



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.



**Rapport**

**R45:1990**

# **Ledningsrenovering genom rörspräckning**

**Jan Molin**

**Anders Jaryd**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135451

# **Byggforskningsrådet**

R45:1990

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
ARBOTET

LEDNINGSRENOVERING GENOM RÖRSPRÄCKNING

Jan Molin  
Anders Jaryd

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850349-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Binab,  
Stockholm.

## REFERAT

Projektets syfte har varit att med teoretiska beräkningar och i praktiska jordlädeförsök belysa följande förhållande:

- Hur stora rörelser och tryck uppstår i jorden omkring en ledning som spräcks och expanderas och hur stor är risken för skador på omgivande ledningar?
- Hur skall infodringsröret dimensioneras för att klara uppkommande laster och deformationer?

Under projektet har ett värdefullt erfarenhetsutbyte skett med två forskningsinstitutioner i England - Water Research Center och British Gas Engineering Research Station.

Projektet har resulterat i allmänna råd för bedömning av riskerna för skador på intilliggande parallella eller korsande ledningar vid rörspräckning samt dimensioneringsriktlinjer för infodringsröret.

- Ovanförliggande korsande ledningar bör i vissa fall friläggas om avståndet mellan rören är mindre än 2 meter.
- Underliggande korsande ledning torde inte behöva friläggas om avståndet är större än diametern hos det expanderade röret.
- För parallella ledningar torde en expansion <30 % ej föranleda risker om avståndet mellan ledningarna är större än 2 gånger diametern hos det expanderade röret. Vid större expansion eller andra ogynnsamma förhållanden (fast fyllning etc) bör metoden användas med försiktighet om avståndet är mindre än 3 à 4 gånger den expanderade diametern.
- Infodringsröret bör minst ha en styvhet som motsvarar tryckklassen NT 6. Detta förutsätter en liten spalt och måttliga laster. Vid stor spalt och högre belastning bör styvare rör användas (NT 10).

Dessa resultat har överförts till det samlande BFR-projektet, som behandlar renoveringsanvisningar för avloppsledningar (Projektledare Ingemar Björklund, VBB).

I Bygghörsningsrådets 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.

R45:1990

ISBN 91-540-5200-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**gotab** Stockholm 1990



## INNEHÅLL

### FÖRORD

SAMMANFATTNING - SUMMARY	Sid 5
1. INLEDNING	9
2. PROJEKTETS SYFTE OCH METODIK	11
3. JORDLÅDEFÖRSÖK	12
3.1 Syfte	
3.2 Försöksutförande	
3.3 Försöksresultat	
4. ERFARENHETER I ENGLAND	32
4.1 Water Research Center, WRC	
4.2 British Gas, Engineering Research Station	
5. BERÄKNINGSMODELL FÖR JORDRÖRELSER	38
5.1 Inledning	
5.2 Analytisk modell	
5.3 FEM-modell	
5.4 Empirisk modell	
5.5 Jämförelse med försöksresultat i jordlåda	
6. BERÄKNINGSMODELL FÖR NÄRALIGGANDE LEDNING	46
6.1 Allmänt	
6.2 Korsande ledning	
6.3 Parallell ledning	
7. DIMENSIONERINGSMODELL FÖR INFODRINGSRÖRET	60
7.1 Belastning	
7.2 Ovalitet	
7.3 Påkänning i ringled	
7.4 Bucklingssäkerhet	
7.5 Beräkningsgång	
8. RIKTLINJER FÖR PRELIMINÄRA ANVÄNDNINGSAVVISNINGAR	66
REFERENSER	68
BILAGOR	69

## FÖRORD

Detta projekt har initierats och genomförts av Binab Ledningsreovering och VBB.

Arbetet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning, BFR, och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF.

Projektledare har varit Anders Jaryd, Binab Karlskrona, och för teoretisk utvärdering och rapport-skrivning har ansvarat Jan Molin, VBB Malmö.

Alla mätningsarbeten har utförts av Lars Erlandsson, Statens Provvningsanstalt, Göteborg.

Karlskrona och Malmö i januari 1990

Anders Jaryd

Jan Molin

## 0. SAMMANFATTNING

Förnyelse och renovering av befintliga kommunala va-nät kommer framöver att bli en växande marknad. Som alternativ till konventionell omläggning har utvecklats en metod att infodra en befintlig ledning med ett lika stort eller större rör genom att befintlig ledning spräcks och expanderas.

I denna rapport redovisas en undersökning av jordrörelser och jordtryck genom praktiska försök i jordlåda samt en teoretisk modell för beräkning av påverkan på andra ledningar nära en ledning som expanderas. På basis av undersökningsresultaten ges preliminära riktlinjer för användningsanvisningar för metoden samt rekommendationer för dimensionering av infodringsröret.

Även utländsk erfarenhet har insamlats genom besök hos två forskningsinstitutioner i England, Water Research Center och British Gas Engineering Research Station.

Sammanfattningsvis har följande resultat erhållits:

- vid rörexansion sker huvuddelen av volymökningen inom en zon begränsad av linjer med lutning 2:1 över röret,
- maximal tryckökning i jorden sker vid sidan av det expanderande röret,
- genom bl a inverkan av trafik och grundvatten utsätts infodringsröret förr eller senare för vertikal last från det spräckta röret,
- belastningens storlek på infodringsröret är beroende av dess styvhet och spaltens storlek,
- korsande ledningar utsätts för större påkänningar och större risk för skador än ledningar parallella med den expanderande,
- för parallell ledning nära den expanderande blir ringpåkänningarna orsakade av högt horisontaltryck ofta större än balkpåkänningarna,
- korsande ledningar ovanför den expanderande ledningen kan vid känsliga fall behöva friläggas om avståndet mellan ledningarna är mindre än 2 m. Vid bedömning av behovet av frischaktning skall framför allt ledningens kondition, kringfyllningens egenskaper och konsekvenser vid ett eventuellt haveri beaktas.
- parallell ledning vid sidan av den expanderande kan löpa risk för skador om den ligger närmare den expanderande ledningen än 2 gånger dess expanderade ytterdiameter.

- infodringsröret bör minst ha en styvhet motsvarande markavloppsrör klass T. Vid högt grundvattenstånd och stor spalt bör styvare rör användas, klass E eller NT 10.

Det kan avslutningsvis noteras att varje metod för förnyelse och renovering av befintliga va-ledningar innebär viss risk för skador på näraliggande ledningar. Enligt erfarenheter i England och Norden innebär rörspräckningsmetoden oftast mindre risk för sådana skador än konventionell uppgrävning, omläggning och återfyllning.

## 0. SUMMARY

Renewal and rehabilitation of existing public water and sewage lines will in the near future be a fast growing market. As an alternative to a conventional reconstruction a method for relining an existing pipeline with a new pipe with equal or even larger diameter has been developed. The method also includes upsizing of the existing pipe.

In this paper is reported an investigation of soil movements and soil pressures measured at soil box tests and a proposed model for calculating the influence on adjacent pipelines close to the pipe which is expanded. On the basis of the investigation preliminary guidelines for code of practice for use of the method are given together with recommendations for the design of the relining pipe.

Experience from Britain has been collected by visits at Water Research Center and British Gas Engineering Research Station.

The following result has been achieved in the study:

- the main part of the increase of volume caused by pipe expansion is restricted to a zone within two lines with 2:1 inclination above the expanding pipe,
- the maximum soil pressure increase will take place at the sides of the expanding pipe,
- the relining pipe will sooner or later be loaded vertically by the cracked pipe due to influence of traffic loads and ground water movements,
- the size of the load on the relining pipe depends on its stiffness and the size of the gap,
- pipelines crossing the expanding pipe are exposed to the largest stresses and to a larger risk to be damaged compared to parallel pipelines,
- for a pipeline parallel and close to the expanding pipe the ring stresses often will be larger than the axial beam stresses,
- crossing pipelines above the expanding pipe should be excavated if the distance between the two pipelines is less than 2 m. When evaluating the need of excavation also the



status of the pipeline and the consequences of a damage should be considered.

- a pipeline parallel to and at the side of the expanding pipe is exposed to the risk of damage if the distance is less than 2 times the outer diameter of the expanded pipe. The expanding method therefore should not be used, except otherwise is advised in a special investigation, if the distance between the two pipelines is less than this measure.
- the relining pipe should have a stiffness at least corresponding to class T. At high ground water level and a large gap a stiffer pipe is recommended, class E or PN 10.

It should finally be noted that every method for renewal and rehabilitation of existing water and sewage lines implies a certain risk of damaging an adjacent pipeline. According to experiences in Britain the pipe expansion method in many cases will be less risky in this respect than conventional excavation, pipe installation and backfilling.

## 1. INLEDNING

Förnyelse och underhåll av kommunala va-nät kommer framöver att bli en växande och allt viktigare marknad. Underhållet av va-näten har i flertalet kommuner hittills varit kraftigt eftersatt, men i takt med minskade nyexploateringar har under de senaste åren underhållet av det befintliga va-nätet långsamt börjat öka. En markant ökning av förnyelse- och underhållsinsatser kan förväntas under de närmaste åren.

Förnyelse och underhåll av markförlagda ledningar kan antingen ske genom renovering eller omläggning. Ett flertal renoveringsmetoder finns på marknaden, allt ifrån metoder som kan tillämpas av alla (t ex infodring med kortrör av PVC) till licensbelagda metoder (t ex platshärdade strumpor). Omläggningskostnader för ledningar i stadskärnor blir ofta mycket höga, varför renoveringsmetoderna vanligen har kostnadsmässiga fördelar.

Det kommunala avlopps nätet består i dag av ca 75 000 km ledningar varav ca 50 000 km spillvattenledningar samt ca 25 000 km dagvattenledningar. Av de förstnämnda ledningarna kan ca 42 000 km bedömas vara av dimension  $\varnothing$  300 mm och mindre. Eftersom underhålls- och förnyelseåtgärder är mest aktuella att utföra på spillvattennätet inser man att det till övervägande del är fråga om att åtgärda ledningar med relativt små dimensioner. Vid renovering av dylika ledningar med konventionella metoder (infodring med PEH- och PVC-rör) erhålls vanligen areaminskningar på 50-60 %. De enda i dag etablerade metoder som möjliggör renovering av ledningar utan större areaminskningar är infodring med platshärdade strumpor. Sistnämnda metoder är licensbelagda och tillämpas endast av ett fåtal företag i Sverige. En renoveringsmetod som medgav infodring av ledningar  $\leq \varnothing$  300 mm utan större dimensionsminskningar och som kan tillämpas av många entreprenörer kan därför bedömas få en stor marknadspotential och vara av stort samhällsekonomiskt intresse.

Denna undersökning är en del av projekt "Ledningsrenovering genom rörspräckning", som avser att studera i vilken utsträckning det är möjligt att infodra avloppsledningar  $\leq \varnothing$  300 mm med lika stora eller större rör genom att befintlig ledning spräcks och expanderas i samband med infodringen av det nya röret. En sådan metod har i mindre omfattning använts utomlands, bl a i Storbritannien för renovering av gasledningar. Olika metoder finns för att spräcka den befintliga ledningen.

Vanligen används tryckluft eller hydraulverktyg. Utrustning för rörspräckning kan antingen köpas färdig eller utvecklas av entreprenadföretagen själva. Metoden som sådan att spräcka befintlig ledning och sedan utföra infodring med ett större rör än annars vore möjligt är givetvis ej patenterbar utan kan användas fritt av alla. Erfarenhet saknas dock beträffande vad som händer i marken då befintlig ledning spräcks.

Denna utredning har genomförts med BINAB (Arne Boman, Anders Jaryd) som projektledare och VBB (Ingemar Björklund, Jan Molin) som utredare. De praktiska försöken har utförts i samarbete med Statens Provningsanstalt i Göteborg (Lars Erlandsson).

## 2. PROJEKTETS SYFTE OCH METODIK

Syftet med denna undersökning är att belysa följande förhållanden:

- Hur stora rörelser och tryck uppstår i jorden omkring en ledning som spräcks och expanderas och hur stor är risken för skador på omgivande ledningar?
- Hur skall infodringsröret dimensioneras för att klara uppkommande laster och deformationer?

I det ursprungliga projektprogrammet planerades utredningen omfatta provning i jordtryckslåda, fältundersökningar på tre olika infodringsprojekt samt teoretiska studier. Mot bakgrund av resultaten från jordlådeförsöken omdisponerades programmet, så att de egna fältundersökningarna utgick och ersattes av ett fördjupat erfarenhetsutbyte med olika forskningsinstitutioner i England. Det genomförda programmet omfattar därför följande delar:

- ° Provningar med hydraulisk rörspräckning i jordlåda i samarbete med Statens Provningsanstalt i Göteborg för att studera rörelser och tryck i jordfyllningen vid uppspräckning och expansion av en betongledning samt uppkommande deformationer hos infodringsrör av glasfiberarmerad polyester.
- ° Erfarenhetsutbyte med två forskningsinstitutioner i England - Water Research Center och British Gas Engineering Research Station.
- ° Utvärdering och teoretisk analys av erhållna resultat samt förslag till modeller för beräkning av jordrörelser och påkänningar i näraliggande ledningar samt förslag till dimensioneringsmodell för infodringsröret.

Resultaten för denna undersökning kan utgöra underlag för fortsatt metodutveckling hos entreprenörer, kommuner och företag och ge riktlinjer för preliminära utförandeanvisningar.

### 3. JORDLÅDEFÖRSÖK

#### 3.1 Syfte

Syftet med jordlådeförsöken var att under kontrollerade betingelser utföra fullskaleprovning med uppspräckning och expansion av betongrör med samtidig mätning av tryck och rörelser i omgivande jord. Mätningar gjordes också av deformationen hos infodringsröret som underlag för förslag till dimensioneringsmodell för detta rör.

#### 3.2 Försöksutförande

Omfattning och utförande

Sammanlagt 5 försök utfördes med olika kombinationer av betongrör, infodringsrör och packning av fyllningen, se tabell 3.1.

Tabell 3.1 Genomförda lådförsök

Försök nr	Fylln.-material	Betongrör	Infodringsrör GAP
1	Sand, packning	DN 300	DN 300
2	Sand, packning	DN 300	DN 300
3	Sand, packning	DN 225	DN 250
4	Sand, packning	DN 225	DN 250
5	Sand, lös utfyllning	DN 225	DN 250

Vid försöken spräcktes rören på normalt sätt med BINABs utrustning. Denna består av muskel med bakomliggande sköld. Bakom skölden matas infodringsröret in i samma takt som muskeln dras genom röret. Utrustningen och infodringsröret dras genom ledningen med hjälp av en vinsch och kätting.

Vid försöken spräcktes betongledningen successivt i hela sin längd. Vid försök nr 1 utfördes mätning av jordtryck och rörelser med muskeln i tre olika positioner längs ledningen och med muskeln först i infällt läge, minläge, och sedan i helt utfällt läge, maxläge.



Efter avslutad rörspräckning avlästes jordtrycks- och rörelsemätarna igen.

För att mycket grovt simulera långtidsinverkan av trafik och andra laster på markytan utfördes punktbelastning på markytan. Lasten 70 kN anbringades på en stålplatta 0,32x0,32 m placerad mitt på fyllningens yta, dvs rakt över ledningens mitt. Avläsning av jordtrycks- och rörelsemätare samt mätning av deformationerna hos infodringsröret utfördes efter 1, 10, 100 och 1 000 av- och pålastningar. Dessa mätningar är dock mycket osäkra, eftersom stålplattans sättning vid belastningen var mycket stor, vilket orsakade en avsevärd störning av fyllningen under och runt om belastningsplattan. Resultaten måste därför tolkas med stor försiktighet.

När belastningsförsöken avslutats utfördes en vibrering av fyllningens yta genom 4 överfarter med 100 kg vibratorplatta. Därefter slutavlästes jordtrycksmätare och rördeformationsmätaren varpå lådan tömdes ner till ledningens läggningsnivå och en ny betongrörsledning installerades.

Vid försöken nr 2, 3, 4 och 5 utfördes spräckning och expansion av hela ledningen på samma sätt som vid försök nr 1. Däremot gjordes mätning av jordtryck och rörelser endast vid en muskelposition samt efter helt avslutad spräckning. I övrigt utfördes också belastningsförsök och vibrering som i försök nr 1.

#### Jordlåda

Försöken utfördes vid CTHs jordlåda "Sturehus" i Göteborg. Denna låda har kraftiga väggar av betong och har planmått 5,0x2,0 m.

Lådan fylldes upp till ca 1,5 m under färdig nivå med sand som packades mycket väl. Vid lådans kortväggar placerades två betongbrunnar och mellan dessa lades försöksledningen av betongrör. Längden på denna ledning blev ca 3,0 m, se fig. 3.1.

Därefter återfylldes lådan upp till färdig nivå 1,0 m över rörhjässan med sand. Vid försöken nr 1 till 4 utfördes återfyllningen i lager och varje lager packades till eftersträvad packningsgrad ca 90 % modifierad Proctor. Vid försök nr 5 utfördes återfyllning i lager utan packning.

## Rör

Försöksledningen, som skulle spräckas, utgjordes av betongrör, dimension  $\emptyset$  225 och  $\emptyset$  300 mm. Betongrören var av typ Kanmax med rörlängden 1,0 m.

De använda betongrören hade följande dimensioner:

Beteckning	Innerdiameter mm	Ytterdiameter mm
DN 225	225	285
DN 300	300	375

Rören var försedda med standardmuff men fogades utan gummiring.

## Infodringsrör

Som infodringsrör användes GAP-rör fabrikat Hobas typ K, dimension DN 250 och DN 300.

Rören hade följande mått och egenskaper:

Beteckning	Innerdiameter mm	Ytterdiameter mm	Styvhet SN N/m <sup>2</sup>
DN 250	260	273	5 000
DN 300	302	315	5 000

Rören hade längden ca 0,8 m och fogades med infälld muff utan gummiring.

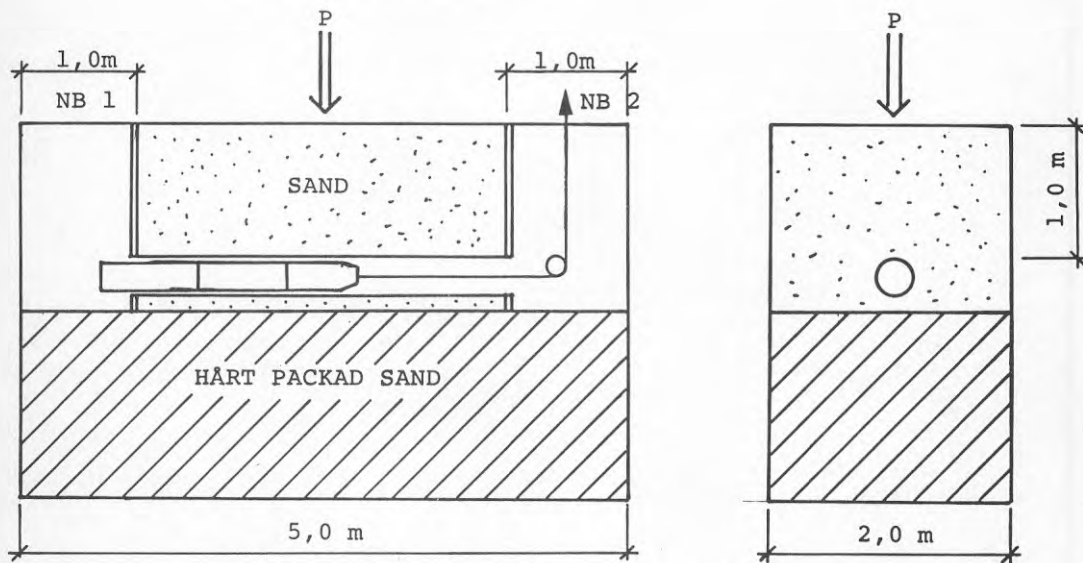


Fig. 3.1 Arrangemang för provning i jordlådan vid CTH

## Muskel

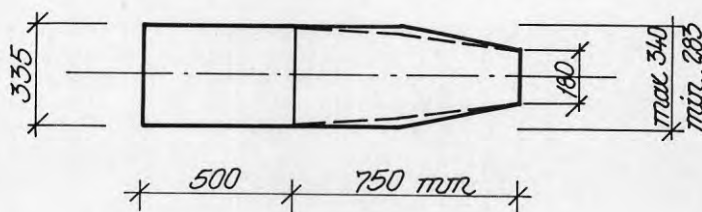
För spräckning av betongrören användes BINABs muskel med dimensioner enligt fig. 3.2.

Muskelns centrala del kan expanderas med stor kraft med hjälp av hydraulcylinder från minläge till maxläge.

Med den använda utrustningen erhöles vid rörspräckningen följande diameterförstoring, expansion, för betongrören:

Dim.	Ursprunglig	Diameterökning	
	ytterdiameter mm	mm	%
DN 225	285	84	29
DN 300	375	40	11

a. Rörspräckare, "muskel", för DN 300



b. Rörspräckare, "muskel", för DN 225

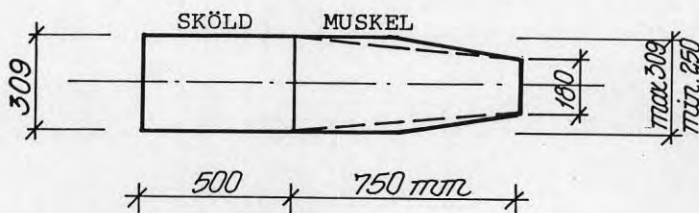


Fig. 3.2 Rörspräckare som använts vid försöken. BINABs "muskel"

### Jordtrycksmätning

Mätning av jordtryck utfördes med hydrauliska jordtrycksmätare typ Glötzl. De använda mätarna var av spadtyp med måtten ca 150x100x5 mm.

Mätning utfördes dels av det horisontella jordtrycket vid sidan av ledningen dels av det vertikala jordtrycket i fyllningen ovanför ledningen.

### Rörelsemätning

Mätning av rörelserna i jordfyllningen utfördes med hjälp av peglar som bestod av stålpinningar monterade på stålplattor med måttet ca 50x50 mm. Endast de vertikala rörelserna mättes.

Rörelserna registrerades genom avläsning mot skalor på stålpinningarna med hjälp av ett avvägningsinstrument. Instrumentets horisontering kontrollerades mot en fixpunkt före och efter varje mätserie.

### Rördeformationsmätning

Mätning av deformationen hos infodringsröret utfördes med hjälp av specialtillverkad mätare av propellertyp. Mätarmens vinkelläge och längd (diametern) registrerades på elektrisk väg.

Mätning av rördeformationen har utförts i tre snitt: vid ledningsmitt samt i två punkter på 0,7 m avstånd från ledningsmitt.

### Fyllningens densitet och modul

Skrymdensiteten hos sandfyllningen mättes vid fyra av de fem försöken. Mätningen utfördes med en isotopustrustad densitets- och fukthaltsmätare typ Throxler 3411B. Följande resultat erhöles:

Försök nr	Djup m	Skrymdensitet kg/dm <sup>3</sup>	Vattenkvot %
1	0,1-0,3	1,76-1,81	3
1	0,7-0,9	1,71-1,77	13
3	0,1-0,3	1,76-1,78	2
3	0,6-0,8	1,70-1,74	8
4	0,1-0,3	1,82-1,83	3
4	0,6-0,8	1,73-1,80	10
5	0,1	1,62	3
5	0,2	1,63	4

Vid försök 5 utfördes mätningen med volymeter av cylindertyp.

Mätningarna vid försöken 1 och 3 utfördes efter avslutade provningar, medan densitetsbestämningarna vid försöken 4 och 5 utfördes före övriga provningar. För dessa senare försök erhöles därför värden som är representativa för den ostörda fyllningen före provning, medan de övriga resultaten visar situationen efter den störning som uppstått i samband med rörspräckning och övrig bearbetning av fyllningen vid provningen.

Bestämning av fyllningens deformationsmodul gjordes med standardpressometer vid tre försök. Följande resultat erhöles:

Försök nr	Djup m	Pressometer- modul, MPa
2	0,6	3,2
4	0,6	2,6
5	0,7	1,8

Pressometermätningarna utfördes efter avslutade provningar i en del av lådan som bedömdes som minst störd.

### 3.3 Försöksresultat

I bilaga 1 till bilaga 5 redovisas resultaten från de utförda mätningarna av jordtryck, jordrörelser och deformationer hos infodringsröret. Där redovisas också mätarnas placering.

#### Jordtryck

De uppmätta jordtrycken i jordlådan före provning svarar väl mot de förväntade. Vid 1 m fyllningshöjd kan således det vertikala jordtrycket mot ett betongrör beräknas till ca 30 kPa och de uppmätta värdena närmast ledningen ligger i allmänhet mellan 20 och 30 kPa mitt på ledningen, där störningen från lådväggarna är liten.

Det horisontella jordtrycket mot betongröret kan i utgångsläget beräknas till ca 10 kPa, vilket också stämmer väl med de flesta uppmätta värdena.

Vid spräckning och expansion av betongröret ökar jordtrycket omkring röret. Med hänsyn till att fyllningshöjden vid försöken varit måttlig, ca



1 m, är det rimligt anta att störst jordtryck skall uppstå horisontellt vid sidan av ledningen. Detta bekräftas också av de utförda mätningarna. I fig. 3.3 har de uppmätta totala horisontaltrycken vid sidan av betongledningen redovisats. Det framgår klart att jordtrycket är störst närmast ledningen för att sedan klinga av på ökat avstånd. Det största uppmätta jordtrycket uppgår till 160 kPa för DN 300 vid diameterökningen 40 mm, medan det största uppmätta jordtrycket för DN 225 uppgick till ca 140 kPa vid packad fyllning och till ca 95 kPa vid löst utfylld fyllning vid diameterökningen 84 mm.

När muskeln drogs ihop med en viss återgång av rörets expansion som följt minskade jordtrycken drastiskt till ursprungliga värden eller lägre. De inträffade tryckökningarna har således en mycket kort varaktighet.

De vertikala jordtrycken ovanför ledningen ökade, med något undantag, endast obetydligt över utgångsvärdena då rörspräckningen utfördes.

Vid några av försöken var den vertikala jordtrycksökningen på nivån 30 cm över röhjässan något större än på övriga nivåer. Om detta har berott på tillfällig variation eller är en följd av verkligt tryck- och rörelsemönster i jordfyllningen kan ej bedömas. Dock kan konstateras att de uppmätta rörelserna i dessa punkter med förhöjt tryck som regel varit små.

#### Jordrörelser

Mätningarna har visat att avsevärda jordrörelser inträffar vid rörspräckningen.

I fig. 3.4 och fig. 3.5 visas uppmätta jordrörelser med muskeln i maxläge. I försök nr 1 gjordes mätning vid tre olika positioner för muskeln, medan mätning endast utfördes i en muskelposition vid övriga försök.

För att tydligare visa hur rörelserna utbildas omkring den del av ledningen som spräcks och expanderas har i fig. 3.6 och 3.7 rörelserna för försök nr 1 redovisats vid muskelns expansion i position 1 resp position 2. Som framgår av dessa figurer har vid detta försök huvuddelen av den rörelse som uppstår vid varje expansion av muskeln inträffat inom ett område som grovt kan begränsas av ytor med lutning ca 2:1.

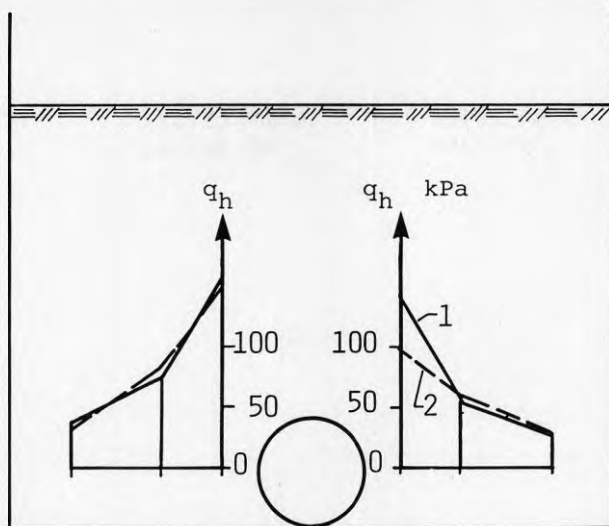
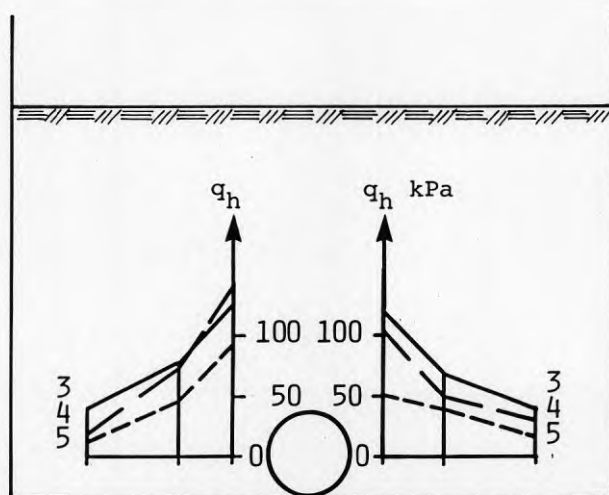
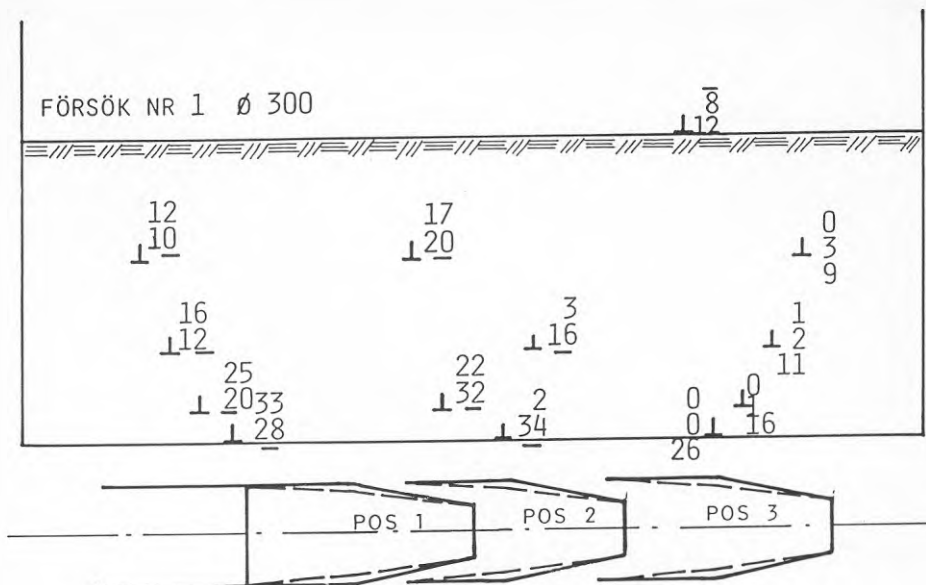
FÖRSÖK NR 1 OCH 2.  $\varnothing$  300FÖRSÖK NR 3, 4 OCH 5.  $\varnothing$  225

Fig. 3.3 Uppmätt horisontellt jordtryck med muskeln i maxläge



## FÖRKLARING:

┆ = PEGEL

0 MÄTVÄRDE MED MUSKEL I POS. 1

┆ 3 MÄTVÄRDE MED MUSKEL I POS. 2

9 MÄTVÄRDE MED MUSKEL I POS. 3

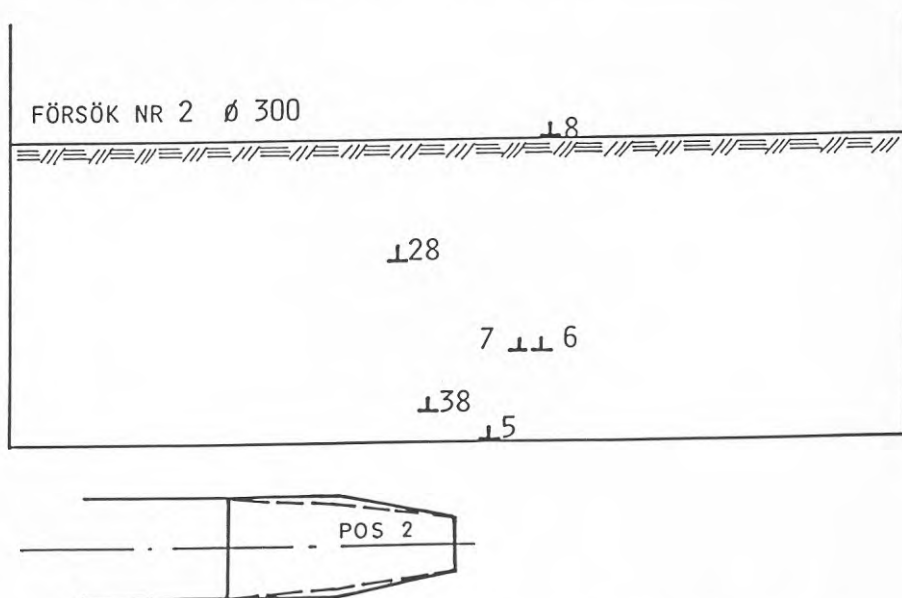


Fig. 3.4 Uppmätta jordrörelser i mm med muskeln i maxläge i olika positioner längs ledningen  
Försök nr 1 och 2

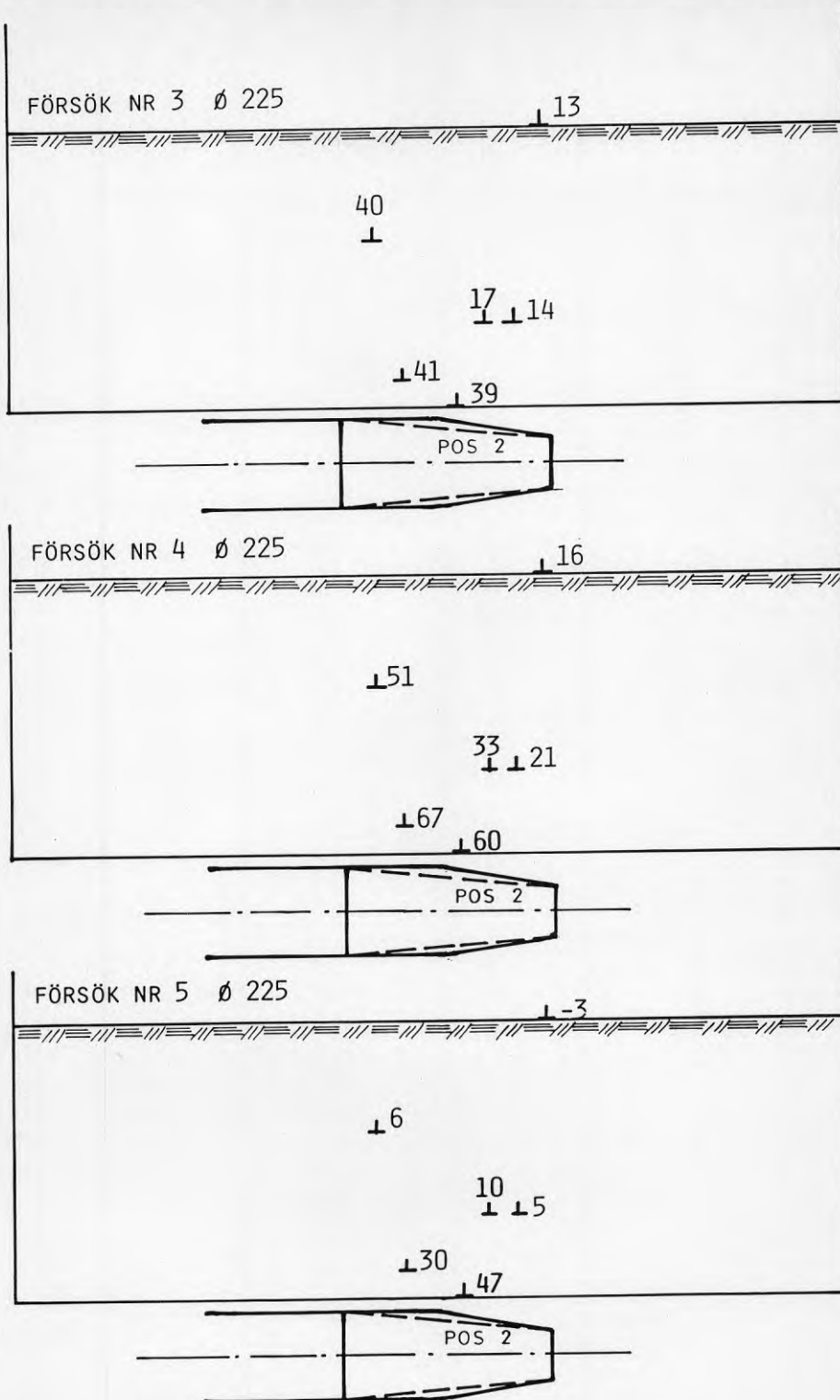
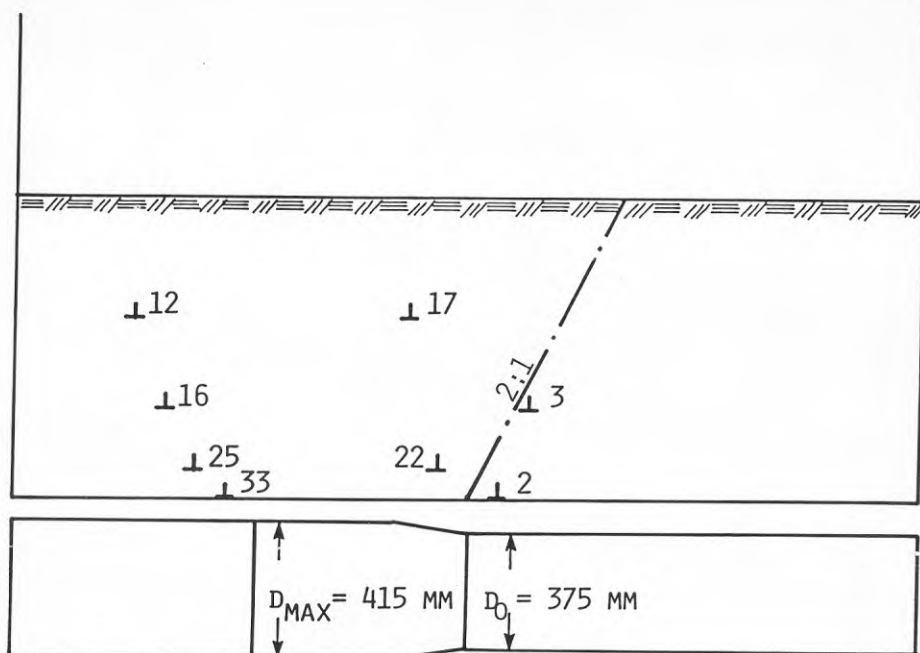


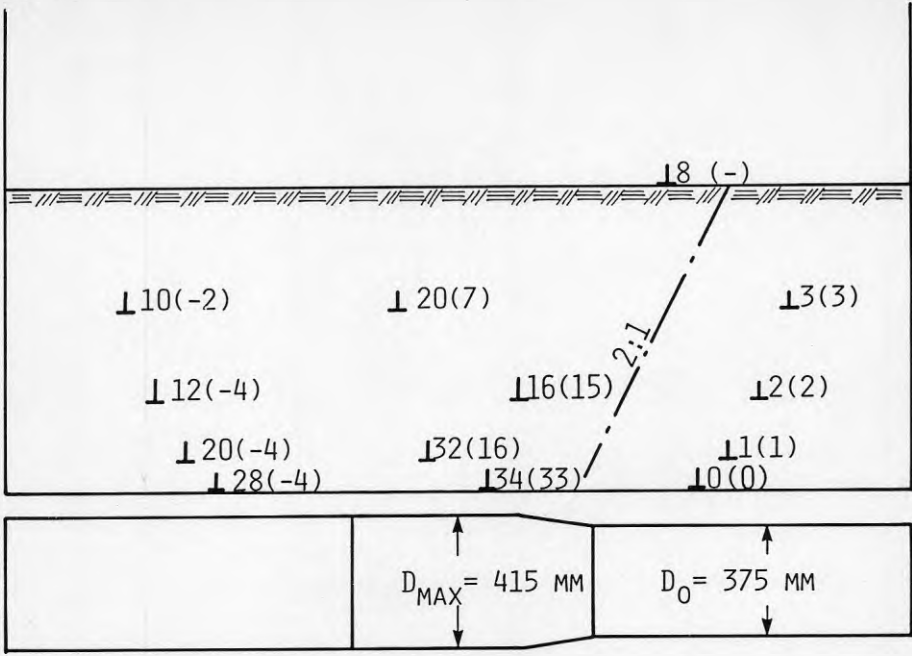
Fig. 3.5 Uppmätta jordrörelser i mm med muskeln i maxläge vid pos. 2  
Försök nr 3, 4 och 5  
Symbolförklaring se fig. 3.4.



## BETECKNINGAR:

- $\perp$  16 — TOTAL RÖRELSE VID  $D_{MAX}$ , MM  
 — PEGEL

Fig. 3.6 Jordrörelser med muskeln placerad framför centrum av lådan, pos. 1  
Försök nr 1  $\emptyset$  300



BETECKNINGAR:

- 16 (15) RÖRELSE UTBILDAD VID EXPANSIONEN FRÅN  $D_0$
- 16 (15) TILL  $D_{MAX}$  I POS. 2
- 16 (15) TOTAL RÖRELSE VID  $D_{MAX}$
- 16 (15) PEGEL

Fig. 3.7 Jordrörelser med muskeln centriskt placerad i pos. 2  
Försök nr 1  $\varnothing$  300



Samma iakttagelse kan i viss mån också göras om rörelserna i fyllningen studeras närmare. I fig. 3.8 visas de maximala rörelserna i jorden i ett tvärsnitt genom jordlådan vid mätsnittet med muskeln i maxläge. I fig. 3.8 visas de kvarstående förskjutningarna på ytan efter det att rörspräckningen avslutats. Om man bortser från kurvorna för de kvarstående förskjutningarna vid försök nr 1, som var det första inledande försöket, där mätningrutinerna för ytmätarna ej var färdiga och resultaten således osäkra, och försök nr 5 med löst utfylld sandfyllning så visar mätningarna att huvuddelen av rörelsen inträffat inom en zon rakt över ledningen. Närmast ledningen tycks rörelserna inträffa inom en zon som är bredare än vad 2:1-linjerna anger, men på större avstånd begränsas de i huvudsak till denna zon.

Vid bedömning av resultaten måste också beaktas inverkan av jordlådans väggar. Dessa kan dock i verkligheten sägas motsvaras av rörgravsväggar, varför förhållandena i jordlådan ej alltför mycket avviker från de verkliga.

En annan intressant iakttagelse som kan göras i fig. 3.9 är att skillnaden mellan resultaten från försöken nr 1, 2, 3 och 4 och resultatet från försök nr 5 är mycket stor. De förstnämnda försöken utfördes med sandfyllning som packades, medan det sistnämnda utfördes med löst utfylld fyllning. Vid försöken med packad fyllning inträffade en hävning, en lyftning, av fyllningsytan på upp till ca 25 mm, medan vid försöket med lös fyllning ytan sjönk, som mest ca 15 mm. Denna skillnad i beteende för de båda fyllningstyperna hänger troligen samman med deras olika egenskaper vid stora skjuvdeformationer. En väl packad sand bibehåller eller ökar sin volym vid skjuvning, medan en löst lagrad sand minskar sin volym. Dessutom uppstår en volymminskning i båda fallen genom kompression av fyllningen på grund av den inträffade tryckökningen i jorden (även om den inte är så stor i vertikalled).

I tabell 3.2 redovisas den maximala volymökningen av betongledningen vid spräckning med muskeln i maxläge, den kvarstående volymökningen av betongrören efter avslutad rörspräckning och återfjädring samt den uppmätta volymökningen på fyllningens yta.

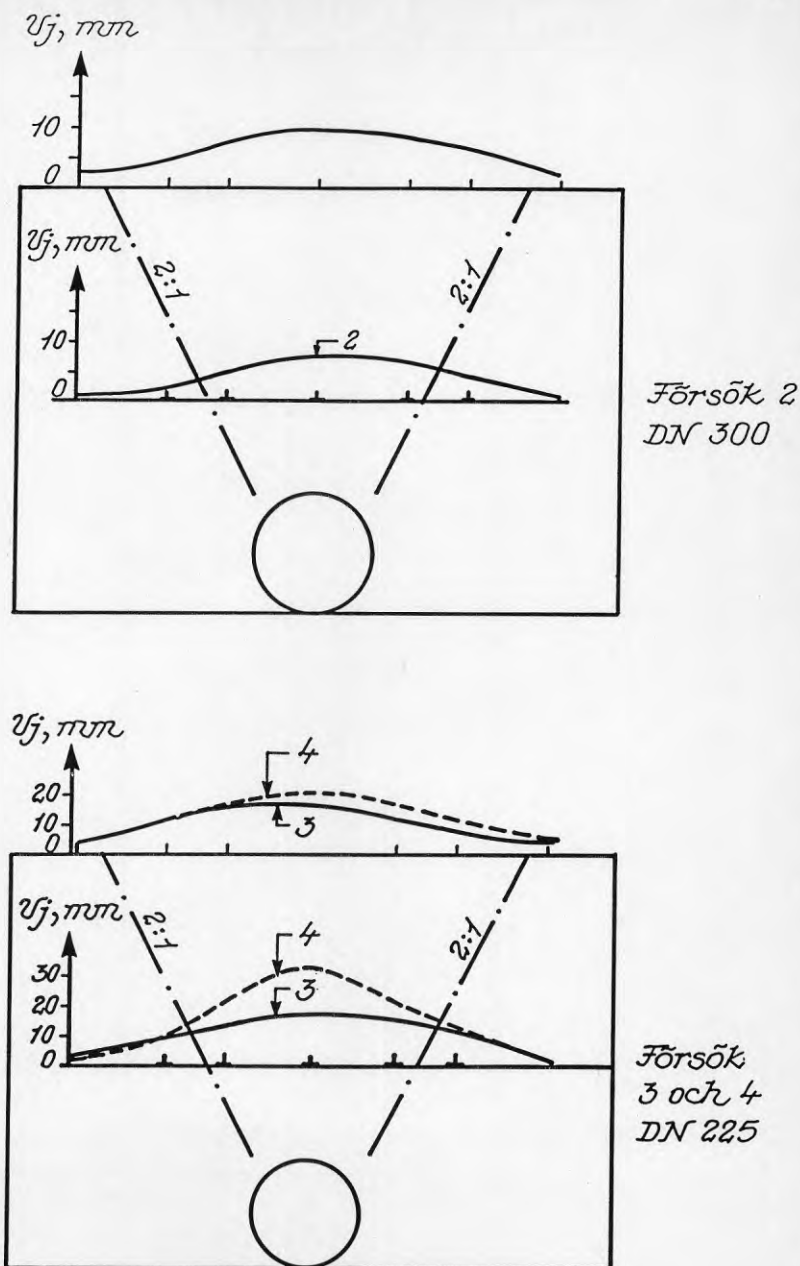


Fig. 3.8 Vertikala jordrörelser 0,30 m och i markytan 1,0 m över rörhjässan med muskeln i maxläge vid pos. 2, dvs vid mätsnittet

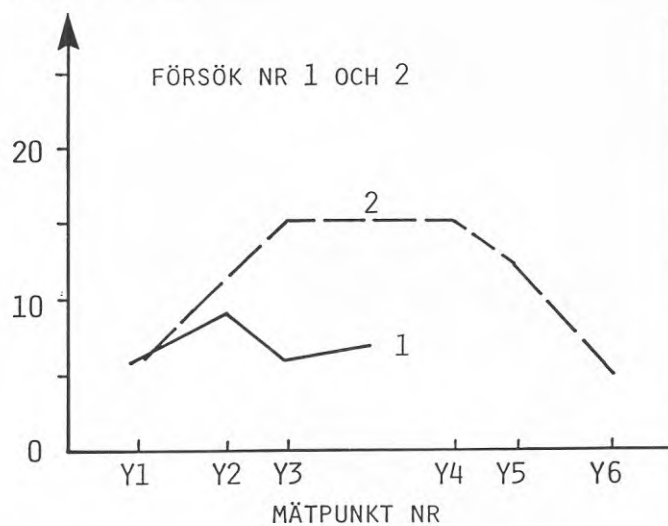
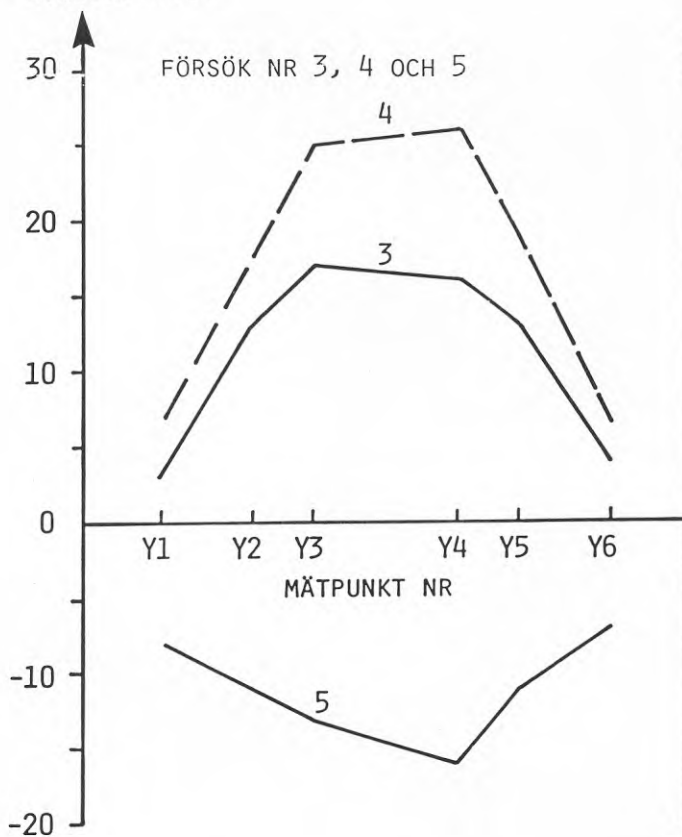
RÖRELSE  $\mu$  mmRÖRELSE  $\mu$  mm

Fig. 3.9 Uppmätta rörelser på fyllningens yta efter avslutad rörspräckning

Tabell 3.2 Uppmätta volymökningar

Försök nr	Max. volymökning av rör, m <sup>3</sup> /m	Uppmätt kvarstående volymökning av rör, m <sup>3</sup> /m	Uppmätt volymökning på ytan, m <sup>3</sup> /m
1	0,025	0,015	0,014
2	0,025	0,017	0,018
3	0,043	-	0,020
4	0,043	0,029	0,028
5	0,043	0,012	-0,015

Antalet mätpunkter på ytan har varit mycket begränsat och antalet försök litet. Det går därför inte att generalisera de erhållna resultaten alltför mycket. För de genomförda försöken kan dock konstateras att i packad sand (försöken nr 1-4) så är storleksordningen för den inträffade volymökningen på markytan densamma som den kvarstående volymökningen för ledningen. För löst utfylld sand inträffade en volymminskning vid uppmätning på ytan trots en kvarstående volymökning hos röret.

Av resultaten från de utförda försöken kan också utläsas hur stor del av den totala diameterökningen vid spräckning av betongrören som gav en uppåtriktad rörelse av rörhjässan samt hur stor återfjädringen var efter avslutad rörspräckning. En sammanställning av dessa data har gjorts i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Sammanställning av rörelser hos rörhjässan

Försök nr	Total diameterökning vid spräckning mm	Höjning av rörhjässan vid spräckning mm	Kvarstående höjning av rörhjässan mm	Återfjädring i % av max. diameterökning %
1	40	34	28	15
2	40	ca 38	28	ca 25
3	84	39	-	-
4	84	60	58	2
5	84	47	26	25

Av tabell 3.3 framgår att större delen av den totala diameterökningen vid flera av försöken utbildades som en höjning av rörhjässan, men variationen mellan de olika försöken är stor.

I tabell 3.3 anges också återfjädringen i procent av den totala diameterökningen vid spräckning. Återfjädringen har därvid antagits vara lika med skillnaden mellan ursprunglig och kvarstående höjning av rörhjässan efter spräckning. Återfjädringen har vid dessa försök legat i intervallet 0-25 % av den maximala diameterökningen. Störst var återfjädringen vid löst utfylld fyllning.

#### Deformation hos infodringsröret

Vid rörspräckningen expanderades betongrörets innerdiameter till ett värde som bestämdes av muskelns ytterdiameter i maxläge minus den återfjädring som ägde rum efter det att muskeln passerat. Följande värden gällde för det expanderade betongrörets maximala innerdiameter före återfjädring och infodringsrörets ytterdiameter vid de olika försöken:

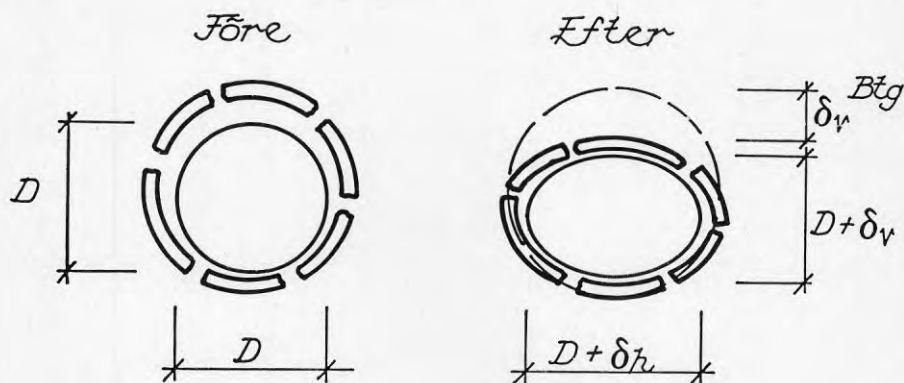
Försök nr	Max. exp. innerdiameter btgrör mm	Ytterdiam. för infodringsrör mm
1	340	315
2	340	315
3	309	273
4	309	273
5	309	273

För de större betongrören var således den teoretiskt maximala spalten 25 mm och för de mindre 36 mm.

I initialskedet var infodringsröret obelastat utan kontakt med det uppspräckta betongrörets övre halva.

Vid belastning med punktlast på markytan sjönk hjässan på det spräckta betongröret och deformationer hos infodringsrören kunde noteras. I tabell 3.4 har sammanställts uppmätta rörelser hos betongrörshjässan och uppmätta deformationer hos infodringsrören vid mätning efter 1, 10, 100 och 1 000 av- och pålastningar, mätt från läget direkt efter spräckning och återfjädring.

Tabell 3.4 Uppmätta rörelser hos betongrörshjässan och diameterändringar hos infodringsröret GAP



Försök nr	Rörelser och diam.ändringar			
	Efter 1 pålastning	Efter 10 pålastn.	Efter 100 pålastn.	Efter 1 000 pålastn.
1 Btgrör, mm, $\delta_v$ Btg	-10,4	-14,3	-17,4	-20,3
GAP vert., mm, $\delta_v$	-1,5	-3,7	-6,1	-8,2
GAP hor., mm, $\delta_h$	1,6	3,8	6,1	8,2
2 Btgrör, mm	-6,7	-8,5	-11,7	-14,7
GAP vert., mm	-2,4	-3,8	-5,5	-7,3
GAP hor., mm	3,0	4,4	6,0	7,8
3 Btgrör, mm	-7,4	-7,4	-12,7	-15,0
GAP vert., mm	-3,1	-4,9	-6,8	-7,9
GAP hor., mm	1,0	2,1	3,5	5,2
4 Btgrör, mm	-15,3	-18,0	-22,4	-27,0
GAP vert., mm	-2,0	-3,2	-4,9	-7,0
GAP hor., mm	2,1	3,2	4,9	6,9
5 Btgrör, mm	-26,5	-35,0	-45,5	-67,5
GAP vert., mm	-10,9	-14,2	-25,0	-32,6
GAP hor., mm	9,8	13,1	-	-



Det bör påpekas att lastplattan sjönk avsevärt under sin ursprungliga nivå under belastningsförsökets gång. Det är således en helt annan och mycket större belastning på ledningen i slutskedet av belastningsförsöket än i dess inledning. Trycket mot röret påverkas också starkt av dess deformation på så sätt att en stor rördeformation reducerar trycket mot röret. Det är således svårt att teoretiskt beräkna det verkliga trycket mot röret. En överslagsmässig kalkyl visar dock att trycket i fyllningen på rörhjässans nivå utan hänsyn till rörets deformation är av storleksordningen 40 kPa. Om denna last verkat direkt mot infodringsröret utan att detta erhöll något sidostöd skulle dess deformation ha varit ca 22 mm för DN 250 och ca 26 mm för DN 300. Den kvarstående deformationen efter avlastning bedöms normalt vara ungefär hälften av deformationen med last eller något lägre. De uppmätta värdena är ju dock väsentligt lägre, vilket tyder på att belastningen varit lägre än det beräknade värdet vid alla försök utom vid försök nr 5 med löst utfyllt fyllning. I detta försök är uppmätt deformation hos infodringsröret av samma storleksordning som den beräknade.

De utförda belastningsförsöken ger underlag för en grov bedömning av belastningsfördelningen mot infodringsröret. Sålunda kan konstateras att deformationen i allmänhet varit nästan ellipsfördelad, vilket betyder att den deformationsframbringande vertikala lasten varit ungefär jämnt fördelad över hela rörets bredd. Vid ett försök (försök nr 3) visar dock den uppmätta deformationsfiguren att mer koncentrerade laster kan uppstå mot infodringsröret. Deformationerna och därmed lasterna har dock i samtliga fall varit små med undantag för försök nr 5.

En annan iakttagelse som kan göras i tabell 3.4 är att den nedåtriktade rörelsen hos betongrörshjässan är avsevärt större än minskningen hos infodringsrörets vertikala diameter. En förklaring till detta kan vara att betongrörsskärvorna ej ligger an direkt mot infodringsröret utan att utrymmet mellan röret delvis är fyllt med sand. Under belastningsförsöket omlagras och omfördelas sanden så att betongrörsskärvorna närmar sig infodringsröret. I verkligheten sker denna process genom inverkan av grundvatten, vibrationer och lastväxlingar och den resulterande belastningen på infodringsröret blir därför starkt beroende av de lokala förhållandena i dessa avseenden liksom av de omgivande jordarternas egenskaper.

Sammanfattningsvis kan utifrån erhållna försöksresultat och kunskaper om de allmänna belastningsförhållandena för rör i mark följande generella slutsatser dras när det gäller dimensioneringsförutsättningarna för infodringsröret:

- Genom inverkan av trafik och grundvattenrörelser sker med tiden en omlagring i marken, som förr eller senare leder till att infodringsröret utsätts för vertikal last från det spräckta betongröret.
- Den vertikala lastens storlek är beroende av infodringsrörets styvhet och av spaltens storlek. För ett flexibelt infodringsrör är belastningen liten fram till den punkt då rörets deformation blivit så stor att anliggning vid rörsidorna erhållits mot betongröret. Infodringsröret kan därefter i princip beräknas på samma sätt som ett flexibelt rör i mark.

Ett styvt infodringsrör beräknas på samma sätt som ett styvt rör i mark utan horisontellt jordtryck.

Dessa slutsatser ligger till grund för dimensioneringsförslag i kap. 7.

#### 4. ERFARENHETER I ENGLAND

För att samla in den praktiska erfarenhet som vunnits utomlands gjordes under september 1987 besök hos två företag i England: Water Research Center, Swindon, och British Gas Engineering Research Station, Newcastle. Vid båda dessa forskningsinstitut har man arbetat med rörspräckningsmetoder under flera år och har en upparbetad kunskap i de aktuella frågorna.

I mars 1988 gjordes ett uppföljningsbesök hos WRC, då bl a konceptet till denna rapport diskuterades.

Besöken genomfördes av Jan Molin, VBB och Anders Jaryd, BINAB.

##### 4.1 Water Research Center, WRC

Vid besöket i september 1987 deltog Gerald Jones, Ken Reed och Tommy Elvidge från WRCs sida. Vid mötet i mars 1988 deltog Sati Arnaout men ej Tommy Elvidge.

WRC arbetar med utvecklingsprojekt för främst den engelska vattenindustrins räkning.

F n har WRC igång ett projekt över 3 år som behandlar förnyelse av vatten- och avloppsledningar genom spräckning och installation av nya rör i befintliga ledningar. Forskningsprojektet vid WRC omfattar uppföljning i fält av ett antal praktiskt utförda ledningar, kontrollerade fältförsök med spräckning av avloppsrör vid korsande vattenledning av segjärn samt slutligen utarbetande av teoretisk metod för bestämning av effekterna av rörspräckning på närliggande ledningar. Slutrapport från det pågående projektet förväntas föreligga 1988 och delrapportering har skett, Reed, 1987.

I England har renovering av ledningar under senare år i ökande omfattning skett med metoder som i princip är schaktningsfria. Metoderna innebär att ett nytt rör, oftast plaströr, installeras inne i en befintlig ledning i dåligt skick. För att möjliggöra en sådan installation måste i regel den gamla ledningens cirkulära tvärsnitt i huvudsak återställas och detta sker genom att en konisk dorn, fast eller expanderbar, förs in i röret. Har dornen en fast diameter sker framdrivningen oftast med hjälp av pneumatisk hammare monterad på dornen medan framdrivning

av expanderbar dorn normalt sker genom winchning från markytan via en brunn eller i ett öppet schakt. Den expanderbara dornen, muskeln, innehåller normalt en hydraulcylinder och den arbetar sig fram genom ledningen med utprepade utvidgande och sammandragande rörelser.

De nya metoderna möjliggör installation av ett nytt rör med större ytterdiameter än den ursprungliga ledningens innerdiameter genom uppspräckning och förstoring av denna ledning. I England finns exempel där DN 225 (innerdiameter 225 mm) ersatts med ett polyetenrör DN 400 (ytterdiameter 400 mm). Vanligen sker dock ej diameterökning med mer än 50 % av ursprungsdiametern.

Avståndet mellan monteringsgroparna (brunnar eller schakt) är normalt ca 100 m men exempel på avstånd upp till 150 m finns. Lämpligt avstånd bestäms av praktiska skäl och av friktionen mot det rör som installeras.

För att minska friktionen expanderas normalt den befintliga ledningen till en innerdiameter som är 30-40 mm större än ytterdiametern på den ledning som skall installeras. Överexpansionens storlek väljs bl a med hänsyn till omgivande jordmaterials sammansättning och till grundvattenförhållandena. Dessa faktorer bestämmer nämligen hur stor återfjädringen blir för det uppspräckta röret och därmed också hur stor friktionskraft som uppstår mot det rör som installeras efter dornen.

Innan rörspräckning utförs framschaktas normalt alla anslutande ledningar som också bortkopplas för att senare återkopplas till den nyinstallerade ledningen.

Vid deformerade ledningar kan diametern för den nya ledningen behöva väljas så att den minst blir lika stor som den horisontella diametern på den deformerade ledningen. I annat fall finns risk för att även den nya ledningen får stora deformationer innan kontakt uppnås mot befintligt rör.

Spräckning har i England utförts på såväl avloppsledningar som vattenledningar. Erfarenhet finns från spräckning av lerrör, oarmerade betongrör, gjutjärnsrör, PVC-rör och "pitch fibre"-rör (ett speciellt engelskt avloppsrör). Vid spräckning av lerrör erhålls som regel ganska små bitar, ca 5-10 cm, medan betongrör ofta spräckes i något större bitar. PVC-rör ger större stycken vid

uppspräckning (eftersom spräckning måste ske med verktyg med skärande knivar). Markförhållandena och rökqualiteten påverkar också resultat av spräckningen. Ibland kan det vara svårt att spräcka muffen på PVC- och gjutjärnsrör vilket kan kräva en speciell utformning av dornen. Likaså ställer ibland gummiringarna i fogarna till problem och kan fastna på dornen.

Vid spräckning och samtidig installation av ny ledning är enligt engelsk erfarenhet framdriften långsammare när omgivande jord utgörs av sand än då den består av lera. Särskilt svåra förhållanden erhålls i sand med högt grundvattenstånd. Dessa förhållanden ger störst friktionskraft mot plaströret.

Enligt WRCs erfarenhet sker huvuddelen av rörets expansion vid spräckning uppåt. Detta gäller särskilt vid fasta jordlager.

I samband med rörspräckning har ett fåtal skador rapporterats på näraliggande ledningar. Någon statistik över dessa är inte publicerad men WRCs uppfattning är att störst skaderisk finns för korsande ledningar. Risken för skador på parallella ledningar bedömdes vara mindre för rörspräckningsmetoden än för konventionell omläggning genom uppgrävning.

Vid WRC pågick hösten 1987 följande aktiviteter inom rörspräckningsområdet:

- Utarbetande av slutrapport från 3-årigt forskningsprogram. Klar 1988.
- Utarbetande av "Code of practice" för rörspräckningsmetoden, som skall ge regler för utförande bl a med hänsyn till risken för skador på näraliggande ledningar. Utarbetas tillsammans med British Gas. Klar 1988.
- Framtagning av en teoretisk FEM-modell för beräkning av rörelser och tryck i omgivande jord.
- Förenklad beräkningsmodell baserad på omvänd tunnelteori.

Vid besöket i mars 1988 pågick arbetet med Code of practice. Som underlag utvecklades en teoretisk (FEM) och en empirisk beräkningsmodell för jordrörelser och påkänningar i näraliggande ledningar. Målet var att göra upp diagram över tillåtna avstånd mellan ledningar för att spräck-

ning skulle få ske. Störst problem ansågs gasledningarna utgöra. För gjutjärnsledningar arbetade WRC med ett maximalt tillåtet värde på 0,4 o/oo för axiell töjning orsakad av spräckning av intilliggande ledning och maximal kvarstående töjning 0,1 o/oo. För polyetenrör ansåg WRC att inga risker alls förelåg.

De parametrar som WRC studerar omfattar bl a

- jordens egenskaper
- expansionsgrad,
- rörspräckare, typ och spräckningshastighet
- flexibilitet hos intilliggande ledning
- fogtyp hos intilliggande ledning
- vägbeläggnings styvhet
- rörgravseffekt
- avståndet mellan ledningarna

För praktiskt bruk ansågs jordens egenskaper vara svårast att fastställa. Enkla fältmetoder för bestämning av jordens kompressibilitet måste utvecklas.

Med hänsyn till svårigheterna att få fram korrekta parametervärden ansåg WRC att en förenklad empirisk beräkningsmodell var mest ändamålsenlig på kort sikt. Arbetet med FEM-baserad beräkningsmodell är långsiktigt.

WRC har således hittills lagt ner ett stort arbete på att studera effekterna av de nya metoderna för schaktningsfri förnyelse av vatten- och avloppsledningar och kommer även framöver att följa utvecklingen inom området. Bl a kommer ett flerårigt program, som omfattar fältmätningar på ett stort antal spräckta ledningar, att startas. Utveckling av utrustning för enkel mätning av rördeformation pågår också. Systemet baseras på datorbearbetning av videofilmad ljusring och betraktas av WRC som mycket lovande.

#### 4.2 British Gas, Engineering Research Station

British Gas sköter all transport och lokal distribution av naturgas i England och svarar för såväl högtrycksnätet som för de lokala lågtrycksnäten i England. Årligen investeras ca 400 miljoner pund i distributionsnäten. Ca 30 % utgörs av reinvesteringar. British Gas bedriver också en omfattande forsknings- och utvecklingsverksamhet



och en av forskningsstationerna är Engineering Research Station nära Newcastle. Chef för den avdelning som arbetar med utvecklingsfrågor för gasledningar är Mr. C.L. Hinsley som också informerade om verksamheten vid Engineering Research Station.

British Gas har under flera år arbetat med schaktningsfria installationsmetoder såväl för nya, mindre ledningar som för renovering av äldre ledningar i dåligt skick, vilket redovisats av Howe-Hunter, 1985.

För installation av nya ledningar används ibland en pneumatiskt framdriven dorn som drar en ledning efter sig. Denna metod används främst för servisledningar och liknande. En av svårigheterna med metoden är att dornen har en tendens att ändra riktning och på ökat avstånd från inmatningsgropen stiga mot markytan. Detta problem uppstår självfallet inte vid installation av nytt infodringsrör i en gammal ledning.

Vid spräckning och expansion av befintlig ledning uppstår enligt erfarenheterna vid British Gas praktiskt taget alltid sprickbildning i markytan. Detta gäller även om ledningen är belägen på stort djup. Som exempel angavs en ledning i Christchurch, som expanderats från en diameter på 100 mm till en ny diameter på 200 mm och där sprickbildning uppstått i vägytan trots att läggningsdjupet var så stort som 10 m.

Omfattningen av sprickbildningen i vägytan beror bl a på beläggnings kvaliteten. Sålunda har aldrig sprickbildning observerats i de mest högklassiga beläggningsarna som används på s k A-roads i England där överbyggnaden normalt består av en asfaltbeläggning på en 20 cm tjock armerad betongplatta.

När det gällde jordrörelser orsakade av expansion av en befintlig ledning angav Mr. Hinsley att erfarenheten visat att huvuddelen av rörets expansion tas ut uppåt inom en zon begränsad av två ytor som lutar 45° enligt fig. 4.1. Volymen av hävningen på markytan kunde vid vissa förhållanden t o m bli större än volymökningen hos röret bl a beroende på sprickbildning, volymökning hos väl packad fyllning vid skjuvning etc.

Vad beträffar skaderisken för näraliggande ledningar är erfarenheten hos British Gas, liksom hos WRC, att risken för korsande ledningar är större än för ledningar som ligger parallellt med den som expanderas. För ledningar som ligger parallellt och utanför rörelsezonerna enligt fig. 4.1 är risken för skador mycket liten.

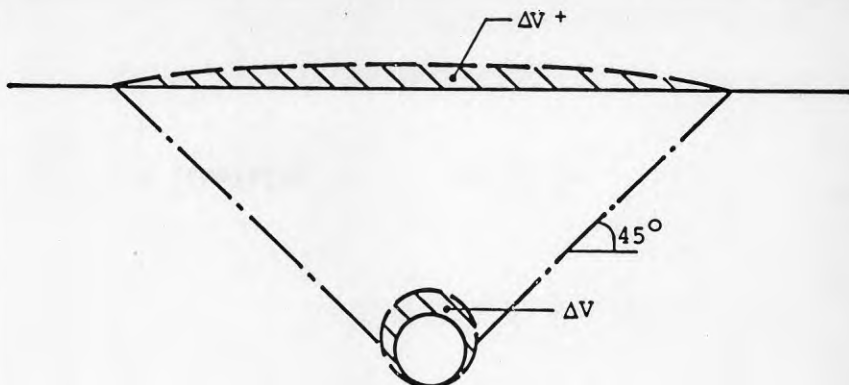


Fig. 4.1 Zon som främst påverkas vid expansion av ett rör enligt Mr. Hinsley

Mr. Hinsley redovisade ett projekt som genomförts och där skador inträffat på en parallellt liggande ledning. En spillvattenledning på 4 m djup spräcktes och expanderades från  $\varnothing$  150 till  $\varnothing$  300 mm. Rakt över denna ledning och på djupet 1 m under markytan låg en gasledning  $\varnothing$  100 mm av gjutjärn. Återfyllningsmaterialet var lera. På den aktuella sträckan fanns 15 fogar i gasledningen och vid spräckningen av avloppsledningen uppstod läckage i 3 av fogarna men inga skador inträffade på gasrören.

För varje projekt som berör gasledningar gör British Gas en bedömning av risken för skador. Därvid används ett beräkningsprogram baserat på en FEM-modell som utvecklats vid British Gas. Programmet avses vidareutvecklas under kommande år. Avsikten är att beräkningsprogrammet skall behandla jordrörelser och samverkan mellan rör och jord. Arbetet med programutvecklingen bedrivs f n med begränsade resurser.

Som tillåten töjningsökning i gasledningar av gjutjärn använder British Gas f n 0,15 o/oo.

Sammanfattningsvis visade besöket på British Gas att företaget sedan flera år använt schaktningsfri teknik för installation av gasledningar såväl direkt i mark som i befintliga ledningar och att forskningsprojekt f n pågår för utveckling av utrustning (tillsammans med entreprenör och maskintillverkare) och metoder för beräkning av påverkan på näraliggande ledningar.

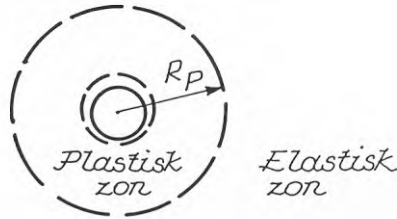
## 5. BERÄKNINGSMODELL FÖR JORDRÖRELSER

5.1 Inledning

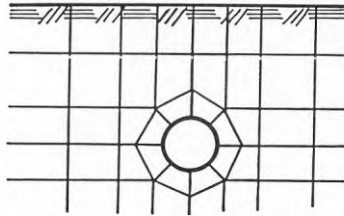
Den skenbart enkla uppgiften att i en beräkningsmodell beskriva rörelseförhållandena i jorden omkring ett rör som expanderar är vid närmare analys tämligen komplicerad. En korrekt modell skall nämligen beakta såväl de elastiska som plastiska egenskaperna hos omgivande jordfyllning liksom den komplicerade geometri som kan gälla för rörgrav och andra begränsningsytor i jorden.

Problemet kan behandlas på olika sätt. Här kommer följande modeller att belysas:

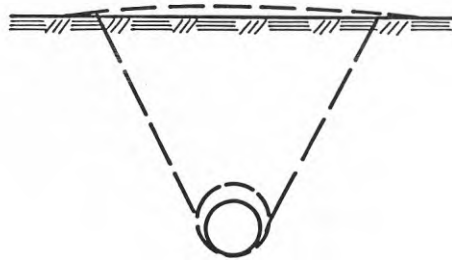
Analytisk modell



FEM-modell



Empirisk modell



## 5.2 Analytisk modell

I modellen uppdelas omgivande jord i en fullständigt plasticerad zon närmast röret och en helt elastisk zon utanför den plastiska. Metoden ger matematiska uttryck för radien för den plastiska zonen och för rörelser och tryck i gränssytan mellan den plastiska och elastiska zonen.

Modellen förutsätter symmetriska förhållanden runt röret och kan ej beakta inverkan av markytan eller inverkan av olika egenskaper hos återfyllning i rörgraven och naturlig jord. Modellen har därför ett begränsat praktiskt värde men kan i vissa fall vara användbar för kvalitativa parameterstudier.

Metoden har använts av bl a Vesic, 1972 och O'Rourke, 1985 och för en mer detaljerad beskrivning hänvisas till dessa referenser.

## 5.3 FEM-modell

I denna modell delas jorden in i finita element, där varje element tilldelas hållfasthets- och deformationsegenskaper och där elementen kopplas samman genom lämpligt valda randbetingelser.

Den finita elementmetoden bygger på datorberäkningar. Den ger stor frihet vid val av geometriska förhållanden och möjliggör beaktandet av varierande deformations- och hållfasthetsegenskaper i olika delar av jorden.

För datorberäkningarna kan generella FEM-program användas. Det har dock ej ingått i detta projekt att bygga upp en FEM-modell för ett rör i mark, vilket kräver en förhållandevis stor arbetsinsats.

FEM-metoden möjliggör beräkning av deformationer och påkänningar i en jordmassa med varierande egenskaper och med godtyckliga geometriska villkor.

Metodens begränsning ligger i bristande kunskap vad gäller materialdata för jorden. Trots denna begränsning är metoden intressant och skulle kunna göras föremål för ett särskilt projekt.

## 5.4 Empirisk modell

Vid besök hos British Gas diskuterades erfarenheter som erhållits vid mångårig användning av rörspräckningsmetoden inom gasindustrin i England. Mr. Hinsley vid British Gas Research Station framförde

då hypotesen, baserad på praktisk erfarenhet, att huvuddelen av rörexpansionen endast påverkade rörelserna i jordfyllningen i en zon ovanför röret. Hinsley angav att zonen begränsades av två linjer i  $45^\circ$  lutning.

Mot bakgrund av erfarenheterna i England och Hinsleys hypotes föreslås här följande empiriska modell när det gäller beräkning av de vertikala jordrörelserna i jordfyllningen över en expanderande rörledning:

- a. Vid expansion av rörledningen sker en lyftning av ovanförliggande jord. Jordvolymen över ledningen antas bli helt plasticerad i ett rankinskt jämviktstillstånd med tendens till horisontell expansion, *fig. 5.1*. Den plastiska zonen begränsningsytor lutar vinkeln  $45^\circ + \phi/2$  mot horisontalplanet, där  $\phi$  är den inre friktionsvinkeln för jordfyllningen.

Jorden utanför den plastiska zonen antas vara elastisk och rörelserna i den antas vara små.

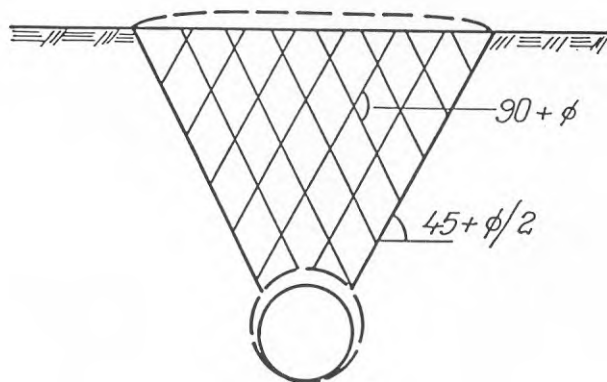


Fig. 5.1 Helt plasticerad zon i rankinskt jämviktstillstånd över expanderande rör

- b. Den totala volymökningen  $\Delta V$  av rörets volym vid expansion från ursprunglig ytterdiameter  $D$  till expanderad ytterdiameter  $D_e = \alpha \cdot D$  är

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 (\alpha^2 - 1) \text{ m}^3/\text{m} \quad (5.1)$$

där

$D$  = ursprunglig ytterdiameter

$\alpha$  =  $D_e/D$  = expansionsfaktor

$D_e$  = expanderad ytterdiameter

- c. Endast den del av rörets totala volymökning, som befinner sig ovanför en horisontell linje genom rörets övre kvartscirkel, antas medverka till de vertikala jordrörelserna i fyllningen över röret, fig. 5.2. Denna medverkande del av volymökningen kan beräknas enligt följande:

$$\Delta V_1 = a \cdot A \cdot \Delta V \text{ m}^3/\text{m} \quad (5.2)$$

där

$a$  = koefficient

$$A = \frac{\alpha^2}{(\alpha^2 - 1)} \left( \beta + \sin \beta - \frac{1,71 \sin \beta}{\alpha} - \frac{0,29}{\alpha^2} \right)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{1,71}{\alpha} - 1 \right)$$

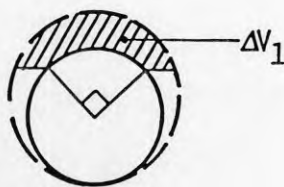


Fig. 5.2 Antagen del av rörets volymökning som ger vertikala jordrörelser



Faktorn A har beräknats med antagandet att rörets botten ligger stilla under expansionen, vilket är ett antagande på säkra sidan i de flesta fall. Det stämmer helt bara i det fall att ledningen ligger på ett mycket fast underlag, t ex hård morän eller berg. Följande värden gäller för faktorn A vid olika värden på expansionsfaktorn  $\alpha$ :

$\alpha$	A
1,10	0,51
1,20	0,57
1,30	0,61
1,40	0,64
1,50	0,67
1,60	0,69
1,70	0,71

Koefficienten a beskriver främst inverkan av rörets nedsjunkning i underlaget vid expansionen. För helt fast underlag är således värdet på a lika med 1, medan det minskar vid ökad eftergivlighet. Följande värden föreslås preliminärt för a för överslagsmässig beräkning:

a = 1,0 fast underlag

a = 0,75 eftergivligt underlag

- d. Den vertikala rörelsen i jorden antas vara en funktion av rörets volymökning och av den volymetriska töjningen i den plastiska zonen över ledningen.

För ett långt rör som expanderas kan den vertikala jordrörelsen på avståndet z från ursprunglig rörhjässa överslagsmässigt beräknas enligt följande uttryck:

$$u_j = \frac{\Delta V_1 + \kappa \cdot z \left[ D + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} (45 - \emptyset / 2) \right]}{D + 2 \cdot z \cdot \operatorname{tg} (45 - \emptyset / 2)} \quad (5.3)$$

där

$\kappa$  = volymetrisk töjning i plastisk zon över röret

z = avstånd från ursprunglig rörhjässa

$\emptyset$  = inre friktionsvinkel i plastiska zonen ovanför röret

Om jordrörelserna orsakas av expansion av en begränsad längd av röret, vilket ju är fallet vid uppspräckningsmomentet, kan följande

de uttryck tillämpas för beräkning av rörelserna i jorden:

$$u_j = \frac{V_1 \cdot L + \kappa \cdot V_2}{[L+2 \cdot z \cdot \operatorname{tg}(45-\varnothing/2)] [D+2 \cdot z \cdot \operatorname{tg}(45-\varnothing/2)]} \quad (5.4)$$

där

$L$  = expanderad rörlängd

$$V_2 = \frac{z}{3} (A_1 + B_1 + \sqrt{A_1 \cdot B_1})$$

$$A_1 = L \cdot D$$

$$B_1 = [L+2 \cdot z \cdot \operatorname{tg}(45-\varnothing/2)] [D+2 \cdot z \cdot \operatorname{tg}(45-\varnothing/2)]$$

Ekv (5.4) kan användas vid beräkning av jordrörelserna vid varje enskild expansion av muskeln. Längden  $L$  avser då längden på den vid den aktuella utvidgningen av muskeln expanderade delen av röret.

Den volymetriska töjningen  $\kappa$  är beroende av spänningstillståndet i den plastiska zonen och av sambandet mellan volymändring och spänning. Den kan vara såväl positiv som negativ. Vid fast lagring kan den således vara positiv genom att jorden då ökar sin volym vid skjuvning. Vid lös lagring är den volymetriska töjningen negativ, vilket avsevärt kan minska jordrörelserna eller ge rörelser i motsatt riktning som rörets expansion.

### 5.5 Jämförelse med försöksresultat i jordlåda

För att pröva giltigheten av den föreslagna modellen för beräkning av jordrörelserna vid ett expanderande rör har den tillämpats på de genomförda försöken i jordlådan, se kap. 3.

I tabell 5.1 och tabell 5.2 redovisas erhållna beräkningsresultat och uppmätta värden.

Vid beräkningarna har inre friktionsvinkeln för jorden satts till  $\varnothing = 36^\circ$ , den volymetriska töjningen  $\kappa = 0$  och koefficienten  $a = 1,0$ .

Tabell 5.1 Vertikala jordrörelser vid jordlådeförsök med rör  $\varnothing$  300

Data  $D = 375$  mm,  $D_e = 415$  mm

$\alpha = 1,11$ ,  $A = 0,51$

$L = 1,0$  m,  $\Delta V = 0,026$  m<sup>3</sup>/m

Nivå över hjässan mm	Vertikala rörelser, $u_j$ , mm			
	Mätta Försök 1	2	Beräknade Ekv (5.3)	Ekv (5.4)
100	32	38	27	25
300	16	7	19	15
600	20	28	13	8
1000 (ytan)	12	8	9	5

Tabell 5.2 Vertikala jordrörelser vid jordlådeförsök med rör  $\varnothing$  225

Data  $D = 285$  mm,  $D_e = 370$  mm

$\alpha = 1,30$ ,  $A = 0,61$

$L = 1,0$  m,  $\Delta V = 0,044$  m<sup>3</sup>/m

Nivå över hjässan mm	Vertikala rörelser, $u_j$ , mm				
	Mätta Försök 3	4	5	Beräknade Ekv (5.3)	(5.4)
100	41	67	30	70	64
300	17	33	10	46	36
600	40	51	6	31	19
1000 (ytan)	15	16	-3	21	11

De redovisade mätta värdena avser de rörelser som uppmättes då muskeln stod i uppspänt läge vid mätsnittet, dvs i position 2 enligt redovisningen i bilaga 1. För detta fall bedöms ekv (5.4) bäst motsvara de verkliga förhållandena.

Som framgår av tabellerna ovan är de beräknade värdena som regel något mindre än de uppmätta när det gäller försök 1, 2, 3 och 4. Vid dessa försök var fyllningen väl packad. För försök 5 är beräknade rörelser större än de uppmätta och vid detta försök var fyllningen löst utfylld.

En orsak till avvikelserna mellan uppmätta och beräknade värden kan vara att den volymetriska töjningen i den plastiska zonen inte varit noll såsom antagits i beräkningarna. Det synes i stället vara så att jorden vid skjuvning ökat sin volym något när den varit packad, som i försök 1, 2, 3 och 4, vilket givit en positiv volymetrisk töjning, medan jorden minskat sin volym när den varit opackad som i försök 5, vilket motsvarar en negativ volymetrisk töjning.

Det kan också noteras att störst avvikelse mellan beräknad och mätt rörelse inträffat på nivåerna 300 och 600 mm över rörhjässan. Någon förklaring till detta fenomen kan ej ges förutom det faktum att mätarna på nivå 600 mm var placerade 20 cm framför centrum för muskelläget vid mätningen. Det är inte uteslutet att mätaren på nivån 600 mm påverkats av muskelns rörelser innan den nådde fram till position 2, där mätarna avlästes. En annan förklaring till de avvikande resultaten kan möjligen vara att felkoppling skett av mätutrustningen.

I praktiken torde spridningen i rörelsernas storlek vara avsevärd beroende på de inhomogena förhållanden som kan råda i en rörgrav. Det bedöms därför ej vara meningsfullt att för praktiskt bruk driva förfiningen av de teoretiska beräkningsmetoderna alltför långt. Rörelseberäkning i praktisk tillämpning bedöms därför kunna utföras med hjälp av ekv (5.4).

Om sambandet mellan volymändring och spänning ej närmare klarlagts för den aktuella ledningen i ett praktiskt fall kan den volymetriska töjningen antas vara lika med noll. Detta ger dock sannolikt en viss underskattning av rörelserna och i känsliga fall bör dessa förhållanden studeras närmare.

## 6. BERÄKNINGSMODELL FÖR NÄRALIGGANDE LEDNING

### 6.1 Allmänt

För en ledning som ligger nära ett rör som expanderar uppstår påkänningar av olika slag, vilket dels kan ge risk för rörbrott dels ge risk för läckage i fogarna. Påkänningarnas storlek är beroende av bl a följande faktorer:

- ledningens läge i förhållande till det expanderade röret. Ligger ledningen under detta rör blir påkänningarna små,
- ledningens dimension och styvhet,
- avståndet mellan expanderande rör och näraliggande ledning,
- expansionens storlek,
- homogeniteten och packningsgraden hos omgivande jord.

Vid bedömning av risken för haveri på en näraliggande ledning har läget i förhållande till den expanderande ledningen största betydelsen. För en ovanförliggande korsande ledning är risken störst för axiellt brott på grund av att ledningens balkhållfasthet överskrids. För en parallellt liggande ledning är risken för balkbrott mindre än för en korsande ledning, eftersom den får stöd från bakomliggande jord längs hela sin längd. Däremot kan viss risk för haveri i ringled föreligga för en parallell ledning, som ligger i jämnhöjd med en expanderande ledning, eftersom horisontaltrycket nära denna kan bli stort.

Olika betraktelsesätt måste därför användas för korsande respektive parallellt liggande ledningar.

### 6.2 Korsande ledning

#### Underliggande ledning

En korsande ledning som ligger under den ledning som expanderar kommer att ha mycket god inbäddning i jorden och böjpåkänningarna i axialled kommer att bli små i en sådan ledning. Beräkning av balkpåkänningarna kan göras på samma sätt som för en parallell ledning belägen vid sidan om den expanderande ledningen (se kap. 6.3). Tryckfördelningen under ledningen kan beräknas enligt 2:1-metoden, vilket ger följande tryck på den underliggande ledningen:

$$p = \frac{Q_{be} L}{(L+z)(D_e+z)} \quad \text{kN/m}^2 \quad (6.1)$$

där

- $Q_{be}$  = banklast beräknad för ett styvt rör med ytterdiametern  $D_e$  (expanderat rör), kN/m  
 $L$  = längden på expanderad rörsträcka. Kan överlagsmässigt sättas lika med längden på rörspräckaren  
 $z$  = fritt avstånd mellan rören

Den undre ledningen antas bli belastad med trycket  $p$  enligt ekv (6.1) plus egenvikten hos fyllningen mellan de båda ledningarna:

$$Q = p \cdot D_1 + \gamma \cdot H_1 \cdot D \quad \text{kN/m} \quad (6.2)$$

där

- $Q$  = belastning på undre ledning, kN/m  
 $D_1$  = ledningens ytterdiameter, m  
 $\gamma$  = fyllningens tunghet, kN/m<sup>3</sup>  
 $H_1$  = avstånd mellan korsande ledningar, m

Banklasten  $Q_{be}$  kan beräknas enligt VAV Publikation P9.

I praktiken är belastningen på en underliggande korsande ledning normalt betydligt lägre än den som beräknas enligt ekv. (6.2) beroende på gravverkan. Det bedöms därför endast i undantagsfall och för speciellt känsliga fall vara nödvändigt att göra kontrollberäkning för underliggande korsande ledningar.

#### Ovanförliggande ledning

En korsande ledning ovanför en expanderande ledning passerar genom den zon som är mer eller mindre plasticerad. I denna zon rör sig jorden uppåt vid rörexpansionen, medan rörelserna är små utanför zonen. För en korsande ledning uppstår då ett uppåtriktat tryck i den plastiska zonen och ledningen får inget stöd av ovanförliggande fyllning. Utanför den plastiska zonen blir dock ledningen inspänd i jorden och beräkning av de axiella påkänningarna i ledningen kan approximativt utföras som för balk på elastiskt underlag enligt fig. 6.1.

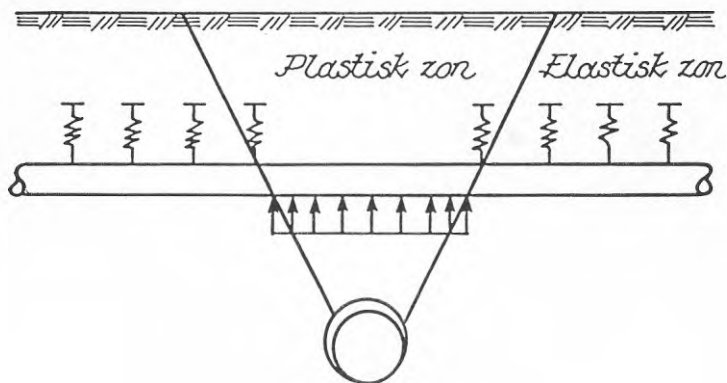


Fig. 6.1 Beräkningsmodell för ovanför-  
liggande korsande ledning

I den plasticerade zonen antas trycket mot ledningen kunna beräknas på samma sätt som för en grundplatta, dvs med hjälp av de allmänna bärighetsekvationerna. Dessa baseras nämligen på antagandet att jordens maximala bärförmåga utnyttjats och att förskjutning av grundplattan kan ske utan ytterligare tryckökning. Detta maximala tryck, gränstrycket, kan beräknas enligt följande ekvation:

$$p_u = q \cdot Nq \cdot D_1 \quad (6.3)$$

där

$p_u$  = gränstryck mot ledningen

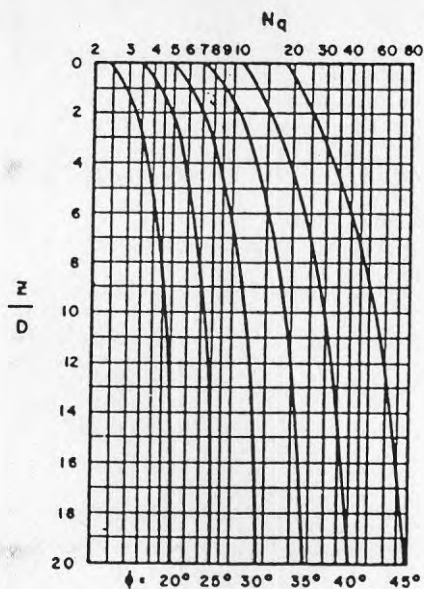
$q$  = effektivtrycket (totaltryck minus vattentryck) vid ledningens centrum

$Nq$  = bärighetsfaktor

$D_1$  = korsande lednings ytterdiameter

Storleken på bärighetsfaktorn  $Nq$  varierar med jordens hållfasthetsparametrar. För sand anges i fig. 6.2 värden på  $Nq$  enligt Brinch Hansen, 1961.





AFTER BRINCH HANSEN, 1961

Fig. 6.2 Bärighetsfaktorn  $N_q$  för friktionsjord

Gränstrycket enligt ekv. (6.3) uppstår först när rörelserna i jorden relativt röret är av storleksordningen 1-2 % av djupet under markytan enligt Audibert-Nyman, 1977. Vid mindre rörelse föreslås av Audibert-Nyman följande samband mellan rörelse och tryckökning:

$$p = \frac{p_u \cdot \bar{u}}{0.145 + 0.855 \bar{u}} \quad (6.4)$$

där

$p_u$  = gränstryck

$$\bar{u} = \frac{u}{u_u}$$

$u$  = jordens aktuella rörelse relativt ledningen

$u_u$  = jordens rörelse relativt ledningen vid gränstrycket  $p_u$

Påkänningarna i den korsande ledningen är således beroende av rörelserna i jorden och ledningens egen förskjutning eller förmåga att följa med i dessa rörelser. Den relativa rörelsen  $u$  skall således beräknas som skillnaden mellan jordrörelsen och ledningsrörelsen:

$$u = u_j - u_l$$

Beräkning av påkänningar och ledningsrörelser med hänsyn till ledningens elastiska inspänning i jorden kan utföras med exempelvis Teknikdatas rörprogram R01019. Bäddningsmodulen och fjädringsmodulen kan beräknas enligt följande:

$$k = D_y \cdot k_v \quad \text{MN/m}^2 \quad (6.5)$$

$$k_v = k_{vo} \cdot \left( \frac{D_y + 0,3}{2D_y} \right)^2 \quad \text{MN/m}^3$$

där

$k$  = fjädringsmodul för ledning med ytterdiametern  $D_y$

$k_v$  = vertikal bäddningsmodul

$k_{vo}$  = bäddningskoefficient

Värdet på  $k_{vo}$  beror på jordart och lagringstäthet. För friktionsjord, sand, anges i Bygg följande sannolika värden för olika lagringstäthet baserade på undersökningar utförda av Terzaqi, 1955:

	$k_{vo}$
Lös	13 MN/m <sup>3</sup>
Medel	40 "
Fast	150 "

Eftersom ledningens rörelse  $u_l$  påverkar belastningens storlek måste beräkning av påkänningar och rörelser utföras successivt. Beräkningen startar med att lasten  $p$  beräknas med antagandet att ledningen är helt styv. Därpå beräknas ledningens rörelse för lasten  $p$ . Den beräknade ledningsrörelsen används sedan för beräkning av ny last  $p$  och ny ledningsrörelse erhålls. Beräkningen upprepas därefter tills skillnaden mellan beräkningsresultaten är acceptabelt liten.

Som ingångsdata i beräkningarna används:

- jordrörelsen  $u_j$  enligt ekv (5.4) (den volymetriska töjningen har antagits vara noll)

- gränsrörelsen  $u_s = 0,015 \cdot H$ , där  $H$  är avståndet mellan korsande ledning och markytan
- rörspräckarens längd 0,5 m.

Som exempel har beräkning genomförts för ledningar av segjärn och PVC, som korsar en betongledning  $\varnothing$  225 mm. Betongledningen expanderas 30 % och ligger med fyllningshöjden 3,0 m över rörhjässan. Ingen hänsyn har i beräkningarna tagits till fogarnas inverkan på påkänningarna i segjärns- resp PVC-ledningarna. Det fel, som därigenom uppstår, torde dock vara försumbart i jämförelse med osäkerheten i övriga beräkningsförutsättningar.

I fig. 6.3 redovisas beräknade axiella påkänningar för segjärnsröret och i fig. 6.4 beräknade påkänningar för PVC-röret. Vid beräkningarna har antagits att den plastiska zonen begränsats av sidor med lutningen 2:1, vilket motsvarar inre friktionsvinkeln  $\varnothing = 36^\circ$ . Beräkningarna har gjorts med antagen bäddningskoefficient  $k_{VO} = 40 \text{ MN/m}^3$ , vilket motsvarar medelfast lagrad friktionsjord.

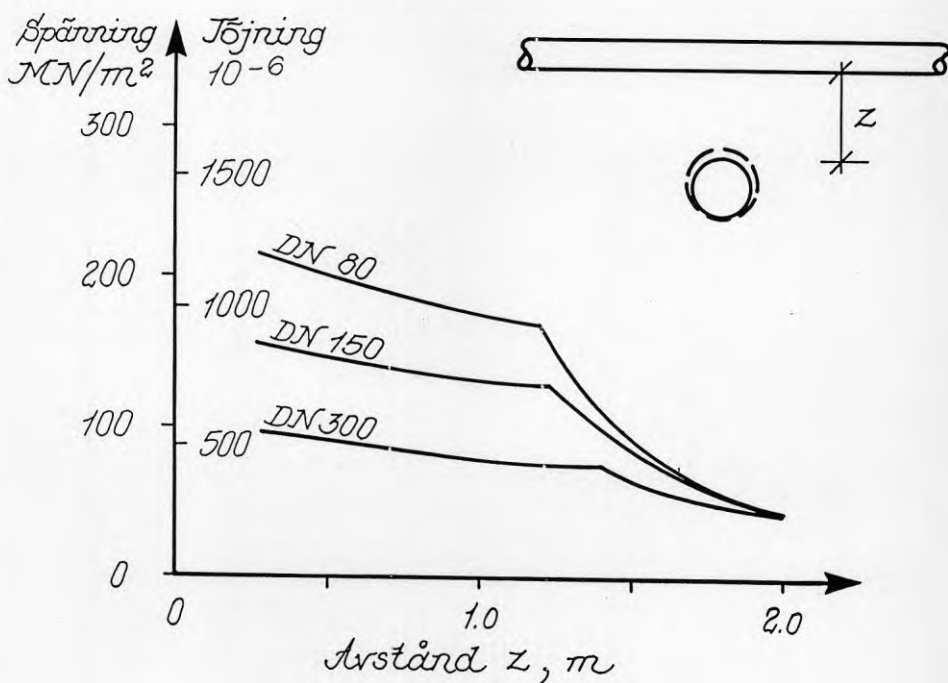


Fig. 6.3 Beräknade böjpkänningar i axialled i korsande ledning av segjärnsrör K9 (standardserie)

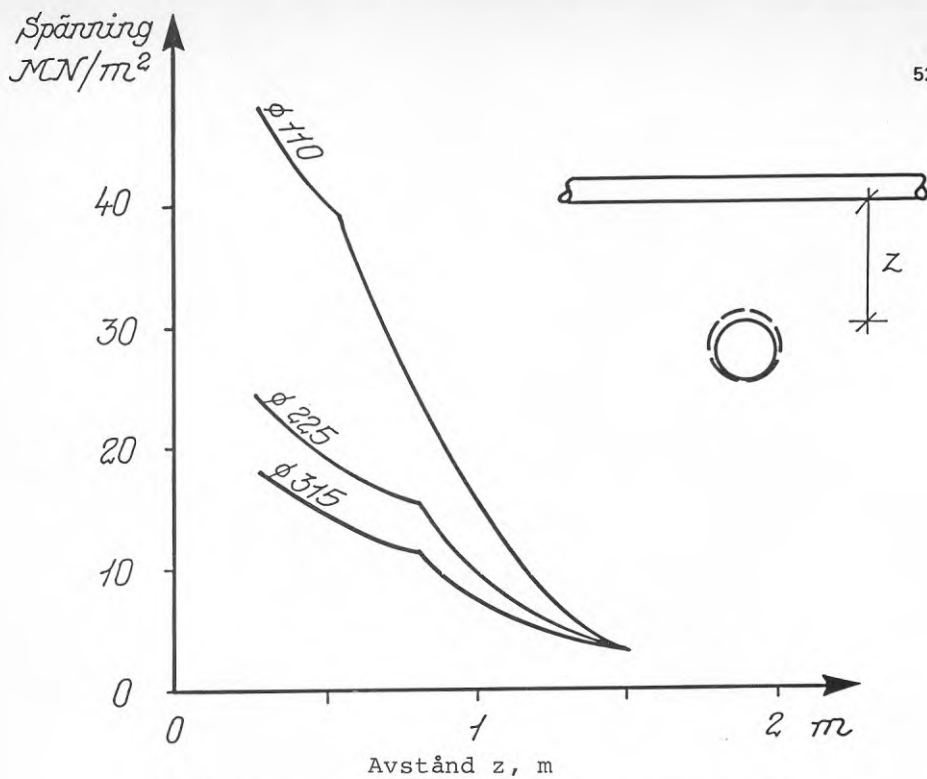


Fig. 6.4 Beräknad böjpkänning i axialled i korsande ledning av PVC-rör NT 10

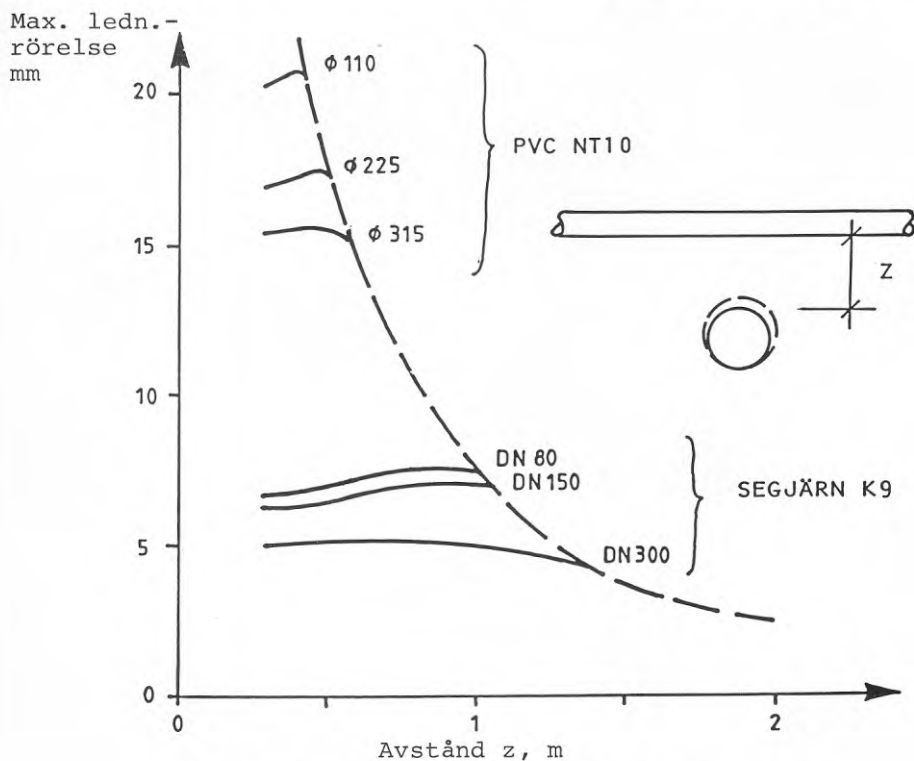


Fig. 6.4a Beräknad maximal ledningsrörelse i vertikalled hos korsande ledning

I fig. 6.4a redovisas beräknad maximal ledningsrörelse hos en korsande ledning. Den streckade linjen representerar maximal jordrörelse vid den förutsatta expansionsgraden 30 %. Ledningsrörelsen kan ej bli större än jordrörelsen, vilket ger en teoretisk knyck i de beräknade kurvorna för spänning i fig. 6.3 och 6.4. I verkligheten är övergången mer utjämnad än vad som framkommer av de teoretiska beräkningarna.

Rörelserna hos den korsande ledningen medför också en viss vinkeländring i fogarna. För den oögnnsammast belägna fogen bedöms maximal vinkeländring vid expansionen ej överstiga  $1^\circ$  för PVC-rör och  $0,5^\circ$  för segjärnsrör. Om avståndet mellan ledningarna överstiger 1,5 m torde vinkeländringen i fogarna maximalt kunna bli någon 10-dels grad.

Risken för läckage genom rörelser i fogarna beror bl a på fogtyp, ledningens ålder, inbyggd avsiktlig eller oavsiktlig avvinkling i fogen etc. Vid oögnnsamma förhållanden är risken för fogläckage högst påtaglig vid litet avstånd mellan ledningarna och kan behöva beaktas även vid ett avstånd av 1,5 à 2 m.

De genomförda beräkningarna är mycket grova och i första hand ämnade att belysa tendenserna för inverkan av variabler som avståndet mellan expanderat och korsande rör och diametern hos korsande ledning.

Beräkningarna visar att stora påkänningar uppstår i såväl segjärnsrör som i PVC-rör, då avståndet till expanderad ledning är litet. Om man som en första ansats sätter tillåtet värde på axiell tillskottsspänning till storleksordningen  $50 \text{ MN/m}^2$  för segjärn och till storleksordningen  $3 \text{ MN/m}^2$  för PVC visar beräkningarna att minsta avstånd mellan ledningarna bör vara 1,5 à 2 m. Vid oögnnsamma förhållanden än de som antagits vid beräkningarna, t ex vid mycket fast fyllning, blir påkänningar och rörelser större och ett större värde måste sättas på minsta avstånd mellan ledningarna. Helt säkra förhållanden för den korsande ledningen kan endast åstadkommas genom att den friläggs under spräcknings- och expansions-skedet.

### 6.3 Parallell ledning

En ledning som ligger parallellt med en som expanderas utsätts för belastningar, vars storlek i hög grad är beroende på ledningsläget. Farli-

gaste läget är rakt över ett expanderande rör, vilket i stort sett ger samma lastsituation som för en korsande ledning. Detta läge är dock normalt ointressant, eftersom rörledningar av praktiska skäl aldrig placeras så.

En ovanförhängande ledning är normalt belägen utanför en vertikal linje genom underliggande lednings utsida. Detta medför att den ovanförhängande ledningen praktiskt taget ligger utanför den riskabla plasticerade zonen, fig. 6.5. Endast i undantagsfall bedöms därför en spänningsberäkning erfordras för en sådan ledning.

Ett intressant fall att studera är när den parallella ledningen ligger vid sidan av och på samma nivå som den expanderande ledningen. En sådan ledning utsätts såväl för balkpåkänningar i axialled som böjpkåkänningar i ringled på grund av den avsevärda tryckökning som kan uppstå nära den expanderande ledningen.

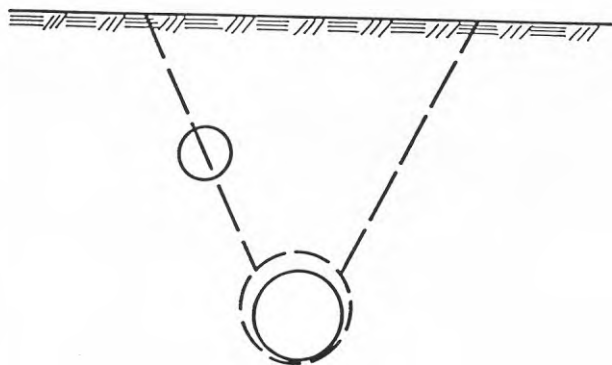


Fig. 6.5 Parallell ledning ovanför en expanderande ledning

Vad gäller balkverkan kan beräkningarna utföras som för en balk på elastiskt underlag. Ledningen belastas på längden  $L+x$ , se fig. 6.6, med ett sidotryck  $P_h$  som föreslås beräknas enligt följande:

$$P_h = k_h \cdot \frac{D(\alpha-1)}{2} \cdot \frac{L \cdot D_e \cdot D_1}{(L+x)(D_e+x)} \quad \text{kN/m} \quad (6.6)$$

där

$k_h$  = horisontell bäddningsmodul =  $n_h \cdot \frac{z}{D_e}$

$n_h$  = bäddningskoefficient

$z$  = avstånd mellan rörcentrum och markyta

$L$  = rörspräckarens längd

$x$  = fritt avstånd mellan rören

$D_1$  = diameter för parallell ledning

$\alpha$  = expansionsfaktor

$D_e = \alpha \cdot D = \text{max. ytterdiameter hos expanderat rör}$

För bäddningskoefficienten  $n_h$  anges i Bygg på basis av resultat redovisade<sup>h</sup> av Terzaghi, 1955 följande värden för sand över grundvattenytan:

	$n_h$
Lös lagring	2 MN/m <sup>3</sup>
Medelfast lagring	7 "
Fast lagring	18 "

Under grundvattenytan reduceras ovan angivna värden med ca 35 %.

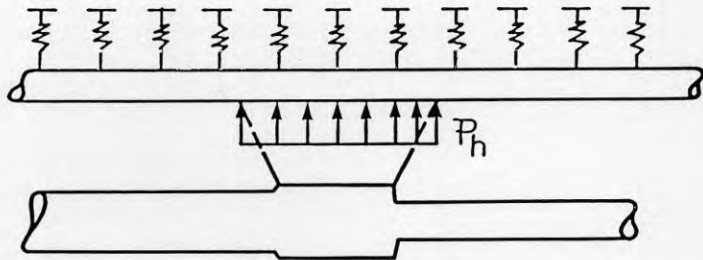


Fig. 6.6 Modell för beräkning av balkspänningar i parallellt förlagd ledning på samma nivå som expanderande ledning



Vid uppspräckning av rör är normal expansion 20-30 % av ursprunglig diameter. Jorden omkring röret blir omrörd och närmast röret helt plasticerad. Det är därför rimligt att ansätta ett ganska lågt värde på bäddningskoefficienten  $n_h$ . En utvärdering av de uppmätta horisontella jordtrycken vid jordlådeförsöken enligt ekv (6.6) visar att  $n_h$  där varierade mellan 2 och 3 MN/m<sup>3</sup>.

För överslagsberäkningar rekommenderas att värdet  $n_h = 3 \text{ MN/m}^3$  väljs.

I fig. 6.7 visas som ett exempel resultat av en beräkning av balkspänningarna och rörelser i ett segjärnsrör lagt parallellt med och på samma nivå som en ledning som spräcks och expanderas till 1,3 gånger ursprungsdiametern 285 mm och i fig. 6.8 visas motsvarande värden för PVC tryckrör NT 10.

Såsom framgår av figurerna är balkpåkänningarna i såväl segjärnsrören som i PVC-rören måttliga. Således överskrids ej försiktigt satta värden på tillåten påkänning (t ex 50 MN/m<sup>2</sup> för segjärn och 3 MN/m<sup>2</sup> för PVC) vid avstånd större än 0,6 m mellan rören. Här skall dock anmärkas att beräkningarna liksom för korsande ledningar endast varit överslagsmässiga. Sålunda har ej beaktats effekterna av fogar o d, som kan öka påkänningarna i rörväggen något.

Det lokalt höga horisontaltrycket mot en parallellt förlagd ledning kan dock också medföra risk för rörbrott genom för höga påkänningar i ringled. Kontroll av risken för rörhaveri av denna typ kan göras med hjälp av en lastberäkning enligt ekv (6.6). För att få fram den momentframbringande lasten minskas denna last med den vertikala jordlasten beräknad exempelvis med metoder angivna i VAV Publikation P9 eller P16. I fig. 6.9 visas horisontaltryckets storlek vid sidan av ett rör som expanderas på 3 m djup. Med hänsyn tagen till att den vertikala lasten minskar de ogynnsamma effekterna av ett högt horisontaltryck indikerar kurvan i fig. 6.9 att avståndet mellan rören ej bör understiga ca  $2x_D$  för att den momentframbringande lasten ej skall överstiga ca 100 kN/m<sup>2</sup>, vilket motsvarar belastningen vid 4-6 m fyllningshöjd. Om diameterökningen vid rörspräckningen blir större än 30 % av ursprunglig ytterdiameter kan detta avstånd behöva ökas till 3 à  $4x_{D_e}$ .

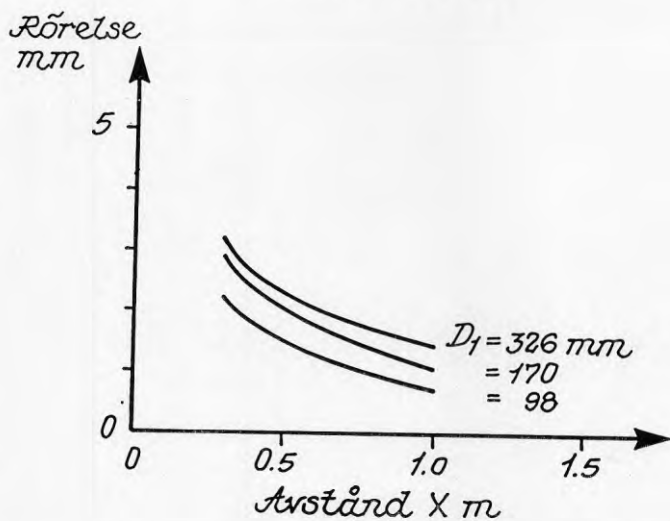
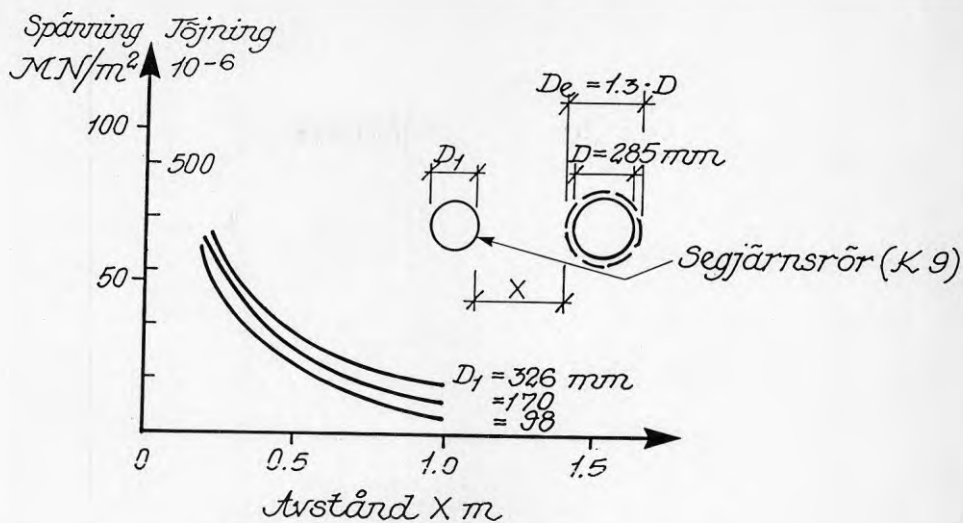


Fig. 6.7 Exempel på beräknade böjpåkänningar i axialled och rörelser i sidled hos ett segjärnsrör parallellt med ett rör som expanderas på djupet 3,0 m under markytan

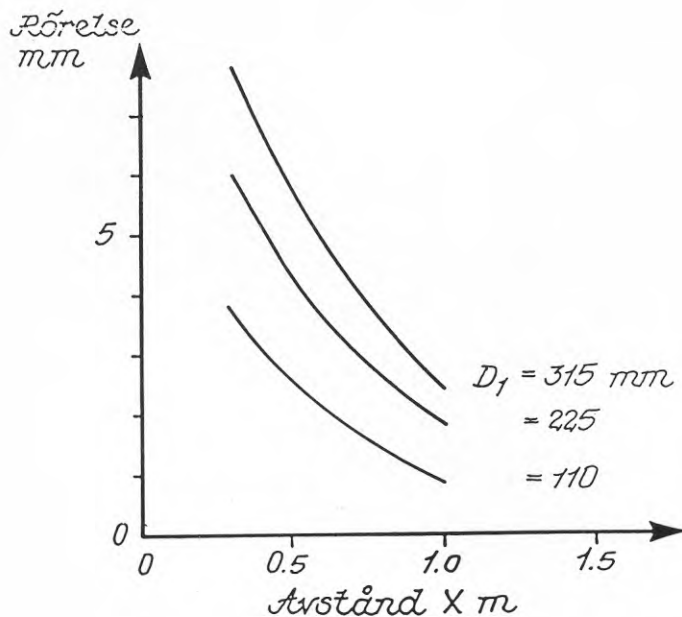
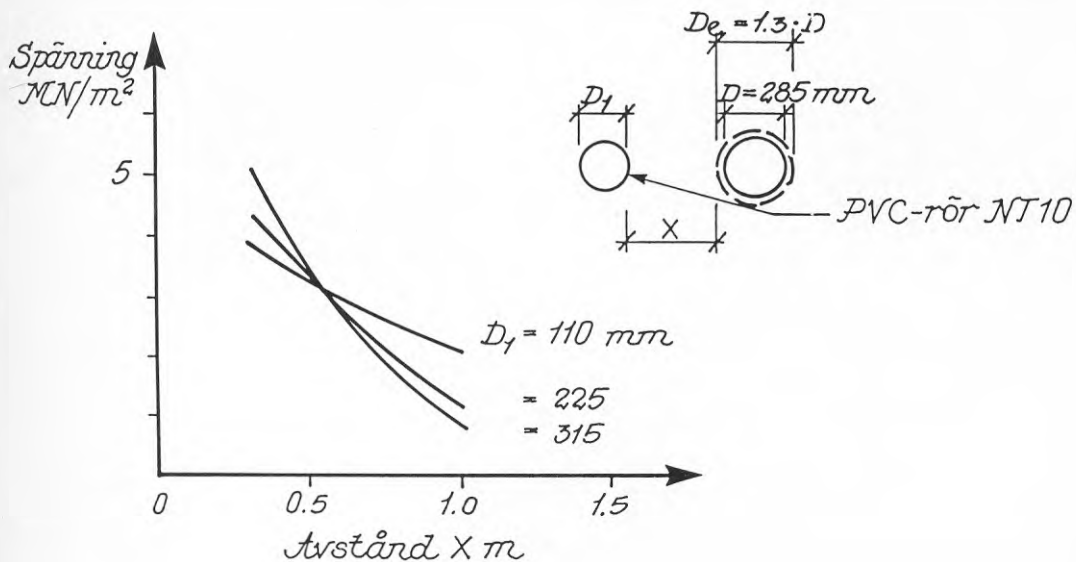


Fig. 6.8 Exempel på beräknade böjpåkänningar i axialled och rörelser i sidled hos ett PVC-rör parallellt med ett rör som expanderar på djupet 3,0 m under markytan

De genomförda beräkningarna för parallella ledningar på samma nivå som den expanderande ledningen visar att det ofta sannolikt är påkänningarna i ringled snarare än böjpkänningarna i axialled som är riskabla för dessa ledningars hållfasthet. Dock kan rörelserna hos näraliggande ledningar i ogynnsamma fall också medföra risk för foqläckage. Risken är störst för ledningar som ligger i jämnhöjd med den expanderande ledningen. Ledningar, som ligger över eller under denna nivå, ligger mer skyddade och utsätts för mindre påkänningar och rörelser.

### Horisontaltryck

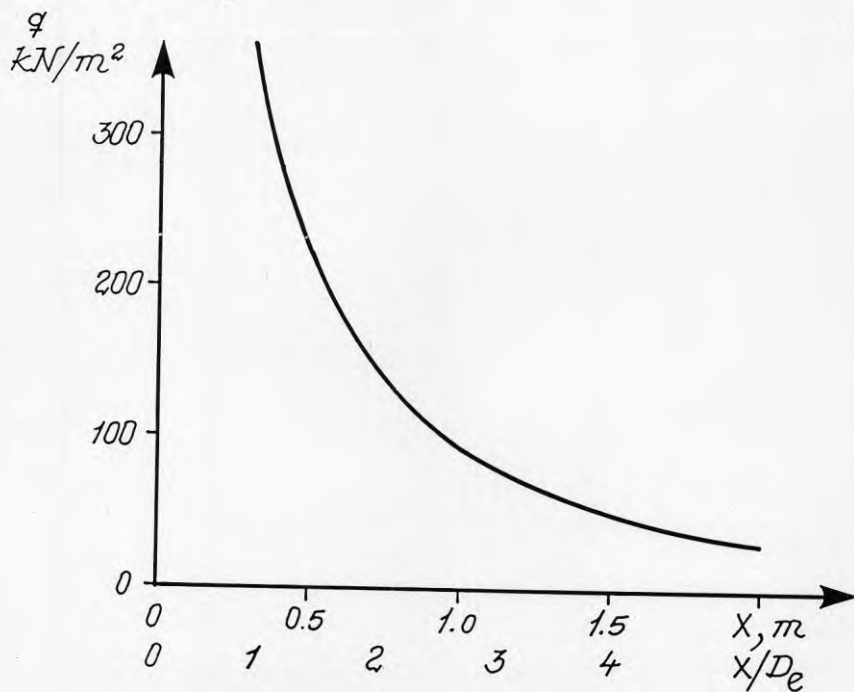


Fig. 6.9 Exempel på horisontaltryckets storlek vid sidan av ett rör  $D=285$  mm som expanderas till  $D_e=1,3xD$

## 7. DIMENSIONERINGSMODELL FÖR INFODRINGSRÖRET

7.1 Belastning

Vid infodring av en uppspräckt ledning används ett plaströr med ytterdiameter mindre än den uppspräckta ledningens innerdiameter. Infodringsröret installeras normalt samtidigt som rörspräckaren dras genom ledningen.

Direkt efter uppspräckningen sker en återfjädring av den spräckta ledningen. Storleken på återfjädringen varierar och beror främst på de lokala geotekniska förhållandena. Vanligtvis återstår en spalt mellan det spräckta röret och infodringsröret även efter återfjädringen. På sikt kan dock förväntas att spalten över och under infodringsröret försvinner och infodringsröret kommer att utsättas för en vertikal last från det uppspräckta röret.

Lastens storlek är beroende av de lokala förhållandena såsom kringfyllningsmaterialets sammansättning, grundvattenströmning, trafiklasternas storlek, fyllningshöjdens storlek etc. På grund av gynnsam valvbildning i jorden runt det spräckta röret torde den vertikala lasten, som påverkar rören, med säkerhet ej vara större än egenvikten av ovanförliggande jordpelare med eventuell trafiklast. Sannolikt är den normalt lägre än detta värde och kan beräknas enligt följande:

$$Q = C (Q_j + Q_{tr}) \quad (7.1)$$

där

$C$  = belastningsfaktor  $\leq 1,0$

$Q_j$  =  $\gamma H D_e$  = jordlast, kN/m

$Q_{tr}$  = trafiklast, kN/m

$\gamma$  = jordens tunghet

$D_e$  = uppspräckt rörs ytterdiameter, m

$H$  = fyllningshöjd, m

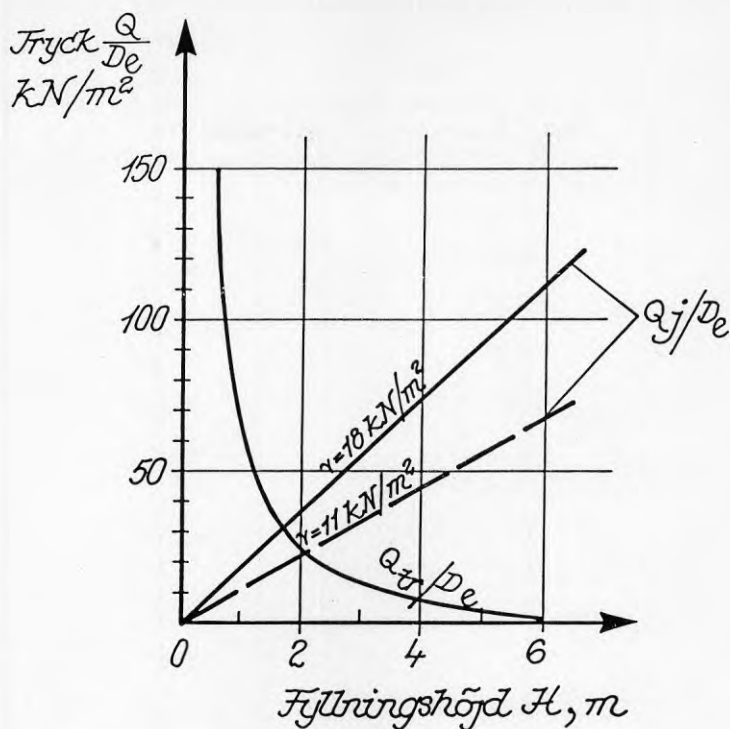


Fig. 7.1 Jord- och trafiklasternas storlek vid belastningsfaktor  $C = 1,0$

Förutom last av jordfyllning och trafik enligt ekv. (7.1) påverkas infodringsröret också av ett grundvattentryck;

$$Q_w = h \cdot D \cdot \gamma_w \quad \text{kN/m} \quad (7.2)$$

där

$D$  = ytterdiameter hos infodringsröret, m

$\gamma_w$  = vattnets tunghet, ca  $10 \text{ kN/m}^3$

$h$  = avstånd mellan grundvattenytan och rörcentrum, m

## 7.2 Ovalitet

Lastfördelningen runt röret kan variera inom vida gränser beroende på de lokala förhållandena. För dimensioneringsändamål antas här att den är jämnt fördelad över rörets övre och undre kvartscirkel. Ovaliteten hos infodringsröret kan då beräknas enligt följande (fall 1):

$$\frac{\delta}{D} = 0,012 \frac{Q}{D \cdot S} \quad (7.3)$$

där

$\frac{\delta}{D}$  = ovalitet

D = infodringsrörets medeldiameter, m

S =  $\frac{E}{12} \cdot \left(\frac{s}{D}\right)^3$  = infodringsrörets styvhetstal, kN/m<sup>2</sup>

s = infodringsrörets vägg tjocklek, m

E = infodringsrörets E-modul, kN/m<sup>2</sup>

Om spalten mellan infodringsrör och uppspräckt rör är liten eller deformationen stor uppnås kontakt mellan de båda rören sidor och deformationen hos infodringsröret motverkas av det stöd som då uppstår mot dess sidor. Deformationen hos infodringsröret kan då approximativt beräknas som för ett flexibelt rör i mark. Den totala deformationen för infodringsröret blir då (fall 2):

$$\frac{\delta}{D} = \frac{D_2 - D_1}{D} + \frac{Q}{D} \cdot \frac{C \cdot b_1 - 0,083 K_0}{8 \cdot S + 0,061 E'_S} \quad (7.4)$$

där

D<sub>2</sub> = maximal innerdiameter hos uppspräckt rör, m

D<sub>1</sub> = ytterdiameter hos infodringsröret, m

b<sub>1</sub> = koefficient beroende av upplagsvinkeln (b<sub>1</sub>=0,096 för 90° belastningsvinkel)

K<sub>0</sub> = vilojordtryckskoefficient (normal 0,5)

E'<sub>S</sub> = kringfyllningens sekantmodul, kN/m<sup>2</sup>

(E'<sub>S</sub> = 2000 kN/m<sup>2</sup>, packad sand

E'<sub>S</sub> = 1000 kN/m<sup>2</sup>, lös sand

E'<sub>S</sub> = 500 kN/m<sup>2</sup>, fast lera

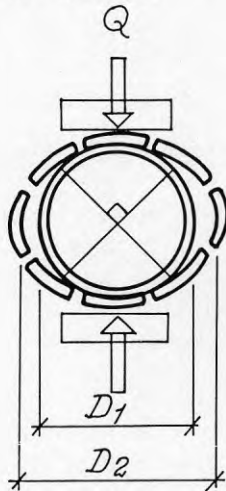
För långtidsvärden gäller 40 % av ovanstående)

C = lastfaktor. Värdet varierar mellan 1,0 (flexibla rör) och 1,7 (styva rör)



De två belastningsfallen åskådliggörs i fig. 7.2.

Fall 1  
Före utfyllnad  
av spalten



Fall 2  
Efter utfyllnad  
av spalten

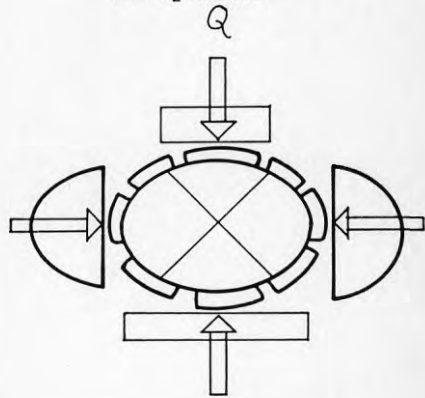


Fig. 7.2 Belastningsfall för infodringsröret

### 7.3 Påkänning i ringled

Om ovaliteten, beräknad som långtidsvärde enligt ekv. (7.3) ej överstiger  $(D_2 - D_1)/D$  kontrolleras att spänningen i ringled i förväggen ej överstiger tillåtet värde. Spänningen beräknas enligt följande:

$$\sigma = 0,5064 \cdot \frac{Q}{D} \cdot \left(\frac{D}{s}\right)^2 \quad (7.5)$$

där

$\sigma$  = spänning i ringled, kN/m<sup>2</sup>

$s$  = infodringsrörets vägg tjocklek, m

Om rörets långtidsovalitet är större än  $(D_2 - D_1)/D$  kontrolleras att töjningen i ringled ej överstiger tillåtet värde. Töjningen beräknas enligt följande:

$$\epsilon = 3,13 \cdot \left(\frac{D_2 - D_1}{D}\right) \cdot \frac{s}{D} \quad (7.6)$$

där

$\epsilon$  = töjning i ringled

Följande värden kan anges för tillåtna spänningar och töjningar för olika rörmaterial:

	Polyeten PEM, PEH	Glasfiberarmerad polyester, GAP	PVC
Tillåten spänning MN/m <sup>2</sup>	5-7	50-100	15
Tillåten töjning %	3-5	0,5-1	1-2

Tillåten deformation beror på rörtyp och styvhetsklass. Den får dock normalt ej överstiga 15 % med hänsyn till risk för fogläckage och igensättning.

#### 7.4 Bucklingssäkerhet

Infodringsröret måste ha en sådan styvhet att det ej kollapsar genom buckling. Farligaste fallet uppstår då anliggningen mot det spräckta röret är ofullständig. Röret skall då tåla uppträdande grundvattentryck vid fri buckling. Ovalitet minskar också bucklingssäkerheten och metod för att beakta detta har föreslagits av Jenkins-Kroll, 1981.

Med antagande av fri buckling och 2-faldig säkerhet kan följande krav uppställas på minsta erforderlig styvhet hos infodringsröret:

$$S \geq \frac{Q_w}{12 D} \cdot \left( \frac{1 + \delta/D}{1 - \delta/D} \right)^{4,62} \quad (7.7)$$

där

$$S = \frac{E}{12} \cdot \left( \frac{s}{D} \right)^3, \text{ kN/m}^2$$

E = infodringsrörets E-modul, kN/m<sup>2</sup>

s = infodringsrörets godstjocklek, m

D = infodringsrörets medeldiameter, m

$\delta/D$  = rörets långtidsovalitet enligt kap. 7.2

### 7.5 Beräkningsgång

1. Kontrollera infodringsrörets långtidsovalitet enligt ekv. 7.3.
2. Är denna ovalitet större än tillgänglig spalt mellan spräckt och infodrat rör enligt

$$\frac{\delta}{D} = \frac{D_2 - D_1}{D}$$

beräknas den totala deformationen enligt ekv. 7.4.

3. Maximal spänning i ringled i rörväggen kontrolleras enligt ekv. 7.5 alternativt maximal töjning enligt ekv. 7.6.
4. Slutligen kontrolleras rörets bucklingssäkerhet med avseende på uppträdande grundvatten-tryck med ekv. 7.7.

## 8. RIKTLINJER FÖR PRELIMINÄRA ANVÄNDNINGSANVISNINGAR

Ledningsrenovering genom uppspräckning och utvidgning av en befintlig ledning och installation av nya rör inuti de gamla kommer, som nämnts inledningsvis i denna rapport, med stor sannolikhet att få en ökad användning i Sverige och utomlands. Genom expansionen av röret kan ledningens kapacitet bibehållas eller t o m förbättras.

Vid spräckning och expansion av en befintlig ledning i mark uppstår dock även negativa effekter i marken i form av jordrörelser och ökat jordtryck i ledningens omgivning. För att begränsa risken för skador på andra anläggningar i mark, i första hand andra markförlagda ledningar, är det viktigt att användningsanvisningar upprättas. Tyvärr är den praktiska erfarenheten av metoden ännu ganska begränsad i Sverige och generella användningsanvisningar har såvitt känt ännu ej upprättats i något land.

Vissa riktlinjer för preliminära användningsanvisningar kan dock dras upp. För att renoveringsmetoden skall vara säker även för anläggningar i närheten av den aktuella ledningen bör bl a följande punkter behandlas i en användningsanvisning:

- a. Skaderisk för korsande och parallella ledningar.  
Risken för skador på intilliggande ledningar beror främst på avståndet mellan dessa och spräckt ledning. Riskbedömningen blir också beroende av typ och dimension hos näraliggande ledning, jordlagrens egenskaper och expansionens storlek vid rörspräckningen.
- b. Skaderisk för vägbeläggning.  
Risken för skador på ovanförliggande vägbeläggning beror främst på jordlagrens egenskaper, expansionens storlek och i viss mån på ledningens djup under markytan.
- c. Styvheten hos infodringsröret.  
Val av infodringsrör måste göras med hänsyn till jordlagrens egenskaper, expansionens storlek, spaltens storlek mellan expanderat rör och infodringsrör, grundvattenförhållanden och övriga belastningsförhållanden. Även installationstekniken har betydelse för valet av infodringsrör.

På basis av den i denna rapport redovisade undersökningen kan följande mycket preliminära användningsråd ges:

- Ovanförliggande korsande ledningar kan vid känsliga fall behöva friläggas, om avståndet till ledning som expanderas understiger ca 2 m.

Vid exceptionella förhållanden kan friläggning behöva utföras även vid större avstånd än 2 m mellan ledningarna.

Vid bedömning av behovet av frischaktning av korsande ledning skall framför allt beaktas ledningens kondition, kringfyllningens egen-skaper och konsekvenser som uppstår vid ett eventuellt haveri.

- Underliggande korsande ledningar torde normalt inte behöva friläggas om avståndet mellan ledningarna är minst lika stort som diametern hos det expanderade röret.
- Parallellt liggande ledningar utsätts normalt för mindre påkänningar och rörelser än korsande ledningar. Om de ej ligger närmare den expanderade ledningen än 2 gånger diametern hos den expanderade ledningen är normalt skaderisken liten, om expansionen ej är mer än ca 30 % av ursprunglig diameter. En viss risk för fogrörelser kan dock finnas - särskilt för ledningar rakt över den expanderade ledningen. För ledningar snett ovanför den expanderade blir såväl påkänningar som rörelser små.

Vid större expansion eller andra ogynnsamma förhållanden (t ex mycket fast fyllning mellan ledningarna) blir risken för skador större och säkerhetsavståndet kan behöva ökas.

- Infodringsröret bör minst ha en styvhet motsvarande avloppsrör klass T med tanke på risken för fri buckling. Vid högt grundvattenstånd och stor spalt bör styvare rör användas, klass E eller NT 10.

## REFERENSER

- Audibert, J - Nyman K J, 1977: Soil restraint against horizontal motion of pipes. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Div., GT10, Oct. 1977
- Howe, M - Hunter, P, 1985: Trenchless mainlaying within British Gas. Proceedings of the Conference No-Dig 85, London 1985
- Jenkins, C F - Kroll, A E, 1981: External hydrostatic loading of polyethylene pipe. Proceedings of international conference on underground plastic pipe, New Orleans 1981
- O'Rourke, T D, 1985: Ground movement caused by trenchless construction. Proceedings of the Conference No-Dig 85, London 1985
- Reed, K, 1987: The application of moling techniques in the water industry. Proceedings of the Conference No-Dig 87, London 1987
- Therzaghi K, 1955: Evaluation of Coefficients of subgrade reaction. Géotechnique, Dec. 1955
- Vesic, A, 1972: Expansion of cavities in an infinite soil mass. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. 98, SM 3, March 1972

FÖRSÖK 1

Betongrör Ø 300

Utförande

Fyllning: Packad sand. Packning med planerad packningsgrad 90 % mod. Proctor utfördes genom 2-3 överfarer med handstamp i lager om 10 cm.  
Skrymdensitet 1,76-1,81 kg/dm<sup>3</sup>, vattenskvt ca 3 % på djupet 0,1-0,3 m och skrymdensitet 1,71-1,77 kg/dm<sup>3</sup>, vattenskvt ca 13 % på djupet 0,7-0,9 m under fyllningsytan uppmätt efter avslutad provning.  
Fyllningshöjd 1,00 m.

Rör-  
spräckning: Avläsning av mätinstrumenten har gjorts med muskeln i max- och minläge vid följande positioner:

- |            |   |
|------------|---|
| Position 1 | Muskelns framkant vid ledningsmitt, snitt II.   |
| Position 2 | Muskelns framkant ca 0,30 m förbi ledningsmitt. |
| Position 3 | Muskelns framkant 0,85 m förbi ledningsmitt.    |

Punktlast: Upprepade av- och pålastningar med belastningen 70 kN på stålplatta 32x32 cm på fyllningens yta.  
Efter punktbelastningen vibrerades ytan genom 4 överfarer med 100 kg vibroplatta.

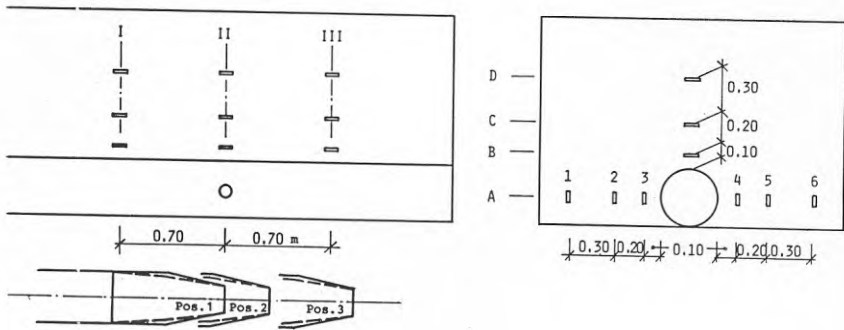
Observationer:

- Vid rörspräckningen uppstod 2-3 mm breda längssprickor på fyllningens yta.
- Plattan under punktlasten sjönk
 

57 mm	efter 1 pålastning
105 mm	efter 10 pålastningar
145 mm	efter 100 "
197 mm	efter 1000 "



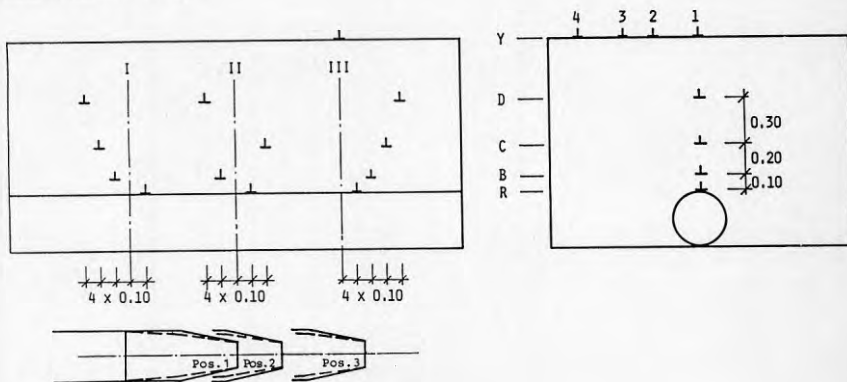
Jordtrycksmätningar



Mätpkt nr	Urspr jordtryck	Jordtryck kPa						Efter 1000 pålastn 860417	Vibrering 860421	
		Pos 1		Pos 2		Pos 3			Före	Efter
A1	13	31	13	38	-			18	14	13
A2	15	53	16	76	-			24	13	13
A3	9,5	74	5	160	-			18	10	10
A4	8,5	61	3	141	-			18	13	13
A5	8	44	8	55	-			20	12	12
A6	11	22	13	23	-			12	9	8
BI	15	30	46	6	-			7	12	12
BII	25	33	18	44	-			22	14	13
BIII	18	11	11	8	-	92	42	5	12	12
CI	18	23	40	6	-			10	12	12
CII	24	40	13	48	-			29	14	13
CIII	21	16	17	21	-	60	33	12	9	9
DI	13,5	18	18	9	-			7	12	12
DII	9	19	7	22	-			32	14	13
DIII	12	8	7	21	-	22	20	8	12	12

Anm. Mätare A1-A6 i sekt. II avser hor. jordtryck, övriga mätare vertikalt.

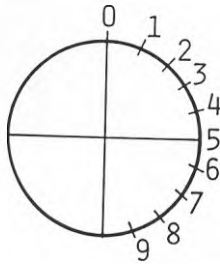
Jordrörelser



Mätpkt nr	Rörelser, mm						Spräckning klar	Efter 1000 pålastningar
	Pos 1 Max	Pos 1 Min	Pos 2 Max	Pos 2 Min	Pos 3 Max	Pos 3 Min		
RI	33	32	28	28			23	12
BI	25	24	20	20			17	10
CI	16	15	12	12			10	7
DI	12	11	10	9			8	6
RII	2	1	34	30			28	7
BII	22	15	32	32			22	-2
CII	3	1	16	15			9	-14
DII	17	13	20	20			12	-14
RIII	0	-1	0	0	26	21	23	12
BIII	0	0	1	1	16	12	14	6
CIII	1	0	2	2	11	7	9	6
DIII	0	0	3	2	9	6	9	8
Y1			8	7	12	10	7	7
Y2			8	7	11	9	6	9
Y3			7	6	10	9	9	11
Y4			5	4	8	6	6	4

Anm. Positiva värden avser rörelse uppåt räknat från mätarens läge före rörspräckning.

Deformation hos infodringsröret



STATENS PROVNINGSANSTALT  
MATERIALTEKNIK OCH MEKANIK  
GÖTEBORG

FÖRSÖKSSERIE: 1  
RÖRSNITT: I

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	DIAMETER FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	300.5	-0.7	-1.8	-2.5	-3.6	-3.5
1	300.4	-0.8	-1.6	-2.4	-3.1	-3.3
2	300.6	-0.6	-0.9	-1.5	-1.6	-1.9
3	300.8	-0.0	0.3	0.3	0.8	0.5
4	301.1	0.5	1.2	1.9	2.7	2.5
5	300.9	0.9	1.6	2.8	3.6	3.7
6	300.7	1.0	1.5	2.5	3.0	3.2
7	300.6	0.7	0.8	1.4	1.2	1.6
8	300.6	0.1	-0.4	-0.3	-1.0	-0.5
9	300.4	-0.3	-1.3	-1.8	-2.7	-2.5

FÖRSÖKSSERIE: 1  
RÖRSNITT: II

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	300.0	-1.5	-3.7	-6.1	-8.2	-7.8
1	299.9	-1.5	-3.4	-5.2	-6.9	-6.5
2	299.9	-0.8	-1.6	-2.4	-2.9	-2.9
3	300.1	0.1	0.6	1.2	2.0	2.1
4	300.3	1.1	2.7	4.5	6.5	6.3
5	300.7	1.6	3.8	6.1	8.2	8.1
6	301.0	1.4	3.1	4.8	6.3	6.1
7	301.0	0.8	1.4	1.9	2.0	2.0
8	300.4	0.0	-0.6	-1.6	-2.8	-2.6
9	300.3	-1.0	-2.8	-4.9	-6.9	-6.6

FÖRSÖKSSERIE: 1  
RÖRSNITT: III

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	299.1	-0.5	-1.2	-1.8	-2.4	-2.3
1	298.9	-0.5	-1.1	-1.6	-2.1	-2.3
2	298.9	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.8
3	299.6	-0.1	0.3	0.5	0.6	-0.3
4	300.1	0.2	0.9	1.5	1.9	1.3
5	300.2	0.3	1.1	1.8	2.5	2.2
6	300.1	0.2	0.9	1.4	2.1	2.3
7	299.8	0.3	0.3	0.7	1.0	1.4
8	299.5	-0.2	-0.6	-0.4	-0.5	-0.2
9	299.3	-0.4	-0.9	-1.4	-1.7	-1.3

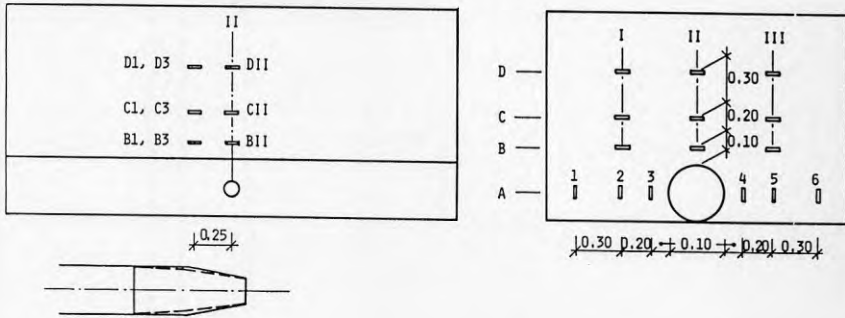
FÖRSÖK 2

Betongrör Ø 300

Utförande

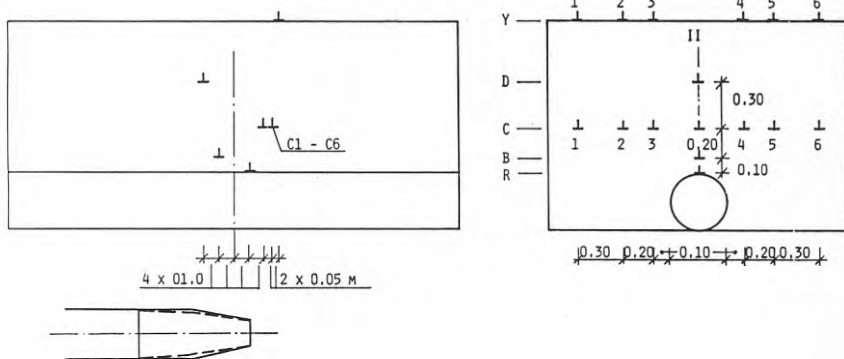
- Fyllning: Packad sand. Packning med planerad packningsgrad 90 % mod. Proctor utfördes genom 3 överfarter med handstamp i lager om 10 cm.  
Densitetsmätning utfördes ej.  
Fyllningshöjd 1,05 m.
- Rör-  
spräckning: Avläsning av mätinstrumenten har gjorts med muskeln i max- och minläge vid följande muskelpositioner:  
Position 2 Muskelns framkant 0,10 m förbi ledningsmitt (snitt II).  
Efter mätningen spräcktes resten av ledningen och ny mätning gjordes med muskeln i minläge.
- Punktlast: Upprepade av- och pålastningar med belastningen 70 kN på stålplatta 32x32 cm på fyllningens yta.  
Efter punktbelastningen vibrerades ytan genom 4 överfarter med 100 kg vibroplatta.
- Observationer:  
- Vid rörspräckningen uppstod 3 mm breda längssprickor på fyllningens yta.  
- Plattan under punktlasten sjönk  
67 mm efter 1 pålastning  
92 mm efter 10 pålastningar  
125 mm efter 100 "  
161 mm efter 1000 "

Jordtrycksmätningar



Mätpkt nr	Urspr jord- tryck	Jordtryck kPa			
		Muskel i pos 2 Max Min	Spräckn. klar	Efter 1000 pålastn.	Efter vibrering
A1	8	32 11		13	16
A2	10	83 13		22	23
A3	10	152 4		18	18
A4	11	97 12		27	29
A5	11	58 23		24	25
A6	9	32 18		18	22
B1	23	29 24		33	34
BII	31	30 27		35	36
B3	12	13 11		10	17
C1	-	- -		-	-
CII	22	98 14		42	28
C3	25	35 33		30	37
D1	22	36 28		28	32
DII	17	30 24		42	22
D3	17	20 17		12	18

Jordrörelser

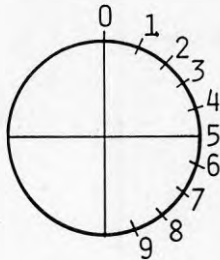


Mätpkt nr	Pos 2 Max	Min	Rörelser, mm	
			Spräckn. klar	Efter 1000 pålastningar
Y1	3	2	6	7
Y2	5	4	11	12
Y3	8	6	15	13
Y4	8	6	15	13
Y5	8	6	12	13
Y6	3	3	5	6
C1	1	1	1	2
C2	2	2	5	5
C3	4	3	11	4
C4	6	5	14	6
C5	4	3	7	6
C6	1	1	3	3
BII	38	35	26	9
CII	7	5	16	-4
DII	28	26	18	-1
RII	5	4	28	13

Anm. Positiva värden avser rörelse uppåt räknat från mätarens läge före rörspräckning.



Deformation hos infodringsröret



STATENS PROVNINGSANSTALT  
MATERIALTEKNIK OCH MEKANIK  
GÖTEBORG

FÖRSÖKSSERIE: 2  
RÖRSNITT: I

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	301.4	-0.2	-0.5	-1.1	-1.9	-1.5
1	301.4	0.0	-0.3	-0.6	-1.4	-0.9
2	301.5	0.4	0.3	0.3	-0.4	0.2
3	301.3	0.7	1.0	1.1	1.1	1.5
4	301.2	0.8	1.3	1.6	1.9	2.1
5	300.9	0.7	1.3	1.3	2.2	2.0
6	300.8	0.3	0.7	0.5	1.4	1.2
7	300.7	-0.0	0.3	-0.4	0.3	-0.1
8	300.8	-0.2	-0.3	-1.0	-0.9	-1.1
9	301.0	-0.3	-0.7	-1.3	-1.8	-1.7

FÖRSÖKSSERIE: 2  
RÖRSNITT: II

MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	300.1	-2.4	-3.8	-5.5	-7.3	-7.0
1	300.1	-2.0	-3.1	-4.0	-6.3	-5.9
2	299.9	-0.6	-1.1	-1.2	-3.2	-2.7
3	299.7	0.9	1.1	2.1	1.0	1.4
4	299.3	2.4	3.3	5.0	5.2	5.4
5	299.2	3.0	4.4	6.0	7.8	7.7
6	299.3	2.3	3.5	4.3	6.8	6.1
7	299.3	0.8	1.3	0.7	2.8	1.9
8	299.6	-0.8	-1.3	-2.8	-2.2	-2.7
9	300.0	-2.1	-3.2	-5.1	-5.9	-6.0

FÖRSÖKSSERIE: 2  
RÖRSNITT: III

MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	299.7	-0.5	-0.7	-1.3	-2.0	-2.1
1	299.8	-0.2	-0.4	-0.9	-1.6	-1.6
2	299.7	0.1	0.1	-0.2	-0.7	-0.5
3	299.8	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7
4	299.5	0.7	1.0	1.1	1.4	1.7
5	299.4	0.7	1.0	1.3	1.9	2.2
6	299.6	0.3	0.5	0.8	1.4	1.6
7	299.6	-0.0	0.1	0.2	0.5	0.4
8	299.5	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7	-0.9
9	299.7	-0.5	-0.7	-1.2	-1.7	-1.9

FÖRSÖK 3

Betongrör  $\emptyset$  225

Utförande

**Fyllning:** Packad sand. Packning med planerad packningsgrad 90 % mod. Proctor utfördes genom 3 överfarter med handstamp i lager om 10 cm.  
Skrymdensitet 1,75-1,77 kg/m<sup>3</sup> och vattenkvot ca 2 % uppmätt på djupen 0,1-0,3 m samt skrymdensitet 1,65-1,74 kg/m<sup>3</sup> och vattenkvot ca 8 % uppmätt på djupen 0,5-0,8 m under ytan efter provning.  
Fyllningshöjd 1,03 m.

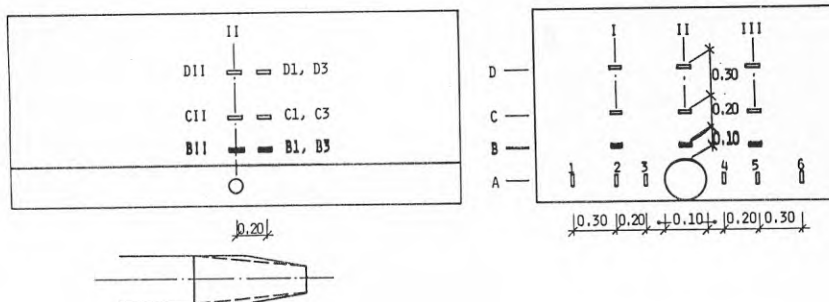
**Rör-  
spräckning:** Avläsning av mätinstrumenten har gjorts med muskeln i max- och minläge vid följande muskelpositioner:  
Position 2 Muskelns framkant ca 0,45 m förbi ledningsmitt.  
Därefter spräcktes hela ledningen och mätning utfördes efter 4 dagar utan muskel.  
Vid rörspräckningen uppstod ca 10 mm breda längsgående sprickor på fyllningens yta.

**Punktlast:** Upprepade av- och pålastningar utfördes med belastningen 70 kN på stålplatta 32x32 cm på fyllningens yta.  
Efter punktbelastningen vibrerades ytan genom 4 överfarter med 100 kg vibroplatta.

**Observationer:**

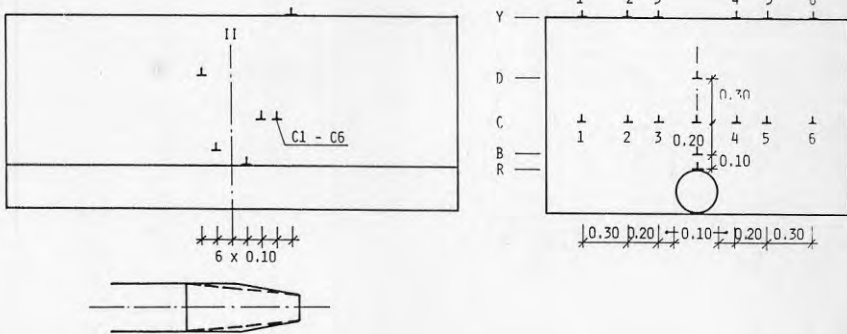
- Vid rörspräckningen uppstod ca 10 mm breda längssprickor på fyllningens yta.
- Plattan under punktlasten sjönk  
200 mm efter 1 pålastning  
259 mm efter 10 pålastningar  
318 mm efter 100 " "  
377 mm efter 1000 " "

Jordtrycksmätningar



Mätpkt nr	Urspr jordtryck	Jordtryck kPa			Efter 1000 pålastn.	Efter vibrering
		Muskel i pos 2 Max Min	Spräckn. klar	Efter 1000 pålastn.		
A1	9	38 11	12	12	12	
A2	10	80 10	9	16	15	
A3	9	125 4	3	17	13	
A4	11	120 3	3	26	21	
A5	10	69 13	12	18	17	
A6	8	42 13	17	20	18	
B1	25	28 22	37	29	29	
BII	30	36 30	38	30	35	
B3	13	14 9	17	12	14	
C1	-	- -	-	-	-	
CII	22	76 7	5	38	28	
C3	28	34 28	36	29	34	
D1	32	32 27	37	33	33	
DII	19	24 18	14	38	27	
D3	14	16 12	17	10	14	

Jordrörelser

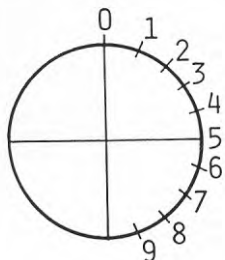


Mätpkt nr	Rörelser, mm			
	Muskel i pos 2		Spräckn. klar	Efter 1000 pålastningar
	Max	Min		
Y1	4	2	3	5
Y2	12	7	13	11
Y3	15	9	17	10
Y4	11	5	16	13
Y5	9	4	13	12
Y6	4	2	4	6
C1	3	2	3	3
C2	10	6	9	6
C3	13	7	18	5
C4	15	8	20	-20
C5	11	6	14	9
C6	2	1	2	3
BII	41	36	19	-21
CII	17	10	22	-108
DII	40	33	24	-18
RII	39	25	0,5	-15

Anm. Positiva värden avser rörelse uppåt räknat från mätarens läge före rörspräckning.

JM/MBS  
SÖ/E71/203/001

Deformation hos infodringsröret



STATENS PROVNINGSANSTALT  
MATERIALTEKNIK OCH MEKANIK  
GÖTEBORG

FÖRSÖKSSERIE: 3  
RÖRSNITT: I

MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	262.5	-2.3	-2.5	-3.1	-3.1	-3.6
1	262.6	-2.1	-2.0	-2.8	-2.8	-3.3
2	262.8	-1.5	-1.4	-2.2	-1.7	-2.1
3	263.2	-0.9	-0.4	-0.9	0.0	-0.4
4	263.3	-0.1	0.6	0.4	1.6	1.1
5	263.0	0.2	0.9	1.2	2.4	1.8
6	262.7	-0.0	0.4	0.8	1.7	1.0
7	262.0	-0.7	-0.7	-0.6	-0.1	-0.9
8	261.4	-1.1	-1.3	-1.8	-1.5	-2.1
9	261.7	-1.6	-1.9	-2.5	-2.3	-2.8

FÖRSÖKSSERIE: 3  
RÖRSNITT: II

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	DIAMETER FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	263.6	-3.1	-4.9	-6.8	-7.9	-8.1
1	263.5	-2.6	-3.9	-5.7	-6.4	-6.7
2	263.4	-1.4	-1.6	-2.8	-2.4	-3.2
3	263.6	-0.1	0.6	0.6	2.1	1.2
4	263.5	0.8	1.9	2.9	4.8	4.0
5	263.5	1.0	2.1	3.5	5.2	4.6
6	263.3	0.8	1.8	3.0	4.3	3.9
7	263.1	0.0	0.4	1.3	1.4	1.5
8	262.7	-0.7	-1.3	-1.4	-2.3	-2.1
9	262.9	-2.0	-3.6	-4.8	-6.0	-5.9

FÖRSÖKSSERIE: 3  
RÖRSNITT: III

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	DIAMETER FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	261.7	-1.4	-2.1	-2.6	-2.5	-2.7
1	262.0	-1.0	-1.7	-2.4	-2.0	-2.3
2	261.7	-0.1	-0.4	-0.9	-0.4	-0.9
3	261.3	0.9	0.9	0.7	1.4	1.1
4	261.1	1.5	1.7	1.9	2.5	2.3
5	261.0	1.5	1.7	2.3	2.9	2.7
6	260.9	0.9	1.1	1.7	2.3	2.1
7	260.9	0.2	0.0	0.4	0.9	0.8
8	260.9	-0.6	-1.1	-1.0	-0.6	-0.8
9	261.2	-1.2	-1.8	-2.1	-1.9	-2.0



FÖRSÖK 4

Betongrör  $\emptyset$  225

Utförande

**Fyllning:** Packad sand. Packning med planerad packningsgrad 90 % mod. Proctor utfördes genom 3 överfarer med handstamp i lager om 10 cm.  
Skrymdensitet 1,78-1,83 kg/m<sup>3</sup> och vattenkvot ca 3 % på djupet 0,1-0,3 m samt skrymdensitet 1,67-1,80 kg/m<sup>3</sup> och vattenkvot ca 10 % på djupet 0,6-0,9 m uppmättes efter provning.  
Fyllningshöjd 1,02 m.

**Rör-  
spräckning:**

Avläsning av mätinstrumenten har gjorts med muskeln i max- och minläge vid följande muskelpositioner:

Position 2      Muskeln med framkanten  
ca 0,45 m förbi lednings-  
mitt.

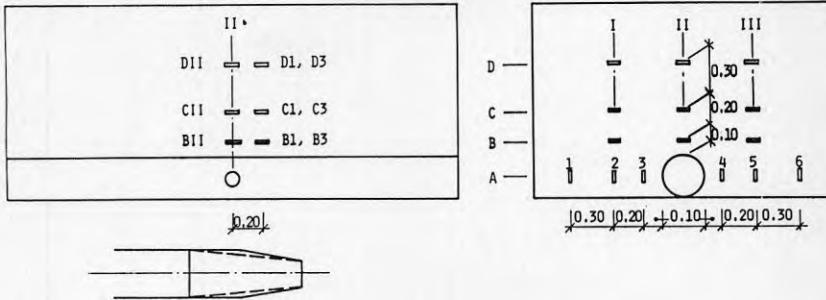
Därefter spräcktes hela ledningen och ny mätning gjordes.

**Punktlast:** Upprepade av- och pålastningar med belastningen 70 kN på stålplatta 32x32 cm på fyllningens yta.  
Efter punktbelastningen utfördes vibration av ytan genom 4 överfarer med 100 kg vibroplatta.

**Observa-  
tioner:**

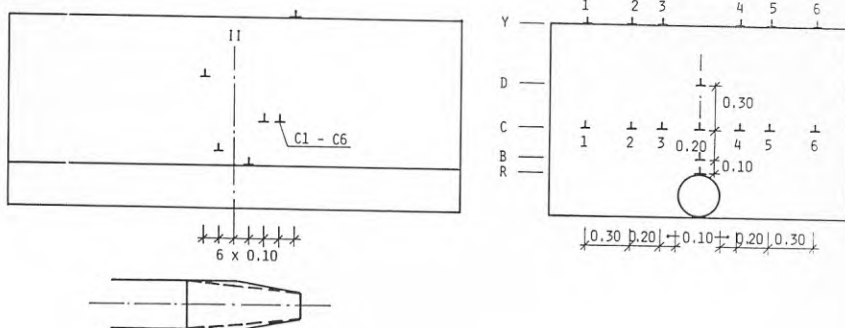
- Vid rörspräckningen uppstod ca 10 mm breda längssprickor på fyllningens yta.
- Plattan under punktlasten sjönk  
145 mm vid 1:a pålastningen  
171 mm efter 10 pålastningar  
213 mm efter 100           "  
262 mm efter 1000         "

Jordtrycksmätningar



Mätpkt nr	Urspr jordtryck	Jordtryck kPa				Efter 1000 pålastn.	Efter vibrering
		Muskel i pos 2		Spräckn. klar	Efter 1000		
		Max	Min				
A1	5	16	5	5	6	6	
A2	15	69	16	15	29	25	
A3	16	138	5	4	11	8	
A4	13	109	0	0	29	23	
A5	12	48	9	11	24	21	
A6	10	32	12	13	16	14	
B1	28	28	25	39	43	39	
BII	18	23	13	21	18	19	
B3	12	12	8	14	10	13	
C1	-	-	-		-	-	
CII	18	81	7	4	24	19	
C3	23	20	18	26	24	21	
D1	29	21	20	31	34	29	
DII	11	18	11	7	15	16	
D3	10	14	6	2	6	8	

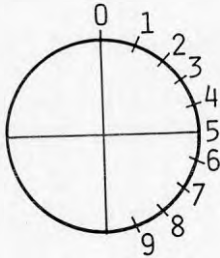
Jordrörelser



Mätpkt nr	Muskel i		Rörelser, mm	
	pos 2		Spräckn. klar	Efter 1000 pålastningar
	Max	Min		
Y1	4	2	7	8
Y2	12	6	18	18
Y3	16	9	25	14
Y4	16	9	26	21
Y5	13	7	19	18
Y6	6	3	7	8
C1	2	2	3	-2
C2	11	7	17	15
C3	22	13	26	7
C4	21	17	29	12
C5	4?	8	17	11
C6	4	3	6	2
BII	67	60	48	17
CII	33	22	34	-4
DII	51	43	34	-6
RII	60	42	58	31

Anm. Positiva värden avser rörelse uppåt räknat från mätarens läge före rörspräckning.

Deformation hos infodringsröret



STATENS PROVNINGSANSTALT  
 MATERIALTEKNIK OCH MEKANIK  
 GÖTEBORG

FÖRSÖKSSERIE: 4  
 RÖRSNITT: I

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	DIAMETER FÖRE PÅLASTN	DIAMETERFÖRÄNDRING EFTER 1 PÅLASTN	DIAMETERFÖRÄNDRING EFTER 10 PÅLASTN	DIAMETERFÖRÄNDRING EFTER 100 PÅLASTN	DIAMETERFÖRÄNDRING EFT. 1000 PÅLASTN	DIAMETERFÖRÄNDRING EFTER VIBRERING
0	261.5	-0,4	-0.6	-0.9	-1.4	-1.4
1	261.9	0.1	0.1	-0.2	-0.7	-0.6
2	262.1	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7
3	261.9	1.0	1.1	1.4	1.8	1.9
4	261.5	1.0	1.1	1.4	2.2	2.4
5	261.0	0.7	0.8	0.8	1.7	1.9
6	260.7	0.3	0.2	0.2	0.9	1.1
7	260.5	-0.3	-0.2	-0.4	-0.0	0.0
8	260.7	-0.5	-0.8	-1.2	-1.3	-1.2
9	261.1	-0.7	-0.8	-1.6	-1.8	-1.7

FÖRSÖKSSERIE: 4  
RÖRSNITT: II

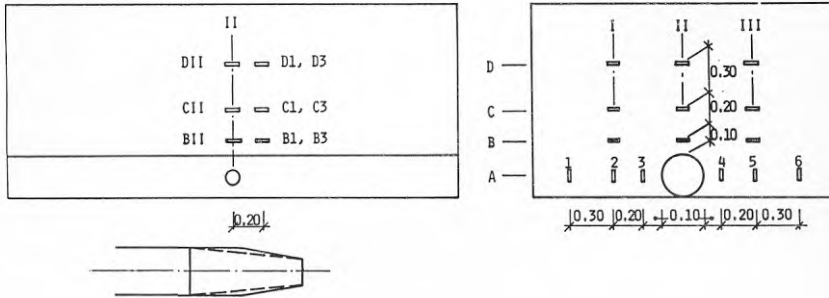
MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	260.7	-2.0	-3.2	-4.9	-7.0	-6.7
1	260.3	-1.2	-2.0	-3.2	-4.7	-4.3
2	260.0	0.2	0.2	0.4	0.3	0.6
3	259.9	1.6	2.3	3.5	4.9	4.9
4	259.9	2.1	3.2	4.9	6.9	6.6
5	260.0	1.8	2.7	4.0	5.9	5.3
6	260.0	0.8	1.4	2.1	3.3	2.8
7	260.4	-0.3	-0.1	-0.2	0.1	-0.3
8	260.7	-1.3	-1.5	-2.7	-3.3	-3.9
9	260.8	-1.9	-2.8	-4.7	-6.4	6.4

FÖRSÖKSSERIE: 4  
RÖRSNITT: III

MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	261.2	-0.5	-1.1	-1.5	-2.2	-2.1
1	261.0	0.4	0.3	0.2	-0.4	-0.5
2	260.5	1.5	1.6	1.8	1.7	1.6
3	259.8	2.2	2.5	3.0	3.3	3.1
4	259.4	2.0	2.5	3.0	3.6	3.6
5	259.3	1.0	1.6	2.0	2.6	2.6
6	259.6	-0.2	0.2	0.3	0.7	0.6
7	259.9	-1.3	-1.3	-1.6	-1.5	-1.8
8	260.2	-1.8	-2.0	-2.6	-3.0	-3.2
9	260.8	-1.5	-2.1	-2.7	-3.4	-3.3



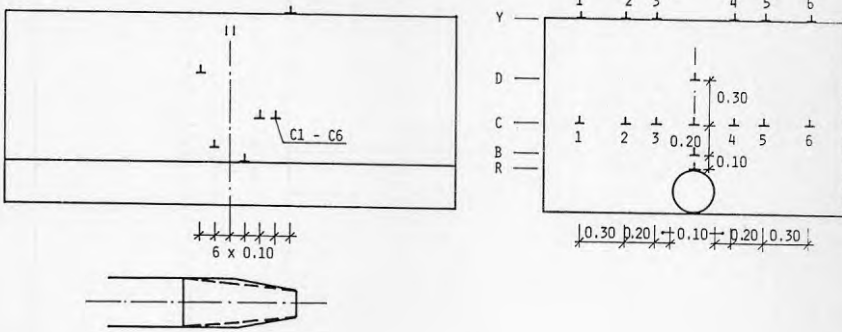
Jordtrycksmätningar



Mätpkt nr	Urspr jordtryck	Jordtryck kPa				Efter 1000 pålastn.	Efter vibrering
		Muskel i pos 2	Spräckn. klar	Efter 1000 pålastn.	Efter 1000 pålastn.		
A1	4	11	5	6	9	9	
A2	9	45	8	10	20	17	
A3	13	95	15	3	8	6	
A4	2	51	1	0	12	12	
A5	8	39	10	8	18	15	
A6	3	18	7	7	14	14	
B1	24	17	17	34	17	18	
BII	17	14	12	22	14	16	
B3	15	12	10	15	14	13	
C1	-	-	-	-	-	-	
CII	12	33	1	0	59	38	
C3	21	27	25	24	20	22	
D1	25	20	16	29	22	20	
DII	6	9	1	1	41	23	
D3	10	10	9	12	10	9	



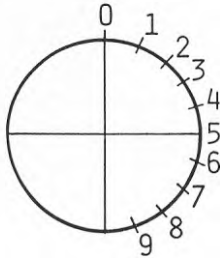
Jordrörelser



Mätpkt nr	Muskel i		Rörelser, mm	
	pos 2		Spräckn. klar	Efter 1000 pålastningar
	Max	Min		
Y1	-2	-3	-8	-8
Y2	-2	-4	-11	-12
Y3	-3	-5	-13	-20
Y4	-3	-6	-16	-23
Y5	-2	-4	-11	-12
Y6	-1	-3	-7	-7
C1	1	0	-1	0
C2	2	-1	-2	-5
C3	6	0	-3	-17
C4	5	0	-2	-5
C5	2	0	-3	-3
C6	0	0	-2	0
BII	30	25	-14	-94
CII	10	2	-6	-86
DII	6	2	-8	-122
RII	47	31	26	-41

Anm. Positiva värden avser rörelse uppåt räknat från mätarens läge före rörspräckning.

Deformation hos infodringsröret



STATENS PROVNINGSANSTALT  
MATERIALTEKNIK OCH MEKANIK  
GÖTEBORG

FÖRSÖKSSERIE: 5  
RÖRSNITT: I

MÄTPUNKT NR	DIAMETER FÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	259.5	-4.5	-6.0	-5.9	-7.3	-6.8
1	258.9	-4.6	-6.1	-6.7	-7.6	-6.5
2	259.1	-3.0	-4.4	-5.7	-5.6	-5.4
3	260.1	-0.3	-1.1	-2.4	-1.4	-1.1
4	261.4	2.4	2.6	1.8	3.9	4.2
5	262.0	4.3	5.2	5.7	8.2	8.5
6	262.2	4.0	5.2	6.6	8.5	8.3
7	261.8	2.1	2.8	4.6	5.2	4.8
8	260.9	-0.5	-0.5	1.2	0.4	-0.2
9	260.2	-2.9	-3.8	-2.9	-4.4	-4.7

FÖRSÖKSSERIE: 5  
RÖRSNITT: II

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	260.5	-10.9	-14.2	-25.0	-32.6	-32.3
1	260.1	-10.1	-13.5			
2	259.8	-5.4	-7.4			
3	260.0	1.3	1.4			
4	260.1	7.5	9.8			
5	260.2	9.8	13.1			
6	260.2	8.0	11.6			
7	260.5	4.1	6.1			
8	260.4	-1.5	-2.1			
9	260.4	-7.2	-9.7			

FÖRSÖKSSERIE: 5  
RÖRSNITT: III

MÄTPUNKT NR	DIAMETERFÖRÄNDRING I MM					
	FÖRE PÅLASTN	EFTER 1 PÅLASTN	EFTER 10 PÅLASTN	EFTER 100 PÅLASTN	EFT. 1000 PÅLASTN	EFTER VIBRERING
0	260.0	-1.0	-1.9	-2.4	-2.8	-2.7
1	259.6	-0.9	-2.0	-2.7	-2.9	-2.7
2	259.6	-0.5	-1.7	-2.0	-2.1	-1.8
3	259.8	0.2	-0.8	-0.9	-0.8	-0.5
4	259.9	1.1	0.2	0.8	0.9	1.1
5	260.1	1.6	1.0	2.0	2.0	2.5
6	260.3	1.6	1.4	2.1	2.1	2.5
7	260.4	1.1	0.9	1.6	1.4	1.8
8	260.1	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4
9	260.0	-0.3	-0.8	-1.2	-1.4	-1.3







Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850349-4  
från Statens råd för byggnadsforskning till Binab,  
Stockholm.

R45: 1990

ISBN 91-540-5200-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art. nr: 6801045

Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirka pris: 51 kr exkl moms