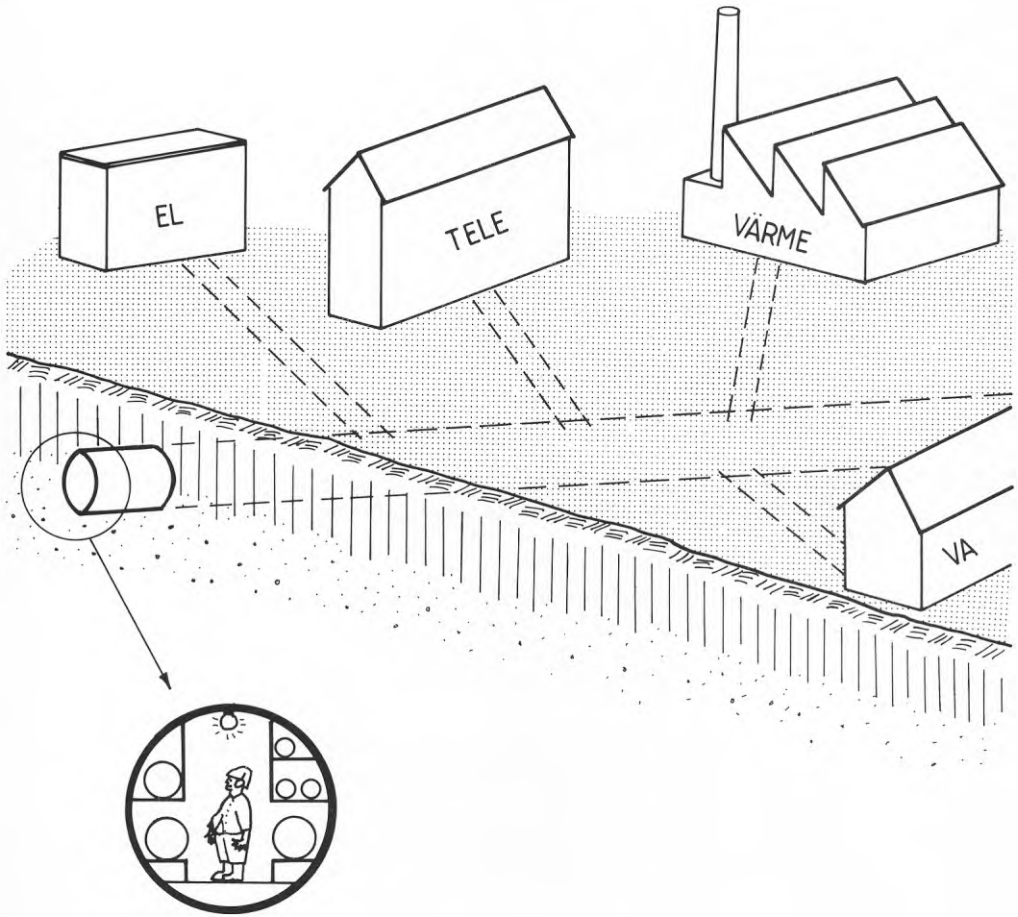
De svåra markförhållandena inom lerområden innebär vid konventionellt ledningsbyggande att ledningarna i många fall måste grundläggas inom spontschakt, på grundplatta eller på pålad platta. Ett sådant anläggande medför på sikt en utdränering av grundvattnet. Även om grundvattensänkningen begränsas kommer det att i dessa sättningskänsliga områden medföra att övriga anläggningar måste utföras med sådan teknik att man undviker sättningar och ofta till höga kostnader.

Ett konventionellt byggande av va-ledningar innebär således att omfattande markförstärkningar måste vidtas med höga grundläggningkostnader som följd.

Målsättningen med supertuben var därför att utveckla tekniken att pressa stora rör och att i dessa samförlägga ledningar samt att kunna utföra anslutande servisledningar.

Begreppet supertuben kan enklast beskrivas sålunda:

- Den är en gemensam skyddskulvert som pressas in i marken med teknik som innebär schaktfritt ledningsbyggande.
- Den ges en inredning som tillåter samförläggning av huvudledningar för dricksvatten, spillvatten, dagvatten, el, tele, kabel-TV och fjärrvärme.
- Den har en sådan storlek att installations- och servicearbeten kan utföras med fri gåhöjd, vilket förbilligar underhållet.
- Servisledningar kan pressas eller borraras ut från tuben genom marken fram till byggnader.



Figur 3.1 Supertubens princip

Ett fenomen som observerats vid tidigare utförda pressningar av rör är att injektering av vatten eller bentonit på utsidan av rören reducerar inpressningskraften. Eftersom det oftast är rören tryckhållfasthet som är dimensionerande för trycksträckorna skulle vatteninjektering kunna användas för att utesluta eller för att förlänga avståndet mellan kostsamma mellantryckstationer eller tryckbrunnar vid längre tryckningar.

En annan effekt av injekteringen borde också vara en fördröjning av den fastsugningsprocess som startar när man gör ett uppehåll i rörpressningen. Dessutom borde det vara lättare att komma igång vid omstart.

Som utgångspunkt för projektet har man haft de svenska rörtryckningsentreprenörernas erfarenhet av att det går lättare att pressa ledningar i lera om man smörjer rörens yttersida med vatten. Genom att placera remsor av plast med god förmåga att släppa vatten på rörens mantelyta och via hål från rörens insida trycka ut vatten med ett tryck som motsvarar lerans totaltryck skulle effekten att rören glider lätt utan skadlig inverkan på omgivningen bevisas.

Det effektivaste sättet att minska dränering längs djupa va-schakt är att pressa ledningarna genom leran. Förutsättningen är att så gott som alla ledningar som anläggs i den sättningsskänsliga leran byggs med rörpressningsmetoden och på sådant sätt att dränering förhindras.

Schaktfritt ledningsbyggande är från kostnadssynpunkt tämligen okänsligt för nivån man förlägger ledningen på.

Stockholm Vatten AB har, inom ramen för va-utbyggnaden på Ärvingefältet i Kista, genomfört försök i avsikt att utveckla och effektivisera rörpressningsmetod och övriga principer för supertuben. Huvudkulvertar med en total längd av ca 590 m pressades i tre riktningar från en gemensam tryckbrunn. Innerdiametern på kulverten var ca 2 m.

Traditionellt har man vid pressning av rör med stora dimensioner använt betongrör. Stockholm Vatten ville i en första etapp på 72 meter prova rör av glasfiberarmerad polyester, s.k. GAP-rör. I en andra etapp pressades betongrör.

Ett av målen med forskningsprogrammet för supertuben i Kista har varit att öka kunskapen om hur omgivningspåverkan vid pressning av stora rör i lera fungerar för att därigenom få bättre underlag för projektering av rörpressning samt att kunna använda metoden vid befintlig bebyggelse.

Den övergripande målsättningen för projektet har varit att belysa frågorna om:

- lämpligt material i en supertub
- hur teknik för vattensmörjning vid pressning av rör i lera skall utformas
- hur omgivningspåverkan vid rörpressning kan styras
- hur kraven på byggnadsbeskrivningar för pressningsarbeten skall utformas
- hur samförläggning av ledningar kan göras
- ekonomi i jämförelse med konventionellt byggande
- kontroll- och uppföljningsmetoder

För att underlätta läsningen av rapporten redovisas här rapportens uppläggning:

- Kap. 4 Redovisar en syntes av i projektet gjorda erfarenheter ur va-teknisk, geoteknisk och arbetsteknisk synvinkel i form av råd, anvisningar och tips för framtida projektering.
- Kap. 5 Redogör för förutsättningarna för och beskrivningar av projektet i Kista med tillhörande FoU-program samt resultat.

- Kap. 6 Redovisning av kostnader för Kista-projektet och kostnadsjämförelser med traditionellt utförda rörgravar.
- Kap. 7 Slutsatser.
- Kap. 8 Referenser.

4. PROJEKTERING AV SUPERTUBSANLÄGGNINGAR - ALLMÄNNA RÅD

Projektet med supertuben i Kista har givit många erfarenheter. En samlad re-dovisning av erfarenheterna ur va-teknisk, geoteknisk och arbetsteknisk syn-vinkel i form av råd, anvisningar och tips kan därför lämnas här.

4.1 VA-tekniska synpunkter

4.1.1 Koncentration av abonnenter

Vid exploatering av nya områden sker en koncentration av bebyggelsen. Olika typer av ledningar skall därvid planeras och anläggas. Det kan då vara klokt att undersöka om det är ekonomiskt fördelaktigt att lokalisera olika typer av ledningar i en gemensam kulvert typ supertuben. Man kan med ett sådant alterna-tiv hitta tekniska lösningar som möjliggör underhåll och utbyggnad av led-ningssystemet och som inte går att genomföra på annat sätt.

En koncentration av bebyggelse behöver dock inte vara en förutsättning för att supertuben skall bli ett ekonomiskt riktigt alternativ.

Anledningen till att man inte utför en gemensamhetsanläggning kan ofta vara att ett samutnyttjande har avvisats av någon part p.g.a. att funktionerna har an-setts vara oförenliga. Samutnyttjande har diskuterats i Kista dock utan över-vägd målsättning och noggrannare studier av fördelarna. Vidare ansåg man att ansvaret för delfunktionerna var individuellt och att man inte hunnit lika långt i planeringen för de olika servisfunktionerna. Det är därför av vikt att en övergripande planering utförs i tidigt skede.

4.1.2 Nivåer och framtida åtkomlighet

Man finner att konventionella djupförläggningar av ledningar är förknippade med vissa kostnadssprång. Ett sådant uppkommer när schaktning med spontad rögräv måste tillgripas. Hos alternativet med supertuben har man inte detta språng och ger en ekonomisk frihet vid val av ledningsnivåer. Ledningarna är dessutom åtkomliga i framtiden utan några schaktningsarbeten.

4.1.3 Material för inredningar och anslutningar

Vattenledningar utförs av VRS-segjärnsrör med lämplig längd, förslagsvis 5 m. Vid materialvalet bör man beakta sådana faktorer som installation, för-mågan att ta upp sättningar och vinkeländringar, säkerhet, rörens vikt, etc.

Installationen av spill- och dagvattenledningar i supertuben kan utformas av exempelvis PVC markavloppsrör. Anslutningar till sänke från brunn utförs som stålrör. Materialet i tömningsledning till dagvattenledning utförs med normala krav.

Uppläggning av rör i supertuben utföres på rörstöd. Rören förses med mellanlägg av gummi vid svepen. Stålkonstruktionerna i ramarna som bär rören varmförzinkas efter svetsning och borming. Upplagen bör vara justerbara.

Sänkbrunnarna för utgående servisledningar består av 2 delar vilka kan röra sig i förhållanden till varandra. Den nedre delen sitter fastgjuten på supertubens hjässa och överkragar det hål som borrats upp. Efter det att rören installerats täcks överdelen med en tät plåttäckning av tunn plåt. Den övre delen av sänkbrunnarna utföres av betongrör med centrisk kon och betäckning. Den rörliga fogen mellan den fastgjutna delen på supertuben och Alfa-röret utföres av 2 st O-ringar av Neopregummi täckta med fogmassa. Betongytornas porer slammas igen för att minska läckvägarna.

I det ursprungliga supertubskonceptet var avsikten att man från tuben skulle pressa ut servisledningar utan att extra brunnar erfordrades. Detta skulle kräva att man måste utveckla tekniken att utföra övergången mellan tub och servis så att den kan klara sättningar. Vidare hade det varit nödvändigt att klarlägga om servisen skulle varit gemensam för samtliga ledningar eller om serviserna skulle vara separata.

Tekniken att pressa servisledningar från stora rör måste bör utvecklas vidare i experimentform för att utformas på ett tillfredsställande sätt och för att sänka kostnaderna i samband med en supertub där antalet serviser blir stort.

4.1.4 Säkerhetsfrågor

Arbetsmiljön skall ha samma säkerhet vid utförande med supertub som vid konventionellt ledningsbyggande eller vid markförlagd va-installation eller pumpstation. Det innebär bland annat att ledningsfel inte får orsaka personskador. Vidare skall ventilation liksom utrymningsvägar finnas i tillräcklig omfattning.

Installationer i GAP-rör, som är centrifugal gjutna glasfiberarmerade polyesterrör och har en förhållandevis liten godstjocklek, 55 mm, medför tack vare den höga hållfastheten inga problem vad gäller säkerheten i tuben under arbets gång. Den effektiva innerarean i tuben som blir stor ger därför bra plats för installationsarbeten.

Inredningen i supertuben skall vara av hög kvalitet. Kraven på ledningarna i supertuben är att risken för personskador elimineras om brott uppstår när personal uppehåller sig i tuben för inspektion eller service.

4.1.5 Nya krav på material i tub och inredning. Fogar

Principen för supertuben innebär att man skall kunna arbeta fritt i tuben. Det är därför nödvändigt att tubens effektiva innerarea är tillräckligt stor.

Med samma ytterdiameter har GAP-rören större effektiv innerarea än betongrör. Diametern på tuben bör vara minst 2 m helst 2,3 m. Större diameter torde innebära onödig fördyring.

Kan man minska tubens mantelyta genom att hålla nere godstjockleken på rören bidrar detta till att minska erforderlig presskraft.

Vissa sättningar kan förekomma i jorden varvid även avvikelser i tubens läge kan uppkomma. Det är därför en fördel om tuben har en viss elasticitet och således kan röra sig något utan att brytas sönder.

Förutom en viss elasticitet bör tuben ha sådan slagtlighet att arbeten med inredning kan utföras utan att skada rören. Montering av inredningen i tuben kräver en minsta godstjocklek för att man skall kunna fästa upplag m.m. för ledningsrör, kablar m.m.

Idén med supertuben innebär att genomföringar måste göras i rören. Erforderliga håltagningar måste därför kunna utföras snabbt utan risk för personal. Genomföringarna skall sedan kunna tätas på ett effektivt sätt.

Stora håltagningar i flexibla respektive styva rör innebär att man försvagar rören. Beräkningar av rörens hållfasthet bör därför utföras för att fastställa vilka konstruktiva åtgärder som eventuellt krävs för håltagningen som exempelvis stämning. Man skall även ange hur nära en fog håltagning kan utföras.

Servisledningar och andra förgreningar utgör anslutning till byggnader eller andra fast förlagda anläggningar. För att klara detta måste dessa ledningar och förgreningar kunna röra sig något vilket ställer krav på ledningsmaterial och tätningar. Fogarna måste med bibehållen täthet och säkerhet klara både deformationer (radiella) och vinkeländringar. Detta är av särskild vikt för plaströr.

För att kunna ge en god miljö i supertuben måste fogarna i tuben vara täta även om rörelser skulle uppstå i tuben. Installation av värmekulvert innebär en bättre miljö i tuben enär det blir torrt och varmt i tuben som dock kan medföra uttorkning av leran runt tuben. Rörväggarnas vattengenomsläpplighet i exempelvis obehandlade betongrör kan leda till dränering av leran runt tuben och således sättningar. Denna omständighet bör beaktas vid val av material i rören.

4.1.6 Underhållsfrågor

I supertuben är ledningar och kablar lätt åtkomliga vid inspektion, underhåll, reparation och utbyggnad. Man får inga förstörda parker och gårdar eller hinder i trafiken vid utbyggnad och underhåll eftersom schaktning elimineras.

Behovet av underhåll för supertuben är lätt att fastställa och kan normalt klaras inifrån tuben.

4.1.7 Möjligheten att samförlägga andra faciliteter

Supertuben är lämplig för samförläggning av avlopps- och vattenledningar, fjärrvärmeledningar och kablar. Samutnyttjande kräver dock en samordning mellan olika myndigheter och företag.

Fördelarna med samförläggning av ledningar som här kan nämnas är bl.a.:

- I nybyggnadsområden kan ledningarna vara framdragna till strategiska punkter i lämplig tid före bebyggelsen.
- Utbyggnad kan ske i takt med behovet.
- I redan hårt utnyttjad gatumark erfordras ej utrymme på samma sätt om man samlar nya ledningar i en supertub.
- Frekvensen kabel- och ledningsfel är mindre i en supertub än i gata. Ledningar i supertuben är väl skyddade för åverkan.
- Återvinning av ex. kablar är 100-procentig.
- Investeringskostnaderna kan delas på flera intressenter.
- Lättare att samordna i tid.
- Stör inte andra aktiviteter på marken.
- Gemensam övervakning.

4.1.8 Dränerings- och länshållningsmöjligheter

Under projekteringen av en pressad ledning måste man klargöra om en grundvattenutredning erfordras.

Syftet med utredningen skall därvid vara att fastställa gällande portrycks- och grundvattennivåvariationer, bedöma inom vilket område grundvattnet kan påverkas, ange lägsta tillåtna vattennivåer utan att skador inträffar på befintliga byggnader och ledningar.

Utredningen skall ange hur kontrollen av vattennivåerna skall utföras under byggskedet. Slutligen anges ett åtgärdsförslag för att bibehålla grundvattennivåerna vid läckage. Utredningen är också nödvändig för att fastställa lämplig rörpressningsmetod och därmed val av rörmaterial.

Under entreprenadtiden svarar entreprenören för och bekostar all länshållning till dess anläggningen slutbesiktigats och godkänts. Entreprenören är därvid skyldig att följa anvisningar som myndighet/verk kan kräva beträffande kvittblivning av länsvatten.

Vid avledning av länsvatten erfordras en anläggning för avskiljning och uppsamling av slam innan vattnet leds ut i befintliga avloppsledningar eller används för återinfiltrering.

Anordningar för mätning av in- och utpumpad vattenmängd under entreprenadtiden kan också erfordras. Mätning och registrering utförs därvid separat av all inpumpad och respektive utpumpad mängd. Härigenom ges möjlighet att kontrollera att smörjning av tuben under pressning inte utförs med för stora tryck och vattenmängder.

Mätningar av utpumpad vattenmängd under tubens hela livslängd rekommenderas. Man får på detta sätt återkommande information om tubens täthetsstatus.

4.1.9 Täthetskrav på tuben

Tuben skall vara tät. Mindre läckage kan dock accepteras i vissa genomföringar. Därvid skall maximal tillåten vattenmängd anges. Ett inläckage i tuben kan dessutom orsaka sättningar. En sättningsutredning bör därför normalt utföras. Det skall härvid observeras att inläckage genom själva tubväggen är en faktor att beakta.

Vanligast är att läckage kan uppstå i skarvar, nipplar för smörjning av rör, i brunnar och rörgenomföringar. Dessa kan tätas på olika sätt. Eftersom det är vatten som läcker in är det lämpligt att tätas med någon polyuretanprodukt eller liknande som reagerar vid kontakt med fukt eller vatten. TACSS 020NF eller FLEX 44 från de neef Scandinavia AB är exempel på medel som kan användas för att stoppa vattenläckage i sprickor, genomföringar och fogar. Betongrösfogar som glidit isär under tryckningen tätas lämpligen med beständigt och expanderande bruk.

4.1.10 Miljö- och tidsaspekter

I gamla stadskärnor kan man samla upp ledningar i en supertub utan att förstöra värdefull miljö och göra upprepade ingrepp i stadsmiljön. Fördelen är att man vid stadsplaneringen får en tredje dimension till sitt förfogande. Man får en särskild nivå som är den enda som berörs vid ändringar. Flexibiliteten blir stor vad avser möjligheterna att planera och utföra nya ledningar eller ändra ledningsdimensioner.

När det gäller mark i nybyggnadsområden har geoteknikerna möjligheten att vara med och bestämma hur en tub skall ligga och utformas för att bäst kunna fylla sin funktion. Pressningsarbetena kan sedan utföras utan att bli störda av eller störa annan byggnadsverksamhet inom området. Vid inredning av tuben har man sedan fördelen av att arbetet sker på s.a.s. en nivå för sig. Utbyggnad av ledningssystemet och ändringar kan sedan utformas och utföras i takt med behovet. Lagade asfaltytor behöver inte vittna om gjorda misstag.

I båda fallen har man skaffat sig en vidare tidsram inom vilken man kan arbeta med projektering, samordning och genomförande av olika typer av ledningar.

4.2 Geotekniska synpunkter

4.2.1 Geologiska förutsättningar

4.2.1.1 Hinderfrihet

De olika principer som i dag finns för rörpressning kan i många avseenden tyckas vara likartade. Metoderna som används skiljer sig emellertid ifrån varandra i utförande och i sättet att arbeta med utrustningar.

Vid pressning av rör i lera använder man sig av metoder, som kan medföra att man får svårigheter vid passage av större block och friktionsmaterial. Rördimensioner av storleksordningen, som användes för supertuben, underlättar hanteringen av block m.m. på grund av att man lättare kan arbeta vid styrröret och med större öppningar vid fronten.

Förekomsten av hinder måste undersökas och noggrant bestämmas i förväg för att kunna göra rätt val av metod och utrustning. Större hinder kan innebära att man måste gå ner från markytan för att röja hindret. Hinder som kan förekomma är befintliga ledningar, husgrunder, spont o.d., fyllning, block och högt belägen friktionsjord eller berg.

Inventering

Vid projekteringen måste man på ett tidigt stadium, innan ledningsläget är helt låst, göra en arkivundersökning, som skall gå så långt tillbaka som möjligt. I fältarbetet kan det erfordras att man verifierar arkivundersökningen med sådana yttäckande metoder som ledningssökning och georadar där jorden är lämplig.

Fyllning

Även när det gäller den eventuella förekomsten av fyllning bör en arkivstudie ske på ett tidigt stadium. Denna undersökning kompletteras sedan i fält, varvid man skall bestämma både utsträckning och sammansättningen hos fyllning. Man skall härvid vara observant på att det i fyllningen kan förekomma miljöfarliga ämnen som dels utgör en risk för arbetarna dels kan kräva speciell (och dyr) hantering av schaktmassorna.

Block i leran

Förekomst av eventuella block i leran bör grundas på främst geologiska bedömningar och erfarenheter från schaktarbeten i området.

Sannolikheten att hitta block vid sondering är ganska liten även om blockhalten är relativt stor. Samtidigt är sannolikheten stor att man "hittar" befintliga block med ett pressat stort rör, se Bengtsson m.fl. (1991) sid 40 ff. Detta innebär att om man påträffat enstaka block vid sondering så skall man vid projekteringen räkna med att säkert påträffa block vid rörtryckningen.

Det är viktigt att entreprenören i förväg får kännedom om förekomsten av block. Den bestämmer huruvida ledningspaketet för styrning och vatten-smörjning skall förläggas på rörens insida eller utsida vilket påverkar tiden för pressningsarbetet.

Högt belägen friktionsjord eller berg
Detta hinder behandlas under stratigrafi.

4.2.1.2 Stratigrafi

Lager som bör karteras i den geotekniska undersökningen är:

Fast botten

Vattenförande grövre skikt

Skikt med avvikande hållfasthetsegenskaper

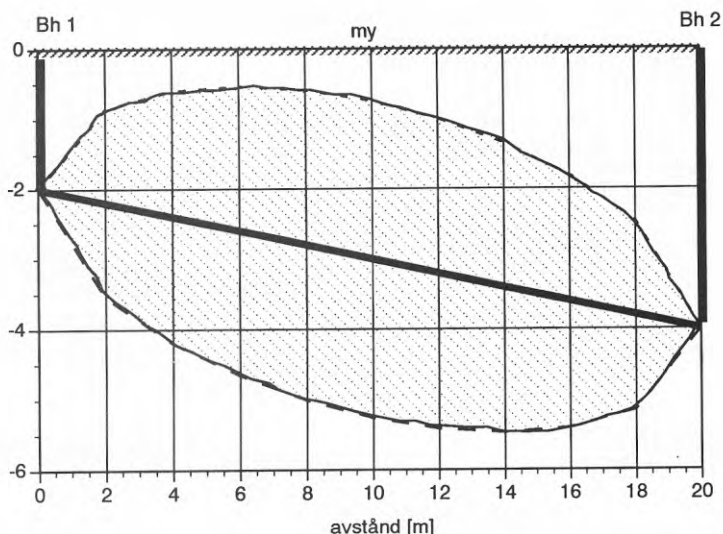
Fast botten

Läget är viktigt ur hinderssynpunkt. Om fast botten ligger så högt att röret kommer i kontakt med den kan tryckningen omöjliggöras.

Det är inte möjligt att ge några fasta regler för hur undersökningen bör utformas, eftersom undersökningspunkternas täthet är beroende av flera faktorer, t.ex. lerdjup i förhållande till vattengångens djup och även möjligheten att passera hindret med annan metodik (öppen schakt).

Givetvis kan man ha betydligt glesare mellan punkterna om man har stort djup till fast botten än om den ligger nära ledningsnivån, men man skall också se till att borra tillräckligt djupt under projekterad vattengång. Ett avstånd på 10 m torde ofta vara tillräckligt, med förtätning där fasta botten stiger.

En möjlighet att bedöma erforderligt borrhålsavstånd och även värdet av ytterligare bormning finns i geostatistiska metoder, se t.ex. Andersson, Olsson och Stille (1984). Med sådana metoder kan man bedöma inte bara troligaste läget av fasta botten utan också gränser inom vilka den finns med t.ex. 90 % sannolikhet. Ett exempel på en sådan beräkning visas i figur 4.1. Interpoleringen mellan borrhålen har gjorts över ett ganska långt avstånd, vilket gör att läget för fasta botten är osäkert (området för 90 % sannolikhet har skrafferats).



Figur 4.1 Beräkning av fast botten

I figur 4.1 visas resultatet från två hypotetiska borrhål. Detta har kombinerats med statistiska data som beskriver hur snabba variationerna är i bergytan för den aktuella geologin. Diagrammet är alltså inte allmängiltigt.

Vattenförande skikt

Här avses sådana skikt som är tillräckligt permeabla för att större vattenmängder skall kunna transporteras in till röret. Sådana skikt kan under ogynnsamma omständigheter fortsätta att transportera vatten, som leds bort längs rörets utsida vid den färdiga konstruktionen och därigenom orsakar sättningar.

Skikt med avvikande hållfasthetsegenskaper

Dessa kan orsaka besvär med riktningshållningen, eftersom röret tenderar att böja av mot svaghetszoner och bort från fastare lager. Mycket svaga skikt kan också orsaka okontrollerad inströmning med sättningar till följd av markförlust (loss of ground).

4.2.2 Geotekniska förutsättningar

4.2.2.1 Sättningar

A. Sättningar oberoende av supertuben

Pågående sättningar

Vid dimensioneringen av en supertub skall man kontrollera om det finns några pågående sättningar i området. Därför skall man i god tid inventera allt sådant som kan ge information, bland annat:

- grundvattenportrycksituationen
pågår en sänkning?
råder balans eller håller ett porövertryck på att utjämnas?
- kända sättningar
finns observationer av sättningsskador?
mäts några sättningsspeglar?
- ledningssystemet
finns tunnlar eller djupt förlagda ledningar som dränerar området?
- finns några stora uppfyllnader?

Om man bedömer att det finns pågående sättningar måste en särskild utredning göras eftersom även supertuben kommer att sätta sig. En sådan sättning påverkar dels nivån för ledningarna i tuben, särskilt deras lutning, dels utformningen av supertubens anslutningar till fasta punkter. I sådana punkter kommer tuben att utsättas för stora tvärkrafter, vilket ställer krav på materialet i tuben och möjligheten till vinkeländringar i skarvar.

Framtida, förutsägbara sättningar

Vissa kommande sättningar är kända eller kan rimligen förutses. Det finns naturligtvis ändock alltid en viss risk att oförutsedda förändringar kommer att ske under supertubens livslängd men en ekonomisk riskkalkyl kan visa om risken skall tas. Härvid skall beaktas att även konventionellt förlagda ledningar sätter sig och att supertuben gör nivåjusteringar och underhåll enklare.

Förutsägbara sättningar kan orsakas dels av yttre av supertuben oberoende åtgärder dels av supertuben själv. De förra är av samma typ som de ovan angivna och man måste därför vid projekteringen ta med både planerade och möjliga framtida förändringar som kan ge sättningar.

B. Rörelser orsakade av supertuben

Supertuben kan i sig orsaka sättningar och andra rörelser som kan påverka dels själva supertuben, dels dess omgivning. Vissa av dessa rörelser är av korttidskaraktär och uppkommer vid pressningen av tuben, medan andra är av långtidstyp och orsakas av tubens dränerande effekt.

Rörelser vid pressningen

Jordrörelser vid pressningen kan orsakas både av en okontrollerad jordinströmning genom rörfronten med sättningar (loss of ground) till följd och av en sidopressning av jorden som ger hävningar och sidorörelser i den intilliggande jorden.

Det är av stor vikt att smörjvattnets tryck hålls så lågt att hydraulisk spräckning av jorden inte inträffar. En sådan kan leda till såväl ökade sättningsrörelser i omgivningen som uppflytning av supertuben.

Vid en pressning i lera som utförs av en kvalificerad entreprenör bör det inte uppstå vare sig sättningar eller sidorörelser. Detta har styrkts av mätningarna vid supertuben. Man skall dock observera risken för sättningar om man måste röja hinder utifrån, eftersom schakt inom spont oundvikligen medför vissa sättningar. Vid ur sättningssynpunkt särskilt känsliga områden är det befogat att ha tillsyn även under helguppehåll för den händelse att fel uppstår i slutar-anordningar så att jordinströmning sker okontrollerat.

Långtidssättningar orsakade av supertuben

Om rörmaterialet i supertuben eller fogarna inte är täta kan porvatten från leran dräneras in i tuben. Detta kommer sedan att orsaka konsolideringssättningar i tubens närhet. Problemet är mest aktuellt för betongrör, men även andra i sig täta rör kan också läcka i skarvarna.

Långtidsmätningar av denna typ av sättningar saknas. Vi rekommenderar därför följande antaganden på säkra sidan: Portrycket i rörets närhet sänks till 0 (= lufttrycket) och sänkningen sker inom ett relativt vid sänkningstratt både över och under röret. Sättningarna beräknas sedan konventionellt med "vanliga metoder". Man måste beakta att denna typ av sättningar inte påverkar enbart supertuben utan även dess närområde. Materialval för rören blir alltså väsentligare om omgivningen är sättningkänslig.

4.2.2.2 Tryck- och mottagningsbrunnar

Tryck- och mottagningsbrunnarna skall uppfylla flera krav:

- De skall kunna utgöra mothåll för presskrafterna vid rörpressningen och vara stabila mot uppflytning.
- De skall ha plats för mellanlagring av den lera som tas ut vid rörfronten.
- De skall i installationens driftskede tjänstgöra både som inspektions- och som materialintagsbrunn vid reparation och komplettering av tubens inredning.
- Innerdiametern skall vara tillräcklig med hänsyn till den rörlängd som skall pressas.

Brunnarna måste alltså även dimensioneras med hänsyn till behovet att ta ner rördelar etc i dem och att transportera ut dessa delar i supertuben. Här behandlas dock endast geotekniska synpunkter på dimensioneringen.

Dimensionering för presskrafter

Brunnen måste vara tillräckligt stor för att kunna ta upp erforderliga presskrafter och överföra dessa till jordtryck.

Dimensionering mot brott kan göras utgående från nettojordtryck (passivt minus aktiv) beräknat enligt klassisk teori. Med hänsyn till kravet på begränsade rörelser hos brunnen bör man dock inte utnyttja en alltför stor del av jordtrycket utan begränsa sig till 0,5 å 0,7 av det beräknade. Den så beräknade kraften skall vara större än den maximalt erforderliga presskraft som kan uppkomma under ogynnsamma förhållanden, t.ex. om tuben "suger fast" längs totala rörlängden.

Deformationerna kan beräknas med bäddmodulteroi, varvid korttidsmodul kan användas.

Erforderlig presskraft föreslås beräknas utgående från lerans omrörda skjuvhållfasthet bestämd med vingborr. Dock skall för delen inom 20 m från fronten kraften beräknas för medelvärdet mellan ostörd och omrörd skjuvhållfasthet.

Med hänsyn till belastningens kortvariga natur skall oreducerade skjuvhållfasthetsvärden användas.

Det måste observeras att den så beräknade kraften avser vattensmorda rör. Om man inte smörjer rören måste hänsyn tas till risken att rören "suger fast" vid längre uppehåll d.v.s. att leran rekonsoliderar runt rören.

Brunnarna skall även dimensioneras med hänsyn till risken för hydraulisk uppflytning. Dimensioneringen görs med konventionella metoder, men man måste beakta att man i arbetsskedet kan ha en större lyftkraft än i slutskedet. Detta inträffar om man utformat brunnen med ett magasin för lera under blivande vattengång. Om brunnarna inte har tillräcklig tyngd för att stå emot opptrycket har man tre huvudmetoder att tillgripa:

- Göra brunnen tyngre genom att öka mängden betong i bottendelen.
- Förankra brunnen
- Föra ner brunnen så djupt att man kan få en vattentät anslutning mot berg.

Förankring är ofta ett mer ekonomiskt alternativ än att göra brunnen tyngre. Nedföring till berg är ekonomisk endast i speciella fall.

I förekommande fall skall brunnarna dimensioneras för påhängskrafter från omgivande jord.

Brunnarna måste också dimensioneras för sänkingsfasen. Det har hänt att brunnar som ställts mot en berggadd har spruckit.

4.2.2.3 Dimensioneringsförutsättningar för tuben

Sjelva tuben skall dimensioneras för jordlast, grundvattentryck, trafiklast samt för maximalt uppkommande presskrafter vid losspressning efter fastsugning oavsett om smörjning avses användas eller inte. Orsaken till detta är att krossskador på röret medför så stora ekonomiska konsekvenser att man skall ha den säkerhet som ett rör dimensionerat på säkra sidan innebär.

Det är viktigt att uppgifter om erforderlig presskraft och andra yttre laster klarläggs för att rör och tryckutrustning skall kunna projekteras på ett korrekt sätt.

I det fall entreprenören tillhandahåller rören för pressningen anger byggherren alla erforderliga förutsättningar för beräkning av dels erforderlig presskraft dels behovet av eventuella mellantryckstationer och maximalt tillåten presskraft.

4.3 Arbetstekniska synpunkter

Pressning av rör erfordrar tryck- och mottagningsbrunnar.

I tryckbrunnen pågår under pressningsarbetet den huvudsakliga verksamheten med att:

- montera rörtryckningsramp med domkrafter
- installera styrrör
- installera all utrustning för styrning, mätning och kontroll av rörpressningen
- placera och pressa in rör
- utlastning av jordmassor

I mottagningsbrunnen tas styrrör upp efter det att genomtryckning i brunnen har gjorts.

4.3.1 Förutsättningar för entreprenören och utrustningar

För entreprenadens genomförande skall gälla de särskilda bestämmelser som utfärdats av den kommun i vilken arbetet utförs. Föreskrifter för rör och rörledningar till ledningar och brunnar skall också ligga till grund för utförandet.

Det är viktigt att entreprenören för alla entreprenadarbeten anlitar erfaren yrkeskunnig arbetskraft och under upphandlingsskedet har redovisat uppgifter om ledande personal och deras referenser.

I förfrågningsunderlaget skall utförda undersökningar av markförhållanden redovisas. För bedömning av tillåtet smörjvattentryck vid rörpressning i lera skall vattentrycket för hydraulisk spräckning av leran anges.

Topografiska, geotekniska och geohydrologiska förhållanden anges med omsorg. Jordlager och grundvattenförhållanden anges med största möjliga noggrannhet. I det fall vattendom kan erfordras måste denna bevakas och ingå i förutsättningarna för entreprenaden. Befintliga ledningar, anläggningar, fornminnen, grundmurar m.m. skall anges med omsorg efter studier av olika arkiv.

Redovisade resultat av ovannämnda undersökningar styr den teknik och de metoder och utrustningar som entreprenören använder för entreprenadens genomförande. Det är därför viktigt att man vid projekteringen har genomfört noggranna markundersökningar för att undvika extrakostnader och risker för personalens säkerhet vid arbetets genomförande.

I anbudet redovisar entreprenören typ av utrustning och verktyg samt uppgifter om när utrustningen kan tas i bruk. Planering av driften och arbetsorganisation skall även redovisas i anbud.

Vid pressning av rör skall utrustningen vara så konstruerad att fullgod styrning kan ske under hela tryckningen. Detta innebär att fronten skall vara försedd med för de rådande förhållandena fungerande styranordningar samt att frontens läge i höjd- och sidled skall kunna bestämmas för styrning under det förlopp då rörsträngen trycks framåt. Rörens eventuella rotation skall även kunna bestämmas.

Där de geotekniska förhållandena kan medföra okontrollerad inströmning av jordmassor skall tryckfronten kunna stängas på mycket kort tid för att förhindra eller begränsa en okontrollerad instörtning av massor.

För utjämning av tryckkraften i fogar på betongrör får mellanlägg användas. Dock får tätheten inte äventyras. Ledningen får inte tryckas så att mer än halva tillåtna vinkeländringen utnyttjas. Härvid skall hänsyn tas till mellanlaggets tjocklek.

Total presskraft och presskraft på delen bakom styrröret skall kontrolleras och protokollföras under hela tryckningen. Spjälkning av betong vid t.ex. fogar får inte förekomma.

För att begränsa tryckkrafternas storlek skall utrustning finnas för utvändig "smörjning" av rörsträngen. Entreprenören redovisar i anbud utförandet av arbetet med "smörjning".

Entreprenören skall i anbud redovisa förslag till uppläggning av arbetet med "smörjning" inkl. utrustning. Strävan skall vara att uppnå det utförandet som ger minsta möjliga störning vid pressning.

Tryckning med stängd front får inte utföras. Massorna skall tas in i rörledningen för att begränsa grundbrottets storlek och minska risken för hävning av markytan. Av samma skäl skall utlastning av massorna i röret ske så långt fram mot tryckfronten som möjligt. Hänsyn måste dock tas till de geotekniska förhållandena och risken för ras och instörtning i tryckfronten.

Utrustningen skall medge röjning av hinder från ledningsfronten.

Finner entreprenören att utrustningen för pressning måste utformas med mellantrycksstation skall entreprenören ange detta i anbudet.

Tryck- och mottagningsbrunnar för arbetsutförandet utföres ofta som sänkbrunnar och kompletteras så att de kan ingå i det färdiga ledningssystemet. Formsättning, armering och gjutning utföres enligt Betongbestämmelserna.

Brunnarna skall uppfylla krav enligt VAV P20.

Vid anslutning av ledning till brunn anordnas fogen så nära brunnens yttervägg som möjligt eller vid bottenplattans ytterkant för att bättre kunna upptaga rörelser.

Fogning av ledning till brunn skall ske med tätningsselement av gummi, utom i de fall att annan fogningsmetod medges eller föreskrivs.

4.3.2 Orsaker till jordbrott vid rörfrent

Jordbrott kan inträffa vid tryckbrunnen när hål tas upp för att föra ut styrröret, eller när som helst under pressningen om frontluckorna inte manövreras korrekt eller när speciellt lös jord eller vattenförande jordlager påträffas.

Risken för ett jordbrott i lera kan bedömas ur lerans skjuvhållfasthet. Broms & Bennermark (1967) anger som brottvillkor:

$$\gamma \cdot h > 6 c_u$$

där γ = jordens tunghet (kN/m³)

h = djupet till rörmynning (m)

c_u = lerans odränerade skjuvhållfasthet (kPa)

Det är alltså viktigt att man har en geoteknisk undersökning som kartlägger skjuvhållfastheten längs rörsträckningen.

Skulle ett jordbrott inträffa får detta primärt konsekvenser vid markytan i form av sättningar och andra rörelser. Åtgärder måste bestämmas från fall till fall. Geotekniker bör delta i bestämmandet av dessa åtgärder.

För rörpressningens del är den första konsekvensen att man får en störning av jorden vilket kan ge problem med riktningshållning och grundvattenbrott.

För rörets del bör åtgärder vara:

- att minska risken för ytterligare jordinströmning genom att stänga luckorna
- om möjligt undvika att tuben "suger fast" genom fortsatt smörjning och om möjligt fortsatt pressning

Håltagning i tryckbrunnen säkras mot inträngning av massor med hjälp av spont som slås på utsidan av brunnen i den riktning håltagningen skall ske. Dragplåtar eller kalkstabilisering strax utanför tryckbrunnen är andra metoder för att skydda sig mot inras i brunnen.

Efter håltagning och montering av tätning samt montering och iordningställande av styrrör drages sponten och pressningen av rör kan börja.

4.3.3 Arbetarskydd

Pressning av rör är ett från miljö- och arbetarskyddsspunkt realistiskt alternativ till öppna schakter.

Tillgängligheten för att komma fram till den främre delen av rören är begränsad och man måste konstatera att arbetet ofta måste ske i hukande och obehagliga ställningar.

Olycksfallsfrekvensen har varit låg både i absoluta tal och jämfört med värden från olycksfall som inträffat i rörgravar och liknande schakter.

Arbetsförhållandena är svårast när pressningen måste stanna upp för att röja hinder som ligger i vägen eller för att utföra förstärkningar eller reparationer. I stadsmiljö kan det även vara möjligt att man under rörpressningen kommer i kontakt med förorenad jord, avloppsvatten och kanske även gaser. Den stora uppgiften för tillverkaren av utrustningar för pressning av rör måste ur miljösynpunkt därför vara att utveckla metoder och utrustningar som är ännu driftsäkrare och som inte har begränsningen att rörpressningen måste ske kontinuerligt.

Idag kan man med hjälp av laserinstrument styra processen att pressa rör från en dator, som installeras i en bod bredvid tryckbrunnen. På TV-monitorn kan man se rörfrontens aktuella läge i pressriktningen och styra domkrafterna för pressning så att avvikelserna blir små. Operatörens arbetsplats är i dag bra men kan säkert förbättras.

4.3.4 Tillåtna smörjtryck och -mängder

Smörjtrycket bör inte tillåtas överskrida det hydrauliska spräckningstrycket hos leran och därvid skapa nya dräneringsvägar i jorden som kan ge oönskade konsekvenser i form av sättningar. Vid projektering av supertubsanläggningar rekommenderas därför att man inte låter smörjvattentrycket överstiga 0,4 gånger det effektiva vertikalfjordtrycket över tubens hjässa om man inte gör en särskild utredning av vilofjordtryckskoefficienten, K_0 och spräckningstrycket.

Vattenflödet bör inte heller vara större än vad som krävs för att blandas in i leran och ge den en minskad skjuvhållfasthet samt för att hålla ett visst litet överskott för att hindra fastsugning vid uppehåll i rördrivningen.

Det är därför viktigt att vid pressning av rör där tekniken med vattensmörjning används kontrollera att i förutsättningarna angivna smörjningstryck och flöden innehålls.

4.3.5 Risk för isärglidning av rören

I samband med supertubsprojektet i Kista observerades vid ett tillfälle att betongrören strax bakom styrröret pressades isär av vattentryck i fogarna, se 5.10.1.6. Gummiringarna i fogarna kan därvid rulla ur sitt läge med läckage som följd. Man använde vid tillfället ett ganska högt vattentryck samtidigt som möjligt mothåll från mellantrycksstationen vid styrröret var minimalt. Det är därför nödvändigt att man vid projektering av rörpressningar med betongrör gör en kontrollberäkning av risken för isärpressning och att bygghandlingarna ger anvisningar om tillåtna tryck.

4.3.6 Toleranser i sida och höjd, deformationskontroll

Vad gäller toleranser i riktningssangivelser gäller VAV P50.

VAV P50 kan kompletteras med följande ändringar och tillägg:

- Bedömningen av en lednings riktningssavvikelse kan ske som att den är godkänd resp. inte godkänd.
- Profilen för ledningar med verklig medellutning mellan brunnar $< 10 \text{ ‰}$ gäller med toleransklass A och vid medellutning $\geq 10 \text{ ‰}$ med toleransklass B. Oavsett tillåten avvikelse får bakfall inte förekomma.
- Avvikelse i plan får uppgå till högst dubbla värdet av vad som tillåts i profil för medellutning $< 10 \text{ ‰}$. Den sammanlagda vinkeländringen i enskild fog får uppgå till högst hälften av för fogen tillåten maximal vinkeländring.

Supertuben medger viss möjlighet att justera de installerade rören i tuben. Man skall dock inte frångå sig möjligheterna att senare kunna reglera rören inne i supertuben vid en eventuell sättning. Det är därför viktigt att man innehåller ställda toleranskrav för pressningen av tuben.

För nivåtoleransen i brunnar gäller VAV P50 varvid bedömningen sker som godkänd resp. icke godkänd brunn. För godkänt gäller att minst toleransklass A bör uppfyllas.

Vad gäller deformationer i plaströren och deras fogar måste man beakta:

- rörens egendeformation på marken
- rörens deformation p.g.a. jordlast och grundvattentryck
- rörens vinkeländringar p.g.a. axiell belastning
- inspänning i sänkbrunnar vid fastgjutningar

Restriktioner för närbelägna markarbeten bör lämnas avseende:

- markstabilisering
- pålning
- spontslagning
- schaktningsarbeten
- bankfyllning
- markvibrationer i övrigt

Deformationen av en supertub utförd som GAP-rör är också en fråga om täthet hos tuben och kraven på deformationen bör därför kopplas till täthetskravet. Vid ingjutning av plaströrsände i sänkbrunn skall för att erhålla täthet plaströret stämpas så att det får samma deformation som i anslutande plaströr i tuben. Bakfall bör inte tolereras när man vill ha en god dränering av eventuellt inläckande vatten.

4.3.7 Tillåtna uppehåll och åtgärder

Upphåll i arbetet med rörpressning måste göras vid inplacering av nytt rör i rörtryckningsramp, vid utlastning av massor, vid fel i någon del av utrustningen eller vid utebliven leverans av rör eller dylikt. I övrigt fortgår oftast arbetet med rörpressning av rör i utökade arbetspass till mellan 10 till 12 timmar per dygn även över veckoslut.

I stadsmiljö kan de störningar arbete och transporter åstadkommer medföra att arbetet med rörpressning måste vila under kvällar, veckoslut och helger av miljöskäl. Detta kan medföra att tekniken att hålla presskrafterna nere vid start måste användas.

Med hjälp av rätt utförd smörjning av rör kan mantelfriktionen vid förnyad start efter uppehållet hållas nere på rimliga nivåer och påkänningarna på rören begränsas och kravet på rörpressning utan längre avbrott kan minska.

4.3.8 Åtgärder vid hinder

Vid pressning av rör skall övervakning och kontroll ske under hela anläggningsskedet på så sätt att den kan ligga till grund för styrning och kostnadsreglering.

Sakkunniga som representerar beställaren och entreprenören och är utsedda vid upphandlingen bestämmer de tekniska åtgärder och variationer i smörjningsteknik m.m. som skall göras samt uppmätning och prissättning.

Alla sådana åtgärder redovisas. Slutsteget skall vara en samlad redovisning av projektet ur geoteknisk/va-teknisk synvinkel tillsammans med dokument för den slutliga ekonomiska regleringen.

4.3.9 Kontrollorganisation

Indriftshastigheten är den viktigaste kostnadsfaktorn vid pressning av rör. Det är därför inte så förvånande att de flesta entreprenadvister gäller frågan om vem som skall betala när markförhållandena förorsakar långsammare framdrift.

Den ingenjör som är satt att följa och kontrollera arbetsmomenten vid pressning av rör skall vara väl förtrogen med ledningsarbeten och ha ett ingenjörsmässigt grepp om de geotekniska företeelser som uppträder.

Av förfrågningsunderlag skall framgå vilka kontrollmätningar som skall utföras, deras noggrannhet och deras dokumentation.

4.3.10 Ersättningsregler

Trots den starka utvecklingen av förundersökningar för markarbeten, har man ännu inte kommit så långt, att man på ett ekonomiskt försvarbart sätt i detalj, kan förundersöka markförhållanden så att man korrekt kan beskriva vad som kommer att möta rörtryckaren.

En hypotetisk mängdförteckning skall därför från början göras på basis av den orienterande projekteringen. Mängdreglering görs sedan med fasta å-priser.

4.3.11 Rörhantering

Pressrör skall vara väl beskrivna i förfrågningsunderlag med angivande av alla krav som man ställer på rören och om de skall vara förberedda i något avseende ex. för smörjning.

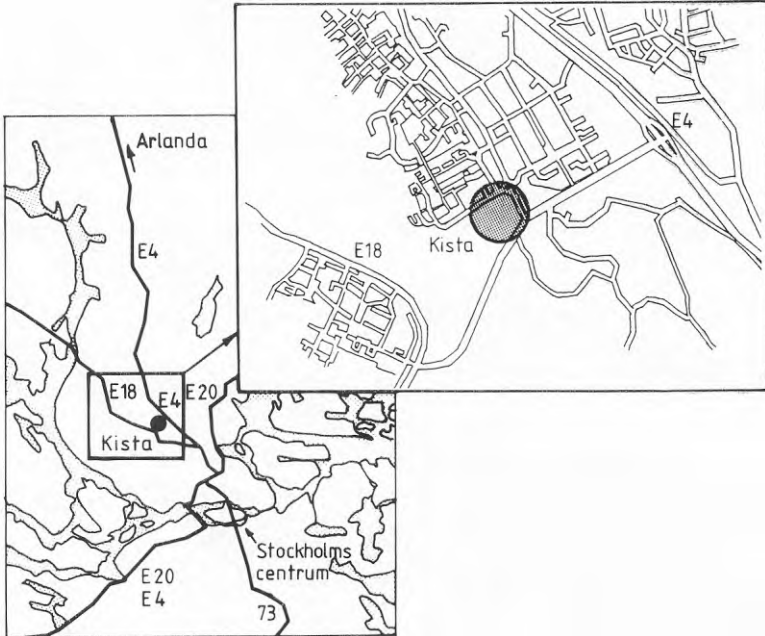
Vid genomförandet av entreprenaden skall följande beaktas:

- lossning och uppläggning av rör utföres enligt rörleverantörens föreskrifter
- att kontroll av rör vid leverans till arbetsplatsen utföres. GAP-rörens materialskikt och anliggningsytor samt om rören har någon ovalitet är viktigt att kontrollera och dokumentera
- att lagring och skyddstäckning av rör utföres enligt föreskrifter.

5. EXPERIMENTPROJEKT ÄRVINGEFÄLTET I KISTA

Kista är Stockholms största och modernaste arbetsplats som 1990 hade cirka 25.000 sysselsatta.

Ärvingefältet utgör entrén till Kista. Exponeringsläget är utsökt mot trafiklederna. Samtidigt finns närheten till Kista centrum och naturområden. (Se figur 5.1).



Figur 5.1 Orienteringsplan Kista

Ärvingefältet har bl.a. på grund av de geotekniska förhållandena – lös och mättig lera – ej blivit bebyggt tidigare.

5.1. Planmässiga förutsättningar

5.1.1 Bakgrund

I generalplanen för Kista, Husby och Akalla 1969, var Ärvingefältet upptaget som ett sportfält. Anledningen till detta är de svåra geotekniska förutsättningar och stora grundläggningkostnader som exploatering skulle medföra.

Kommunfullmäktige gav 1983 byggnadsnämnden i uppdrag, som svar på en motion, att planera för kompletteringsbebyggelse.

Det planerades arbetsplatser närmast Kymplingelänken och Hanstavägen samt bostäder i anslutning till Kista bostadsområde.

Byggnadsnämnden beslöt den 14 april 1988 att Stadsbyggnadskontoret skulle påbörja detaljplanarbetet för Ärvingefältet.

Fastighetsnämnden beslöt den 17 augusti 1988 att industriverkstyrelsen fick disponera 4 Mkr under 1988 för vidareutveckling av det nya systemet (supertub) för Va-anläggningar inom Ärvinge.

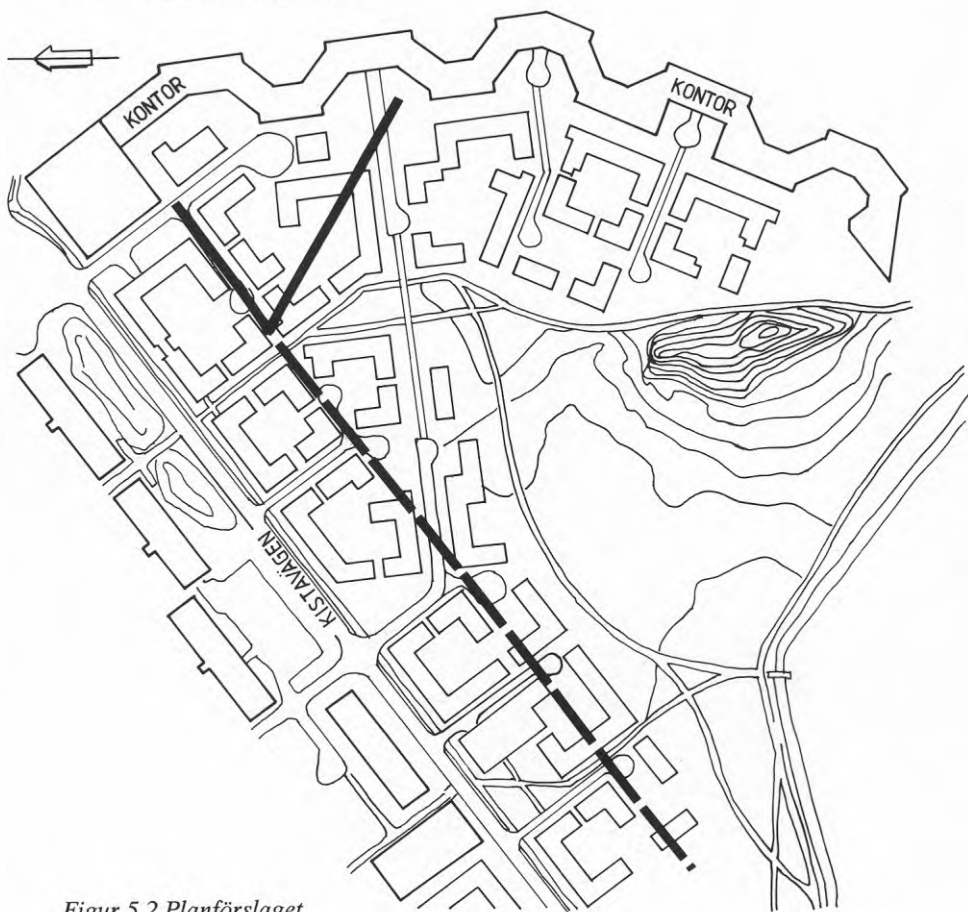
Den 6 december 1988 godkände fastighetsnämnden markanvisningsavtal med LjungbergGruppen AB om utbyggnad av Ärvingefältet med ca 525 lägenheter och 45.000 m² kommersiella lokaler.

5.1.2 Planområdet

Planområdet är totalt ca 17 ha och ägs av Stockholms stad. Området omfattar dels Ärvingefältet, som begränsas av Kymplingelänken, Hanstavägen, Kista-vägen och Igelbäcken, dels ett mindre område i kv. Randers och dels ett långsmalt område invid Danmarksgatan.

Ärvingefältet är ett plant och öppet fält bortsett från en skogsklädd kulle, som i planförslaget avses sparas.

5.1.3 Detaljplaneförslaget



Figur 5.2 Planförslaget

Planförslaget (se figur 5.2 där även supertuben redovisas) innebär att ca 550 lägenheter uppföres i hus i två till fem våningars höjd, 525 lgh inom Ärvingefältet och 25 lgh inom kv. Randers. Utbyggnad av ca 45.000 m² lokaler för kommersiellt ändamål föreslås ske närmast trafiklederna Hanstavägen och Kymplingelänken.

5.1.4 Ledningsdragning

I detaljplaneförslaget sade man att ledningsdragningen inom området kommer att ske med ett nytt och hitills i denna omfattning oprövat system. En kulvert med två meters diameter (supertuben) skulle tryckas genom leran. Inuti kulverten skulle områdets ledningar komma att dras. Va-verket hade påbörjat projektering och vissa försöksprovtryckningar. Försöket beräknade man skulle vara utvärderat under våren 1989. För att LjungbergGruppen skulle kunna bygga ut området inom planerad tid måste ledningsarbetena påbörjas innan detaljplanen antagits. Kontoret beskrev därför under våren i ett särskilt ärende utbyggnaden av va-anläggningar inom Ärvingefältet.

Va-ledningarna i supertuben skulle anslutas till tunnel genom Järvafältet i brunn.

5.1.5 Ekonomi

Beträffande exploateringskostnaderna sägs i stadsplaneförslaget att:

Nedanstående kostnadsuppställning baseras på preliminära uppskattningar. Den avviker från genomförandebeskrivningen från 10 oktober 1988. Detta beror på att underlaget för kostnadsberäkningen har blivit mer detaljerat. Kostnaderna är nu i prisläge 1989-07-01:

Kostnader:	Råmarkskostnad		17.000 kkr
	Utredning, proj. och fastighetsbild		2.100 kkr
	Gator och vägar		26.000 kkr
	Grundläggningsbidrag för bostäder		7.500 kkr
		för lokaler	2.300 kkr
	Ränta och administration		7.000 kkr
	Summa kostnader		61.900 kkr
Intäkter:	Avgäldsunderlag	för bostäder	40.000 kkr
		för lokaler	86.000 kkr
	Summa intäkter		126.000 kkr

Förutom kostnader enligt kalkylen tillkommer taxefinansierade investeringar för va-verket med ca 17,5 Mkr. I dessa kostnader ingår uppskattade merkostnader för teknikutveckling med ca 3,7 Mkr och 3 Mkr för serviser. För Stockholm Energi tillkommer investeringar för en ny elnätstation och nya fjärrvärmeledningar.

5.1.6 Planbeskrivning

I planbeskrivning 1989-10-20 sägs om teknisk försörjning att:

För de delar av planområdet som har goda grundläggningsförhållanden avses ledningar dras på konventionellt sätt. För att försörja resterande del trycks en kulvert genom leran, en så kallad supertub. Härigenom undviks pålning av ledningarna och marksättning. Supertubens diameter bör vara drygt två meter. Inuti supertuben installeras vatten- och avloppsledningar. I vissa fall byggs husen över supertuben. Grundläggningen måste därvid ta särskild hänsyn till tuben.

5.2 VA-tekniska förutsättningar

5.2.1 Rörinredning

Tryck- och mottagningsbrunnar skulle utföras som sänkbrunnar och ingå i det färdiga ledningssystemet.

I supertuben har vattenledningarna utförts av segjärnrör med dragsäkra rörfogar, VRS-fogar, med rörlängden 5 m.

Spillvattenledningar, S250 och S300 samt dagvattenledningar, D400, har i supertuben utförts av PVC markavloppsrör typ Uponal släta. Anslutningar till sänke i brunn 0_{ny} har utförts av rostfria stålrör.

Alla servisanslutningar är utförda för att kunna ta upp sättningsrörelser. Servisanslutningarna utgörs av PVC-rör med teleskopmuff vad avser avlopps-serviser och av segjärnrör med lyror vad avser vattenserviser. Förbindelsepunkter mellan allmänna och privata ledningar ligger i särskilda servisbrunnar som står på supertubens hjässa. Servisbrunnarna av betong är utförda som teleskoprör. Det undre röret är fast med en ytterdiameter av 1140 mm och det övre röret har en innerdiameter på 1200 mm. Fogen är försedd med O-ringar.

Alla tuber med tillhörande självfallsledningar i Ärvinge, Kista, ligger i fall mot lågpunkt vid sänkbrunn i punkt 0. Inifrån brunnen vid punkt 0 har ledning för dagvatten resp. spillvatten utförts genom 2 st långhålsborrade hål för anslutning till befintlig dagvattentunnel som ligger ca 11,5 m under botten på brunnen 0.

Borrhålens diametrar är för dagvattensänket 550 mm och för spillvattensänket 300 mm. De installerade inklädnadsrören är 457 mm resp. 219 mm rör. Injektering har utförts mellan rör och berg för att förhindra grundvattensänkning.

Dagvattnet från supertuben släpps fritt i tunneln medan spillvattnet leds till befintligt avloppsnät i tunnelssystemet.

För samtliga ledningar har rörlängden 5 m valts vid projekteringen. Rören är upplagda på varmförzinkade rörstöd med c/c avstånd 2,5 m.

5.2.2 Samförläggning

Stockholm Vatten AB har i anslutning till exploateringen av Ärvingefältet genom förhandlingar med myndigheter och företag sökt få till stånd en samförläggning av ledningar i supertuben. Dessa förhandlingar resulterade dock inte i någon överenskommelse om samförläggning.

Motiven till att man avvisade en samförläggning varierade. Motiv som att man inte kunde samförlägga fjärrvärmerör därför att man som standard använde 12 m rörlängder i en värmekulvert och således inte kunde transportera ned rören genom brunnar till supertuben framfördes. Tanken att i stället använda 6 m rörlängder som kan installeras i supertuben avvisades.

Man fick genom de förda förhandlingarna den erfarenheten att de skall föras på högsta nivå för att man redan i planeringsskedet skall kunna få den samordning mellan myndigheter och företag som en samförläggning kräver.

5.2.3 Tätetskrav

Tätetskraven i handlingarna för supertuben i Kista omfattade såväl brunnar som själva supertuben.

Tryck- och mottagningsbrunnar som utfördes som sänkbrunnar visade sig vid besiktningstillfällena vara otäta. I kontakten mellan väggar och bottenplatta samt vid rörgenomföringar kunde man hitta de största läckorna.

Servisbrunnarna på supertubens hjässa gav till en början stora läckage. Med justeringar av tätningsringar till de yttre servisgenomföringarna kunde läckaget stoppas.

Fogarna mellan rören var i vissa fall föremål för läckage. Gummiringarna i betongrörens fogar hade på några ställen rullat ur rätt läge i fogen med läckage som följd. En anledning till att detta sker är att rören kan glida isär, se 4.3.5.

Nipplar för smörjning av rören vid pressning kunde även ge upphov till läckage som kunde tätas.

Kraven i förfrågningsunderlaget var att entreprenören skulle leverera en tät tub. Några krav på täthetsprovning av supertuben erfordrades ej eftersom okulärbesiktning av alla delar är möjlig.

Entreprenören lät täta de ej godkända läckagen med polyuretan som reagerar med den fukt eller det vatten som påträffas vid tätningsarbetet. De produkter som användes för att täta tuben i Kista heter TACSS 020NF som bildar ett sprött fast gel och FLEX 44 som bildar ett elastiskt skum. Resultat av tätningsarbetet blev helt tillfredsställande.

Betongrörsfogar som av olika anledningar glidit isär tätades med ett beständigt expanderande bruk.

Vad gäller tätheten av installerade avloppsledningarna gällde föreskrifterna i VAV P50. För vattenledningarna gällde VoV Bk 21 o. VA 17.

5.2.4 Toleranskrav i sida och höjd, deformationer

Tillåten deformation och tillåtna riktningsavvikelser skall följa bestämmelser i VAV P50 juni 1986 med vissa ändringar. För HOBAS-rör gäller beträffande deformationer VAV:s typgodkännande TN 82 01 i tillämpliga delar för GAP-rören.

För utjämning av tryckkraften i fogarna mellan rören användes mellanlägg av 10 mm spånskiva. Dock fick tätheten inte äventyras. Ledningen fick inte tryckas så att mer än halva tillåtna vinkeländringen utnyttjas. Härvid måste hänsyn tas till mellanläggets tjocklek.

Spjälkning av betong vid t.ex. fogar fick inte förekomma.

Utrustningen för pressning av rören var utförd så att styrning inom högsta tillåtna horisontal avvikelse om ± 60 mm och vertikal avvikelse om ± 80 mm kunde utföras under hela tryckningen. Detta gjordes med hjälp av tre styrkolvar placerade i det ledade styrröret. I styrröret fanns anordningar för att kunna bestämma frontens exakta läge för styrning under det förlopp då rörsträngen trycks framåt.

5.3 Geologiska-geotekniska förutsättningar

De geotekniska undersökningarna utförda som underlag för projektering av rörpressningarna i Kista omfattade trycksondering, viktsondering, jord-berg-sondering och slagsondering. Vidare utfördes provtagning av störda och ostörda prov med tillhörande laboratorieundersökningar i form av rutinanalyser och CRS-försök.

5.3.1 Geologisk beskrivning

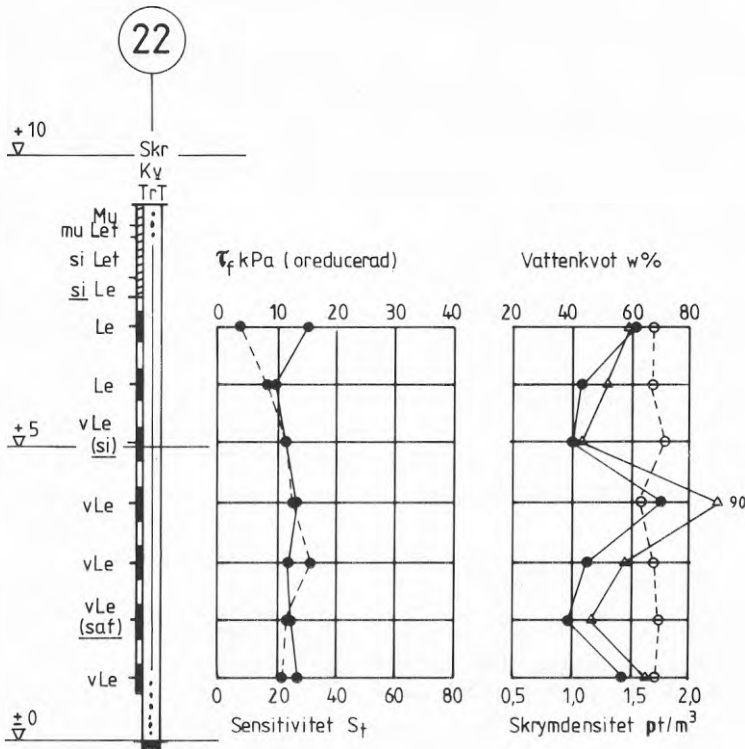
Området, som ligger på Ärvingefältet sydost om Kista, begränsas i öst, väst och norr av Kistavägen och Kymlingelänken. I söder begränsas området av Igelbäcken. Den följer i stort en svacka i berget med tillhörande krosszon som sträcker vsv-oso-riktning.

Området sluttade före exploateringen svagt mot söder från nivån ca +9,5 m i norra delen till ca +7,5 m i den södra.

5.3.2 Geoteknisk beskrivning

Ärvingefältets överyta består av torrskorpelera som varierade i tjocklek mellan 0,5 och 1,5 m. I södra delen av fältet saknas torrskorpan delvis. Jorden består här av organisk mycket sättningsbenägen jord.

Under torrskorpan varierar lerlagrets mäktighet mellan 5 och 18 m. Leran överlagrar ett fast jordlager på berg. Leran hade en skjuvhållfasthet av 10-13 kPa och betecknas som en mycket lös till lös lera, se figur 5.3.



Figur 5.3 Detalj ur geoteknisk undersökning

Leran är på tubens nivå lös, odränerad skjuvhållfasthet hade uppmätts till τ_{fU} 10 á 12 kPa och mellansensitiv. På sträckan $O_{ny} - 22$ varierar "fasta botten" relativt mycket och stiger ställvis till en sådan nivå att man vid projekteringen måste anpassa supertubens höjdläge till fasta botten. Enigt de mätningar som gjordes i samband med rörpressningen ligger grundvattenytan (mätt i öppna rör) på nivån ca +7,5 och portrycksmätningar visar på en 0-trycknivå på ca +8 m.

Det skall härvid observeras att grundvattnet i området i viss mån styrs genom infiltration från en särskild infiltrationstunnel.

Utgående från observerade portryck finner man av resultaten från CRS-försöken att leran är svagt överkonsoliderad - normalkonsoliderad.

Med hänsyn till detta, och att man bedömde att någon dränering inte skulle orsakas av supertuben gjordes ingen särskild sätttningsprognos. Man antog alltså att tuben inte skulle drabbas av sättningar som skulle störa dess funktion.

5.3.3 Dimensioneringsförutsättningar

Förutsättningarna för den del av supertuben som skulle bestå av GAP-rör var att de skulle dimensioneras för 8 m fyllningshöjd ett tillåtet yttre vattentryck av 16 mvp och en tillåten presskraft om 3000 kN med 3,5-faldig säkerhet. Rören skulle vara tjocka rör med spår för vattensmörjning av rören.

Förutsättningarna för en supertub av armerade betongrör var att de skulle bestå av gummiringfogade specialarmerade tryckrör från Skanska Prefab som skulle dimensioneras för en fyllningshöjd av 8 m och en tillåten presskraft om 8000 kN vid säkerhetsfaktorn 2 samt för ett tillåtet yttre vattentryck av 16 mvp.

5.3.4 Presskraftprognos

Tryckbrunnen dimensionerades för att klara en presskraft av 6000 kN. Efter en noggrann granskning av de geotekniska undersökningarna angav en entreprenör att man trodde att denna presskraft ej skulle komma att uppnås men man menade samtidigt att det i anbudsskedet var omöjligt att bedöma förmodad maximal presskraft. Entreprenörerna reserverade sig för de i förfrågningsunderlaget angivna tillåtna presskraften för GAP-rör om 3000 kN.

Man visste i anbudsskedet att ingen svensk entreprenör hade erfarenhet av pressning rör på trycksträckan 380 m som var avståndet mellan brunnarna O_{ny} och 12 utan att använda mellantryckstation. Bedömningarna var att pressningen av den långa trycksträckan O_{ny} -12 kunde komma att medföra att flera mellantryckstationer skulle kunna behövas.

5.3.5 Hinderprognos

I förfrågningsunderlaget angavs att utrustningen för pressningsarbetet skulle medge röjning av hinder inifrån den tryckta tuben.

Alla entreprenörerna reserverade sig i anbudet för de i förfrågningsunderlaget angivna hindren. Kostnaderna för eventuella erforderliga åtgärder för pressning genom fasta jordlager skulle regleras särskilt. Entreprenörerna menade att de redovisade undersökningsborrningarna tyder på att speciella åtgärder skulle komma att krävas. I entreprenadkontraktet ingick dock kostnaderna för kända hinder. För okända hinder gällde en normal reservation.

5.4 Övriga förutsättningar

5.4.1 Finansiering, experimentbyggandet

Projektet med supertuben genomfördes delvis som ett experimentbyggande med tillhörande forsknings- och utvecklingsarbete samt åtföljande mätning- och uppföljningsarbeten.

Arbetena bedrevs så att beställarens program för experimentbyggande i anslutning till pressning av tuberna med tillhörande uppföljningar kunde genomföras obehindrat under entreprenadtiden.

Projektet finansierades av Stockholm Vatten AB. Byggforskningsrådet har till projektet lämnat ett experimentbyggnadslån om 1.500.000 kronor samt anslag till ett värde av 300.000 kronor. Tyréns har som naturainsats genomfört redovisning av projektet samt denna rapport.

5.4.2 Entreprenörer, utrustningar

"Smörjning" av rörsträngen skulle kunna medföra onödiga störningar. Entreprenören måste därför vid upphandlingstillfället redovisa förslag till uppläggning av arbetet med "Smörjning" inkl. utrustning. Strävan var att uppnå det utförandet som gav minsta möjliga störning av kapaciteten vid pressning.

Beställaren lade avgörande vikt vid att "smörjning" av rörsträngen genomfördes på ett effektivt sätt. Upphandlingen utfördes enligt kommunalt upphandlingsreglemente.

När förutsättningarna för experimentbyggandet med smörjning av supertuben kom på tal i upphandlingsskedet ansåg vissa entreprenörer att vattensmörjning var en del av deras "know-how". Man hade färdigutvecklade system för vattensmörjning för att hålla nere presskrafterna och öka den pressade längden samt för att hålla en hög produktionskapacitet.

Entreprenörerna förutsatte därför i anbudet att deras egen smörjningsteknik skulle användas på rören. Beställaren hade dock som förutsättning att själv bestämma hur smörjningen skulle genomföras.

5.4.3 Intresse prova systematiserad smörjningsteknik

Rörtryckningsentreprenörer har upptäckt att om man trycker in vatten kring rören kan man avsevärt förlänga trycksträckan.

Entreprenörerna hade märkt att intryckt vatten kring rören gav vissa fördelar och ansåg att detta var en stor bit av deras "know-how". Någon förklaring till fenomenet kunde man inte ge. Påverkan på omgivningen hade heller inte prövats. Föreskrift om utrustning för utvändigt smörjning av rörsträngen med vatten för att begränsa tryckkrafternas storlek finns även angiven i Göteborgs va-verks "Byggnadsbeskrivning för va-ledningsarbeten, GVA B85".

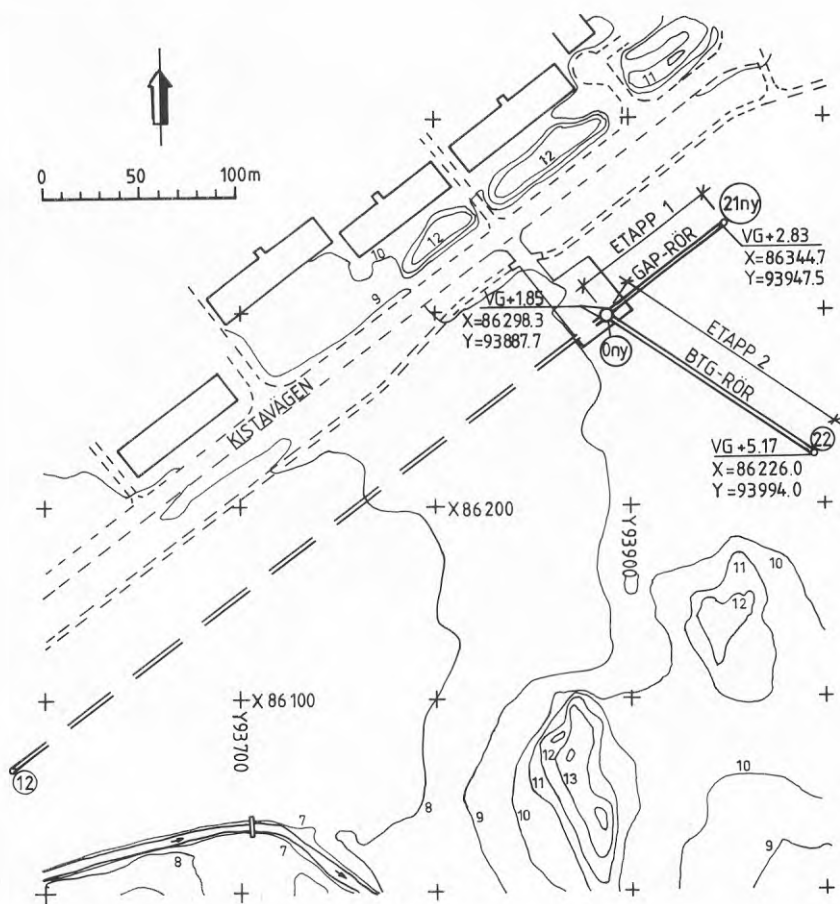
Experimentbyggandet i Kista med supertuben avsåg att få kännedom om de principer som gäller för vattensmörjning och de teorier som ligger till grund för smörjningstekniken. Forskningsgruppens intresse var att få rätt på vad som händer vid smörjning av rör för att kunna tillämpa tekniken i ett vidare perspektiv.

Nu anser vi att experimenten i Kista visar att förutsättningarna för att utveckla smörjningstekniken ytterligare är mycket stor.

5.5 Beskrivning av projektet supertuben Kista

5.5.1 Plan

I figur 5.4 ses supertubens läge i terrängen på Ärvingefältet i Kista. Den består av tre sträckor med tryckbrunnen 0_{ny} i centrum där sträckan mot NO och mottagningsbrunnen 21_{ny} är 72 m lång och sträckan mot öster eller brunnen 22 är 125m samt sträckan mot SV eller brunnen 12 är 380 m lång. Den sist-nämnda sträckan uppdelades i två trycksträckor genom utförande av tryckbrunn 11_{ny} . Den ena trycksträckan var 165 och den andra 209 m lång.

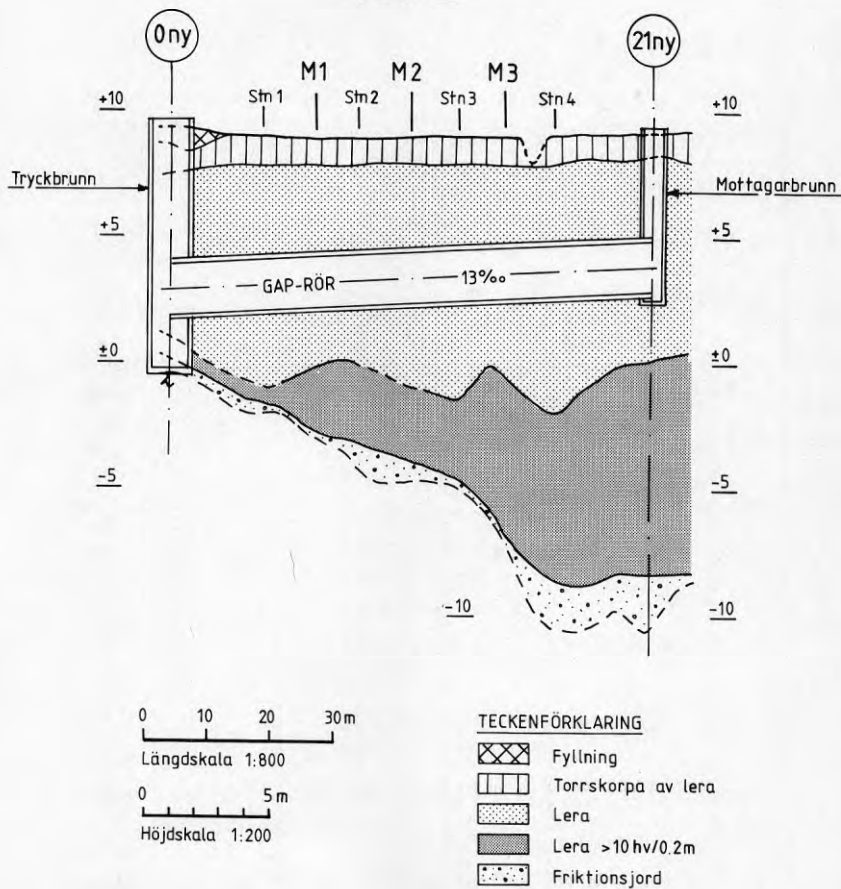


Figur 5.4 Plan, Ärvingefältet

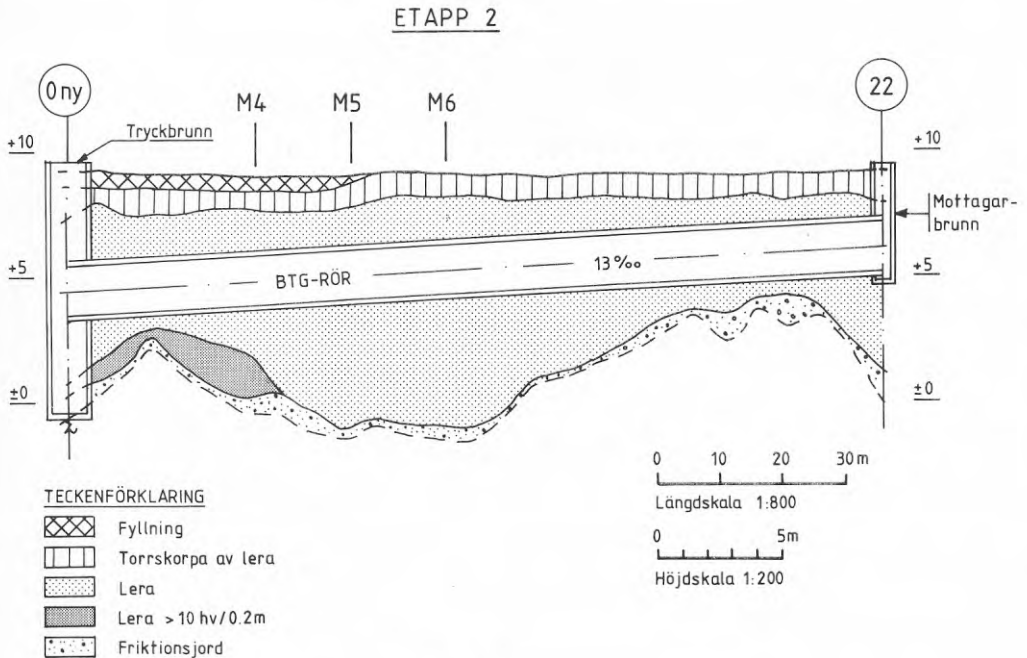
5.5.2 Profiler

Sektioner genom de två sträckorna $0_{ny} - 21_{ny}$ och $0_{ny} - 22$ som ingick i forskningsprojektet visas på figur 5.5 och 5.6.

ETAPP 1



Figur 5.5 Sektion Ony - 21 ny, Etapp 1



Figur 5.6 Sektion Ony - 22, Etapp 2

5.5.3 Brunnar

Brunnarna utfördes som sänkbrunnar och ingick i det färdiga ledningssystemet efter att ha tjänstgjort som tryck- och mottagningsbrunnar.

Sänkbrunnarna utfördes med erforderlig säkerhet mot bottenuppträckning och upplyftning. Tryckbrunnen 0_{ny} utfördes med fast botten mot berg. Övriga brunnar viktkompenserades genom att man utförde en tillräckligt stor sump som fylldes med betong när pressningsarbetena var slutförda.

Tryckbrunnen hade en innerdiameter av 5,8 m, en vägg tjocklek om 450 mm och således en yttre diameter av 6,7 m medan mottagningsbrunnarnas innerdiameter var 4,2 m och yttre diameter 4,8 m.

Formsättningen utfördes med hjälp av avstyvad stålform som var delbar och medgav gjutning i 2 m etapper. För varje gjutetapp tillverkades en armeringskorg med hjälp av en mall. När gjutetappen var gjuten och avformad utfördes sänkningen med hjälp av schakt invändigt i brunnen. I gjutetapp 2 utfördes ingjutning av 2 st bromswirar för att kunna bromsa sänkningarna på rätta nivåer och hålla brunnen i lod utan att få snedsättning. Efter rensning och kontroll av schaktbotten utfördes gjutning av bottenplugg under vatten.

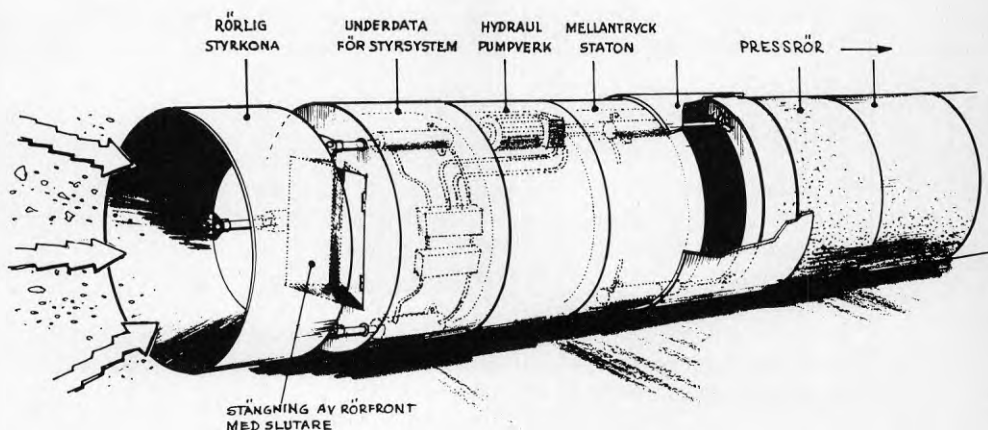
Tryckbrunnen 0_{ny} förankrades i berg. I övrigt utformades brunnsbotten så att man med efterinjektering fick en tät vertikalanslutning till underliggande avloppstunnel.

I läget för tryckbrunnen var berget ojämnt och överlagrat med sten och block. Håltagning i brunn 0_{ny} i riktning mot respektive mottagningsbrunn utfördes på följande sätt:

- Spontslagning vid brunn 0_{ny} i riktning mot den mottagningsbrunn man avser att pressa rör.
- Tätning tillverkas för det hål i brunnsväggen som respektive rör erfordrar.
- Exakt läge för håltagningen på brunnsväggen utsättes.
- En krans av borrhål runt håltagningens periferi borras.
- Det betongblock man får efter håltagning i brunnsvägg loss göres och lyfts bort.
- Tätning monteras.
- Styrroret monteras.
- Tätning tätas och allt görs klart för pressning.
- Utrustning i styrrör monteras och allt görs i ordning för pressning.
- Sponten på utsidan brunnen dras bort.
- Pressningen av rör kan nu börja med att trycka in styrrör med kona.

5.5.4 Styrrör

Styrröret med sina tre rördelar och en styrkona visas på figur 5.7.



Figur 5.7 Styrrör med mellantryckstation

Tryckutrustningen för pressning utformades så att styrröret försågs med en mellantryckstation i styrrörets bakre del.

Styrröret var så konstruerat att fullgod styrning kunde ske under hela tryckningen. Detta skedde genom att fronten var försedd med en 0,7 m lång kona som med hjälp av styrkolvar kunde styra rörsträngen under pressning. Styrhuvudets läge bestämdes med hjälp av laserstråle.

Styrröret bestod av 3 st 1,25 m långa rör. Fronten kunde man stänga på kort tid för att förhindra eller begränsa en okontrollerad instörtning av massor. Med hjälp av nämnda mellantryckstation i bakdelen av styrrör kunde detta skjutas fram 200 mm.

Styrröret var uppbyggt av följande enheter:

Konen	L =	700 mm
Mellanrum	L =	100 mm
(styrkolvarna kunde öka mellanrummet till 300 mm)		
1:a röret	L =	1.250 mm
2:a röret	L =	1.250 mm
3:e röret	L =	1.250 mm
Framskjutaren	L =	30 mm till 230 mm

Styrrörets nettolängd var alltså 4.580 mm och kunde förlängas med max 200 mm + 200 mm = 400 mm.

Styrröret tillverkades för att passa GAP-rör med en utvändig diameter av 2.400 mm. Svepet för övergång mellan styrröret och 1:a GAP-röret var 6 mm tjockt och gav alltså ett spel på 6 mm kring 1:a GAP-röret. Detta tillät att man kunde klistra remsor av samma typ som i utfräsningarna på rörens mantelyta. Vid övergången till pressning av betongrör med utvändig diameter 2.390 mm kompletterades svepet på insidan med en 5 mm tjock plåt för att passa betongrören.

I och med den stora dimensionen på styrröret blev pressningen mera okänslig för hindrande block.

5.5.5 Rören

Experimentbyggandet med supertuben utfördes i två etapper. Rören i Etapp 1 är centrifugaljutna glasfiberarmerade polyesterrör, GAP-rör, tillverkade av Hobas Durotec Rohre Gesmbh, Klagenfurt, Österrike. Rören i Etapp 2 är armerade betongrör tillverkade av Skanska Prefab.

Genomtryckningsrören var försedda med tvär- och längsgående utfräsningar eller ursparingar som genom beställarens försorg försågs med poröst material av sintrad polyetylenplast för spridning av vatten.

Hobas-rören är centrifugaljutna i stålformar om sexmeters längder. Fogar och tvärgående spår utfördes genom att lägga in ursparningar av PVC-remsor i formen. De erhållna rören kapades till 3 m längder. Längsgående spår för smörjning frästes ut maskinellt.

GAP-rören dimensionerades för ett utvändigt yttre vattentryck av 16 mvp och 8 m jordlast samt en tillåten presskraft om 3.000 kN. Säkerheten är 3,5-faldig.

Rören har tillverkats enligt DIN-norm 19 565. Styvhetstalet är 10.000 N/m². Genom utfräsning av spår halverades dock styvhetstalet. Rörens ytterdiameter är 2.400 mm och godstjockleken 55 mm.

Fogarna med gummiringar och mellanlägg har täthetsprovats för ett tryck av 16 mvp.

Betongrören är DN 2000 rör för genomtryckning med längden 1,5 m och godstjockleken ca 200 mm..

Betongrören är dimensionerade för samma yttre vattentryck och jordlast som Hobas-rören. Den tillåtna presskraften var 8.000 kN vid en anliggningsyta i fogarna om 50 %.

Rören är dimensionerade enligt VAV P48.

För utjämning av tryckkraften i fogar på betongrör har i förfrågningsunderlaget angivits att mellanlägg med max tjocklek 15 mm får användas. Med ett sådant mellanlägg kan den maximala vinkelavvikelsen i en fog få vara 0,6°.

5.5.6 Arbetsutrustning

Man projekterade pressningsarbetet och utformade utrustningen så att massorna skulle tas in i rörledningen för att kunna begränsa jordströmningens storlek och minska risken för hävning av markytan. Av samma skäl skulle utlastning av massorna i rören ske så långt fram mot tryckfronten som möjligt. Hänsyn måste dock tas till de geotekniska förhållandena och risken för instörtning i tryckfronten.

Tryckutrustningen var därför så utformad att avstängning av fronten var möjlig samt dimensionerad för de material som hade omnämnts i de geotekniska rapporterna.

Projekteringen angav sådana förutsättningar för utformningen av utrustningen att den medgav att man kunde röja hinder inifrån den tryckta tuben.

För att begränsa tryckkrafternas storlek fanns utrustning för utvändigt "smörjning med vattenövertryck" av rörsträngen med vatten.

I förutsättningarna för arbetet med supertuben ingick att vattenförsörjningen för pressningsarbetet skulle delas upp på två separata huvudvattenlednings-system. Huvudvattenledning A skulle användas för entreprenörens normala förbrukning såsom spolning i fronten. Huvudvattenledning B däremot fick användas enbart till smörjning av rörens mantelyta. Varje Hobas-rör och vart annat betongrör anslöts med sina nipplar till vattenledningen B. Separata avstängningsventiler för reglering av smörjvattnet monterades och numrerades.

Huvudvattenledningen B för smörjvattnet bestod av en 3/4"-slang. Förgreningarna till smörjnippelarna hade utförts med hjälp av förgreningsrör och 1/4"-slang. Nippelarna utformades av rostfria gängrör 15 x 21,5 mm.

Smörjvattentrycket reglerades från det rådande ledningstrycket i Stockholm Vattens vattenledningsnät till för försöken angivna tryck med hjälp av regler-ventil vid tryckbrunnen.

Remsorna för smörjning av pressrören var av sintrad polyetylenplast typ PPM-F, 4,7 mm som tillhandahölls av Stockholm Vatten. De klistrades fast på rören med hjälp av våtrumssilicon av fabrikat Tremco. Remsorna fästes i spårren på rörens mantelyta. Infästningen kompletterades med hjälp av 2 st plastband som spändes runt rören.

På den sista halvan av betongrörssträckan användes colbonddräner för distribution av smörjvattnet runt mantelytan.

5.5.7 Installation av va

Installationerna i supertuben vilar på varmförzinkade rörstöd som prefabricerades för att passa i respektive GAP-rör och betongrör. Rörstöden fästes i Hobas-rören med hjälp av syrafasta gängpressande skruv och i betongrören med hjälp av rostfri expanderskruv.

I GAP-rörens botten installerades en gångbana av 2 mm sträckmetall vilken fästes mot tubbotten med skruv.

I supertuben har vattenledningarna utförts av segjärnsrör. Spillvattenledningar och dagvattenledningar har utförts av polyvinylklorid markavloppsrör (PVCM) typ Uponal släta.

5.5.8 Anslutning av va

I brunnarna 0_{ny} , 22, 21_{ny} och 12 har vattenledningarna utförts av segjärnsrör med VRS-fogar. Anslutningarna till sänke i brunn 0_{ny} består av stålrör. Tömningsledning till dagvattenledning utgörs av stålrör.

Rörinstallationerna i servisbrunnarna har utförts av PVC-rör med teleskopmuff. Rörgenomföringar till servisbrunnarna består av brunnsgenomföringar, typ Link-Seal.

Sänkbrunnarna för utgående servisledning är utförda i två delar vilka kan röra sig i förhållande till varandra. Den nedre delen sitter fastgjuten på Supertubens hjässa och täcker det hål för utgående rör som borrats upp. Efter det att rören installerats täcktes överdelen med en tät plåttäckning. Den övre delen av sänkbrunnarna har utförts av betongrör \varnothing 1200 typ Alfa med centrisk kon och betäckning. De rörliga fogarna mellan de båda delarna består av O-ringar av neoprengummi och fogmassa.

5.5.9 Utsedda entreprenörer

Anbudsfrågan beträffande pressning av supertuben gick ut till de svenska entreprenörer som år 1989 hade de dokumenterade kunskaper som krävs för pressning av så stora rör som supertuben. Följande tre entreprenörer fick tillfälle att lämna anbud:

BAB Construction AB
Lundby System AB
AB Vävrå Jordtunnlar

Av dessa var BAB Construction AB's anbud det för beställaren fördelaktigaste och lägsta anbudet.

BAB Construction AB genomförde arbetena med att pressa supertuben liksom de 18 st servisbrunnar som erfordrades för anslutning av servisledningar. De utförde även anslutning i brunnen O_{ny} till befintlig dagvattentunnel under Ärvinge, Järvatunneln.

Arbetet med inredning av va-ledningar i tuben tillföll efter anbudsförfarande Calor Vanadis AB som färdigställde rörinredningen i supertuben.

5.5.10 Kontrollorganisation

Stockholm Vatten AB's bygglidare för de olika entreprenaderna i anslutning till supertuben var Lars Åke Lyckhult och kontrollant Sune Andersson. Samordnare mellan de olika entreprenaderna och experimentbyggandet med supertuben var Lars Åke Lyckhult.

Med denna uppläggning har arbetet med supertuben under hela anläggnings-skedet kunnat få sådan styrning och kostnadsreglering att samarbetet med entreprenören varit mycket givande. Arbetet med experimentbyggandet har på det sättet tillförts många idéer vad gäller utformning eller val av metoder.

5.5.11 Tider

Omedelbart efter det att Fastighetsnämnden i Stockholm (1988-12-06) godkänt markanvisningsavtalet med LjungbergGruppen AB om utbyggnad av Ärvingefältet igångsatte Stockholm Vatten AB projekteringen av det nya systemet med supertub för Va-anläggningar inom Ärvinge.

Upphandling av entreprenör för pressningsarbetena gjordes sedan under våren 1989. Byggstarten för etapp 1 som omfattade pressning av 75 m GAP-rör kunde därför ske 89-06-01. Vid denna tidpunkt hade ingen annan byggnadsverksamhet påbörjats på Ärvingefältet.

Pressningsarbeten med etapp 2 som omfattade pressning av 510 m betongrör startades upp i november månad 1989. Etapp 1 och 125 m av etapp 2 utgjorde själva experimentbyggandet. Anslutning av servisledningar till supertuben i form av servisbrunnar påbörjades i april månad 1990 och utgjorde en särskild entreprenad.

Anslutning till befintlig dagvattentunnel under Ärvingefältet genom borrhade grova hål påbörjades i juni månad 1990.

Samtliga ovannämnda arbeten var genomförda och slutbesiktigade i december månad 1990.

Förfrågningsunderlag för inredningsarbeten i supertuben med va-ledningar iordningställdes 91-02. Arbeten med inredningen igångsattes 1991-04 och färdigställdes i september månad 1991.

Anläggningen med supertuben stod färdig och fungerade bra i rätt tid före de första inflyttningarna i de nyproducerade husen på Ärvingefältet. Byggnadsverksamheten på fältet hade genomförts utan störningar från va-arbetena.

5.6 Program för FoU-projektets genomförande

5.6.1 Allmän beskrivning av FoU-projektet

Experimentbyggandet på Ärvingefältet i Kista med supertuben eller som vi kallar det FoU-projektet omfattade pressning av rör på två sträckor:

Etapp 1	$0_{ny} - 21_{ny}$	72 m
Etapp 2	$0_{ny} - 22$	125 m

I den första etappen på 72 m projekterades för och utförde man pressning av supertuben med \varnothing 2.400 mm GAP-rör från Hobas Durotec i Österrike. Man ville pröva riktigheten av tidigare erfarenheter från andra tryckningar som visade att presskraften reducerades i jämförelse med erforderlig presskraft på betongrör.

I USA har man framfört önskemål om att betongrör för pressning behöver vara slätare på utsidan och man har därför i avancerade rörpressningar i många fall övergått till att använda GAP-rör.

Den andra etappen på 125 m använde man betongrör med innerdiametern 2.000 mm och yterdiametern 2.400 mm.

Avsikten var att undersöka hur smörjning av rören vid pressning fungerade på olika slags rör, men även att få kännedom om hur de olika sorts tuberna kunde inredas. Dessutom ville man få kännedom om hur konkurrenskraftiga de olika slags rören och leverantörerna är.

5.6.2 Program för pressning

Vid rörpressningen registrerades och dokumenterades den totala presskraften med en dm mellanrum i entreprenörens dator.

Med hjälp av en framskjutare, en så kallad mellantryckstation, som placeras mellan styrröret och den efterföljande rörsträngen kunde styrröret pressas fram separat från den stillastående rörsträngen. Framskjutaren kunde pressa fram styrröret 200 mm.

När framskjutaren pressade fram styrröret mättes den presskraft som erfordrades för att pressa fram styrröret. Detta utfördes vid pressning av GAP-rör en gång per rör och vid pressning av betongrör för vart annat rör. Resultaten registrerades och dokumenterades av entreprenören.

5.6.3 Program för smörjning

I experimentbyggandet ingick att undersöka hur tillförsel av vatten påverkar smörjningen av rörsträngen.

Etapp 1

Samtliga GAP-rör, som är 3 m långa, kunde när så erfordrades anslutas till smörjvattenledningen. De 4 st GAP-rör som vid varje tillfälle befann sig närmast tryckbrunnen pressades utan smörjning. Försöken med smörjning genomfördes i 7 steg:

- Steg 1 5 st rör pressades in utan "smörjning".
- Steg 2 5 ytterligare rörlängder pressades in med vart tredje rör anslutet med sina nipplar till vattenledningen för "smörjning" av rören. "Smörjningen" i detta steg var således ungefär 33 %-ig på hela rörsträngen.
- Steg 3 Motsvarande 4 rörlängder pressades in med vartannat rör anslutet till vattenledningen för "smörjning" av rören. "Smörjningen" i detta steg var 50 %-ig på hela rörsträngen.
- Steg 4 4 rörlängder pressades in med motsvarande 67 %-ig "smörjning" på hela rörsträngen.
- Steg 5 Ytterligare 3 rörlängder pressades in med motsvarande 75 %-ig "smörjning" på hela rörsträngen.
- Steg 6 Slutligen förlängdes rörsträngen med 3 rör varvid alla rör fr.o.m. 5:e röret i rörsträngen "smordes", d.v.s. 100 %-ig "smörjning". Genomtryckning i mottagningsbrunnen utfördes i detta steg.
- Steg 7a Hela rörsträngen fick efter genomtryckningen suga fast, d.v.s. leran rekonsoliderar runt rören, i ca 60 timmar. Därefter pressades rörsträngen in ca 0,2 m i mottagningsbrunnen utan "smörjning".
- Steg 7b Hela rörsträngen fick på nytt "suga fast" i ca 60 timmar. Därefter anslöts samtliga rörnipplar till smörjvattenledningen (100 %-ig "smörjning") och rörsträngen pressades in ytterligare ca 0,2 m i mottagningsbrunnen.

Etapp 2

Även i denna etapp kunde samtliga rör, i detta fall betongrör, som är 1,5 m långa, när så erfordras anslutas till smörjvattenledningen. För att erhålla en med GAP-rören jämförbar "smörjning" smörjdes vartannat betongrör. Vid genomförandet av smörjningsprogrammet uppdelades därför betongrören i 2,5 m-moduler med smörjning av det första röret i modulen, vilket var försett med remsor för spridning av vattnet. De 5 st betongrör som vid varje tillfälle befann sig närmast tryckbrunnen och de 4 st rör som befann sig närmast styrröret pressades utan smörjning.

Försöken med smörjning genomfördes i 7 steg:

- Steg 1 17 st rör pressades in utan smörjning.
- Steg 2 15 ytterligare rörlängder pressades in med var tredje modul ansluten till vattenledningen för smörjning av rören. Smörjningen motsvarande i detta steg en ungefär 33 %-ig smörjning på hela rörsträngen.
- Steg 3 Motsvarande 12 rörlängder pressades in med varannan modul i rörsträngen ansluten till vattenledningen för smörjning. Man fick på detta sätt en motsvarande 50 %-ig smörjning på hela rörsträngen.
- Steg 4 Ytterligare 12 rörlängder pressades in med motsvarande 67 %-ig smörjning av modulerna i rörsträngen.
- Steg 5 12 rörlängder pressades in med motsvarande 75 %-ig smörjning av modulerna i rörsträngen.
- Steg 6 15 rörlängder pressades in med samtliga moduler i den smörjda rörsträngen anslutna till smörjvattenledningen. Man gjorde genomtryckning i mottagningsbrunnen i detta skede. Smörjningen motsvarade i detta fall en 100 %-ig smörjning.
- Steg 7a Rörsträngen fick efter genomtryckningen "suga fast" i ca 60 timmar varefter rörsträngen pressades in ca 0,2 m i mottagningsbrunnen utan smörjning.
- Steg 7b Hela rörsträngen fick på nytt suga fast i ca 60 timmar för att på nytt pressas in ytterligare något utan smörjning.
- Steg 7c Rörsträngen fick återigen "suga fast" i ca 60 timmar. Denna gången pressades rören loss efter det att samtliga moduler i den smörjda rörsträngen anslutits och smörjningen fått verka.

Vattentrycket i huvudvattenledningen A (se 5.5.6) fick entreprenören välja själv. Smörjvattentrycket i huvudvattenledning B styrdes av den projektbeskrivning entreprenören skulle följa. Avsikten med experimentbyggandet var att åstadkomma ett sådant vattentryck runt supertuben att man skulle erhålla smörjning runt hela tuben.

Antalet avstängningsventiler i Etapp 1 blev ca 15 st och i Etapp 2 ca 35 st. Arbetstrycket över dessa ventiler kunde i vissa försök uppgå till 2,5 Bar men låg i allmänhet under 1 Bar. Man trodde sig få den bästa smörjningseffekten och således lägsta mantelmotståndet vid dessa smörjvattentryck. Flödet över varje ventil beräknades variera mellan 0-2 l/s. Anslutande gängrör 15 x 21,3 mm på pressrören som inte hade anslutits till vattenledningen B försågs med huv.

5.7 Mätningsprogrammet

Spetsmotståndet skulle mätas när rörsträngen stått stilla och endast styrröret skjutits fram.

Presskrafterna skulle registreras som kraft i ton eller kN. Smörjvattenflödet registrerades som l/min.

Försök gjordes att installera instrument för mätning av passivt jordtryck i fronten på styrröret samt att koppla upp instrumentet till datorn. Försöket misslyckades och idén övergavs.

Samtliga mätvärden kunde samköras genom ett program för tidsrelatering mellan datorn för pressning och datorn för uppföljning av de geotekniska mätstationerna.

Datalagring av mätvärden från pressningen avbröts vid några tillfällen p.g.a. att längdmätningsgivaren strejkade.

5.7.1 Mätningar på tuben

Mätningarna omfattade följande parametrar:

- totala presskraften
- styrrörets motstånd
- vattenflöde vid smörjning
- vattentryck vid smörjning
- avvikelse i höjd- och sidled
- uppflytning och avvinkling
- deformationer

5.7.1.1 Presskrafter

Totalkraft och styrrörets motstånd skulle kontrolleras och protokollföras under hela tryckningen. Samtliga mätvärden uppmättes och dokumenterades i dator.

Totalkraften registrerades i tryckbrunnen för varje frampressad 100 mm. Registreringen skedde automatiskt i den dator entreprenören installerat för styrning av pressningen.

Mätningen av totalkraften skedde genom att mäta oljetrycket i hydraulsystemet. Med kännedom om tryckkolvarnas area räknades oljetrycket om till totalkraft. För att sedan erhålla den totala presskraften på rören reducerades totalkraften med den förlust som uppkom när man körde på banan i tryckgruppen så att säga på tomgång. Förlusterna i tryckgruppen uppmättes till 340 kN.

Genom att placera en framskjutare mellan styrröret och främsta röret i rörsträngen kunde styrröret flyttas fram 200 mm separat och därvid ge möjlighet till att mäta styrrörets motstånd eller spetsmotståndet.

Uppmätningen av styrrörets motstånd skedde en gång för varje GAP-rör som pressades in. Mätningen skedde när 1,5 m av GAP-röret hade pressats in varvid pressningen i tryckbrunnen stoppades och enbart styrröret pressades fram 200 mm med hjälp av framskjutaren.

Vid pressning av betongrör skedde uppmätningen av spetsmotståndet för vartannat betongrör som pressades in. Mätningen utfördes när 0,5 m av betongröret hade pressats in. Pressningen i tryckbrunnen stoppades därvid och enbart styrröret pressades fram 200 mm.

Spetskraften kunde man erhålla genom att minska spetsmotståndet eller styrrörets motstånd med förlusterna i framskjutaren som uppmättes till 140 kN.

Mantelmotståndet erhåller man genom att från den totala presskraften subtrahera spetskraften avläst vid samma tidpunkt.

5.7.1.2 Vattenflöde vid smörjning

Vattenflöde och vattentryck i matarledningen för smörjvatten registrerades kontinuerligt och dokumenterades i entreprenörens dator.

Flödesmätningen av vatten för "smörjning" var under utförande av Etapp 1, pressningen av GAP-rör, osäker. Det var därför viktigt att man utförde försök och mätningarna på ett tillfredsställande sätt i Etapp 2 vid pressning av Btg-rören.

5.7.1.3 Vattentryck vid smörjning

Inmontering av tryckgivare för registrering av smörjvattentrycket på rörens mantelyta utfördes. De monterades på ett par av smörjniplarna som för tillfället inte användes för vatteninjektering. Tryckgivarna kopplades upp för dataregistrering. Tryckgivarna placerades på olika ställen längs rörsträngen.

Tryckgivarna som mäter vattentrycket på mantelytan placerades så att man kunde mäta dels på rör med "smörjning" och dels på rör utan "smörjning".

4 st manometrar med intervallet 0-2 bar för kontroll av utgående smörjvattentrycket installerades. Manometrarna avlästes manuellt.

Med hjälp av manometrar uppmätte man trycket på det utgående smörjvattnet vid några av pressrörens smörjniplarna. I Etapp 1 placerades manometrarna på rör nr 4, 7 och 13 och i Etapp 2 på rörmodulerna 12, 13 och 14.

5.7.1.4 Riktning

Inmätning av avvikelse i höjd- och sidled från teoretisk linje utfördes för varje nytt rör vid start av pressningen samt efter avslutad pressning.

Kontroll av eventuell uppflytning och avvinkling av rörsträngen utfördes med hjälp av 4 st dubbar som monterats i rörsträngen på ett avstånd av c/c 15 m.

5.7.1.5 Deformationer

Efter avslutad pressning av GAP-rören utfördes konvergensmätning på 4 st rör. Dubbar placerades i rören kl 3, 6, 9 och 12.

5.7.2 Omgivningspåverkan

Mätningarna utfördes i tre ovanjordsstationer i vardera etapperna 1 respektive 2 och omfattade mätning av följande parametrar:

- portryck
- jordtryck
- sättningsrörelser
- horisontalrörelser
- grundvatten

5.7.2.1 Portryck

Portrycksmätning utfördes från i förväg utplacerade tre fasta mätstationer för varje etapp. I varje station ingick 4 st portrycksmätare, Geotech. Portrycksmätarna var försedda med utrustning för automatisk avläsning och dokumentation av erhållna värden. Tidpunkterna för avläsningarna varierade med avståndet till styrröret från 1 gång/tim. till 1 gång/min. och koordinerades med entreprenörens dator.

5.7.2.2 Jordtryck

Mätningen av jordtryck skedde vid en av de fasta stationerna i vardera etappen med 4 st jordtrycksmätare i etapp 1 och med 3 st jordtrycksmätare i etapp 2. Avläsningarna utfördes manuellt sålunda:

- innan pressningen påbörjades
- på 15 m resp 10 m avstånd mellan styrrörets spets och station
- mellan 10 och 5 m avstånd för varje m
- på avståndet 5 till 0 m avlästes jordtrycksmätarna kontinuerligt under den tid pressning pågick

5.7.2.3 Vertikalrörelser

Mätning av markrörelser skedde i etapp 1 i tre fasta stationer utrustade med 1 st markpegel, 1 st multipelsättningsmätare samt 2 st skruvar för sättningsmätning. Avläsning och inmätning utfördes sålunda:

- innan pressningarna påbörjades
- när styrrörets spets befann sig 15 m, 10 m, 5 m respektive 0 m från stationen ifråga och i övrigt var 15:e m.
- vid entreprenadens färdigställande
- under garantitiden

Sättningsmätningarna utfördes med noggrannheten $\pm 0,5$ mm.

5.7.2.4 Horisontalrörelsemätning

Inklinometermätningar utfördes i etapp 1 i två av de tre fast stationerna och i etapp 2 i en av de fasta stationerna. Vardera sådan station hade i etapp 1 försetts med 2 st inklinometermätare medan stationen i etapp 2 hade försetts med 1 st inklinometermätare. Inklinometermätarna som mätte från olika nivåer var av typ med automatisk avläsning och dokumentation av erhållna värden. Tiden mellan avläsningarna varierade mellan 1 gång/tim. och 1 gång/min. Avläsningarna koordinerades med entreprenörens dator.

5.7.2.5 Grundvattennivåer

Grundvattennivåer mättes i anslutning till tryckbrunnen för att kontrollera att ingen grundvattensänkning skulle ske vid tryckbrunnen. Vidare installerades grundvattenrör i en fast station i såväl Etapp 1 som Etapp 2. Avläsningarna av grundvattenrören utfördes:

- en gång per dag vid pressning av rör
- en gång per vecka under entreprenadtiden
- en gång per månad under garantitiden

5.7.2.6 Beskrivning av mätstationer

Etapp 1

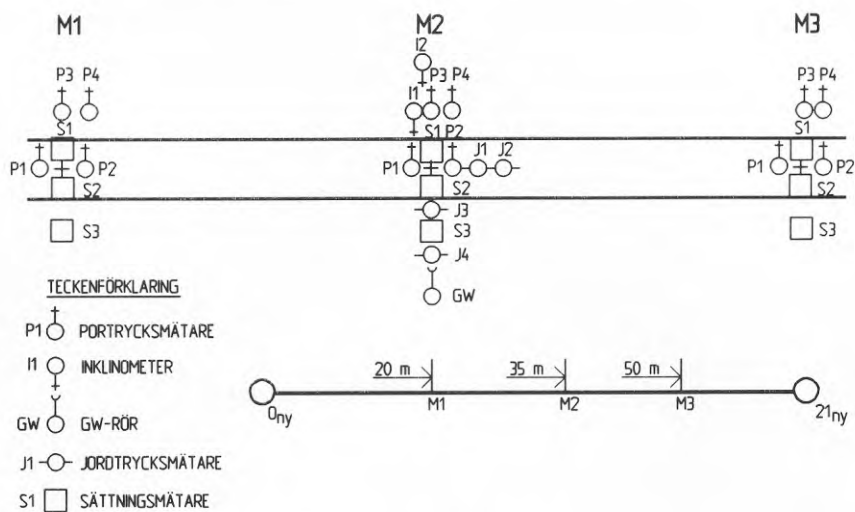
I etapp 1 utfördes mätningarna i 3 mätstationer varav mätstationerna 1 och 3 var utrustade med:

- 4 st porttrycksmätare, Geotech
- 2 st sättningsmätare, förankringsskruv
- 1 st sättningsmätare, JOB
- 1 st markpegel

Mätstation 2 var utrustad med:

- 4 st portrycksmätare, Geotech
- 4 st jordtrycksmätare
- 2 st inklinometererrör
- 2 st sättningsmätare, förankringsskruv
- 1 st sättningsmätare, JOB
- 1 st grundvattenrör

Instrumenteringen i mätstationerna framgår av plan över mätstationerna i figur 5.8 samt sammanställningsritningar i bilaga 1, sid 2-3.



Figur 5.8 Översikt mätstation M1, M2 och M3, Etapp 1

All utrustning på stationerna behölls intakt t.o.m. att försöken med fastsugning av pressrören hade genomförts. Därefter togs portrycks- och jordtrycksmätarna samt inklinometrarna bort. Utrustningarna för sättningsmätningarna och grundvattenrör kvarlämnades för fortsatta avläsningar.

Etapp 2

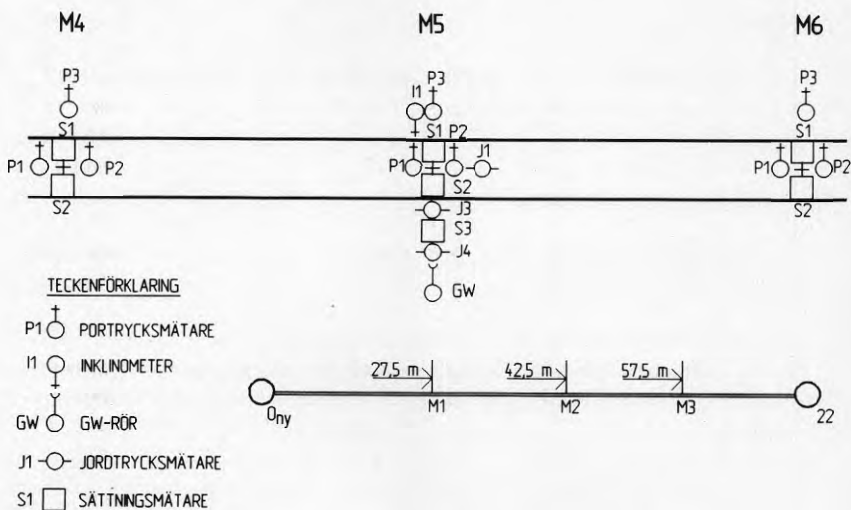
Även i etapp 2 utfördes mätningarna i 3 stationer varav mätstationerna 4 och 6 var utrustade med:

- 3 st portrycksmätare. Geotech
- 2 st sättningsmätare, förankringsskruv
- 1 st markpegel

Mätstation 5 var utrustad med:

- 3 st portrycksmätare, Geotech
- 3 st jordtrycksmätare
- 1 st inklinometerrör
- 2 st sättningsmätare, förankringsskruv
- 1 st sättningsmätare, JOB
- 1 st grundvattenrör

Instrumenteringen i mätstationerna framgår av plan över mätstationerna i figur 5.9 samt sammanställningsritningar i bilaga 1, sid 4-5.



Figur 5.9 Översikt mätstation M4, M5 och M6, Etapp 2

5.8 Försökets genomförande

5.8.1 GAP-rör (Etapp 1)

Arbetet med att pressa Hobas-rören i Etapp 1 startade 1989-10-09 och avslutades 1989-11-02. Arbetet bedrevs i ett skift/dag mellan 07.00-18.00. I inledningsskedet uppstod problem med att samköra den datautrustning som fanns i styrröret med övrig datautrustning och den som fanns i ovanjordsstationerna.

För att kunna genomföra försöken med smörjning enligt intentionerna, var det väsentligt att man visste att remsorna för smörjningen kunde fixeras vid tuben. Det gällde att vara säker på att smörjningen med vatten utfördes runt hela röret.

Den 28 oktober 1989 hade man pressat igenom in i mottagningsbrunn 21_{ny}. Försöken avslutades den 2 november 1989.

5.8.2 Betongrör (Etapp 2)

Pressningen av Btg-rör på sträckan 0_{ny} - 22, Etapp 2, startade 1989-11-23 och avslutades 1989-12-14.

Betongrören försågs till en början med samma sorts remsor som på Hobas-rören. Efter att halva sträckan hade pressats med dessa remsor bytte man materialet i remsorna till billigare colbonddräner utan att förlora i smörjningseffekt.

Under pressningens gång separerade vissa fogar mellan rör som låg närmast styrröret vid ett tillfälle. Detta berodde på att smörjvattentrycket pressade isär rören efter det att framskjutaren pressat fram styrröret och sedan dragits tillbaka. Rören gled därvid tillräckligt lätt tills första röret nådde styrröret för att separera. Detta förhindrades i fortsättningen genom att trycket på framskjutarens kolvar inte tilläts falla för snabbt.

1989-12-07 hade man pressat genom rörsträngen in i mottagningsbrunnen 22. Försöken i Etapp 2 avslutades den 14 december 1989.

5.9 Resultat

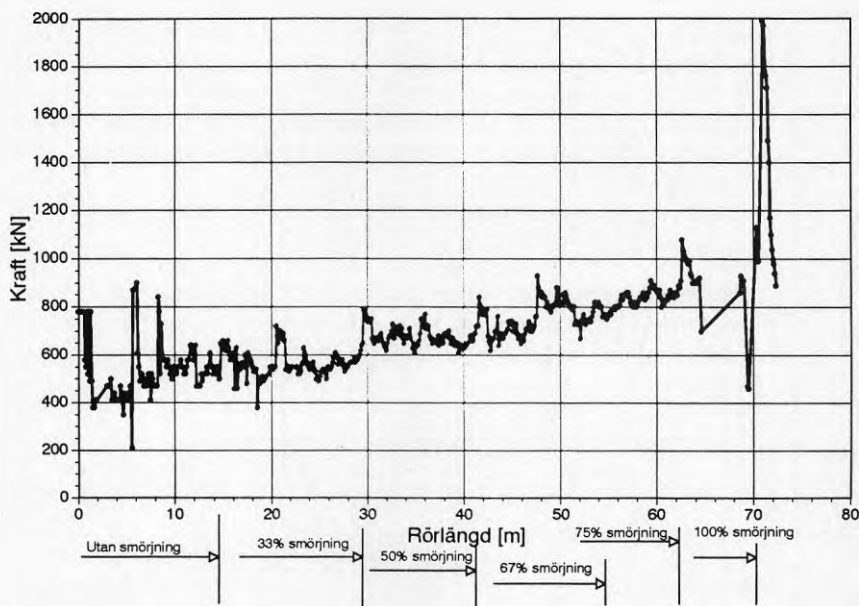
5.9.1 Mätresultat från etapp 1

Etapp 1 omfattade pressning av GAP-rör på en sträcka av 72 m.

5.9.1.1 Mätresultat från tuben

Presskraft

Den totala presskraften på rören redovisas i figur 5.10 i förhållande till inpressad rörlängd. I bilaga 2, sid 2-4, redovisas den totala presskraften mera i detalj.



Figur 5.10 Total presskraft exkl. förluster i tryckbrunn, 340 kN, Etapp 1

I etapp 1 finner man därvid att vid pressning utan smörjning den totala presskraften ökar med tilltagande rörlängd. Det framgår också att losspressning efter stillestånd kräver stor kraft.

Vid pressning med smörjning på 33 % (se 5.6.3) av längden sjunker de erforderliga krafterna med ökad rörlängd. Krafterna blir jämnare framför allt beroende på att krafterna för losspressning efter uppehåll i pressningen blir mindre. Med 50 %-ig smörjning förblir presskrafterna oförändrade trots ökning i rörlängd. Man kan se att losspressningen efter ett stopp snarare kräver mindre kraft allteftersom pressningen framskrider. Vid 67 %-ig resp. 75 %-ig smörjning ökar presskrafterna obetydligt med ökad rörlängd.

Den 100 %-iga smörjningen utfördes på en mycket kort sträcka. Resultaten visar ändå att den totala presskraften inte ökat på sträckan.

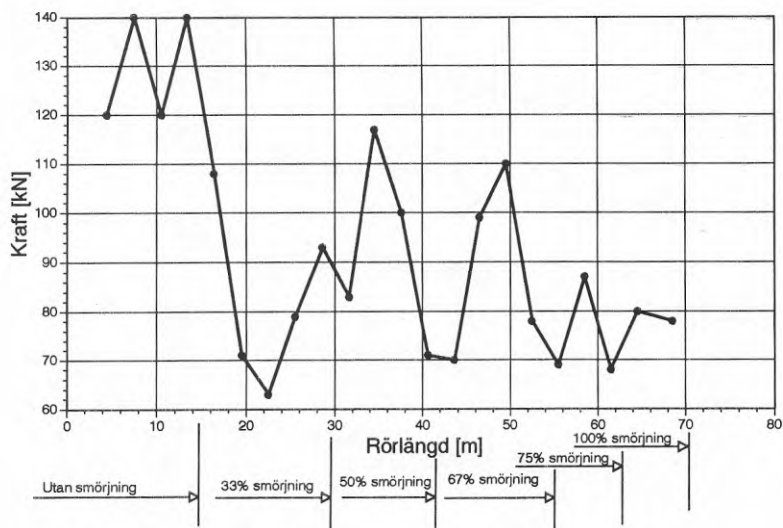
Losspressning

Rörsträngen fick efter genompressning i mottagningsbrunn suga fast i ca 60 timmar. Efter det att smörjvattnet fått stå på i ca ½ timme påbörjades pressning av rörsträngen. Vid en total presskraft av 115 ton lossnade rörsträngen och kraften gick därefter ned till 100 ton fortlöpande.

När rören på nytt hade fått suga fast i 60 timmar gjordes ett nytt försök med att pressa fram hela rörsträngen, denna gång utan att smörjvatten sattes på. Vid en total presskraft på 200 ton lossnade rören. När rören väl hade pressats loss gick den erforderliga kraften ned till 150 ton. När smörjvatten kopplades på gick kraften successivt ned till 90 ton.

Spetskraft

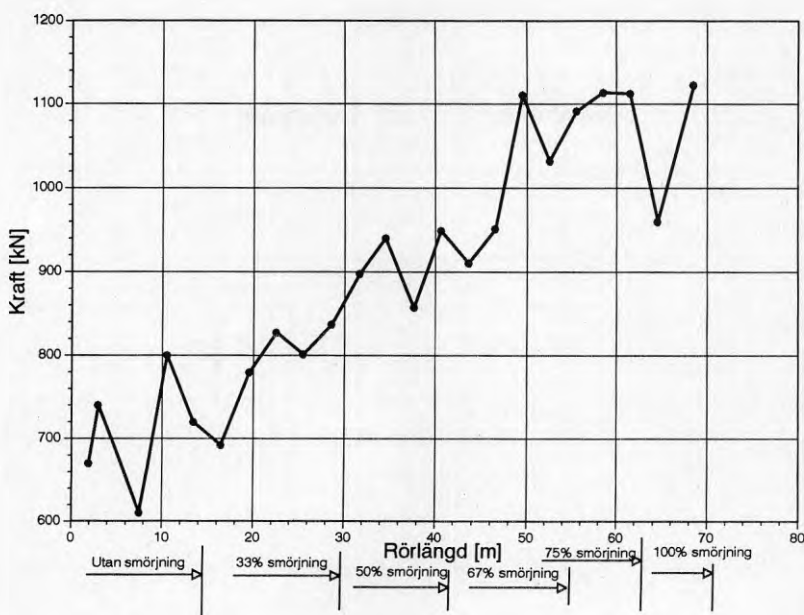
Resultaten från mätningarna för att erhålla spetskrafternas storlek visas i figur 5.11. Här framgår det att spetskraften minskar redan vid 33 % smörjning. Skillnaden i spetskraft är markant. Anledningen är att man fick smörjning även på styrröret. Vattnet gick fram över styrrörets mantelyta och minskade medel- och skjuvspänningen.



Figur 5.11 Spetskrafter, etapp 1

Mantelmotstånd

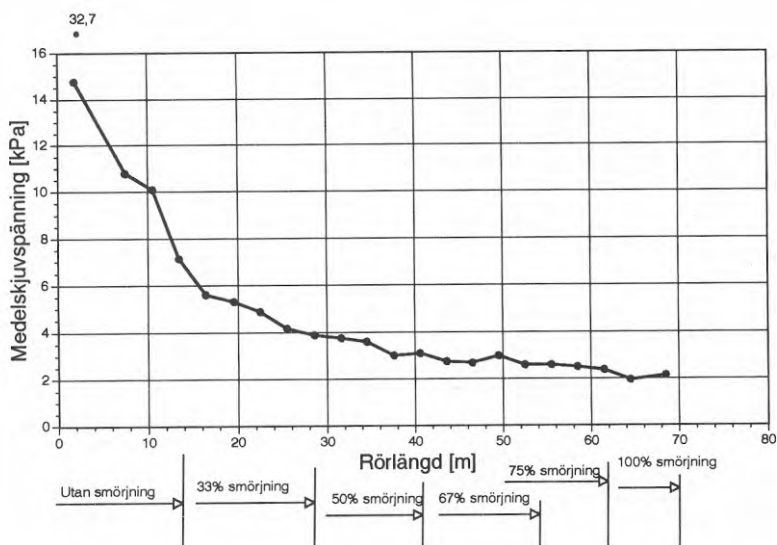
Erhållet mantelmotstånd som är den totala presskraften på rörsträngen minns den totala spetskraften visas i figur 5.12. Här kan man se att kurvan för mantelmotståndet är flack och visar på en långsam ökning med pressad rörlängd.



Figur 5.12 Mantelmotstånd, Etapp 1

Medelskjuvspänningen

Beräkningarna av medelskjuvspänningen återfinns man i figur 5.13. Medelskjuvspänningen minskar som synes betydligt, nämligen från 7–10 kPa till ungefär 4 kPa, när den 33 %-iga smörjningen har fått verka. Minskningen fortsätter när man ökade smörjningsgraden till 50 % till en medelskjuvspänning på ungefär 3 kPa. Vid 67 % resp. 75 % smörjning minskade medelskjuvspänningen mera marginellt nämligen till ungefär 2,7 kPa resp. 2,5 kPa. När slutligen smörjningen ökades till 100 % stabiliserade sig medelskjuvspänningen till ungefär 2 kPa.



Figur 5.13 Medelskjuvspänningar, Etapp 1

Medelskjuvspänningarna på rörets mantelyta låg före smörjningen igångsattes mellan 10–15 kPa. Detta är mer än lerans odränerade skjuvhållfasthet. Förklaringen kan vara osäkerhet i mätning av spetskraft.

Grundvattennivåer

Pressningarna vid försöken utfördes under grundvattennivån i Ärvingefältet.

Vid pressning av tuben i etapp 1 låg grundvattnets trycknivå vid tryckbrunnen 0_{ny} ca 4 m över hjässan på rören. Vid mottagningsbrunnen låg rörhjässan ca 3 m under grundvattnets trycknivå som låg på ca +8 m.

Smörjvattentryck och -flöde

Resultaten från mätningarna av de olika smörjvattentrycken och flöden i etapp 1 visas i bilaga 3, sid 2–4.

Smörjvattentrycket på matarledningen i tryckbrunnen varierades under den första delen av experimentbyggandet mellan 0,9 – 1,2 bar eller 90–120 kPa. Smörjvattenförbrukningen var då ca 15 l per min. Smörjvattenflödet förblev oförändrat när smörjvattentrycket i tryckbrunnen ökades till 1,5 bar. När smörjvattentrycket i matarledningen vid tryckbrunnen ökades till 1,9 – 2,0 bar kunde man uppmäta ett smörjvattenflöde som ökade successivt från 17 till 20 l per min.

Manometrarna, som mätte det utgående smörjvattentrycket i tubens nipplar, visade att det utgående smörjvattnets tryck inte påverkades av variationerna i smörjvattentrycket som gjordes i tryckbrunnen. Trycket på smörjvattnet i nipplarna varierade mellan 0,40 – 0,45 bar.

Tryckgivarna, som registrerade smörjvattentrycket på den högst belägna delen av tubens mantelyta, visade att smörjvattentrycket under pressningsarbetet också varierade mellan 0,40 – 0,45 bar. Detta torde bero på att en hydraulisk spräckning inträffat i jorden. Registrerade tryck visar en acceptabel överensstämmelse med beräknade värden på det tryck som erfordras för att hålla en spricka öppen.

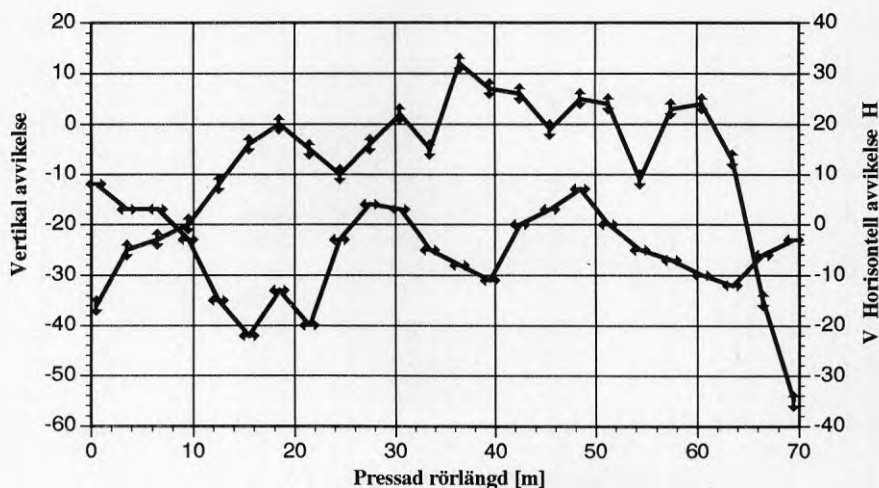
Vid försöket med losspressning av rören under full smörjning ökades smörjvattentrycket på matarledningen i tryckbrunnen till 2,5 bar. Vid detta tryck fick man in för mycket vatten i tryckbrunnen och genom rörfogarna varför trycket sänktes. Förgreningsrören till smörjniplarna som var en 1/4"-slang begränsade i detta fall storleken på vattenflödet.

Riktning

Inmätningsskiss visar avvikelserna i sidled. Tubens avvikelse i brunnen 0_{ny} var 167 mm och i brunnen 21_{ny} 185 mm när tuben var färdigpressad. Denna avvikelse godkändes vid slutbesiktning.

Det kan nämnas att tryckbrunnen 0_{ny} hade en avvikelse i sitt läge om 137 mm och brunnen 21_{ny} om 38 mm i sidled.

Höjdavvikelserna från teoretisk centrumlinje visas i figur 5.14.



Figur 5.14 Avvikelser från teoretisk centrumlinje, Etapp 1

Avvikelsen i brunnen 0_{ny} var 36 mm och i brunnen 21_{ny} 55 mm. Bakfall inträffade inte på något ställe och avvikelserna kunde godkännas.

Förteckning över i november 1990 uppmätta vattengångar i supertuben på sträckan $0_{ny} - 21_{ny}$ visas på Stockholm Vattens ritning nr 1-5948-118-0. Den teoretiska vattengången i centrum brunn 0_{ny} var +1,85 och brunn 21_{ny} , +2,83, samt lutningen 13 ‰.

Deformation

Tabell i figur 5.15 visar uppmätt deformation av GAP-rören i etapp 1. Mätningarna är utförda 1989-11-17. Rören är uppmätta i två punkter 200 mm från vardera änden av varje rördel och tabellen visar skillnaden mellan respektive rördels vertikala och horisontella diameter. Rör 1 är beläget vid brunn 0_{ny} och rör 25 vid brunn 21_{ny}. Deformationerna är i huvudsak kvarstående deformationer som uppkommit före pressningen av rören.

Rör nr	Rördiameter i mm vid			
	första röränden		andra röränden	
	Vertikal	Horisontal	Vertikal	Horisontal
1	2263	2290	2285	2270
2	2287	2256	2282	2263
3	2275	2261	2278	2268
4	2278	2265	2285	2263
5	2282	2264	2279	2272
6	2272	2270	2265	2271
7	2275	2277	2274	2276
8	2277	2282	2278	2276
9	2277	2277	2280	2273
10	2281	2268	2279	2271
11	2273	2268	2273	2268
12	2275	2266	2274	2265
13	2290	2279	2283	2281
14	2285	2278	2283	2276
15	2288	2285	2294	2282
16	2283	2272	2278	2269
17	2286	2279	2283	2287
18	2275	2273	2280	2274
19	2270	2260	2272	2264
20	2290	2280	2280	2282
21	2277	2272	2269	2275
22	2274	2276	2268	2276
23	2280	2282	2283	2281
24	2275	2276	2272	2277
25	2282	2291	2287	2290

Figur 5.15 Deformationer av GAP-rör, Etapp 1

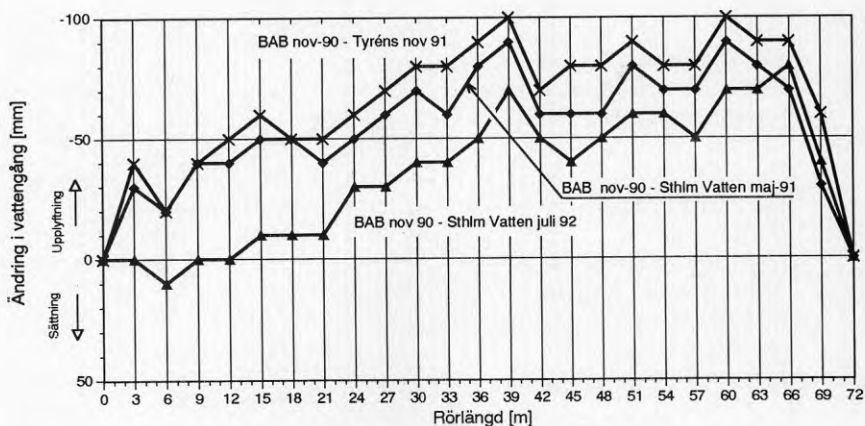
Upplyftning

För att kontrollera tubens avvikelser från avsett läge i vertikalled avvägdes vattengången i tuben dels i samband med slutbesiktning, dels senare vid två tillfällen.

Avvägningen inför slutbesiktningen gjordes i november 1990 genom entreprenörens försorg och finns redovisad på relationsritning.

Stockholm Vatten har dessutom gjort en avvägning av vattengången i maj 1991 och i juli 1992 och Tyréns har avvägt vattengången i november 1991.

Resultaten av avvägningarna redovisas på figur 5.16. På den visas ändringar i höjdläget så som det anges på relationsritningen.



Figur 5.16 Upplyftning av GAP-rör efter avslutad rörpressning, Etapp 1

Det framgår alltså tydligt att röret har flutit upp med som mest ca 100 mm men att sättningar sedan inträffat.

5.9.1.2 Mätresultat avseende omgivningspåverkan

Portryck

Resultaten från portrycksmätarna i de olika stationerna framgår av bilaga 4, sid 2-4, som redovisar ändring av portryck som funktion av avståndet till Super-tubens front.

Intressant att notera är att man får en tydlig ändring i portrycket redan innan supertuben har nått fram till mätstationen. Avståndet varierar från några få meter till över tio meter.

När sedan fronten passerar uppstår kraftiga förändringar i portrycket. Dessa kan bli kvarstående eller klinga ut. Något entydigt mönster finns ej.

Det är inte möjligt att urskilja om någon del av portrycksökningarna orsakats av jordbrottet som orsakas av fronten eller om det huvudsakligen är smörjningen som orsakar portryckshöjningen.

Grundvattennivåerna som mättes i jord vid mätstation 2, etapp 1, var konstanta under pressningsarbetets gång.

Jordtryck

Resultaten från jordtrycksdosorna i etapp 1 framgår av bilaga 5, sid 2, som redovisar förändringar som en funktion av avståndet till fronten.

Liksom i fallet med portrycket får man en respons redan innan fronten nått mätstationen.

Efter passage kvarstår en ändring av storleken 10 kPa. Det är dock inte möjligt att särskilja vilken del av detta som är vattentryck. Man måste dessutom beakta att jordtrycksdosor är känsliga för inspänningsförhållanden i jorden varför störningseffekter kan ha förekommit.

Vertikalrörelser

Resultaten från uppmätta sättningar vid pressningarna i etapp 1 återfinns i bilaga 6, sid 2-4.

Uppmätta vertikala rörelser är av storleken någon eller några millimeter. Man kan ibland se en viss rörelse (hävning) innan fronten nått fram.

Horisontalrörelsemätning

Sidorörelser har beräknats ur inklinometermätningar och redovisas i bilaga 7, sid 2. De är generellt små och varierar från 0,5 - 3 mm.

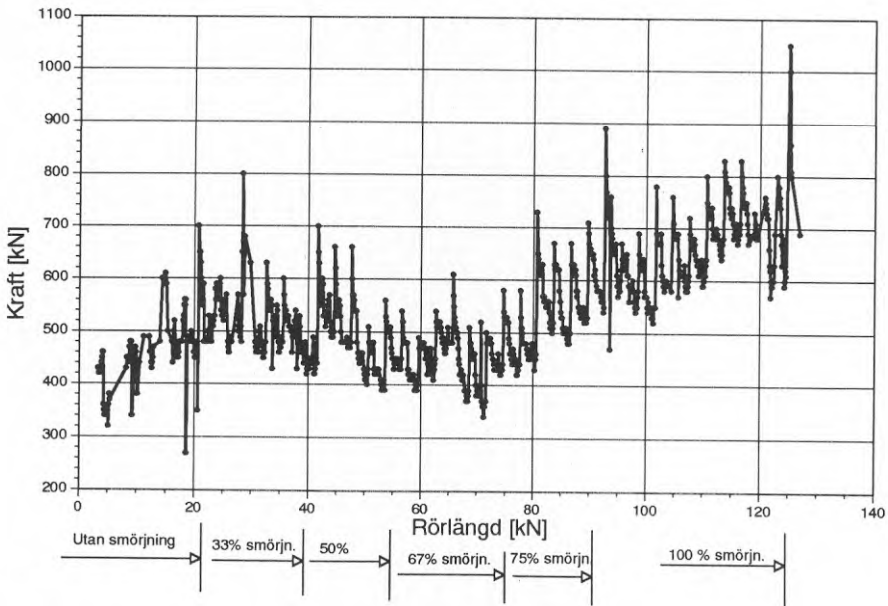
5.9.2 Mätresultat från etapp 2

Etapp 2 omfattade pressning av betongrör på en sträcka av 125 m.

5.9.2.1 Mätresultat från tuben

Presskraft

Den totala presskraften på rören redovisas i figur 5.17 i förhållande till inpressad rörlängd. I bilaga 2, sid 5-8, redovisas den totala presskraften mera i detalj.



Figur 5.17 Total presskraft exkl. förluster i tryckbrunn, 340 kN, Etapp 2

I etapp 2 finner man därvid att pressningen utan smörjning uppvisar en kraftig ökning av den totala presskraften allteftersom rörlängden ökar. Ökningen är särskilt markant vid losspressning av rör efter uppehåll.

Vid 33 % smörjning (se 5.6.3) börjar den totala presskraften att minska med ökad inpressningslängd. Förändringen i presskraft vid stopp uppvisar också en minskning.

Tendenserna från den 33 %-iga smörjningen håller i sig vid ökning av smörjningen till 50 %. Vid 67 % smörjning flackar kurvan på presskrafterna ut. När smörjningen sedan ökades till 75 % börjar effekten av den ökande mantelytan att ta överhanden.

Vid 100 % smörjning har kurvan flackat ut och losspressningskraften förblir oförändrad trots ökande rörlängd.

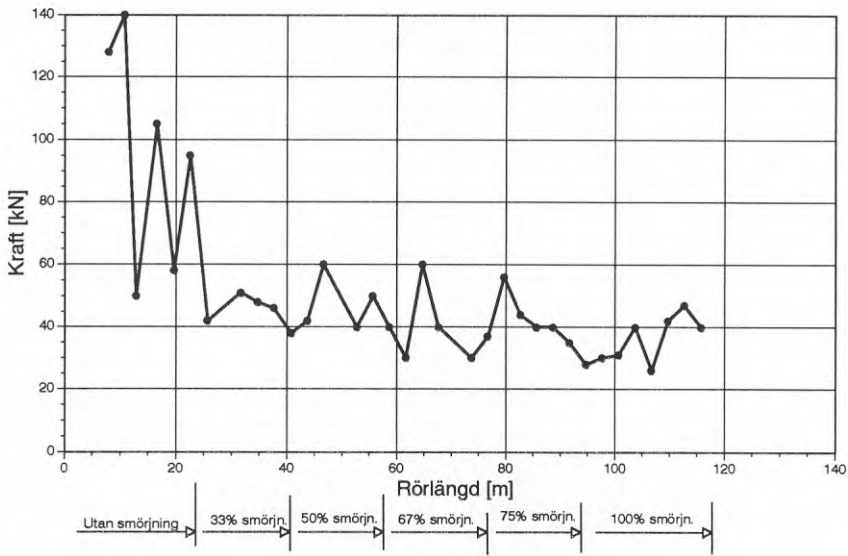
Losspressning

Rörsträngen fick efter genompressning i mottagningsbrunn suga fast i 60 timmar. Därefter försökte man pressa fram hela rörsträngen utan att smörjvatten hade kopplats till rören. Vid en total presskraft av 105 ton lossnade rörsträngen och kraften gick därefter ned till 80 ton vid fortlöpande frampressning av den 125,5 m långa rörsträngen.

Försöken i Etapp 2 avslutades med att rören på nytt fick suga fast under 60 timmar varefter hela rörsträngen pressades fram efter det att smörjvatten anslutits till rören. Rören lossnade därvid vid en total presskraft av 70 ton.

Spetskraft

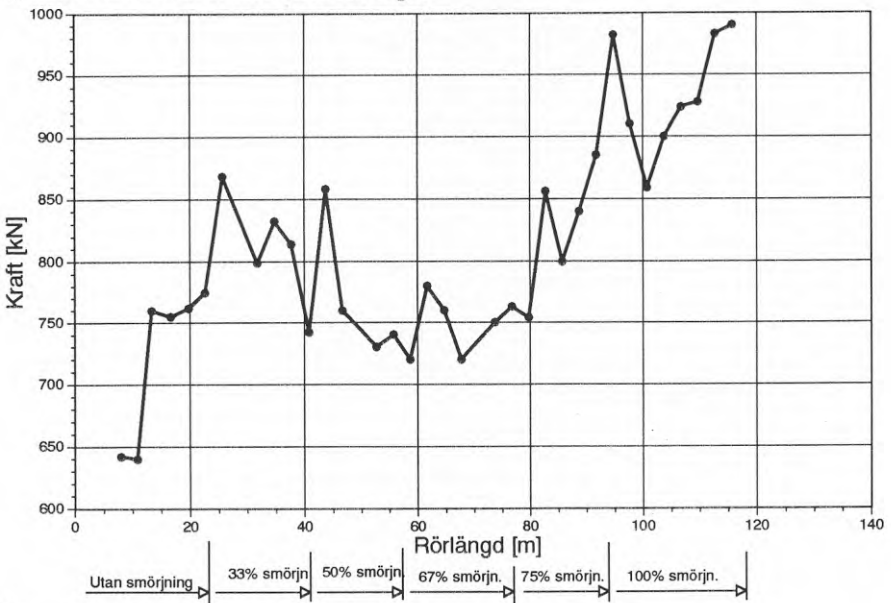
De erhållna spetskrafternas storlek återges i figur 5.18. Spetskrafterna minskar med 50 % vid smörjning och håller sig vid den fortsatta pressningen på ungefär samma nivå. Man har liksom i etapp 1 fått smörjning av styrrörets mantelyta.



Figur 5.18 Spetskrafter, Etapp 2

Mantelmotståndet

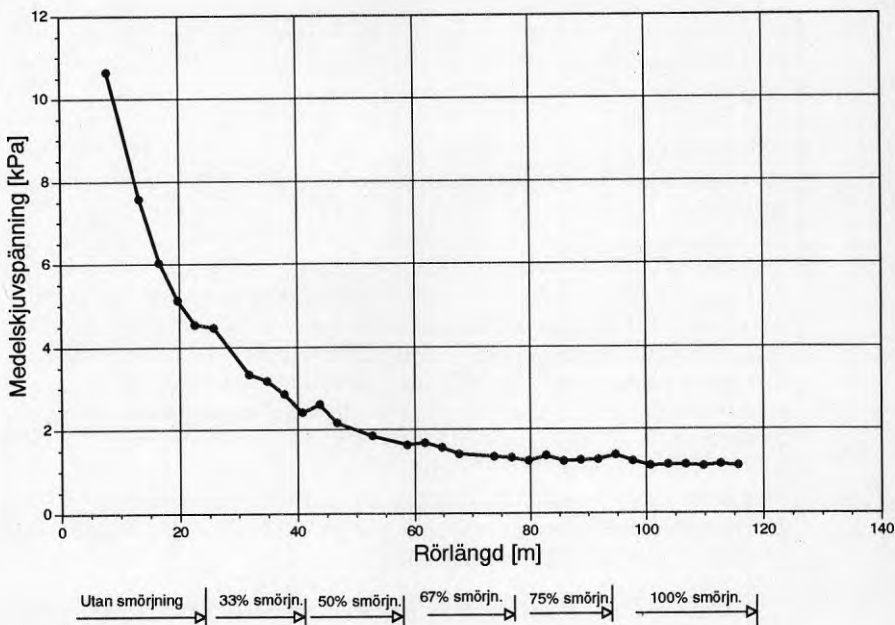
Mantelmotståndet redovisas i figur 5.19. I etappen 2 minskar mantelmotståndet redan vid 33 % smörjning trots att rörlängden ökar. Tendensen är densamma vid 50 % smörjning. Vid 67 % smörjning flackar kurvan ut och mantelmotståndet ändras ej med ökad rörlängd. Med den 75 %-iga smörjningen stiger mantelmotståndet med ökad rörlängd.



Figur 5.19 Mantelmotstånd, Etapp 2

Medelskjuvspänningen

Den beräknade medelskjuvspänningen visas i figur 5.20. I etapp 2 minskade medelskjuvspänningen vid 33 % smörjning till 35–50 % av den medelskjuvspänning som erhöles vid pressning utan smörjning nämligen från 6–10 kPa utan smörjning till 2,8 kPa vid 33 % smörjning. Medelskjuvspänningen minskade ytterligare vid 50 % smörjning till 1,8 kPa. Vid 67 % resp. 75 % smörjning minskade medelskjuvspänningen till ca 1,4 kPa och låg kvar på den nivån. När man ökade smörjningsgraden till 100 % stabiliserade sig medelskjuvspänningen till ungefär 1,0 kPa.



Figur 5.20 Medelskjuvspänningar, Etapp 2

Grundvattennivåer

Vid pressning av rör i etapp 2 låg grundvattnets trycknivå vid tryckbrunnen 0_{ny} på ca +8 m eller ca 2 m över rörhjässan. Vid mottagningsbrunnen låg rörets hjässa 0,5 m under grundvattennivån som låg på ca +7,5 m.

Smörjvattentryck och flöde

Resultat från mätningarna av de olika smörjvattentrycken och flödena i etapp 2 visas i bilaga 3, sid 5–6.

Smörjvattentrycket på matarledningen i tryckbrunnen låg till en början av etapp 2 på 2,5 bar eller 250 kPa. Smörjvattenförbrukningen var därvid till en början ca 20 l per min men ökade mycket snart till 30 l per min. När man såg att smörjvattenflödet fortsatte att öka minskades trycket på matarledningen i tryckbrunnen till 1,5 bar. Trycket på i nipplarna utgående smörjvattnet var även i detta fall oberoende av smörjvattentrycket vid tryckbrunnen.

Det uppmätta trycket på utgående smörjvatten vid smörjniplarna på tuben visade även här ungefär samma tryck som smörjvattentrycket på den högst belägna delen av mantelytan eller 0,25 bar. Detta tryck motsvarar beräknat tryck för att hålla en spricka öppen i jorden. Hydraulisk spräckning har alltså inträffat.

Riktning

Tubens avvikelse i sidled var liten i brunn 22. Brunnen i sig själv hade en avvikelse av endast 18 mm.

Förteckning över uppmätta vattengångar i supertuben på sträckan 0_{ny} -22 visas på Stockholm Vattens ritning nr 1-5948-118-0. Den teoretiska vattengången i centrum brunn 0_{ny} var +3,50 och brunn 22, +5,17, och lutningen således 13 ‰.

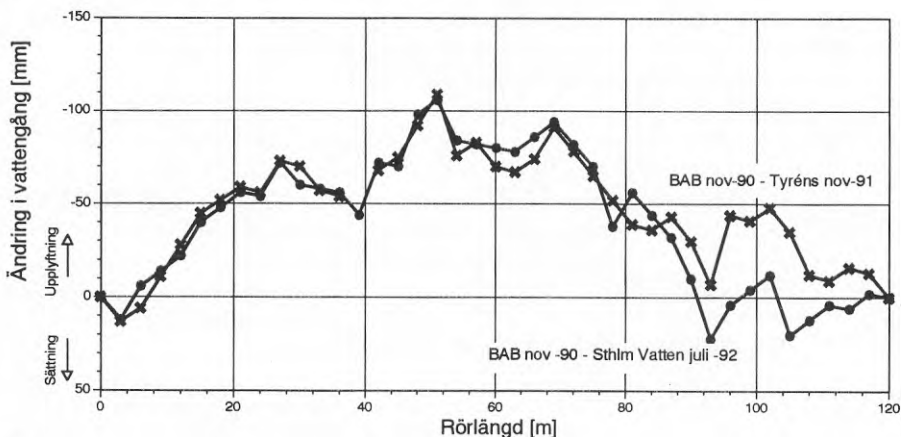
Deformation

I betongrör förekom ingen mätbar deformation av rören efter pressning och installation.

Upplyftning

Betongrörens tyngd är sådan att någon upplyftning av rören inte bedömdes förekomma. För att ändå kontrollera tubens avvikelser från avsett läge i vertikalled avvägdes vattengången i tuben dels i samband med slutbesiktning, dels senare vid ett tillfälle. Avvägningen inför slutbesiktningen gjordes i november 1990 genom entreprenörens försorg och finns redovisad på relationsritning.

Tyréns har dessutom gjort en avvägning av vattengången i november 1991. Resultaten av avvägningarna redovisas på figur 5.21 varav framgår ändringen i höjdläge i förhållande till relationsritningen.



Figur 5.21 Upplyftning av betongrör efter avslutad rörpressning, Etapp 2

Det framgår alltså tydligt att röret har flutit upp med som mest ca 100 mm, d.v.s. lika mycket som GAP-rören.

En senare mätning visar att rören börjat sätta sig.

5.9.2.2 Mätresultat avseende omgivningspåverkan

Portryck

Resultaten från portrycksmätningarna i etapp 2 framgår av bilaga 4, sid 5-7.

Man får här samma erfarenheter som vid etapp 1, men påverkan märks tidigare och kvarvarande tryck är större.

Grundvattennivåerna som mättes i jord vid mätstation 5, etapp 2, var konstanta under pressningsarbetets gång.

Jordtryck

Resultat från jordtrycksdosorna i etapp 2 framgår av bilaga 5, sid 3.

Även vad gäller jordtryck får man samma erfarenheter som vid etapp 1, d.v.s. kvarvarande jordtrycksförändringar, (totaltryck).

Vertikalrörelser

Resultaten från uppmätta sättningar under pressningsarbetena i etapp 2 återfinns man för mätstationerna 4, 5 och 6 i bilaga 6, sid 5-7.

Några observationer av långtidssättningar har inte kunnat göras p.g.a. byggnadsverksamheten inom området.

Sättningarna är små även i denna etapp. Man kan urskilja en liten hävning när fronten närmar sig.

Horisontalrörelsemätning

Sidopressning av jorden mättes med inklinometer. Resultaten från mätningarna i etapp 2 har redovisats i bilaga 7, sid 3.

Sidorörelserna är även här små.

5.9.3 Övriga observationer

Hinder

Under pressning av GAP-rören i etapp 1 skadades luckorna i styrrörets front p.g.a. förekomsten av sten och block i lermassorna vid ett antal tillfällen. Vid ett tillfälle fastnade skopan för utlastning i styrröret p.g.a. sten.

Vid pressning av betongrör i etapp 1 förekom vid ett tillfälle sten och block som kilade fast mellan släden och betongtubens botten och man fick skador på urdragswiren.

Hindren i form av sten och block märkte man under pressningen i första hand genom att presskraften fick ökas. Mertiden som entreprenören redovisade för schaktningsarbeten p.g.a. sten och block var dock liten. Tubens stora dimension gjorde att hindren lättare kunde forceras och borttagning utföras från tuben.

Isärpressning av betongrör

Under pressning av betongrör på sträckan $0_{ny} - 22$, etapp 2 trycktes beroende på vattentryck på ändytor rörfogarna vid ett tillfälle isär i de fem främsta rören. Detta inträffade efter framskjutning av styrröret ca 200 mm med hjälp av mellantryckstationen eller framskjutaren i bakre delen av styrröret för att fastställa spetsmotståndet.

Rörelsen fördelade sig förhållandevis jämt mellan fogarna och blev begränsad till max 50 mm. Packningarna i fogarna gled dock in något. Man kunde vid kontroll efter urschaktning av tuben inte märka något läckage. Vid slutbesiktning konstaterades ett visst läckage varvid fogarna med synliga gummiringspackningar fick justeras, tätas och gjutas igen.

Ovalitet hos GAP-rör

Vid besiktning av de levererade Hobasrören kunde man märka olikheter i rören bl.a. en viss ovalitet. I anslutning till att besiktningsprotokoll upprättades för varje rör noterade man även upplagspunktens läge på rören. När rören ställdes i ordning för pressning fick man ibland spänna ut rören för att de skulle passa i fogarna samt vrida dem med hänsyn till tidigare upplagspunkt.

Rotation av rören

Under pressningen observerades att rören roterade kring sin längdaxel. Detta är ett vanligt fenomen vid rörpressning.

Rörhantering

GAP-rören är lätta, vikt ca 700 kg per m, och kan därför hanteras i större längder än betongrören som väger ca 3.600 kg per m. För supertuben i Kista valdes 3 m långa rördelar. Arbetsmomenten blev på detta sätt färre liksom antalet fogar. Hanteringen på arbetsplatsen innebar lätta lyft samtidigt som slagåtligheten hos rören var hög.

Nackdelen med GAP-rören är att Hobasrör som användes i Kista tillverkas i Österrike och därför kräver långa transporter och stora upplagsplatser.

Hobasrören visade olikheter i mått, utförande av kapning och utfräsning. Man var därför tvingad på arbetsplatsen att kontrollera muff- och spetsända på rören för att kunna passa ihop rören rätt vid pressningen.

Betongrören har hög vikt, ca 3.600 kg per m, och måste därför göras korta för att kunna hanteras. I Kista användes standardlängden 1,5 m. Man får därvid flera arbetsmoment med tunga lyft av rör med låg slagåtlighet. Antalet fogar blir stort. Tryckbrunnar kan däremot utföras med mindre diameter vid pressning av korta rör.

Betongrören tillverkas på ett antal platser i Sverige, varför man får korta transporter och kan avropa rören allteftersom.

Vattenläckage till brunnar och i fogar

Vattenläckage vid ingjutning av rör i brunnar förekom vid slutbesiktningen och var oberoende av om det var GAP-rör eller betongrör som gjutits in.

Enstaka fogar av såväl GAP-rör som betongrör visade mindre läckage som kunde tätas. Väggenomföringar för servisledningar i servisbrunnar uppvisade de största läckagen före tätning.

Rörfogar som uppvisade att tuben hade utsatts för upplyftning eller sidokrafter visade till följd av detta inget ökat inläckage.

5.10 Diskussion av resultat

5.10.1 Diskussion av resultat från tuben

I det följande begränsas diskussionen till att gälla den typ av rörpressning som utfördes vid experimentbyggandet i Kista och som är vanlig i Sverige, d.v.s. pressning av rör i lös lera med etappvis urschaktning av jorden i tuben.

De faktorer som begränsar pressningen är följande:

- dels kan presskraften bli för stor så att rörmaterialet inte kan ta upp krafterna eller att det är svårt att ordna mothåll
- dels kan rörpressningen orsaka för stor påverkan på omgivningen

När det gäller att minska presskrafterna använder man mellantryckstationer för att inte driva hela tuben på en gång utan sektionvis. När det gäller omgivningspåverkan syns det som om man inte alltid beaktar denna utan att man inser att den i varje fall blir mindre än vid öppen rörläggning. Påtagligt är att man vid projektering av rörpressningsarbeten använder överslagsberäkningar typ "tumregler".

5.10.1.1 Presskrafter

När röret pressas påverkas det av krafter dels vid fronten, dels längs periferin. Eftersom det handlar om ett brottillstånd i jorden och ganska snabba förlopp brukar man använda en totalspänningsanalys vid beräkningen, se t.ex. Aspegren & Spångberg (1990).

Spetskraft

Resultaten från Kista

Det framgår av diagrammen (figur 5.11 och 5.18) över spetskrafterna att dessa minskar vid smörjning av pressrören. Enär spetskraften är kraften för att skjuta fram styrröret, som i Kista hade en mantelyta av ca 35 m², påverkas totala spetskraften av styrrörets mantelfriktion på grund av smörjningen.

Smörjningen av rören i etapp 1 började med att man satte smörjning på det första röret efter styrröret och således hade kort väg för smörjvattnet att söka sig runt styrröret. I etapp 2 sattes smörjningen in på det femte betongröret eller ca 6 m bakom styrröret. Även i detta fall sökte sig vattnet fram till styrröret.

Jämförelse med teori

Den mätta totala spetskraften kan delas upp i två komponenter:

- Styrrörets mantelmotstånd
- Spetskraft framför fronten (jordbrott)

Mantelmotstånd

Mantelarean är ca 35 m². Eftersom smörjvatten trängt fram till fronten bör man kunna räkna med en kohesion mot styrröret av samma storlek som mot övriga manteln, säg 2,5 kPa. Detta leder till ett mantelmotstånd för styrröret av storleksordningen 85 kN.

Spetskraft vid fronten

Den uppmätta totala spetskraften är ca 100 kN. Den del som härrör sig från jordbrott framför fronten (spetskraft) är alltså av storlek 15 kN.

Ett vanligt sätt att räkna sådant motstånd är enligt formeln

$$P = N_c A_{\text{netto}} c_u$$

där A_{netto} är rörarean och N_c är en bärlighetsfaktor som ofta sätts till 9 för spetsmotstånd hos kohesionspålar o.d. och till 5,5 vid plattbärlighetsberäkningar.

En kontrollberäkning visar snabbt att denna beräkningsmetod ger en mycket liten bärlighetsfaktor, storleksordningen 0,5. Denna metod att räkna, som föreslagits av Aspegren och Spångberg verkar därför inte relevant.

Det finns dock en annan mekanism som kan förklara krafterna:

Broms & Bennermark (1967) har visat att om

$$\frac{\gamma \cdot h}{c} \geq 6$$

får man jordinträngning i ett hål i en spontvägg till följd av plasticering i leran.

I etapp 1 är minsta djupet 5 m, tungheten ungefär 16–17 kN/m³ och skjuvhållfastheten 10 á 12 kPa. Man får då ett värde på N_c i intervallet 6,5–8,5. Det verkar alltså möjligt att mekanismen är den att man i detta fall inte pressar fram röret som en massiv cylinder utan att man snarare styr jordens aktiva inflytning.

I etapp 2 var kraften vid fronten ungefär densamma, eftersom man hade en lägre mantelkohesion men samtidigt en lägre total spetskraft. Då röret i denna etapp ligger ytligare får man ett värde på ca 5,5, vilket alltså inte skulle tyda på samma brottmekanism i detta fall eftersom den mätta spetskraften inte ändras vid de grundare delarna. Samtidigt kan inte den "konventionella" modellen heller förklara krafterna. Det är därför möjligt att mekanismen i verkligheten är en annan.

När röret stansas in i leran skall den brytas ner så att den kan passera in genom frontluckorna. Denna nerbrytning kräver energi och om man vet nerbrytningsenergin kan kraften beräknas. Liknande diskussioner har förts i skredforsknings-sammanhang (Tavenas m.fl. 1983). Både ett sådant resonemang och modellen med ett aktivt brott i jorden förklarar den relativt lilla omgivningspåverkan som registrerats på jordtrycksdosor och inklinometrar än vad den konventionella modellen gör.

Det saknas alltså idag någon entydig modell för beräkning av spetsmotståndet.

Skjuvkrafter mot rörmanteln

Resultaten från Kista

Vid pressning av etapp 1 (GAP-rör) uppgick medelskjuvspänningen utan smörjning till ca 10 kPa. Med smörjning minskade medelskjuvspänningen, (figur 5.13) vid:

- 33 % smörjning till ung. 4,0 kPa vid 28 m rörlängd
- 50 % smörjning till ung. 3,0 kPa vid 40 m rörlängd
- 67 % smörjning till ung. 2,7 kPa vid 52 m rörlängd
- 75 % smörjning till ung. 2,5 kPa vid 60 m rörlängd
- 100 % smörjning till ung. 2,0 kPa vid 64 m rörlängd

Det framgår här att vid pressningen av GAP-rören på ett medeldjup från överkant rör av ca 5 m fick man vid smörjning av vart 3:e rör (c/c 9 m) en sänkning av medelskjuvspänningen med 50 %. Det betyder att man kunde pressa dubbelt så långt med samma kraft. Vid smörjning av alla rören minskade medelskjuvspänningen till endast 20–25 % av den ursprungliga. I detta fall kunde man alltså med samma kraft pressa 4–5 gånger längre vid smörjning än när man inte hade någon smörjning.

Vid pressning av etapp 2 (betongrör) uppgick medelskjuvspänningen utan smörjning till ca 10 kPa. Med smörjning minskade medelskjuvspänningen (figur 5.20) vid:

- 33 % smörjning till ca 2,8 kPa vid 40 m rörlängd
- 50 % smörjning till ca 1,8 kPa vid 55 m rörlängd
- 67 % smörjning till ca 1,4 kPa vid 75 m rörlängd
- 75 % smörjning till ca 1,4 kPa vid 90 m rörlängd
- 100 % smörjning till ca 1,0 kPa vid 100 m rörlängd

I etapp 2 pressade man betongrör med längden ca 1,5 m på ett medeldjup från överkant rör av ca 3 m. Vid smörjning av vart 6:e rör (c/c 9 m) fick man en sänkning av medelskjuvspänningen med 50–65 %. Detta betyder att man kunde pressa två till tre gånger så långt med samma kraft. Vid smörjning av vartannat rör, som är detsamma som 100 % smörjning, minskade medelskjuvspänningen på sådant sätt att man kan med samma kraft pressa 6 till 10 gånger längre vid smörjning än när man inte hade någon smörjning.

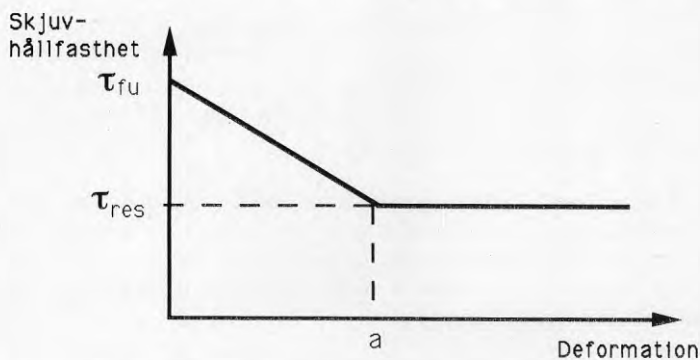
Tekniken att sprida smörjvattnet på rörens mantelyta var densamma för GAP-rör och betongrör. Vid jämförelser mellan GAP-rör och betongrör vad gäller mantelmotstånd måste man beakta att GAP-rören i Kista pressades på ett större djup än betongrören.

Försöken med fastsugning av rören under 3 dygn visar att man vid smörjning kan tillåta sig att stoppa pressningen under exempelvis en helg utan att presskraften vid losspressning behöver nämnvärt överskrida den vid kontinuerlig pressning.

Jämförelse med teori

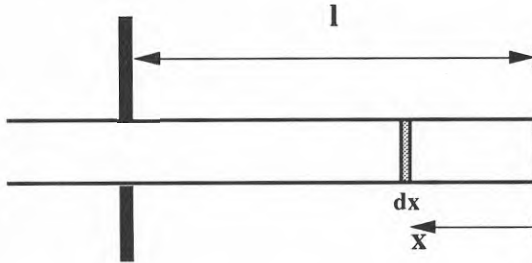
Skjuvkraften mot rören vid pressning bestäms, förutom av tubens längd, av brottskjuvhållfastheten mellan jord och rörvägg, eller eventuellt av jordens skjuvhållfasthet, detta beroende på var brottet sker. Skjuvhållfastheten varierar dessutom med störningsgraden hos jorden (omrörningseffekten) och med eventuell rekonsolidering. Som en övre gräns bör man kunna använda samma beräkningsmetod som vid kohesionspålning, d.v.s. man uppskattar brottlasten till 0,7 ggr den uppmätta odränerade skjuvhållfastheten. Om man antar att denna skjuvhållfasthet verkar längs hela mantelytan på röret torde man få ett alltför högt värde på den uppskattade skjuvhållfastheten, något som kan leda till en alltför stor och dyr insats av tryckbrunnar, mellantryckstationer etc. Samtidigt vet man av erfarenhet att man kan få mycket stora problem med att uppnå erforderliga krafter när man skall sätta igång rör som stått stilla en längre tid, t.ex. över en helg beroende på att leran rekonsoliderat runt röret.

Ett annat sätt att beräkna erforderlig presskraft kan vara att man antar en modell för jordens hållfasthet efter brott enligt följande:



Figur 5.22 Modell för jordens hållfasthet efter brott

Skjuvhållfastheten antas alltså minska linjärt med deformationen, som här antas vara den rörlängd som pressats förbi lerelementet. Man kan beräkna medelskjuvspänningen på rörets mantelyta enligt följande:



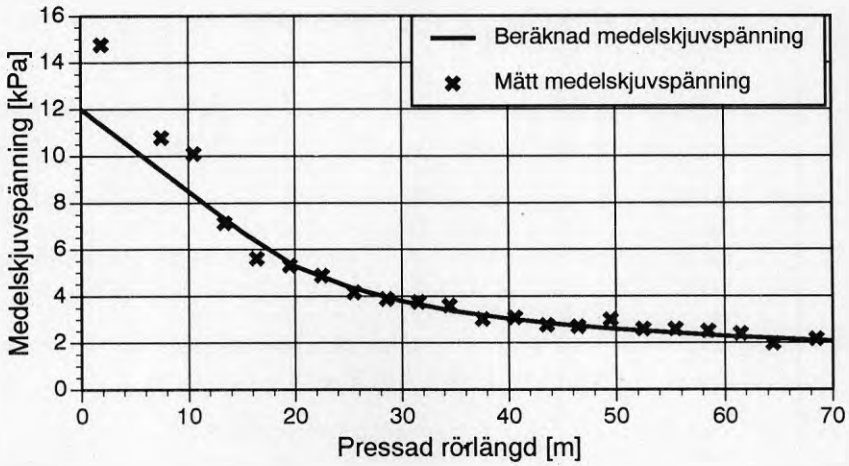
$$\tau_{\text{medel}} = \frac{P_{\text{mantel}}}{2\pi \cdot l} = \frac{2\pi r \int_0^l \tau(x) dx}{2\pi r \cdot l} = \frac{1}{l} \int_0^l \tau(x) dx$$

Figur 5.23 Beräkning av medelskjuvspänning på rörets mantelyta

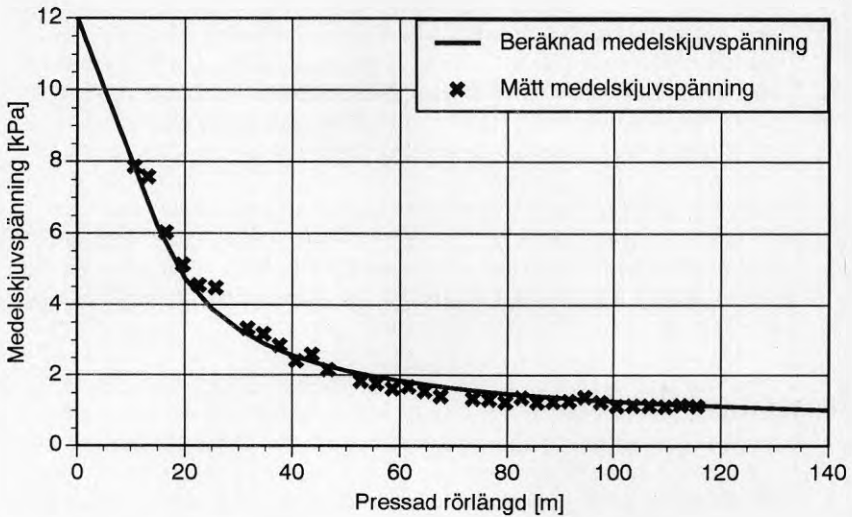
Den föreslagna beräkningsmodellen har tillämpats på supertubens båda etapper, se figur 5.24 och figur 5.25. En förhållandevis god anpassning erhöles genom att variera dels residualskjuvhållfastheten, dels värdet på a . Den ostörda skjuvhållfastheten hölls konstant på 12 kPa.

För GAP-rör, figur 5.24, erhöles en bästa anpassning med $a = 16$ m och $\tau_r = 0,8$ kPa. Anpassningen till mätta värden är dålig för början av pressningen, eftersom det där uppmättes en större skjuvspänning mot röret än lerans odränerade skjuvhållfasthet. Orsaken till detta kan möjligen ligga i kalibreringen av tryck i hydraulsystemet till krafter på tuben.

För betongrören, figur 5.25, fås bästa anpassning med $a = 15$ m och $\tau_r = 0,4$ kPa. Dessa värden syns peka på att hållfasthetsreduktionen blir störst vid betongrören, men det möjliga mätfelet vid GAP-rören gör att någon säker slutsats inte kan dras utan man kan anta att omrörda skjuvhållfastheten är av samma storleksordning.



Figur 5.24 Beräknad medelskjuvspänning enligt etapp 1



Figur 5.25 Beräknad medelskjuvspänning enligt etapp 2

Normalt mäts inte residualhållfastheten på lerprover utan endast s.k. "omrörd" hållfasthet, som är den lägsta hållfasthet som kan nås med mekanisk omrörning av leran, oavsett hur kraftig omrörning som krävs.

För den aktuella leran ligger den omrörda skjuvhållfastheten på ca 0,4–0,6 kPa. För att kontrollera omrörningsarbetets inverkan har även utförts vingborrförsök där lerans skjuvhållfasthet bestämts efter olika grad av omröring. Dessa försök ger vid handen att den omrörda skjuvhållfastheten är av storleken 1–2 kPa, 2 till 3 ggr den som uppmätts i laboratorium. Detta stämmer också med erfarenheten (Larsson 1992).

Visserligen är data knapphändiga och de använda modellerna enkla, men som en hypotes kan framläggas följande:

- A. Smörjningen av rören ger en viss nersättning av erforderlig presskraft, så länge rören inte "växer fast". Troligen begränsas inte möjlig presslängd av denna faktor. Observera dock att inverkan av smörjning är stor när det gäller att förhindra fastväxning genom att porttrycket hålls upp och när det gäller att "få igång" en rörsträng som vuxit fast och att det är här effekten får arbetsteknisk och ekonomisk betydelse eftersom ett fastväxande kan ske även vid kortare uppehåll.
- B. För dimensionering av pressutrustning, rör, mothåll etc kan man utgå från lerans omrörda hållfasthet mätt med vingborr och tillämpa den föreslagna modellen ovan med ett värde på $a = 15$ m.

5.10.1.2 Smörjvattentryck och flöde

Smörjvattentrycket på tubens hjässa varierade i etapp 1 under större delen av pressningen mellan 0,4–0,45 bar eller 4–4,5 mvp. Vid tryckbrunnen låg grundvattnets trycknivå ca 4 m och vid mottagningsbrunnen ca 3,5 m över tubhjässan. Man kan av detta inse att smörjvattnets tryck inte behöver vara särskilt högt. Smörjningen fungerar fullt tillfredsställande när trycket är ca 0,5–1,0 mvp över rådande grundvattentryck.

I etapp 2 varierade smörjvattentrycket på tubens hjässa något men låg i huvudsak kring 0,25 Bar eller 2,5 mvp. Grundvattennivån låg i detta fall 2 m över tubens hjässa. Man kunde därför även i detta fall konstatera att smörjningen ägde rum när smörjvattentrycket överskred grundvattentrycket med 0,5–1,0 mvp.

Tekniken med lågt smörjvattentryck som anpassas till grundvattentrycket ger det bästa resultatet vid smörjning med vatten. Anledningen är att man får en optimal distribution av vatten runt rörsträngen utan att spräcka leran.

Vid pressning av rör, där tekniken med smörjning kan användas, kunde man konstatera att det i fortsättningen är viktigt att kontrollera smörjvattentrycket med hjälp av tryckgivare som mäter vattentrycket på utsidan av röret.

5.10.1.3 Hydraulisk spräckning

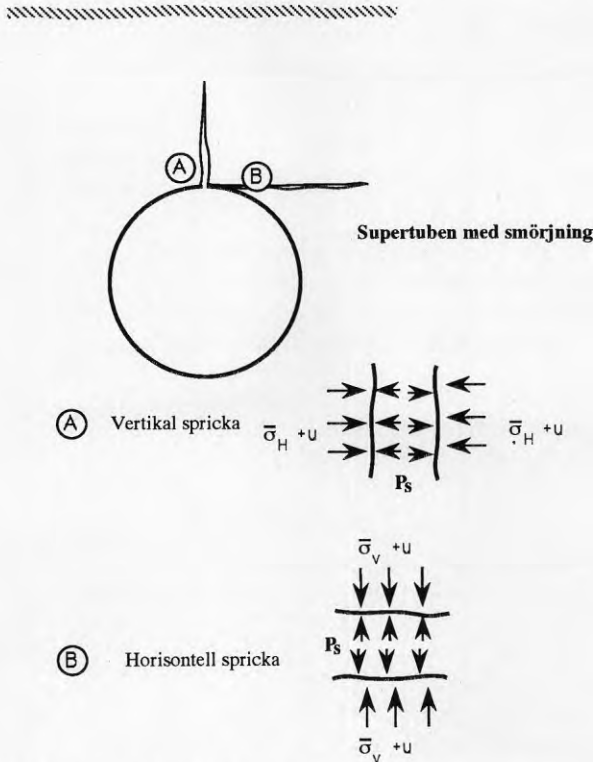
När man släpper på ett vattentryck inuti en tät jordmassa av lera kan man uppnå att denna spräcks av vattentrycket. Detta kallas hydraulisk spräckning, eng. hydraulic fracturing.

En sådan uppspräckning leder till att ett antal sprickor bildas i leran med olika riktning och storlek. Detta system av sprickor ändrar lerans egenskaper lokalt framför allt vad gäller dess vattenledande förmåga så att man åstadkommer en dränerande zon. Man har observerat skillnader i permeabilitet i lera mellan orörd och uppspräckt lera där uppspräckningen ökat permeabiliteten med tre tiopotenser, Bjerrum et al (1972). Det finns alltså skäl att kontrollera om försöken med supertuben utförts på ett sådant sätt att hydraulisk spräckning kan ha uppträtt och att undersöka om ändringar i jordens egenskaper kan påverka antingen tuben eller omgivningen.

Betingelser för hydraulisk spräckning

Hydraulisk spräckning uppkommer när det pålagda vattentrycket orsakar att man får dragspänningar i leran som överstiger dess draghållfasthet. Fenomenet observerades först i lera i samband med att man använde portrycksmätare för att mäta permeabilitet in situ. Problemet har behandlats av Bjerrum m.fl. (1972) där uttryck ges för det maximala vattenövertrycket som kan appliceras innan jorden spräcks för de förhållanden som råder kring en portrycksmätare som pressats ner vertikalt.

För det aktuella fallet, en ytligt belägen tunnel i ett anisotrop spänningsfält, har vi inte hittat någon lösning i litteraturen. Vi kan dock göra antagandet att om sprickor startar så står de öppna så länge vattentrycket i sprickan är större än antingen det vertikala eller det horisontella jordtrycket, se figur 5.26.



Figur 5.26 Hydraulisk spräckning av lera

Den effektiva vertikalspänningen ges av ekvationen

$$\bar{\sigma}_v = \gamma z - u \text{ och den horisontella av}$$

$$\bar{\sigma}_H = K_0 \sigma_v \text{ där } K_0 \text{ är vilojordtrycks-koefficienten.}$$

Vilojordtrycket kan bestämmas antingen genom direkt mätning med jordtrycksdosor och portrycksmätare eller genom att man beräknar det ur jordens egenskaper.

Beräknat vilojordtryck

Vilojordtrycks-koefficienten för lera ges av formeln, se Handboken Bygg (1984).

$$K = [0,31 + 0,71 \cdot (w_L - 0,2)] \cdot \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_v} \right)^{\sin 1,2 \sigma}$$

Under antagande av att leran är normalkonsoliderad får man värden på K_0 av storleken 0,5-0,7.

Man får följande uttryck för minsta smörjvattentryck som kan hålla en redan bildad spricka öppen:

Vertikal spricka:

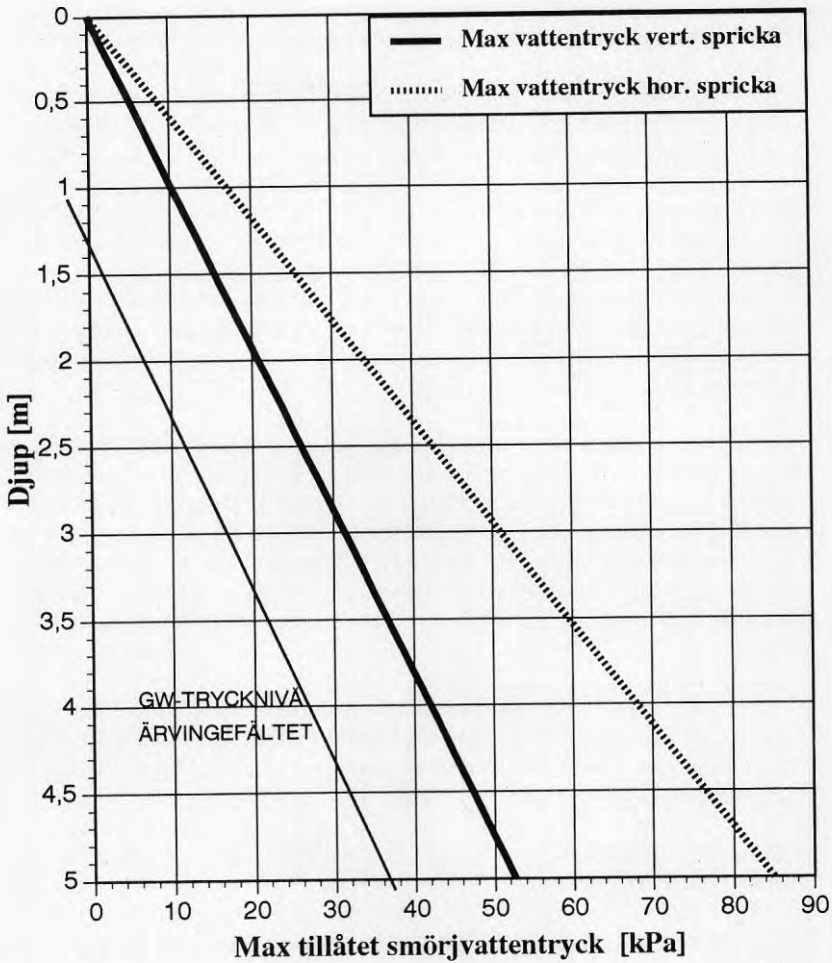
$$P_s \geq K_0 \bar{\sigma}_z + u = K_0 \sigma_z + u (1 - K_0)$$

Horisontell spricka:

$$P_s \geq \bar{\sigma}_z + u$$

Detta innebär alltså att ett pålagt vattentryck utöver rådande portryck i leran som är större än ca hälften av det effektiva vertikaljordtrycket är tillräckligt för att hålla en vertikal spricka öppen och ett tryck större än det vertikala effektiva trycket är tillräckligt för att hålla en horisontell spricka öppen.

En beräkning har gjorts för de portrycksförhållanden som gäller för super-tuben. Resultatet redovisas med tillåtet smörjvattentryck som en funktion av djup under markytan i figur 5.27.



Figur 5.27 Tillåtet smörjvattentryck som funktion av djup under markytan

Med de vattentryck som vid försöken utnyttjats för smörjningen torde det vara helt klart att hydraulisk spräckning inträffat.

Omfattningen av spricksystemet är svår att bedöma, men det förefaller troligt att man fått både horisontella och vertikala sprickor. Forskning har även visat att man kan få sneda sprickor vid uppspräckningen, se Lefebvre m.fl. (1985) så ett rimligt antagande är att det bildats uppspruckna zoner i leran som har en betydligt högre vattengenomsläpplighet än ursprungsleran.

Eftersom erforderligt spräckningstryck ökar med djupet torde zonerna huvudsakligen vara lokaliserade till supertubens hjässa.

Effekt av spräckning

Den främsta effekten av spräckningen torde vara att man får en dräneringsväg för jorden omkring supertuben. I och med detta ändrar man portrycksfördelningen i närheten av supertuben varför sättningar kan uppstå dels över tuben men även under den, d.v.s. man kan få en sättning av själva supertuben.

Möjligheten att utnyttja hydraulisk spräckning för att snabbt få ut sättningar har behandlats bl.a. av Kamon (1981).

En annan och samhörande effekt är att man om supertuben inte är helt tät får ett betydligt större inläckage till den eftersom den effektiva omkretsen ökar.

Det har också observerats, se Lefebvre m.fl. (1985) att värdet på K_0 minskar. Detta skulle kunna medge att jord vid sidorna om tuben rör sig in mot den och att man därför får ytterligare omgivningspåverkan. Man kan även få en ovalitet hos rören om de får ett för dåligt sidostöd.

Man måste också beakta att man genom att pressa in stora vattenmängder i det uppkomna spricksystemet kan få svårigheter vid håltagning för att pressa ut servisledningar från supertuben. Så fick t.ex. ett försök att ta prov på leran utanför ett pressat rör i Beckomberga avbrytas när lerslam pressades in när håltogs i rörväggen en vecka efter avslutad pressning. Detta är också en trolig orsak till att man vid supertuben i Kista observerat att rören med tiden flutit upp och lagt sig mot ostörd, mer hållfast jord i övre delen av den uppspolade zonen.

Vid projektering av supertubsanläggningar rekommenderas därför att man inte låter smörjvattentrycket överstiga 0,4 gånger det effektiva vertikaltjordtrycket över tubens hjässa om man inte gör en särskild utredning av K_0 och spräckningstrycket.

Möjligheten till hydraulisk spräckning kan bedömas ur jordtrycken genom att mäta vilojordtrycken.

Eftersom kalibreringsvärdena på jordtrycksdosorna i Kista visat sig vara osäkra kan avlästa värden endast användas till att bestämma ändringar i jordtryck under pressningens gång och ej för bestämning av vilojordtryck. Man måste därför använda beräknade horisontella jordtryck. Om man beräknar K_0 enligt den formel som givits ovan får man ett medelvärde av 0,5.

Eftersom de pålagda vattentrycken vida överstiger de tryck som ger hydraulisk spräckning finns det alla skäl att anta att en kraftig sådan inträffat. Effekten av denna kan visa sig i

- sättningar av marken över supertuben
- sättningar av själva supertuben
- uppflytning av supertuben

Av dessa har redan uppflytning av tuben observerats. Observation av sättningar av markyta kan inte göras eftersom området bebyggt på ett sådant sätt att markpeglar och sättningsmätare ej är i drift. Senare mätningar inne i tuben visar att sättningar pågår.

5.10.1.4 Deformation av rören

Deformationerna i Hobasrören uppvisar enligt mätningar att vertikala diametern på ena änden av ett rör kunde vara upp till 30 mm större än den horisontella. Normalt låg förändringen i horisontell och vertikal diameter under 10 mm. En starkt bidragande orsak till deformationerna var att man hade fräst ut spår för smörjning på rörens utsida.

Det har visat sig att man p.g.a. måttskillnaderna måste beakta plaströrens deformationer vad gäller rören och deras fogar vid den inbördes placeringen i rörsträngen med hänsyn till:

- rörens egendeformation på marken
- rörens deformation p.g.a. jordlast och grundvattentryck
- rörens vinkeländringar p.g.a. axiell belastning
- inspänning i sänkbrunnar vid fastgjutningar

Vidare bör restriktioner ges för närbelägna markarbeten avseende:

- markstabilisering
- pålning
- spontslagning
- schaktningsarbeten
- bankfyllning
- vibrationer i övrigt (bergschakt, packning)

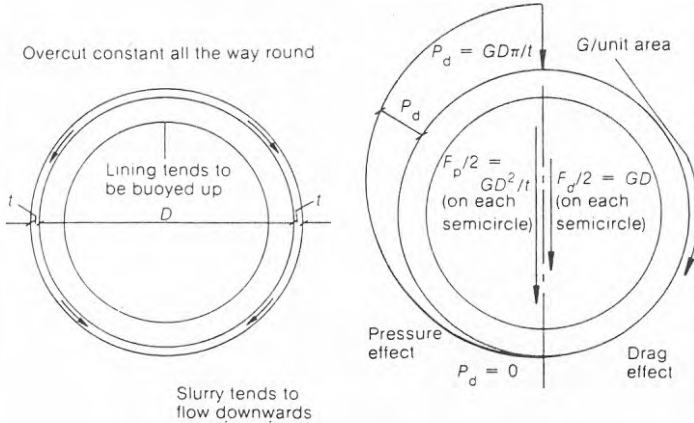
Vid lagring av plaströren på mark uppvisade de måttskillnader i bl.a. horisontellt respektive vertikalt uppmätta diametrar. Denna deformation förändras något när rören har pressats p.g.a. grundvattentrycket.

En mycket starkt bidragande orsak till dessa deformationer hos Hobasrören är att de längsgående urfräsningarna för infästning av remsor för smörjning av rören hade frästs ut mer än de 10 mm som angivits i handlingarna.

5.10.1.5 Tubens riktning

Uppflytningen hos rören har tidigare omtalats. Orsaken till denna uppflytning torde ligga i den kraftiga vattensmörjning som använts.

Washbourne (1984) påpekar det väsentliga i att ha dels en tillräcklig gelstyrka i det smörjande skiktet, dels att det skall vara så tunt som möjligt. Han behandlar i sin artikel smörjning med bentonit, ett lermineral som ger en mer tixotrop slurry än vad som erhålls med svenska illitiska lermineral.



Figur 5.28 Idealiserad slamfördelning
(Ur Washbourne (1984))

Figur 5.29 Krafter i det smörjande skiktet
(Ur Washbourne (1984))

Vid den smörjning som gjordes vid supertuben i Kista hade man vatten som smörjmedel och tillsatte detta vid så högt tryck att man nådde hydraulisk spräckning av jorden. Dessutom tillsattes förhållandevis mycket vatten.

Den sannolika orsaken till uppflytningen är därför att man skapat ett alltför tjockt skikt av omrörd lera utan tillräcklig hållfasthet. Om man kommer över flytgränsen w_F i vattenkvot har ju leran en mycket liten eller ingen skjuvhållfasthet kvar i omrört tillstånd (övergår till att vara vätska).

Det är därför viktigt att man vid utformning av smörjning i anslutning till rörpressning håller vattentrycket och således vattenflödet lågt. Smörjningen skall alltså ske med måttlig vattentillsats och utformas så att den omrörda zonen blir minimal.

Detta medför höga krav på bl.a. styrning och kontroll av inträngande jord för att undvika att jordbrott inträffar i jorden ovanför fronten.

Man kan naturligtvis tänka sig att utföra smörjningen med hjälp av något annat än rent vatten. Bentonitsuspensioner som pumpas ut verkar i så fall att vara ett lämpligt val. Man måste dock därvid beakta att kostnaden för smörjning ökar väsentligt.

5.10.1.6 Isärpressning i rörfogar

Förklaringen till att fogarna till de fem första betongrören gled isär efter det att framskjutaren pressat fram styrröret ca 200 mm och trycket i framskjutarens hydraulcylindrar slagits ifrån är att den enda mothållande kraften, mantelkohesionen, var låg på de främsta rören.

Medelskjuvhållfastheten vid rörens mantelyta var vid tillfället ca 1 kPa. Kraften för att kunna få ett av de $\varnothing 2,4$ m stora och 1,5 m långa rören att glida blev därför endast ca 1 ton.

Smörjvattentrycket var vid tillfället ca 1 bar. Detta vattentryck kunde verka på den del av fogarna mellan rören som låg utanför gummiringspackningarna. Det inspolade vattnet i fogarna gav alltså upphov till krafter som verkade på en del av rörens ändytor.

Vattentrycket kunde verka på en bredd av ca 100 mm av fogen som har längden 7,5 m. Med 1 bars tryck blir kraften som kan pressa på rörens fogar ca 7,5 ton. Den kraften var mer än tillräcklig för att övervinna mantelkohesionen.

Åter accentueras det faktum att lågt smörjvattentryck ger bästa resultatet. I det fall att man har en utrustning med framskjutare bakom styrröret måste man försäkra sig om att den ger tillräcklig motkraft.

5.10.2 Diskussion av resultat från omgivningspåverkan

Sättningar kan delas in efter ett antal olika principer nämligen:

Pågående och förutsägbara tillkommande sättningar

Kort- och långtidssättningar

Sättningar hos själva supertuben och sättningar hos omgivningen.

Efter sättningarnas utbredning, i områdestäckande respektive lokalt över supertuben.

5.10.2.1 Pågående sättningar

Dessa orsakas oftast av portryckssänkningar och/eller uppfyllnader. Pågående sättningar i ett område påverkar en supertub på samma sätt som konventionellt förlagda ledningar. Känsliga punkter är ofta övergången från fasta punkter t.ex. brunnar där tvärkrafter kan uppkomma vilket ibland kan styra materialvalet i tuben.

Man skall observera att supertubsprincipen medger en viss justering av de ledningar som förlagts i tuben.

Vid den geotekniska projekteringen skall man alltså undersöka om det förekommer pågående sättningar, t.ex. genom kontroll med kommunen, provtagning och ödometerprovning, portrycksmätningar etc.

5.10.2.2 Förutsägbara sättningar

Till dessa hör ett flertal olika sättningar med olika orsaker. De kan lämpligen delas in i sättningar som är oberoende av supertuben och sättningar som orsakas av denna.

Sättningar oberoende av supertuben

Dessa orsakas av kommande portryckssänkningar eller lastökningar. Dessa måste förutsägas med hänsyn till trolig framtida användning av området och annan yttre påverkan, t.ex. minskad tillrinning av grundvatten eller stadsplanlagda gatunivåer etc.

Sättningar orsakade av supertuben

Supertuben orsakar själv sättningar, dels direkt i samband med pressningen, dels på längre sikt genom utdränering.

Sättningar vid pressningen

I litteraturen finns redogörelser för sättningar som uppstår vid rörpressning i styvare jordar, se främst Attewell, Yeates och Selby (1986). Deras resonemang och undersökningar hänför sig främst till engelska arbeten där tekniken skiljer sig från rörpressning i svensk lös lera. Principresonemanget bör dock kunna tillämpas även på supertuben.

Sättningarna orsakas av att man vid drivningen avlägsnar mer jord än vad som motsvarar rörets volym. Orsaken finns vid tre punkter: fronten, styrröret och vid själva rörsträngen.

Vid fronten ändras spänningarna i jorden och den deformeras in mot röret. Under vissa betingelser kan till och med jordbrott med följande inströmning i röret ske. Detta är analogt med fallet med jordinströmning genom hål i spontvägg, se Broms & Bennermark (1967).

Den vid jordinströmningen förlorade mängden jord bör alltså ha någon relation till hur hårt ansträngd jorden är. Detta beror på två saker, hur stor del av skjuvhållfastheten som är tagen i anspråk samt på om pressningen går så snabbt att deformationer i jorden inte hinner utbildas. Efter veckoslutsuppehåll bör man alltså räkna med en större jordpåverkan än under pågående pressning.

Styrröret kan orsaka att det strömmar in för mycket jord i röret främst när man gör riktningsförändringar och det skär ut ett ovalt hål.

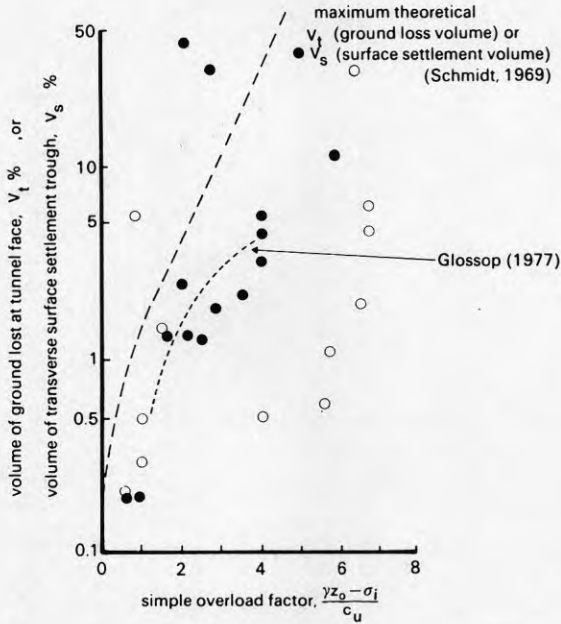
Vid själva rörsträngen orsakas jordförluster av att jorden sluter sig efter styrröret som ofta är överstort för att man skall minska friktionskrafterna.

För praktisk beräkning av sättningar i kohesionsjord anger Attewell, Yeates och Selby (1986) att den totala volymen är för mycket utgrävd jord 0,5-2,5 % av den totalt urschaktade volymen.

Man ger även ett diagram som baseras på överlastfaktorn vilken definieras som

$$\frac{\gamma \cdot z_0 - \sigma_1}{c_u}$$

och där z_0 är djupet till tunnelns centrum och σ_1 är eventuellt mottryck i tunneln.



Figur 5.30 Sättningsvolym som funktion av överlastfaktor (Ur Attewell m.fl. 1986)

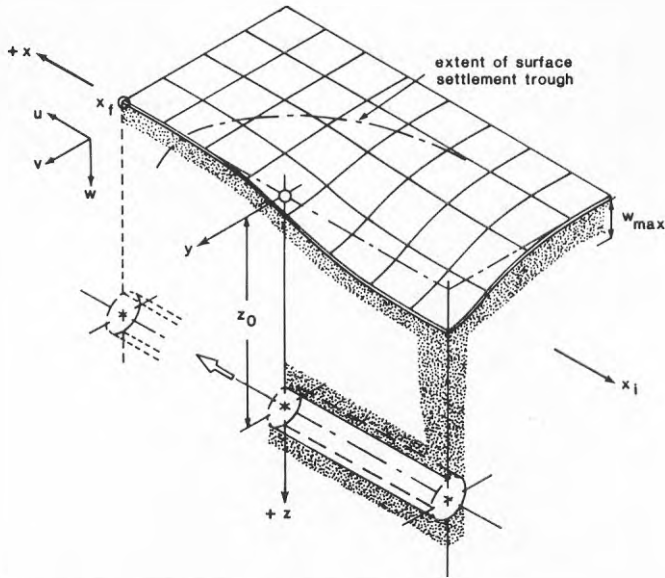
Man anger också en formel enligt Glossop

$$V_s (\%) = 1,3 \cdot \text{överlastfaktorn}^{-1,4}$$

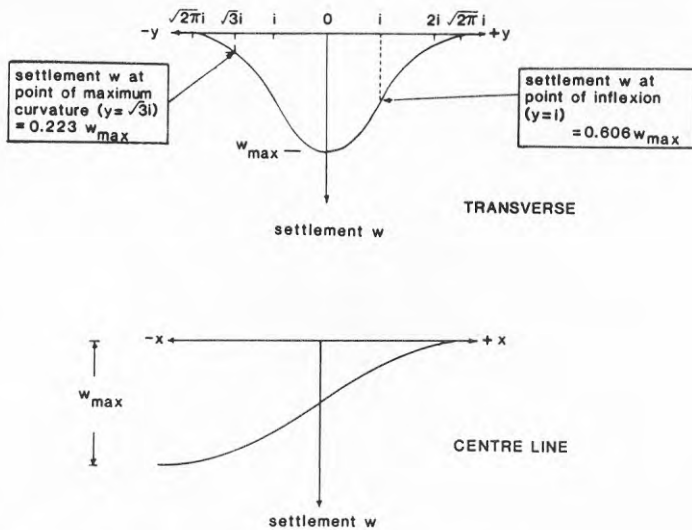
där $V_s (\%) =$ volymen av sättningsstråget på markytan per längdenhet uttryckt i procent av urschaktad volym vid rörfrenten.

Man kan dock inte direkt använda dessa värden på svenska förhållanden, beroende på lösare jordar och annat drivningsförfarande, men de kan tjäna som en bas för sättningsbedömningen. Man kan t.ex. beakta effekten av luckan i styrröret som ju hindrar okontrollerad inströmning, som ett inre tryck i röret, motsvarande en korrigerad spetskraft dividerad med arean.

När det gäller sättningsfördelningen vid markytan anger Attewell att den i tvärsnitt har samma form som normalfördelningens sannolikhetstäthetsfördelning och att den i längdsektion följer normalfördelningens kumulativa sannolikhetsfunktion, se figurer nedan.



Figur 5.31 Sättningsfördelning vid markyta
(Ur Attewell m.fl. 1986)



Figur 5.32 Sättningsfördelning tvärs respektive längs tuben
(Ur Attewell m.fl. 1986)

Av figurerna framgår att man kan bestämma sänkningstrågets utseende med hjälp av dess volym per längdenhet V_s och formfaktorn i .

Sätt att uppskatta volymen V_g har redan angivits.

I Attewell, Yeates och Selby (1986) citeras olika uttryck för bestämning av i . Man ger dock rådet att använda ett värde på i mellan 0,4 och 0,7 gånger djupet till tunnelns centrumaxel, där det högre värdet gäller lösa, siltiga leror.

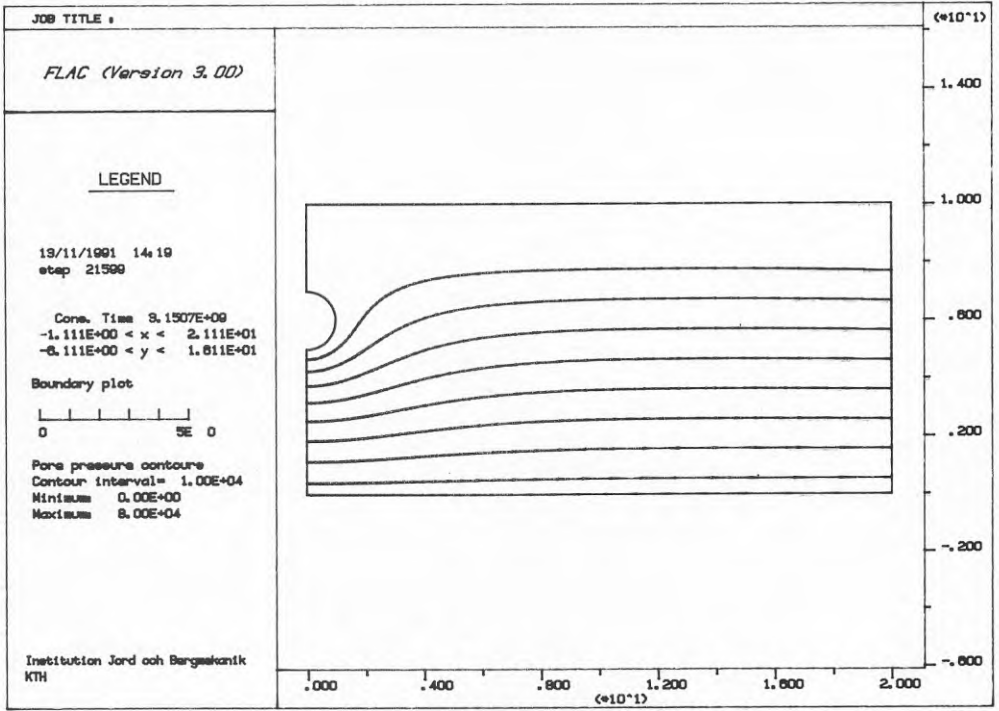
Med hänsyn till metodskillnader vid tunnelpressning och rörpressning bedömer vi det lämpligt att använda det enkla sambandet tills mer erfarenhet vinnns. Ur värdet på i kan man bestämma sättningstrågets bredd till 5 i och dess största värde w_{\max} ur uttrycket

$$V_s = 2,5 i w_{\max}$$

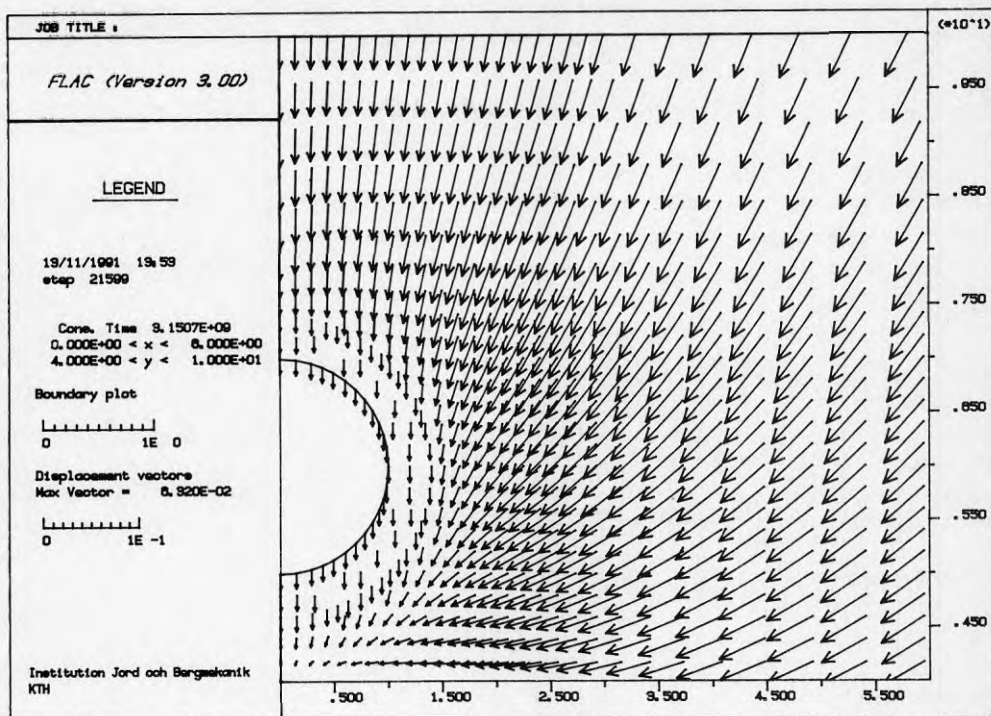
5.10.2.3 Långtidssättningar

Supertubens rör kan vara otäta i skarvar eller genom att rörväggen inte är impermeabel. Trycket inuti supertuben är ofta lägre än portrycket i omgivande jord. Dessa faktorer medför tillsammans att man kan få en portryckssänkning runt supertuben. Denna kan sedan ge upphov till sättningar både i jorden över supertuben och av tuben själv. Eftersom forskningsprojektet i Kista inte kunnat ge ostörda sättningsobservationer får man här lita till beräkningar. Att sättningar uppkommit vid supertuben har observerats vid mätningar inuti tuben. Det måste dock beaktas att dessa inte är helt representativa för sättningar hos jord som inte utsatts för en så kraftig hydraulisk spräckning som fallet var vid supertuben.

Resultatet av en numerisk analys med FLAC (ett finita differensprogram) visas nedan. Analysen har gjorts under antagande att rörväggen har samma permeabilitet som leran, vilket kan vara en rimlig approximation för betongrör, och visar dels att man får en portryckssänkning, dels de beräknade sättningarna.



Figur 5.33 Beräknade portryckssänkningar



Figur 5.34 Med FLAC beräknade sättningar

På basis av de mätningar som nu finns går det inte att ge mer än rekommendationen på säkra sidan att anta att en portryckssänkning kommer att uppträda och att den kommer att ge upphov till sättningar.

Hur stor portryckssänkning kommer att bli måste bedömas från fall till fall. En bedömning på säkra sidan är naturligtvis att portrycket i rörets närhet sänks till 0 (= lufttrycket) och att sänkningen sker inom ett relativt vid sänkningstratt både över och under röret.

Sättningarna beräknas sedan konventionellt med "vanliga metoder".

5.10.3 Utvärdering av GAP-rör resp. betongrör

Med erfarenhet från försöken i anslutning till experimentbyggandet i Kista har utvärdering av GAP-rörens resp. betongrörens för- resp. nackdelar gjorts. Resultatet av utvärderingarna har sammanställts i figur 5.35:

Material	GAP-rör		Betongrör		För- mån- ligast	Kommentar
		Värde- ring		Värde- ring		
Ytterdiameter	2,4 m		2,4 m			Likvärdiga
Innerdiameter	ca 2,3 m	+	2,0 m	-	GAP	
Effektiv innerarea	4,1 m ²	+	3,1 m ²	-	GAP	
Godstjocklek	55 mm	+	200 mm	-	GAP	
Vikt/enhet	0,7 ton/m	+	3,6 ton/m	-	GAP	
Rörlängd	3 m	+	1,5 m	-	GAP	
Fogar						Btg-rör beprövade
Elasticitet		+		-	GAP	GAP-rör ny utformning
Deformation		-		+	Btg	
Passning mellanrör		-		+	Btg	GAP-rör mäts in och numre
Slagtålighet		+		-	GAP	
Framdrivning						
Arbetsmoment		+		-	GAP	
Byggtid		+		-	GAP	
Presskraft utan smörjning		+		-	GAP	
Presskraft med smörjning		-		+	Btg	
Presskraft med smörjning						GAP-rör, fräsning
Ursparingar				+	Btg	Btg-rör, vid gjutn.
Riktningshållning				+	Btg	GAP-rör, lätta
Transp. till arb.plats		+		-	GAP	Btg-rör, tunga
Arbetsplatsyta		(-)		(+)	Btg	GAP-rör tillv. Öst.
Hantering på arb.plats						GAP-rör stora upplag
Brunnsutformning						Anpassas
Inredning						
Håltagning						Likvärdiga
Inredning		-		+	Btg	Större godstj.
Reparationer		-		+	Btg	
Kostnad per m, totalt						Likvärdiga

Figur 5.35 Materialjämförelse och utvärdering pressrör

6. EKONOMI

6.1 Ekonomi Kistaprojektet

Totala kostnaden

Den totala kostnaden för va-försörjningen av Ärvingefältet i Kista fram till nedsläppspunkt till bergtunnel och servisbrunnar, således exklusive servicearbeten, fördelar sig enligt följande:

• Kostnader för pressning av supertuben i Kista	14.725.000:-
• Kostnader för servisbrunnar	1.268.000:-
• Kostnader för rörinredning i supertuben	<u>2.069.000:-</u>
Summa kronor	18.062.000:-

Kostnader för pressning av supertuben i Kista

Rörpressningsarbetena utfördes av BAB Construction AB. De av Stockholm Vatten AB redovisade kostnaderna är de av entreprenören fakturerade kostnaderna för pressningsarbetena. Kostnadsläget är att hänföra till 1989 års prisnivå.

Totalkostnaden omfattar pressning av 580 m rör, supertub, i tre olika riktningar samt utförande av 2 tryckbrunnar, 3 mottagningsbrunnar samt röjning av hinder i form av sten och block.

Totalkostnaden för pressning uppgår till 14.725.000 kronor.

Kostnader för servisbrunnar

Brunnarna utfördes som teleskopiska sadelbrunnar på supertubens hjässa.

Arbetet med brunnarna utfördes av BAB Construction AB under år 1990 och Stockholm Vatten AB redovisar entreprenörens fakturerade belopp för denna entreprenad. Kostnadsläget är i detta fall att hänföra till 1990 års prisläge.

Kostnaderna omfattar 18 brunnar för servisanslutningar och uppgår till 1.268.000 kronor.

Kostnader för rörinredning i supertuben

Rörinredningarna i supertuben utfördes av Carlu Vanadis. De av Stockholm Vatten AB redovisade kostnaderna är det av entreprenören totalt fakturerade beloppet för rörinredningsentreprenaden. Kostnaderna hänför sig till 1990 års prisläge.

Kostnaderna omfattar komplett rörinredning i supertuben och i 5 st tryck- och mottagningsbrunnar samt i 18 brunnar för servisanslutningar till en total längd av 2.200 m va-ledningar samt installation av erforderliga smidesvaror och uppgår till totalt 2.069.000 kronor.

6.2 Ekonomisk jämförelse med traditionell rörgrav

Stockholm Vatten AB har utfört kostnadsberäkningar jämförbara med kostnads kalkyler vid anbud för alternativet med konventionellt lagda rör i 1990 års prisläge.

En sammanställning av kostnadsberäkningen ger följande resultat:

Sammanställning av utförda kostnadsberäkningar

<i>Arbete</i>	<i>Kronor</i>	<i>Summa kronor</i>
Förberedelser, schakter	10.742.800:-	
Fylln. förstärkn. drän.	3.896.800:-	
Överbyggnader m.m.	230.300:-	
Rörledningar m.m.	<u>1.769.700:-</u>	
Nettokostnad		16.639.600:-

Allmänna omkostnader på arbetsplatsen

Arbetsledning 12,0 %	1.996.700:-	
Omkostnader 31,5 %	<u>5.241.500:-</u>	
Etablering 10 %		
Vinterkostn. m.m. 10 %		
Oförutsett 10 %		
Garantisummor 1,5 %		
Arbetsplatskostnad		23.877.800:-
Centraladministration, oförutsett, risk och eventuell vinst, CRV, 15 %		3.581.700:-
Summa kostnader eller anbudssumma		27.459.500:-

Beräkningsförutsättningarna för alternativet med konventionell rörläggning är enligt följande:

1. Planläge identisk med supertubens.
2. Val av ledningsslag identisk med supertubens, med undantag för vattenrör.
3. Vita segjärnsrör användes.
4. Djup typsektion: 2,8 m.
5. Pålad platta, B = 2,85, Pållängd = 8 m
6. Kvarstående spont, nedslagningsdjup = 7 m.
7. Spont slås för serviser.
8. Håltagning i spont för servisgenomföringar.
9. Servislängd = 5 m.
10. Bullerdämpande åtgärd för spont- och påslagning vidtas.
11. Hänsyn tagen till brandposter, avstängningsventiler och nedstigningsbrunnar.
12. Tillfällig väg L = 800 m, B = 4 m anlägges.
13. Utsättning och inmätning enligt "facit" = 50.000:-.
14. Försäkringar enligt "facit" = 50.000:-.
15. Arbetsledning 12 % = statistisk uppgift.
16. Omkostnader 31,5 %:
 - Etablering 10 % - statistisk uppgift
 - Andra omkostn.: 10 % - vinterkostn./statistisk uppgift
 - Oförutsett: 10 % - uppskattat
 - Garantisummor: 1,5 % - enligt "facit"
17. Hårdgjorda ytor ingår ej.
18. Inga störande ledningar och kablar.
19. C.R.V. = 15 % - statistisk uppgift.
20. Typsektion enligt bilaga.

Kostnadsjämförelsen visar att ett utförande med konventionell läggning av va-
ledningar visar sig vara mer än 50 % dyrare än ett utförande med supertub i
kombination med sadelbrunnar.

7. SLUTSATSER

Supertubsprojektet var ett experimentbygge och inte ett renodlat forskningsprojekt. Detta gör att viss osäkerhet finns kvar i en del väsentliga frågor.

De frågor som projektet skulle belysa var främst följande:

- Effekten av smörjning jämfört med osmorda rör, både vid framdrivning och vid losspressning
- Skillnad mellan GAP-rör och betongrör i dessa avseenden
- Påverkan på omgivningen vid rörpressning av grova rör
- Lämplig utformning av smörjningssystemet
- Sätt att från supertuben borra/pressa servisledningar

Av dessa frågor kom sättet att borra ut servisledningar aldrig att prövas, detta på grund av att exploatören valde ett annat arbetsutförande med teleskopbrunnar.

Smörjningens effekt

Mätdata är inte helt entydiga och erfarenheterna gäller lera av den typ som finns i Ärvinge, man kan dock observera följande:

Smörjningen har stor praktisk betydelse när det gäller att förhindra fastväxning vid uppehåll och vid losspressning av rör som vuxit fast.

En viss kraftminskning erhålls jämfört med den teoretiskt beräknade. Detta gäller dock endast under den realistiska förutsättningen att man kan pressa röret kontinuerligt.

Skillnad mellan rörmaterial

Beräkningar visar att lerans hållfasthetsättning blir större vid betongrör än vid GAP-rör. Resultatet kan bero på viss osäkerhet i kraftmätningar på GAP-rören. Troligen är inverkan relativt likartad, men man kan även tänka sig att betongrören lättare skapar en omrörd zon i leran närmast rören.

Påverkan på omgivningen

Omgivningspåverkan var liten under mätperioden. Byggandet på området gjorde att man inte kan utföra någon långtidsobservation av sättningar. Mätta rörelser hos själva supertuben visar på vissa sättningsrörelser. Dessa bedöms dock vara orsakade av den hydrauliska spräckning av jorden som orsakades under försöket. Sådana problem torde lätt kunna undvikas vid framtida tillämpningar.

Man skall dock observera att beräkningar visar att ett grovt rör kan orsaka portryckssänkning och sättningar om rörväggen inte är mycket tät.

Utformning av smörjssystemet

I försöken med supertuben i Kista användes ett komplicerat smörjningssystem för att erhålla en jämn fördelning av vattnet på rörets mantelyta. Resultaten visar på att smörjningseffekten erhålles genom att ett lager av omrörd lera bildas närmast rörväggen.

Smörjningssystemet bör därför utformas för att på bästa sätt åstadkomma detta. Troligen behöver man bara tillföra vatten på ett begränsat antal ställen längs röret, men på dessa ställen bör anordningar, t.ex. lämpligt utformade flänsar, finnas som under vattenöverskott rör om leran.

Väsentligt är att man inte arbetar med så höga smörjtryck att man åstadkommer en hydraulisk spräckning av leran.

Följande frågor bör ytterligare belysas innan definitiva slutsatser kan dras om tillämpning av supertubskonceptet:

Pressning av servisledning

Som tidigare nämnts återstår utvecklingsarbetet på denna punkt eftersom man vid Kistaprojektet valde annan metod för att ansluta servisledningarna.

Långtidspåverkan på omgivningen

Beräkningar visar att stora pressade ledningar kan ge sättningar. Detta bör ytterligare utredas och verifieras med fältmätningar så att en bra beräkningsmodell kan ställas upp.

Smörjsystem och smörjmedia

Systemet för tillförande av och val av lämpligt smörjmedium för olika förhållanden behöver ytterligare utredas.

8. REFERENSER

- Andersson J, Olsson L, Stille H (1984). Beslutsmodeller för förundersökningar. Bergytbestämning med kriging. BeFo 81:1/84. Stockholm.
- Aspegren, G & Spångberg, B (1990). Rörtryckning och minitunneling. Utförande, metoder, geoteknik m.m. BFR Rapport R15:1990
- Attewell P B, Yeates J & Selby A R, (1986) Soil movements induced by tunneling and their effects on pipelines and structures. Blackie and Son Ltd, Glasgow
- Bengtsson P-E, Berggren B, Olsson L, Stille, H (1991). Geoteknik och statistik. Partialkoefficienter. Rapport R25:1991. BFR, Stockholm.
- Bjerrum L, Nash J K T L, Kennard R M, Gibson R E (1972). Hydraulic fracturing in field permeability testing. Geotechnique 22, No 2.
- Broms B & Bennermark H (1967). Stability of Clay at Vertical Openings. Proc. ASCE J Soil Mech. a. Found. Div. 93 (1967).
- Handboken Bygg Geoteknik (1984). Liber Förlag, Stockholm
- Kamon K (1981). Fracture drainage pile. Rapporter JoB No. 15. Inst. för Jord- och bergmekanik. KTH
- Larsson R (1992). Personlig kommunikation.
- Lefebvre G, Philiberg A, Bozozuk M, Pare, J-J (1985). Fissuring from hydraulic fracture of clay soil. In Proc. XI ICSMFE, San Fransisco 1985.
- Tavenas Fr, Flon P, Leroueil S, Lebuiss J (1983). Remoulding energy and risk of slide retrogression in sensitive clays, In Symposium on slopes on soft clay, Linköping March 8-10, 1982. SGI Rapport No. 17
- Washbourne, J (1984). Slurry lubrication for jacked tunnel linings. Civil Engineering Technology, Febr 1984

Bilaga 1

Sid 1 (5)

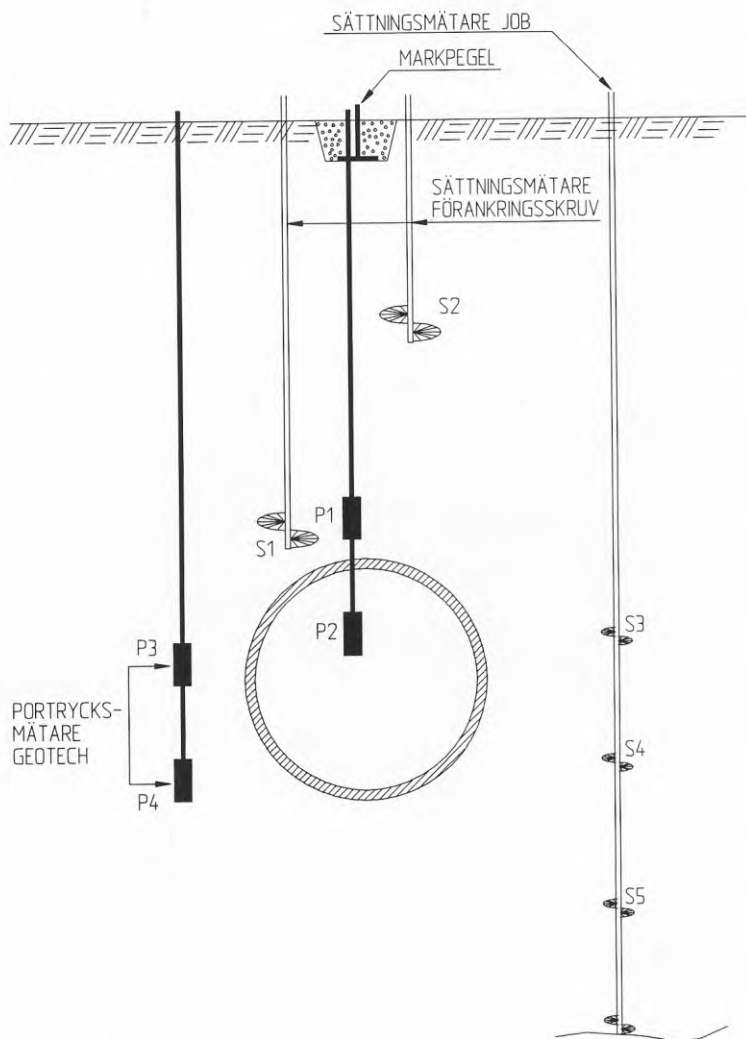
SAMMANSTÄLLNING ÖVER MÄTSTATIONER

Innehåll

	Sid
1. Mätstationerna M1 och M3, Etapp 1	2
2. Mätstation M2, Etapp 1	3
3. Mätstationerna M4 och M6, Etapp 2	4
4. Mätstation M5, Etapp 2	5

Bilaga 1

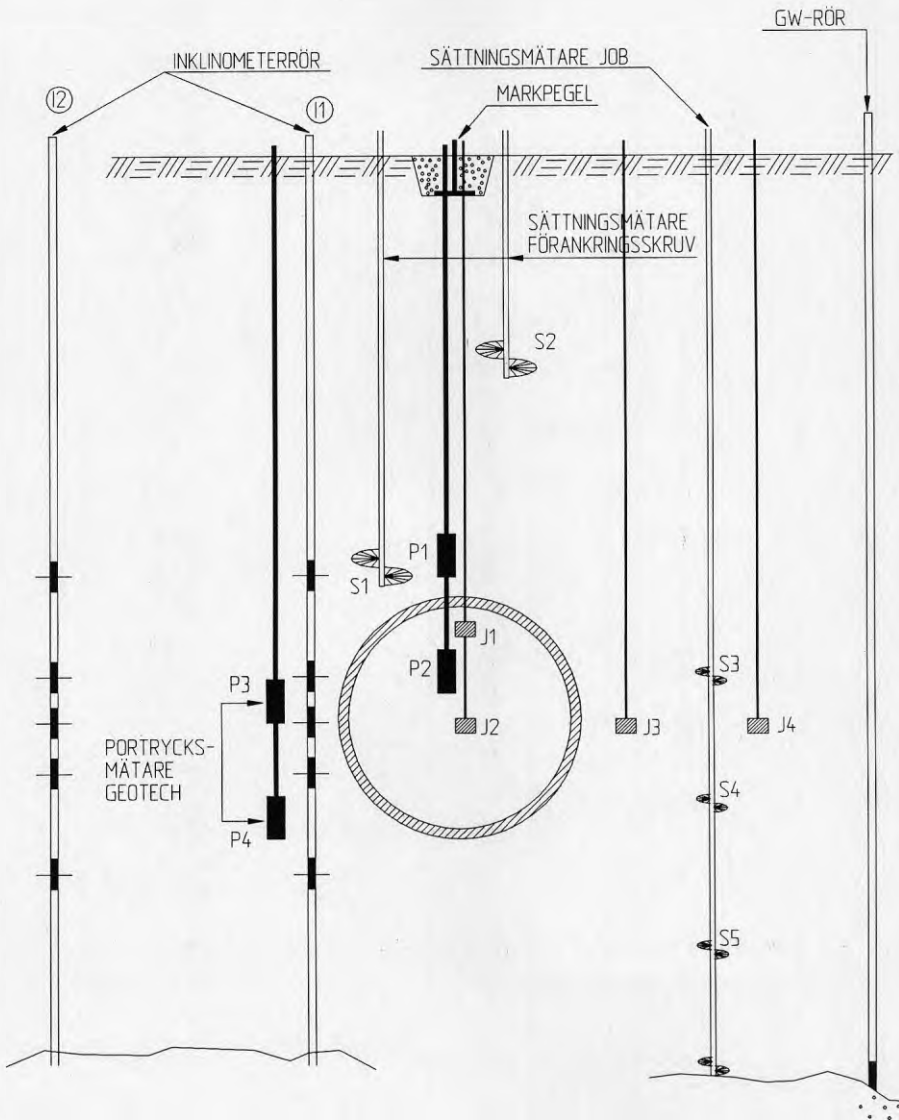
Sid 2 (5)



Sammanställning av mätstationerna M1 och M3, Etapp 1

Bilaga 1

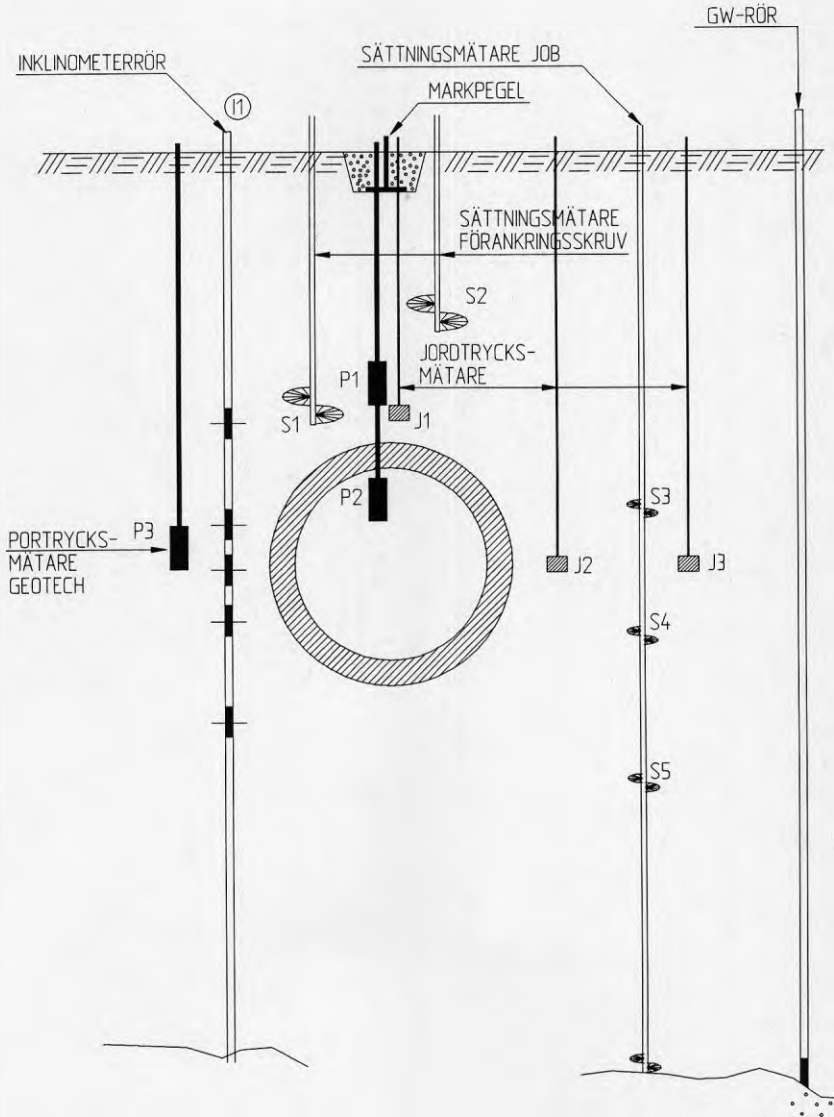
Sid 3 (5)



Sammanställning av mätstation M2, Etapp 1

Bilaga 1

Sid 5 (5)



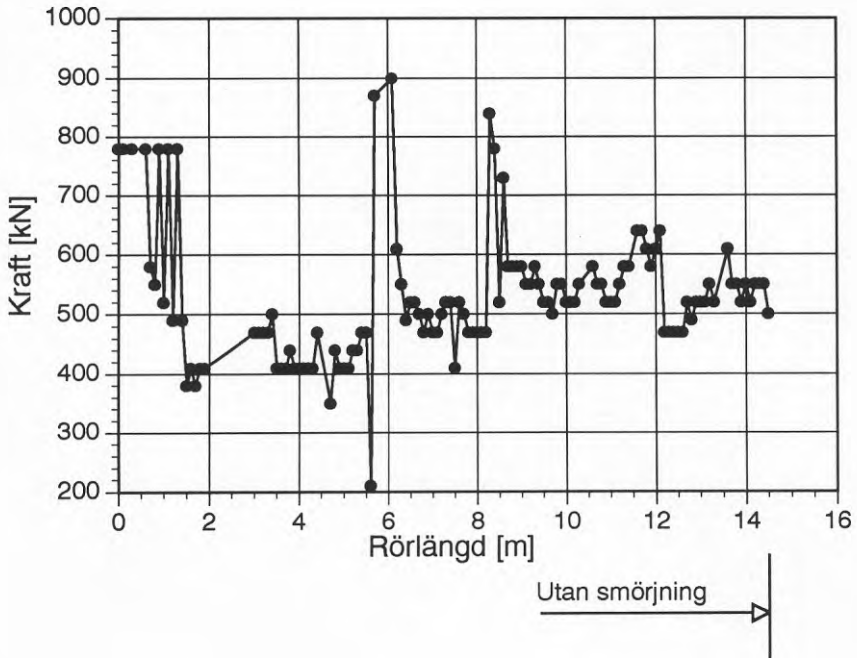
Sammanställning av mätstation M5, Etapp 2

Bilaga 2

Sid 1 (8)

REDOVISNING AV TOTALA PRESSKRAFTER EXKL. FÖRLUSTER

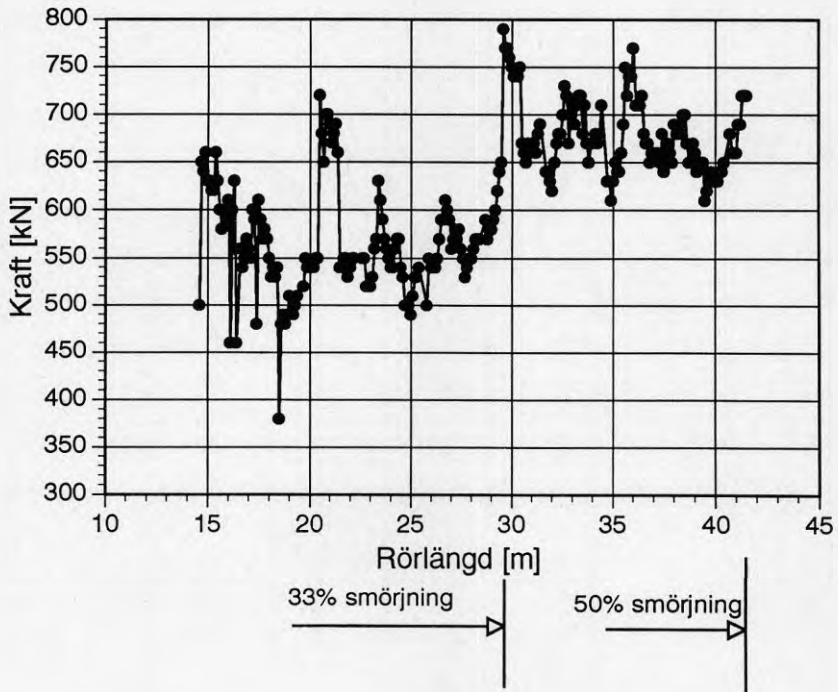
Innehåll	Sid
1. Rörsträcka 0 m – 14,6 m, Etapp 1	2
2. Rörsträcka 14,6 m – 41,5 m, Etapp 1	3
3. Rörsträcka 41,6 m – 70,2 m, Etapp 1	4
4. Rörsträcka 0 m – 25 m, Etapp 2	5
5. Rörsträcka 25 m – 60 m, Etapp 2	6
6. Rörsträcka 55 m – 100 m, Etapp 2	7
7. Rörsträcka 90 m – 130 m, Etapp 2	8



Ettapp 1.

Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 0 m - 14,6 m.

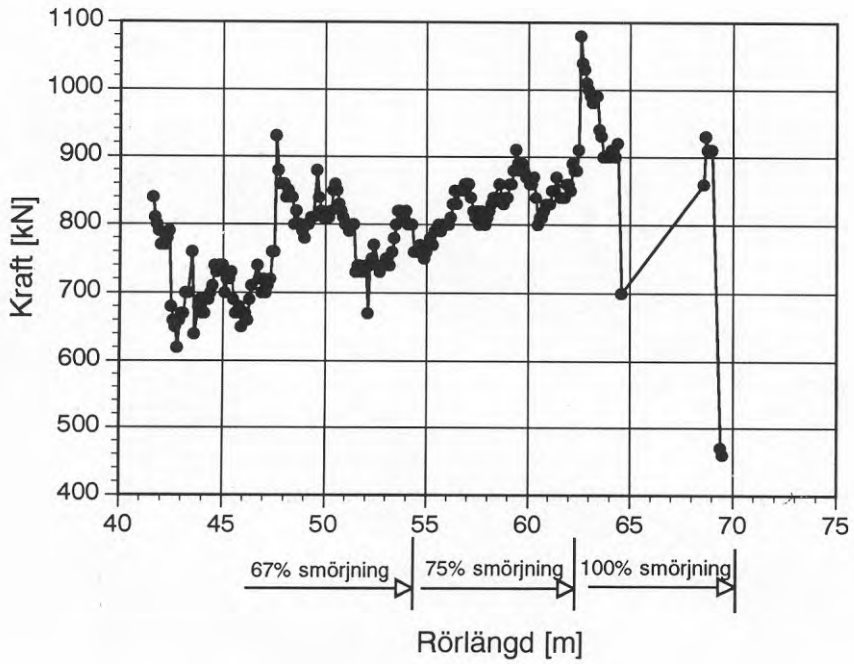
Bilaga 2
sid 3(8)



Ettapp 1.

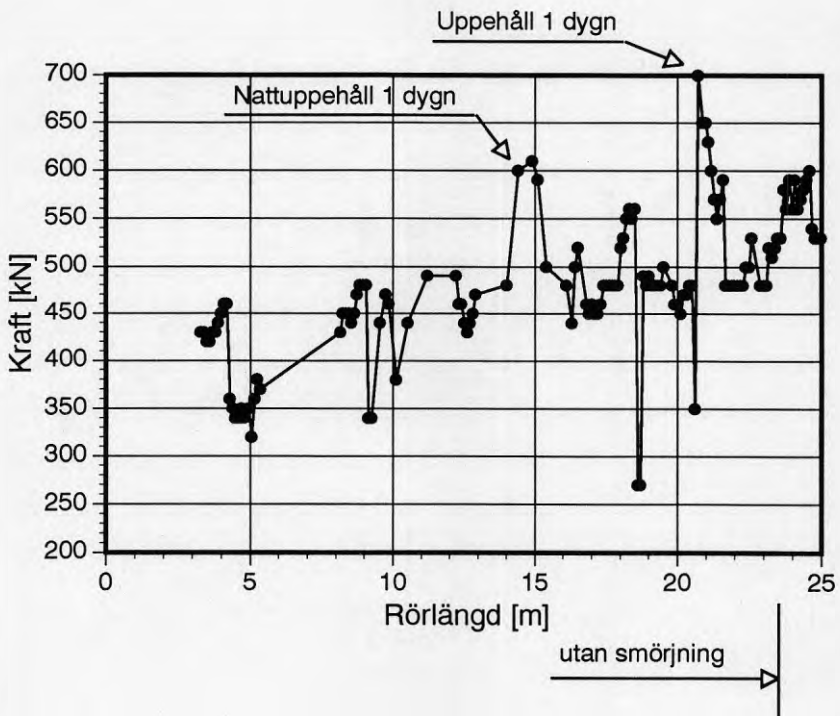
Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 14,6 m - 41,5 m.

Bilaga 2
sid 4(8)



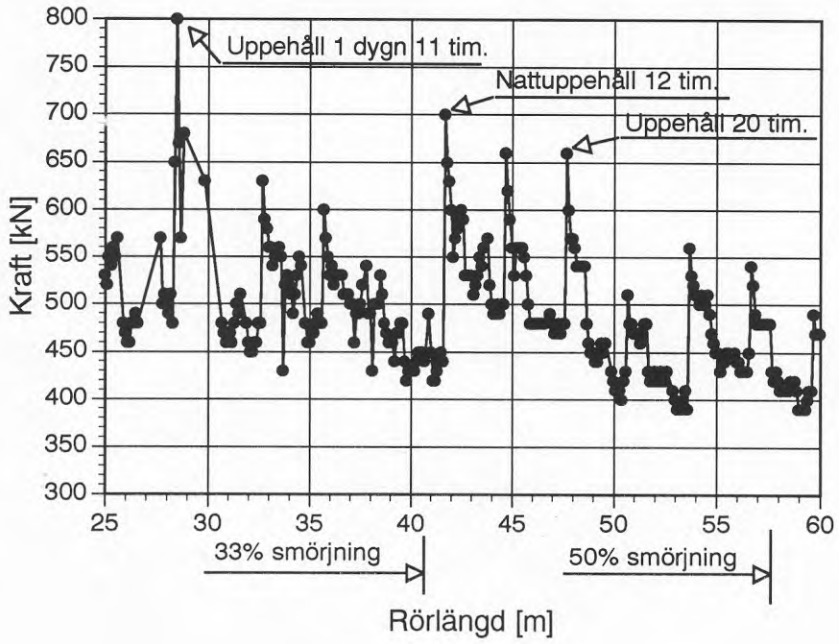
Ettapp 1.

Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 41,6 m - 70,2 m.



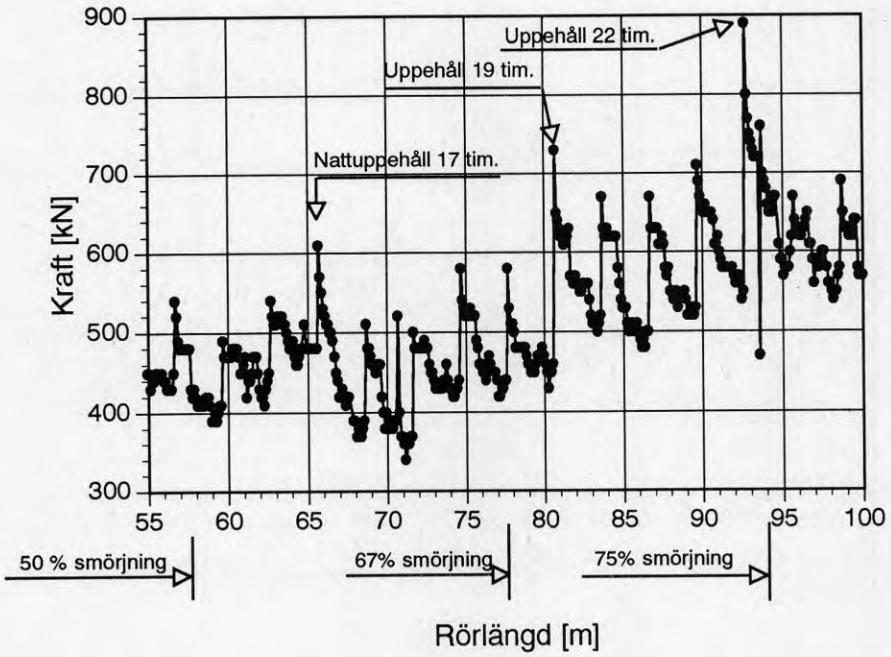
Ettapp 2.

Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 0 m - 25 m.



Ettapp 2.

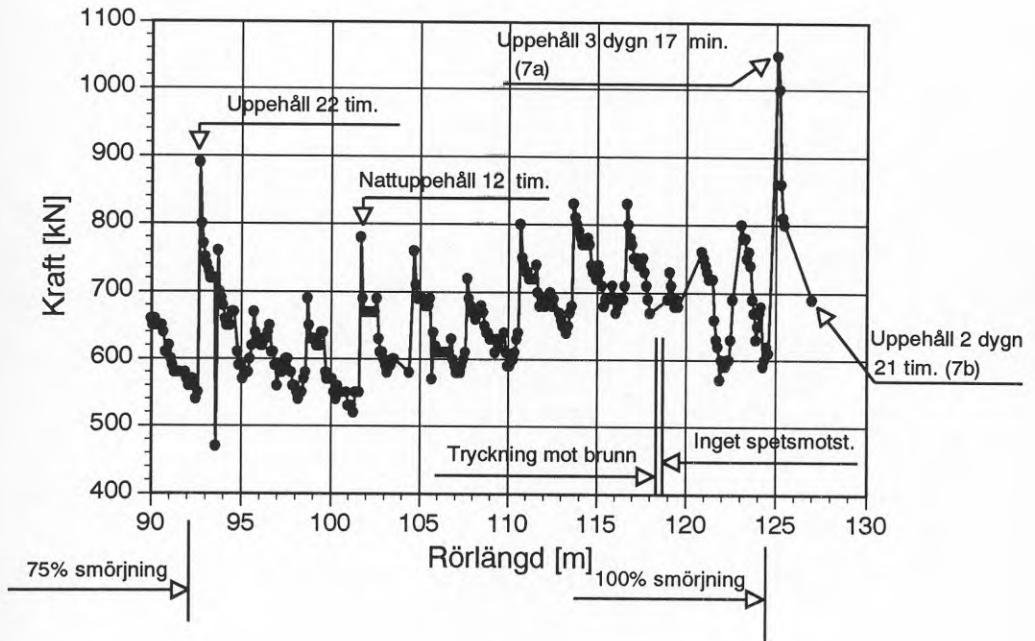
Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 25 m - 60 m.



Ettapp 2.

Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 55 m - 100 m.

Bilaga 2
sid 8(8)



Ettapp 2.

Total presskraft exkl. förluster på rörsträckan 90 m - 130 m.

Bilaga 3

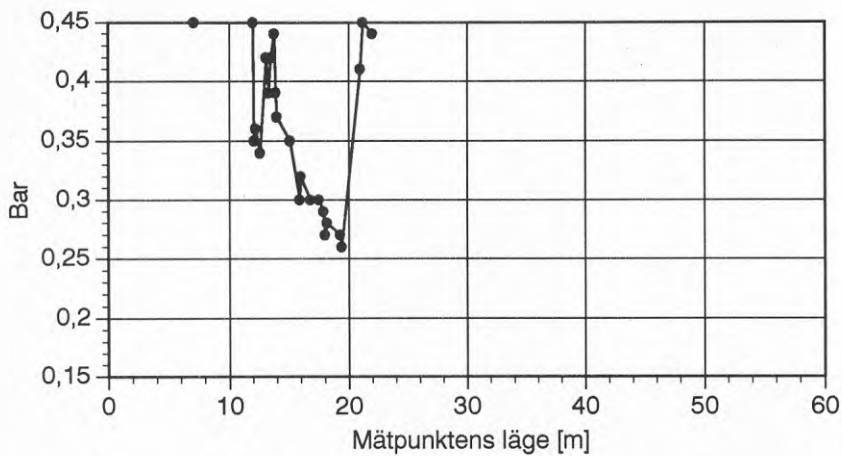
Sid 1 (5)

REDOVISNING AV SMÖRJVATTENTRYCKMÄTNINGAR

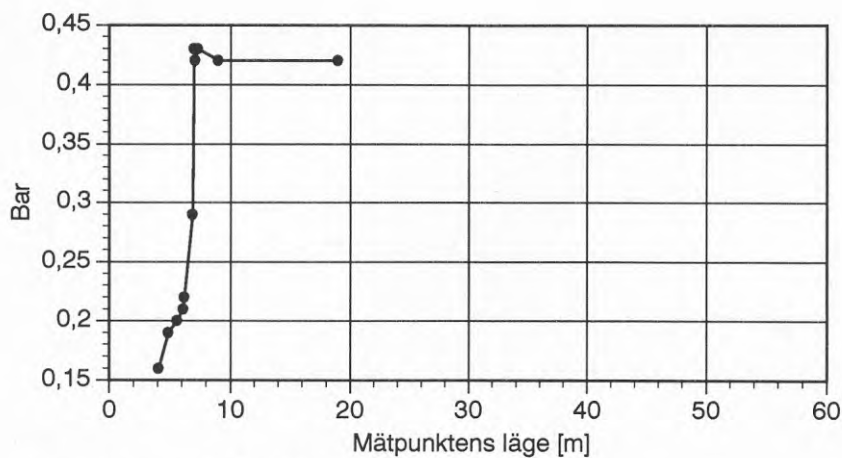
Innehåll	Sid
1. Smörjvattentryck, utsida rör nr 3 och 4, Etapp 1	2
2. Smörjvattentryck, utsida rör nr 6 och 7, Etapp 1	3
3. Smörjvattentryck, utsida rör nr 6 och 20, Etapp 2	4
4. Smörjvattentryck, utsida rör nr 40 och 60, Etapp 2	5

Bilaga 3

Sid 2 (5)



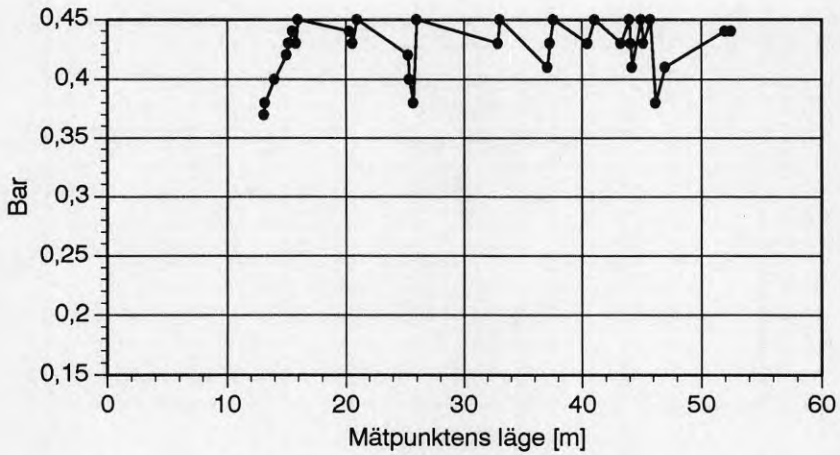
Smörjvattentryck på utsida rör nr 3, Etapp 1



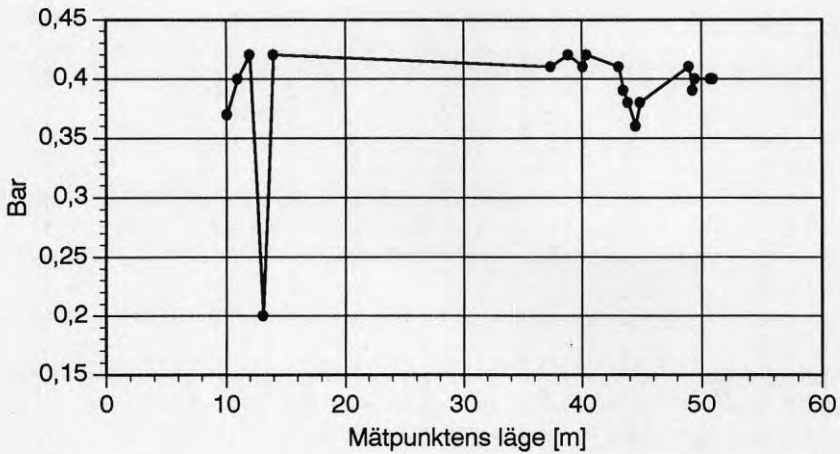
Smörjvattentryck på utsida rör nr 4, Etapp 1

Bilaga 3

Sid 3 (5)



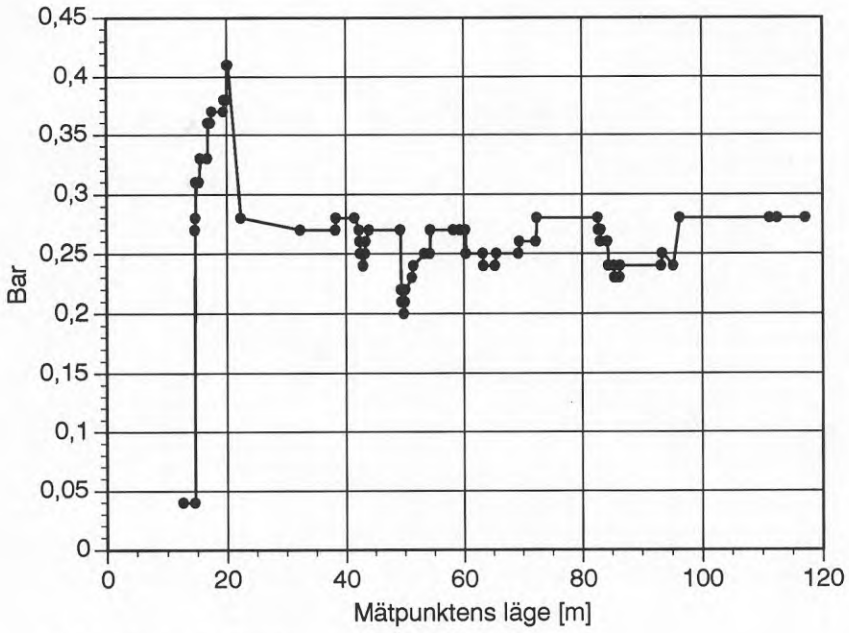
Smörjvattentryck på utsida rör nr 6, Etapp 1



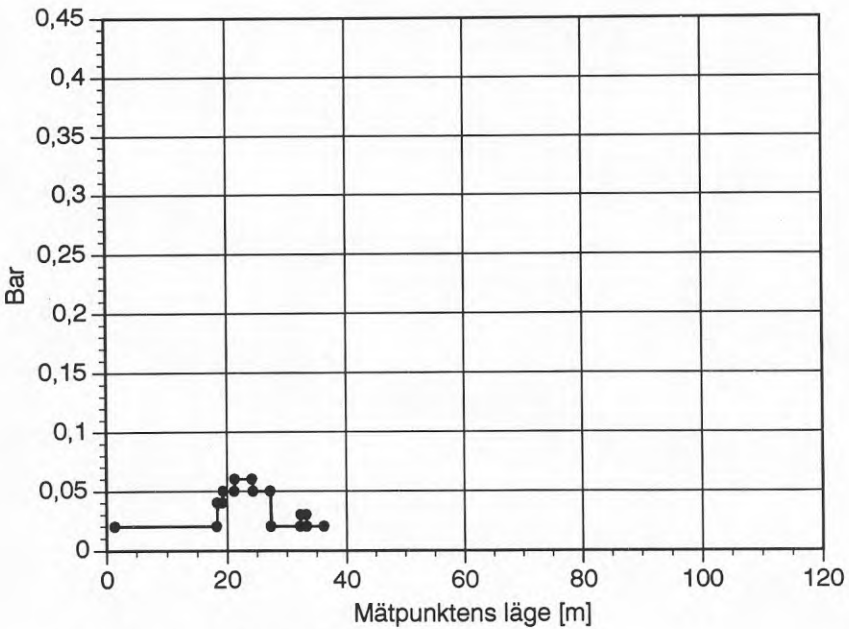
Smörjvattentryck på utsida rör nr 7, Etapp 1

Bilaga 3

Sid 4 (5)



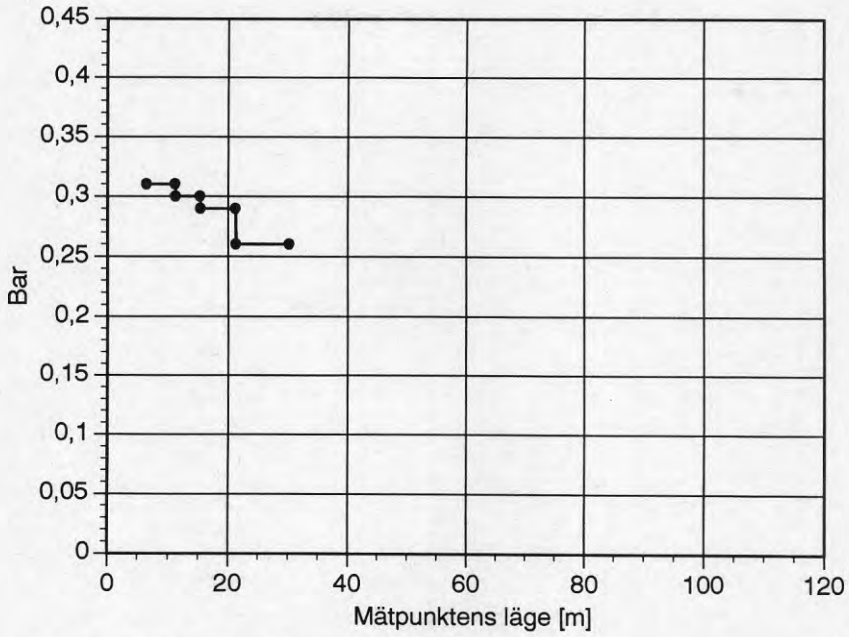
Smörjvattentryck på utsida rör nr 6, Etapp 2



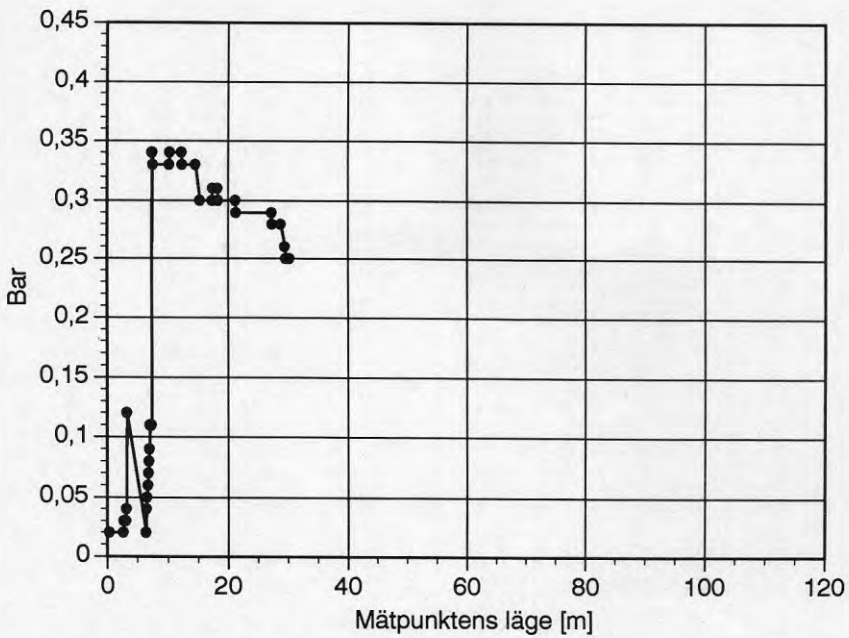
Smörjvattentryck på utsida rör nr 20, Etapp 2

Bilaga 3

Sid 5 (5)



Smörjvattentryck på utsida rör nr 40, Etapp 2



Smörjvattentryck på utsida rör nr 60, Etapp 2

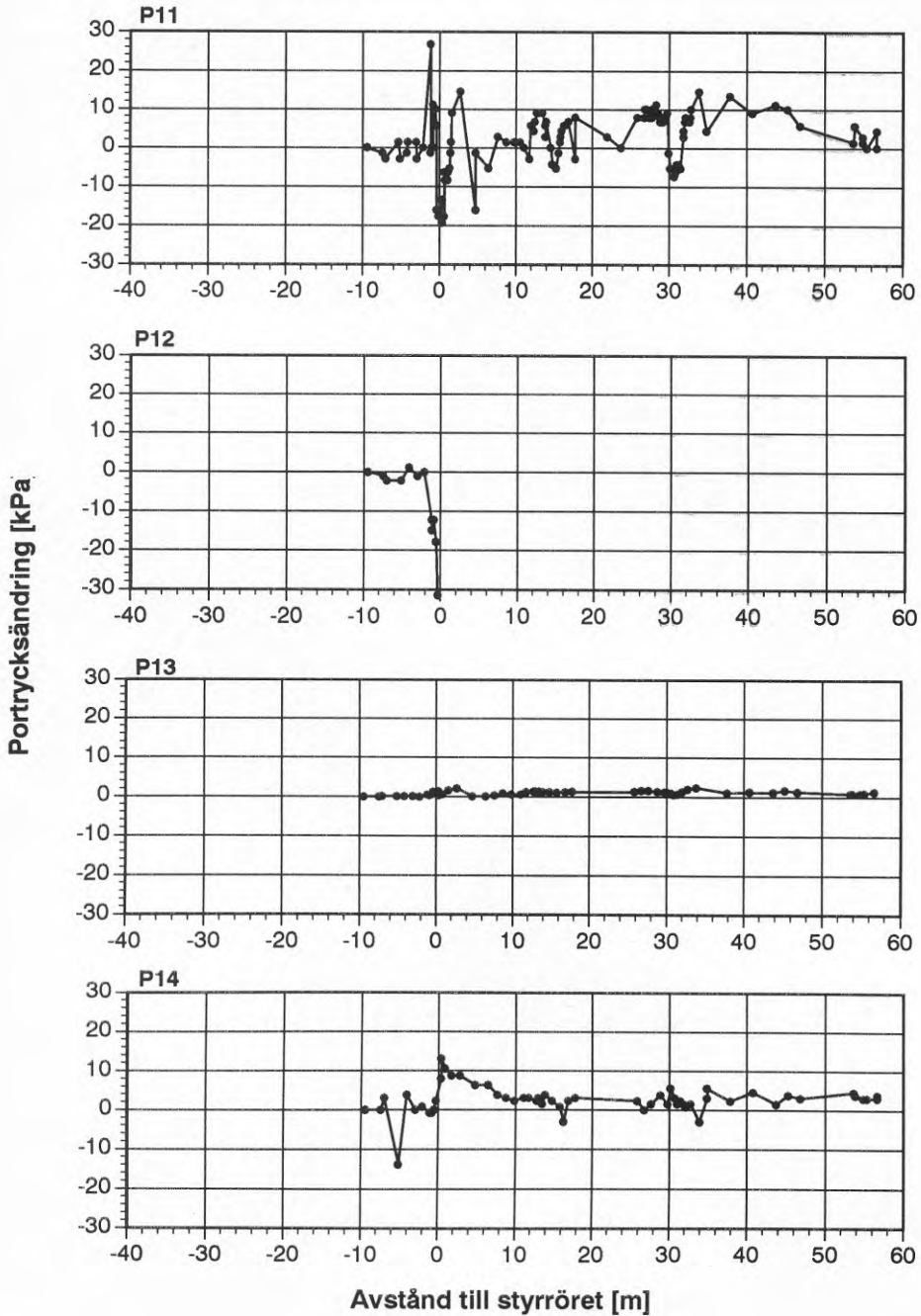
Bilaga 4

Sid 1 (7)

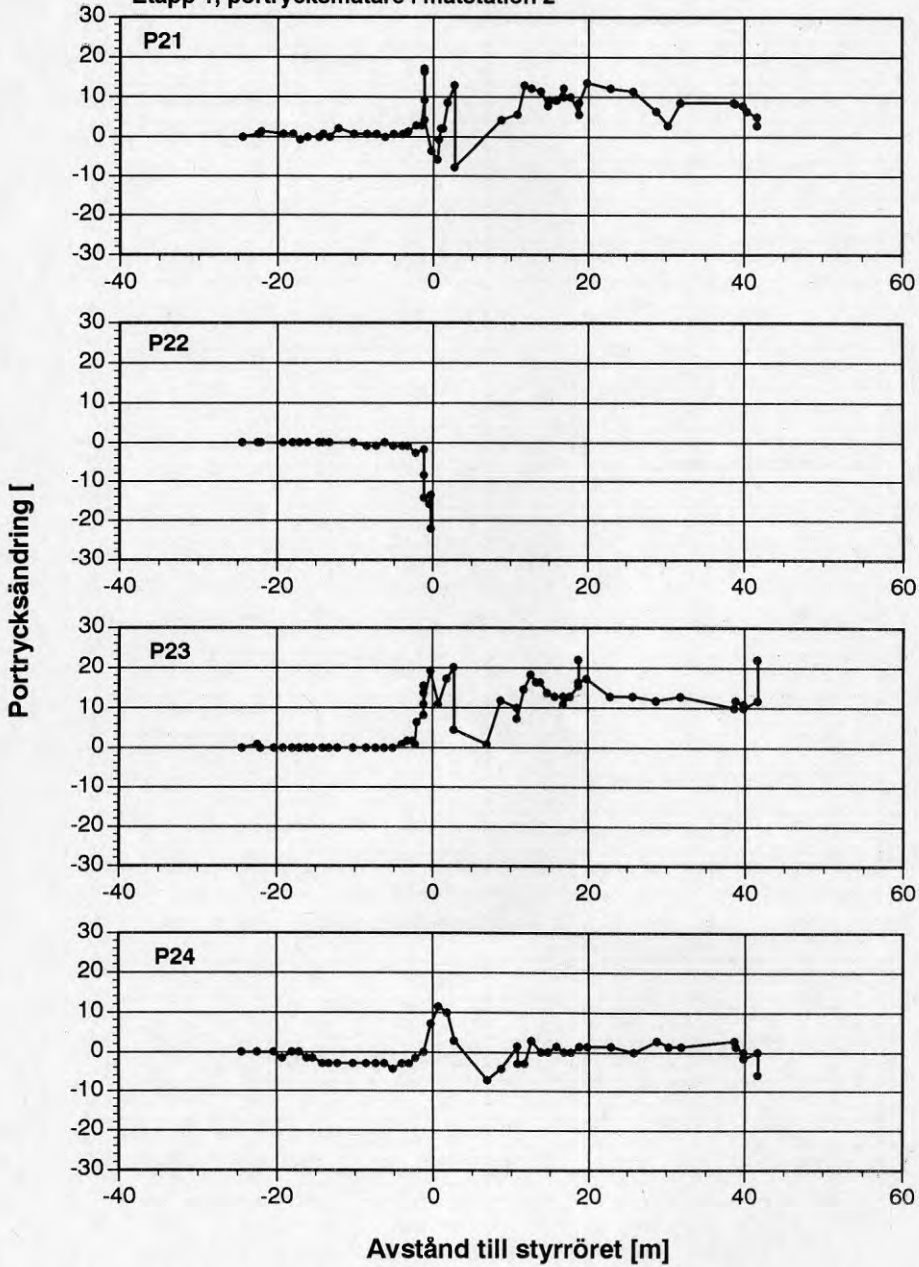
REDOVISNING AV PORTRYCKSMÄTNINGAR

Innehåll	Sid
1. Mätstation 1, Etapp 1	2
2. Mätstation 2, Etapp 1	3
3. Mätstation 3, Etapp 1	4
4. Mätstation 4, Etapp 2	5
5. Mätstation 5, Etapp 2	6
6. Mätstation 6, Etapp 2	7

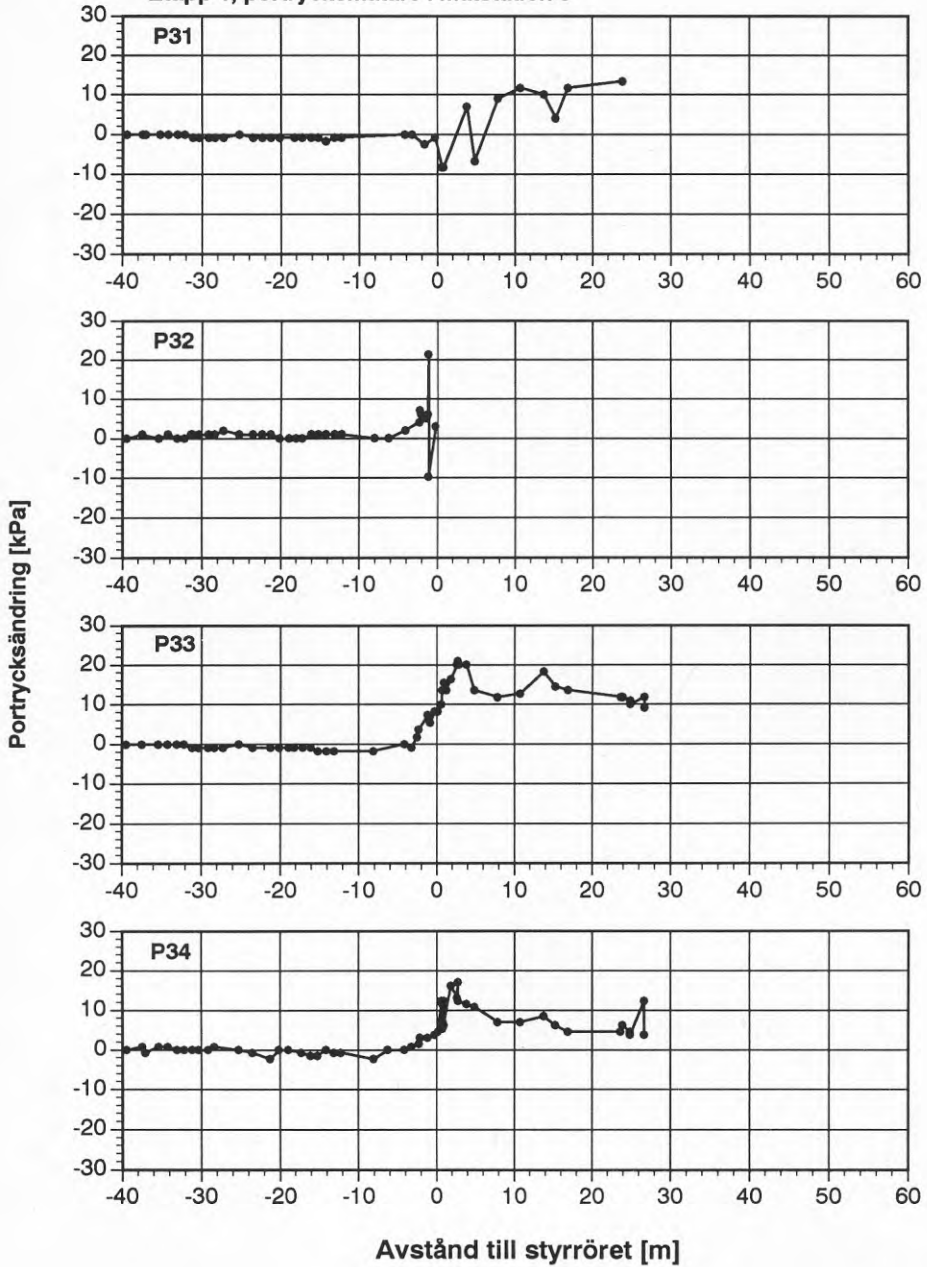
Etapp 1, portrycksmätare i mätstation 1



Ettap 1, porttrycksmätare i mätstation 2

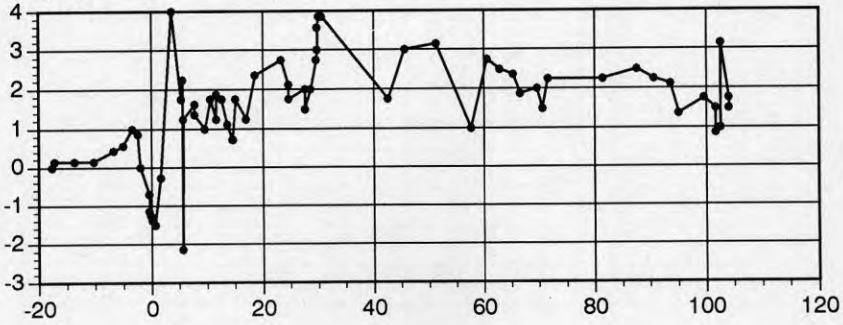


Ettap 1, portrycksmätare i mätstation 3

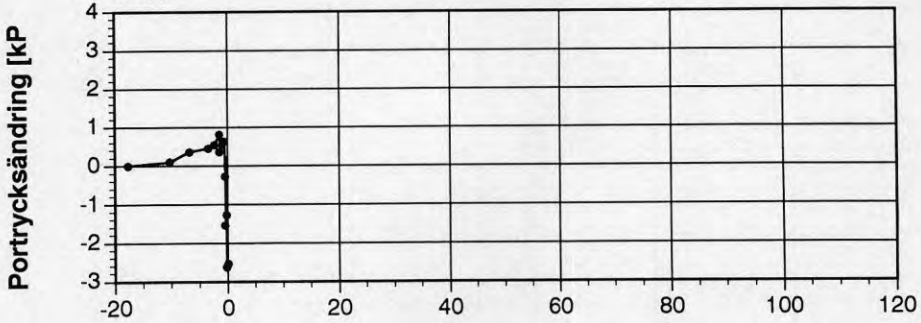


Etapp 2, portrycksmätare i mätstation 4

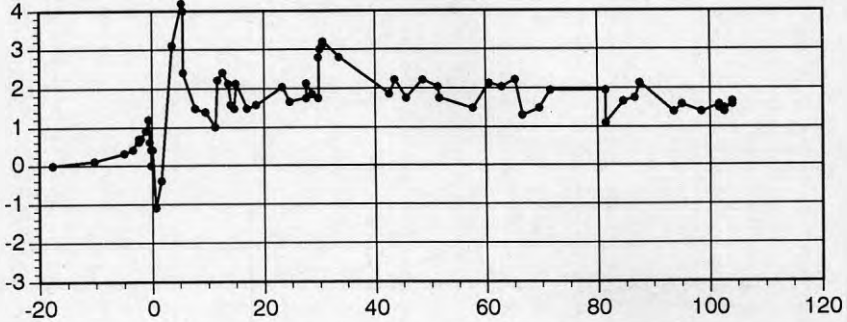
P41



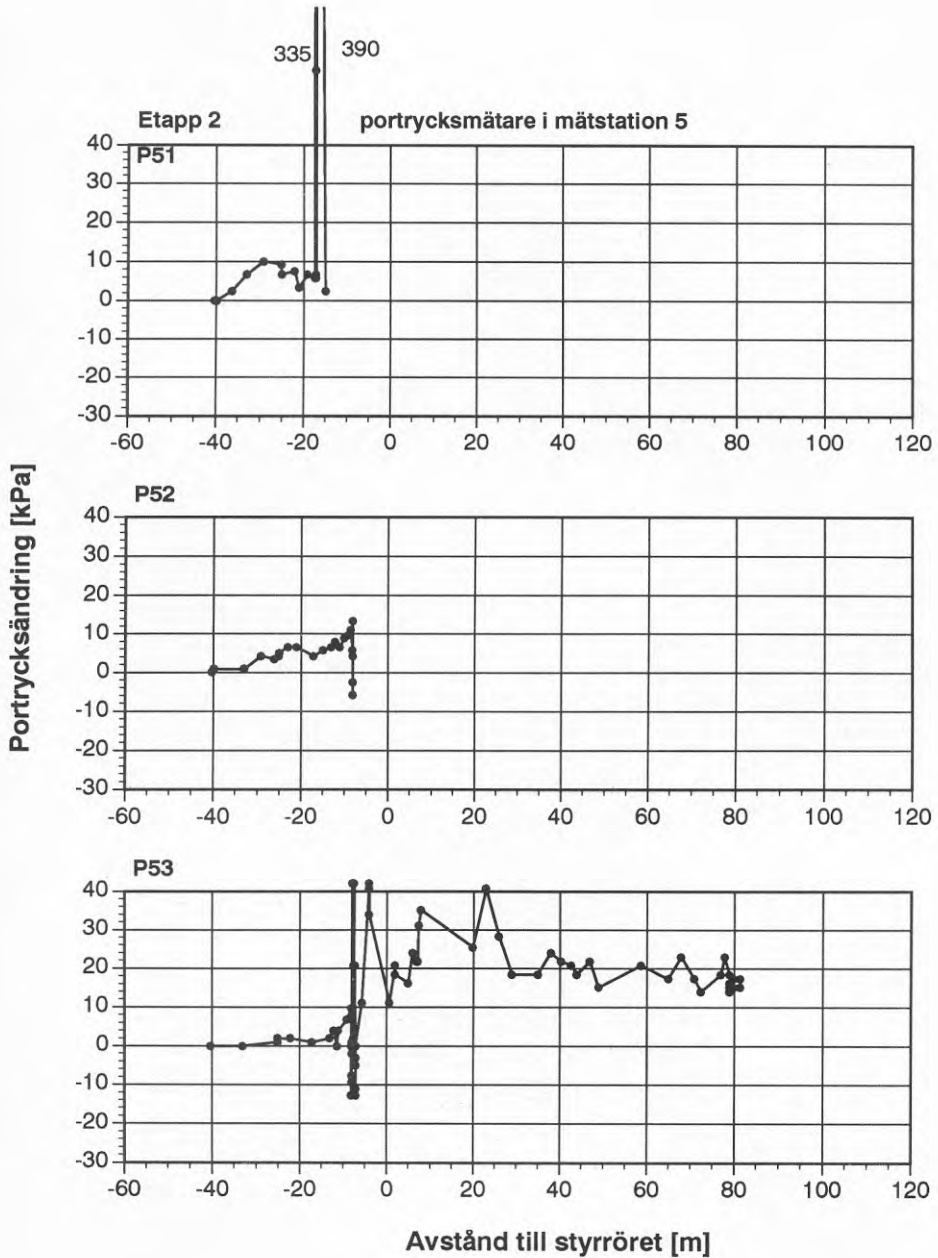
P42



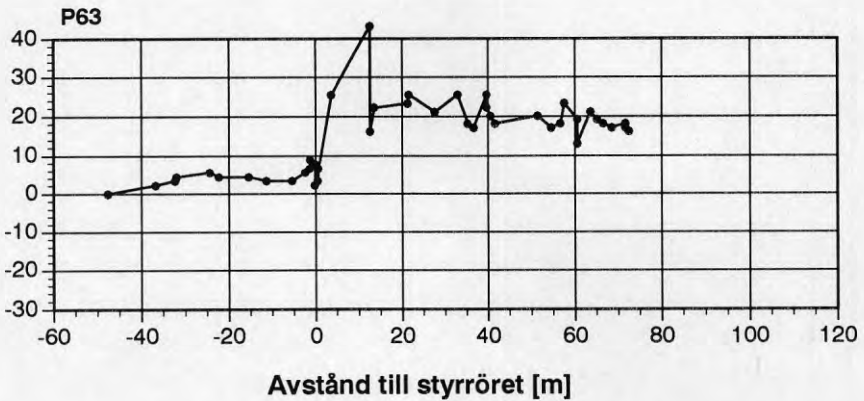
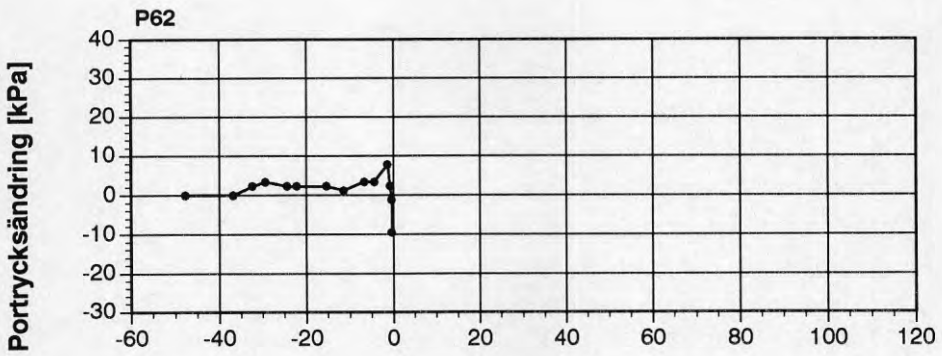
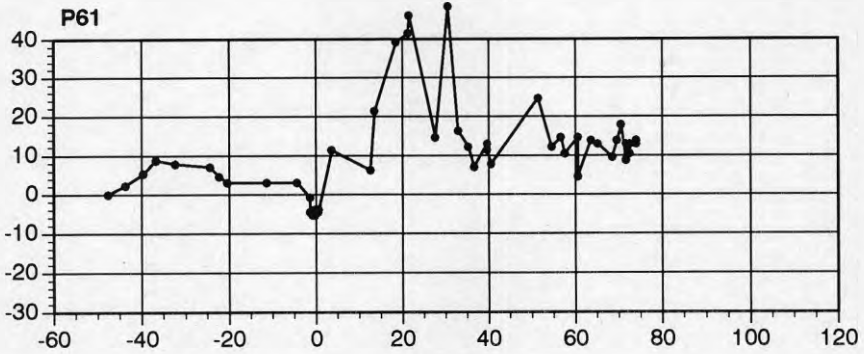
P43



Avstånd till styrret [m]



Ettap 2, porttrycksmätare i mätstation 6



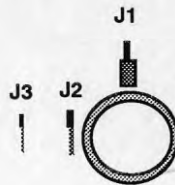
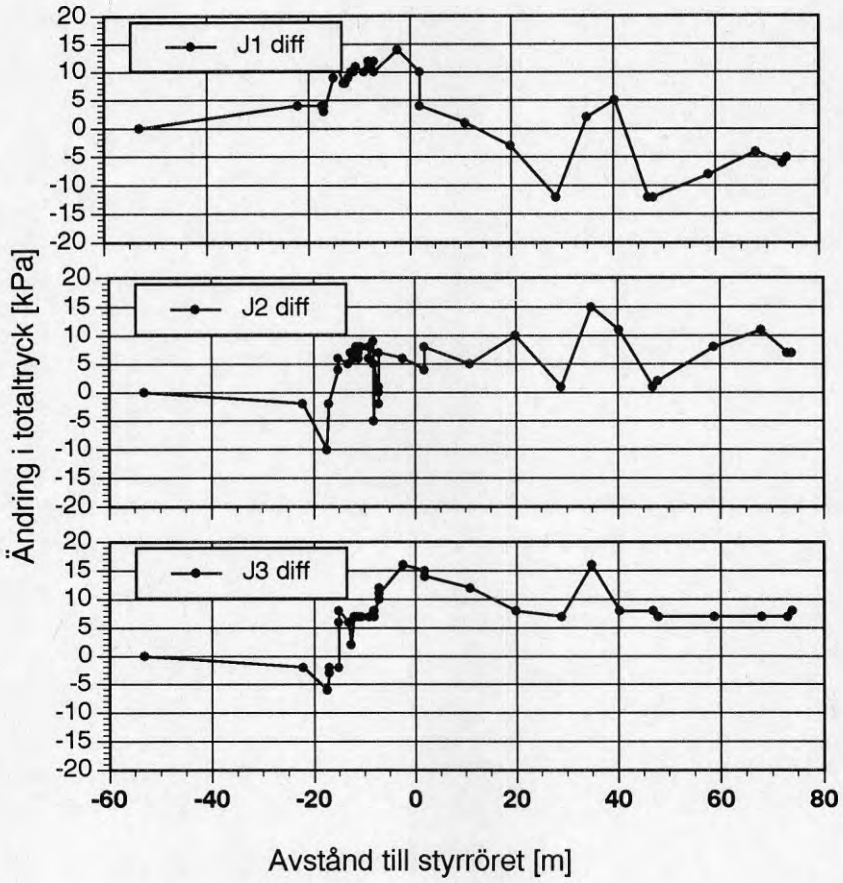
Bilaga 5

Sid 1 (3)

RESULTAT FRÅN JORDTRYCKSDOSOR

Innehåll	Sid
1. Mätstation 2, Etapp 1	2
2. Mätstation 5, Etapp 2	3

Bilaga 5
sid 3(3)



Jordtrycksdosor, Etapp 2.

Bilaga 6

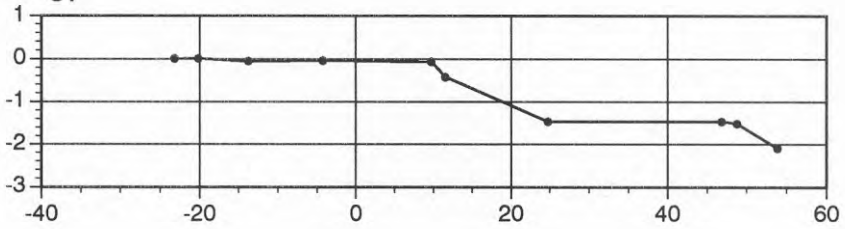
Sid 1 (7)

REDOVISNING AV SÄTTNINGSMÄTNINGAR

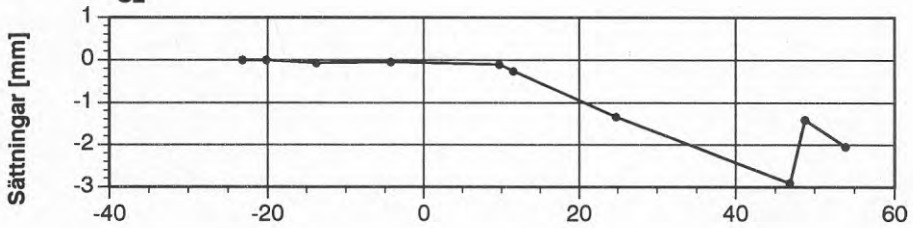
Innehåll	Sid
1. Mätstation 1, Etapp 1	2
2. Mätstation 2, Etapp 1	3
3. Mätstation 3, Etapp 1	4
4. Mätstation 4, Etapp 2	5
5. Mätstation 5, Etapp 2	6
6. Mätstation 6, Etapp 2	7

Ettap 1, sättningar i mätstation 1

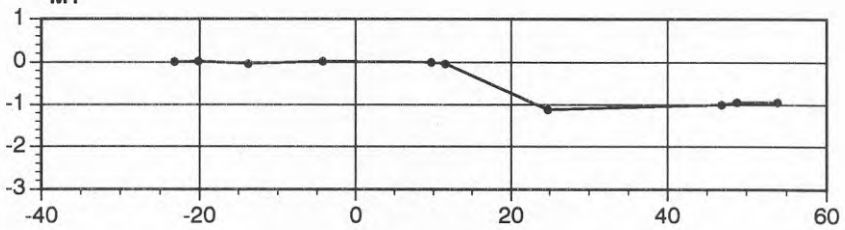
S1



S2

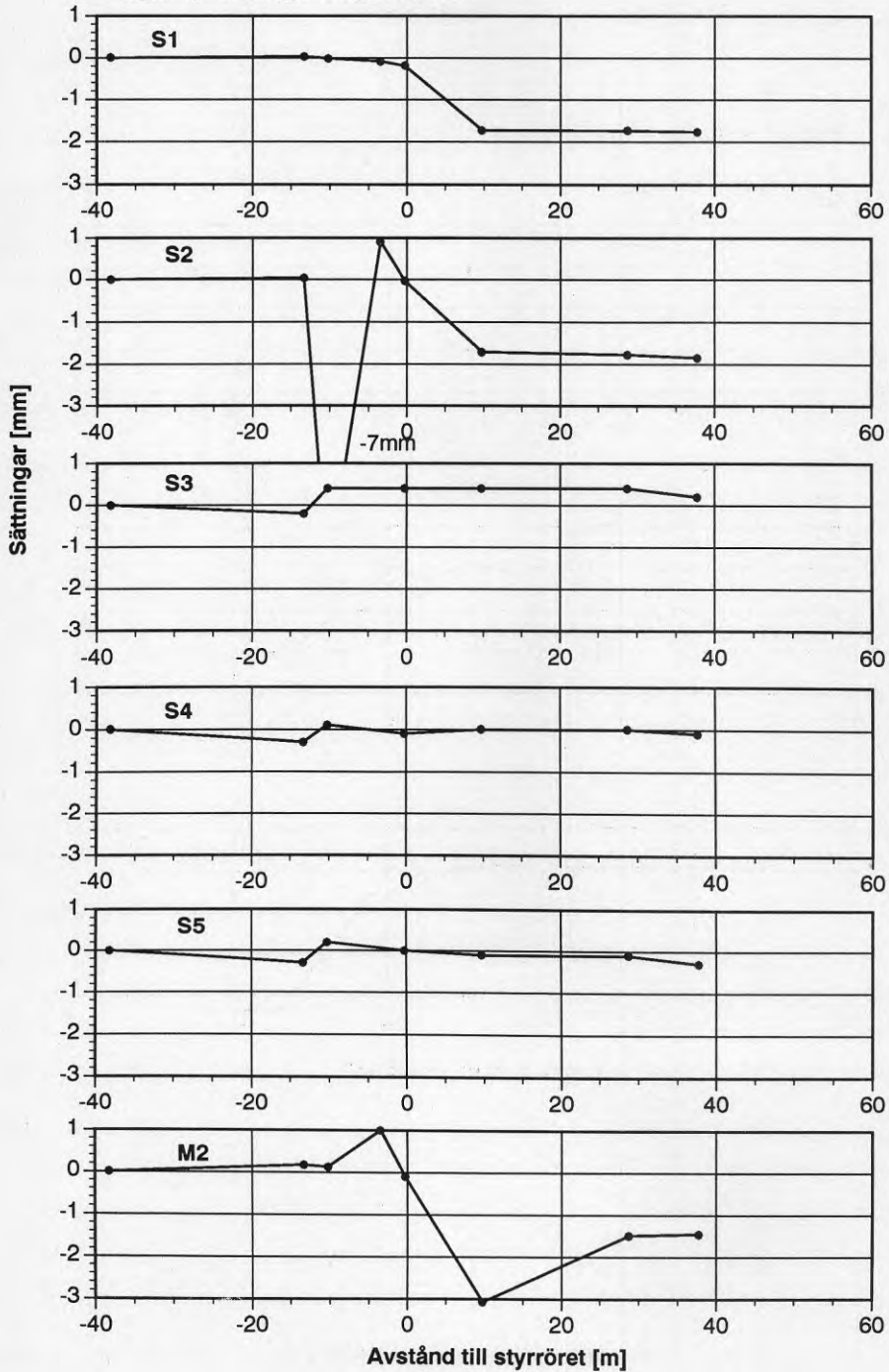


M1

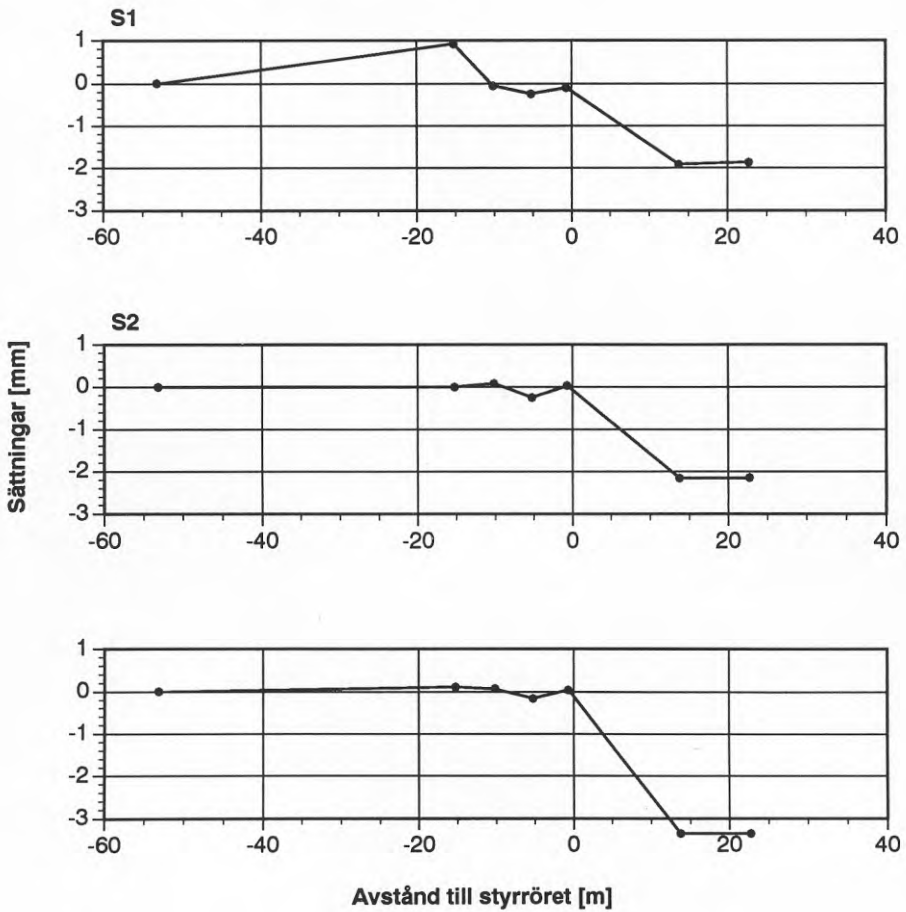


Avstånd till styrroret [m]

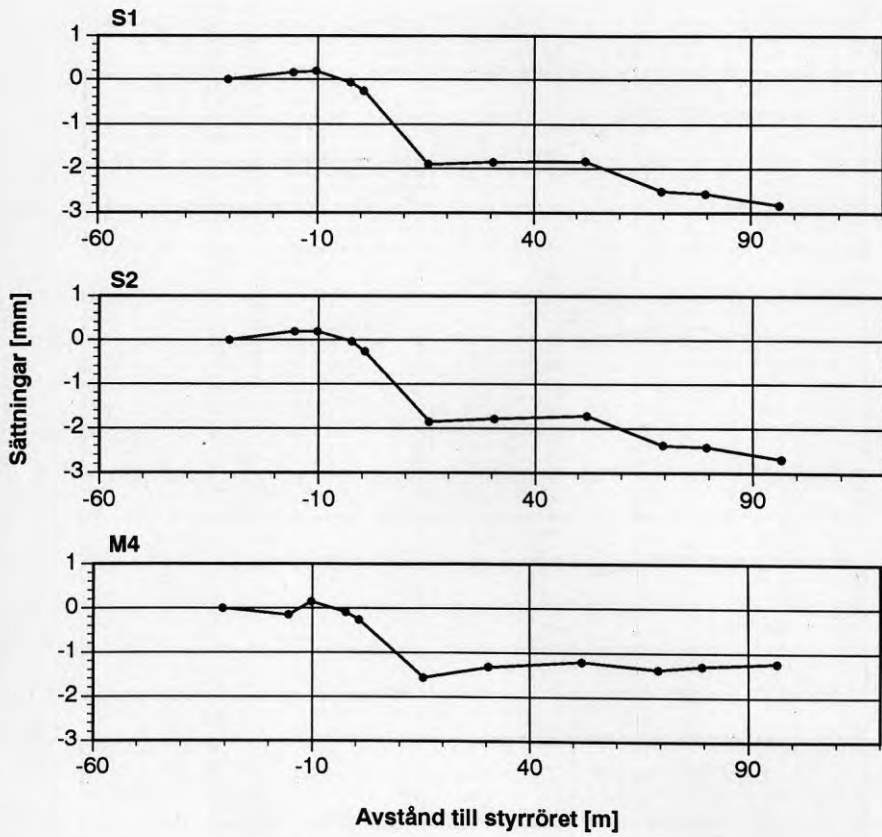
Ettap 1, sättningar i mätstation 2



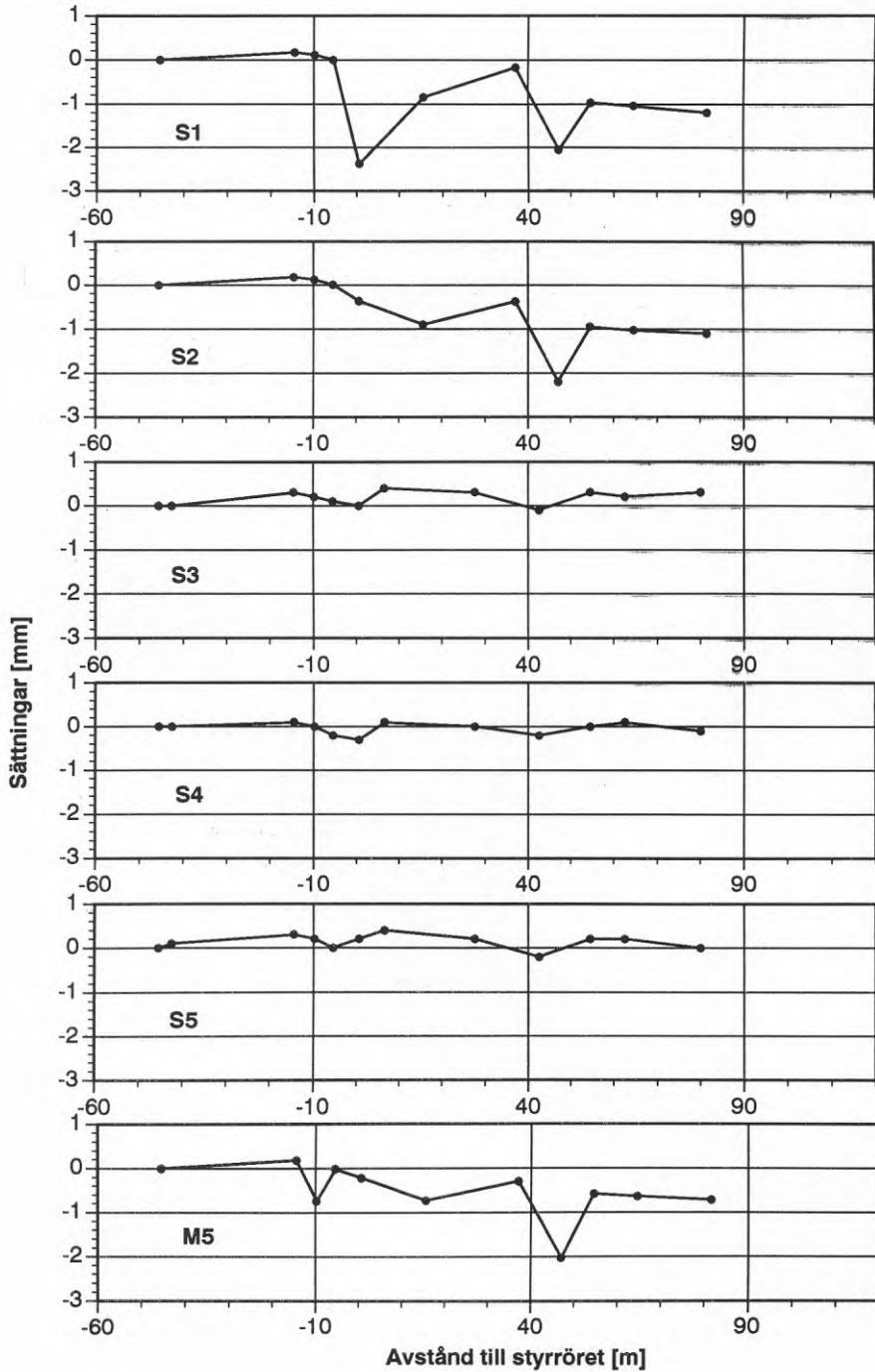
Ettap 1, sättningar i mätstation 3



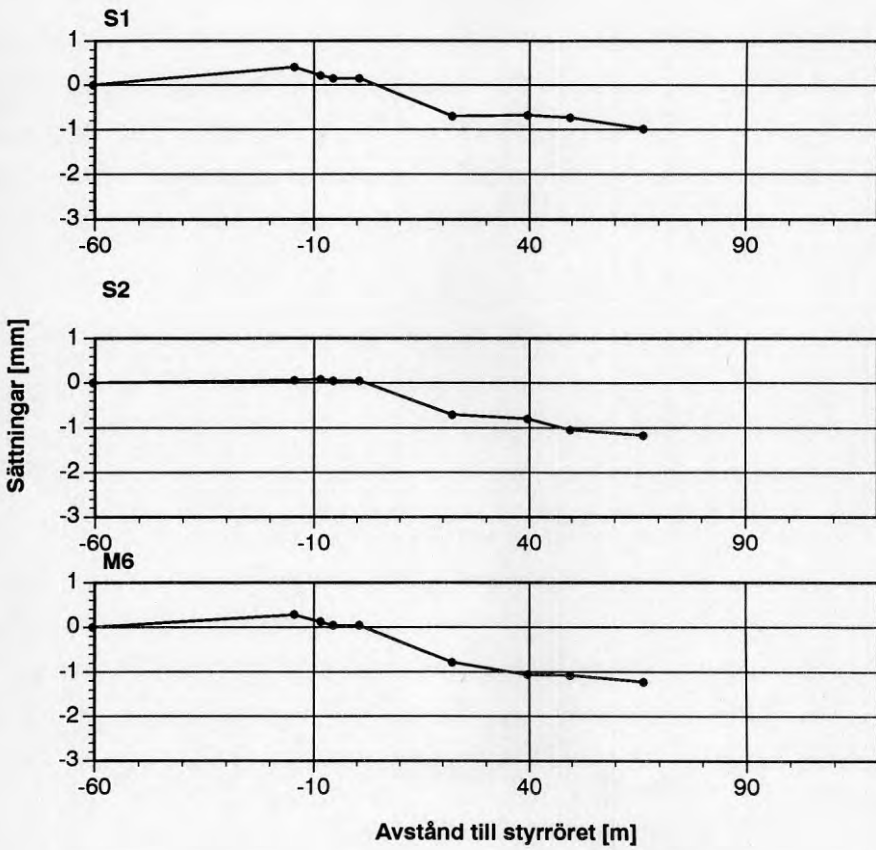
Ettapp 2, sättningar i mätstation 4



Ettap 2, sättningar i mätstation 5



Ettapp 2, sättningar i mätstation 6



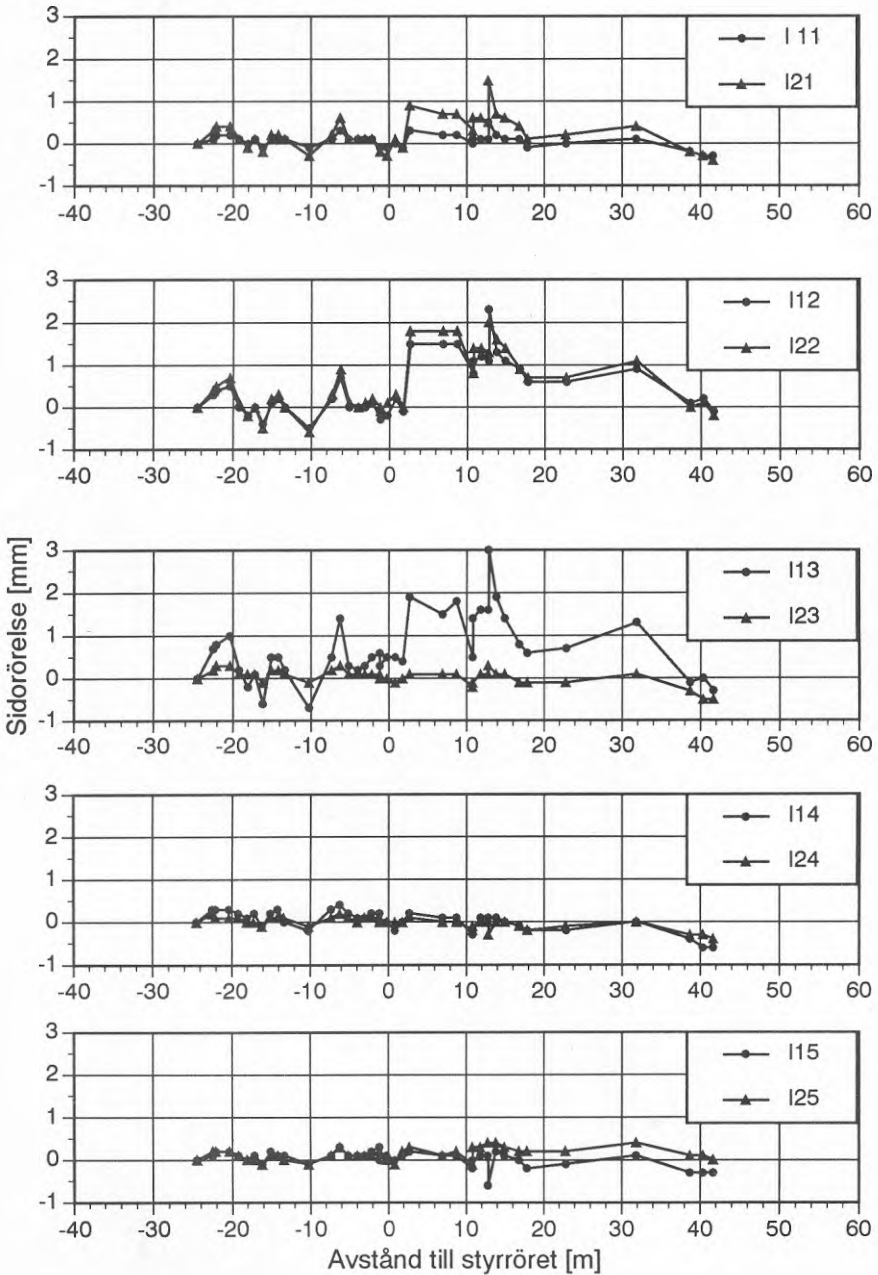
Bilaga 7

Sid 1 (3)

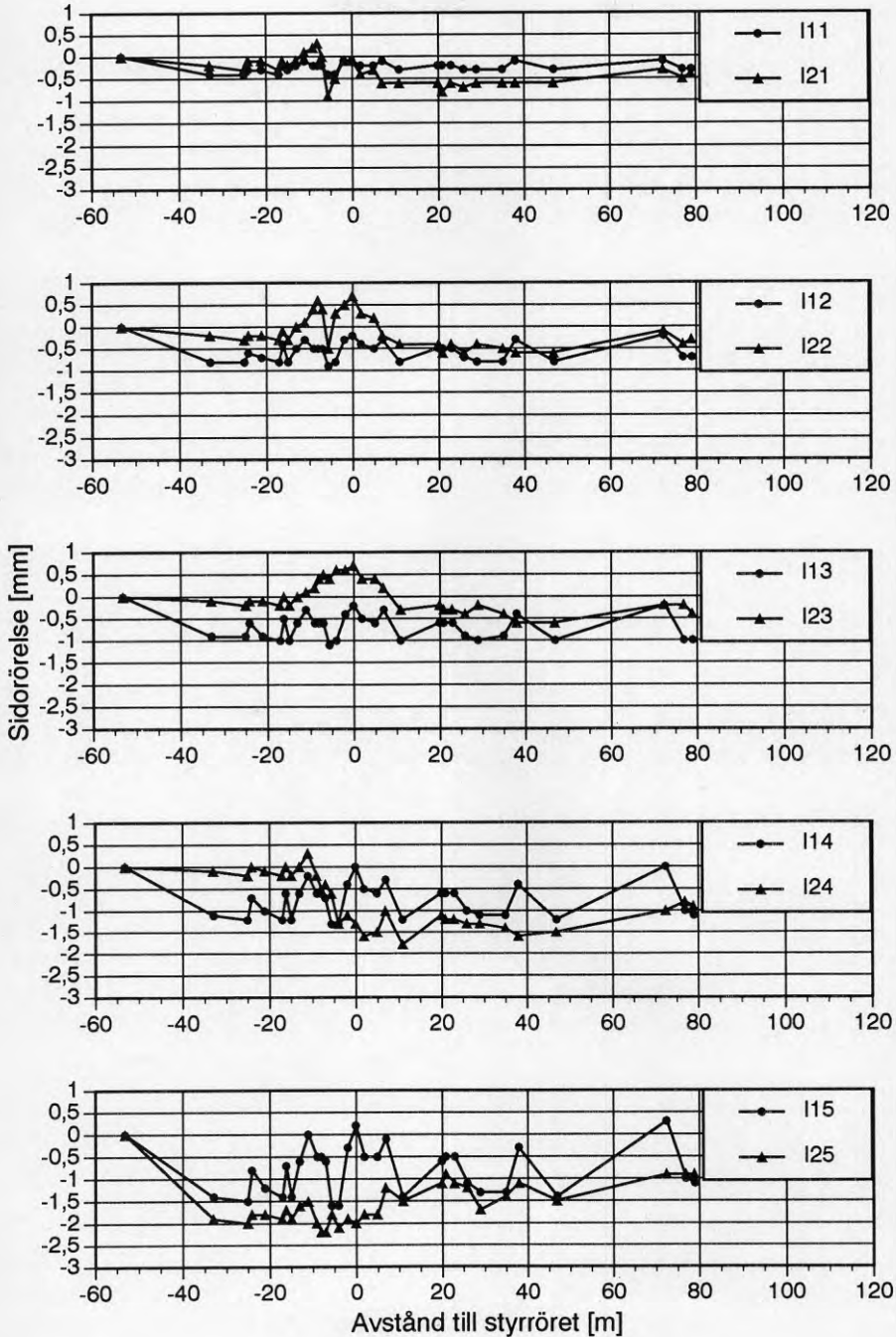
REDOVISNING AV SIDOPRESSNING JORD

Innehåll	Sid
1. Inklinometerrör mätstation 2, Etapp 1	2
2. Inklinometerrör mätstation 5, Etapp 2	3

INKLINOMETER ETAPP 1



INKLINOMETER ETAPP 2





R47:1993

ISBN 91-540-5596-2
Bygghälsö, Stockholm

Art.nr: 6813047

Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material
V. Anläggningsteknik

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 112 kr inkl moms