



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

R61:1981

Plaströr i leriga jordarter

Jan Molin

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-0996
Plac	<i>Ser</i>

*V
07/2*

Byggeforskningsrådet

Ser

R61:1981

PLASTRÖR I LERIGA JORDARTER

Jan Molin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730015-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB Vatten-
byggnadsbyrån, Malmö.

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

R61:1981

ISBN 91-540-3502-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
	BETECKNINGAR	5
	SAMMANFATTNING	6
1.	INTRODUKTION	12
2.	PROBLEMSTÄLLNINGAR	13
3.	FÖRUNDESRÖKNINGAR	16
4.	JORDLÅDEFÖRSÖK	18
4.1	Försökens omfattning	18
4.2	Mätningar i jordlådan	20
4.3	Fyllningens deformations- egenskaper i ringkompressometer	21
4.4	Försöksresultat i jordlådan	24
4.4.1	Rördeformation i ringled	24
4.4.2	Vertikalt jordtryck	29
4.4.3	Töjningar i rörvägg	31
4.4.4	Utvärdering av E_s ur rörförsök	33
5.	FÖRSÖKSFÄLT VID BJÖRLANDAVÄGEN, GÖTEBORG	37
5.1	Försökens omfattning	37
5.2	Försöksresultat	44
5.2.1	Rördeformation i ringled	44
5.2.2	Vertikalt jordtryck	54
5.2.3	Utvärdering av E_s ur rörförsök	59
6.	FÖRSÖKSLEDNINGAR I GÖTEBORG	61
6.1	Försökens omfattning	61
6.2	Mätning av rördeformation i ringled	61
6.3	Beskrivning av försöksledning	65
6.4	Försöksresultat	72
6.4.1	Rördeformation i ringled	72
6.4.2	Utvärdering av E_s ur rörförsök	81
7.	FÖRSLAG TILL BERÄKNINGSMETOD	83
7.1	Vertikal jordlast	83
7.2	Rördeformation i ringled	87
7.3	Töjning i ringled	91
8.	JÄMFÖRELSE MED ANDRA UNDERSÖKNINGAR	94
8.1	Norska undersökningar	94
8.2	Finska undersökningar	96
8.3	Amerikanska undersökningar	97
9.	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	100
9.1	Undersökningsresultat	100
9.2	Dimensioneringsanvisningar för plaströr i lera	104
9.2.1	Rörgrav i lös lera	104
9.2.2	Rörgrav i fast lera	110
10.	REFERENSER	113

BILAGOR

Mätresultat från jordlåda	BILAGA A	115
Mätresultat från försöksfält vid Björlandavägen, Göteborg	BILAGA B	139
Mätresultat från försöksledning i Göteborg	BILAGA C	155

BETECKNINGAR

C	=	$(5+3n)/(1+n)(3+n)$	= lastfaktor
D	=	rördiameter, m	
E	=	rörmaterialets modul, MPa	
E_s^1	=	kringfyllningens sekantmodul, MPa	
H	=	fyllningshöjd, m	
H_1	=	höjd för hylla i schaktvägg, m	
I	=	$s^3/12$	= rörväggens tröghetsmoment, m^4/m
K_A	=	aktivt jordtryckscoefficient	
K_O	=	vilojordtryckscoefficient	
K_1	=	coefficient för hylleffekt på rörlast	
K_2	=	coefficient för hylleffekt på rördeformation	
M	=	moment i rörvägg, MN/m	
M_s	=	ödometermodul för kringfyllning	
S	=	$EI/E_s^1 \cdot r^3$	= styvhetsfaktor
W	=	$s^2/6$	= motståndsmoment, m^3/m
a, a_2, a_3, a_4, a_5	=	coefficienter för beräkning av radiellt tryck mot röret	
b_1	=	coefficient i deformationsformel	
b_2	=	coefficient i töjningsformel	
c_1	=	coefficient	
g	=	jordaccelerationen ($10 m^2/s$)	
n	=	$1/12 \cdot S$ = lastparameter	
p	=	tryck i kompressometer, kPa	
q	=	summa överlast och jordlast i jordlåda, kPa	
q_o	=	$g\gamma H$ = överlagringstryck i marken, kPa	
q_r	=	radiellt tryck mot röret, kPa	
q_v	=	vertikalt tryck mot röret, kPa	
r	=	rörradie, m	
s	=	rörets vägg tjocklek, m	
ϕ	=	kringfyllningens inre friktionsvinkel	
α	=	upplagsvinkel	
γ	=	densitet hos fyllning, ton/m^3	
δ	=	diameterändring, m	
ϵ	=	töjning	
γ	=	Poissons tal för fyllningsmaterialet	
τ_f	=	odränerad skjuvhållfasthet hos kringfyllning av lera, kPa	

SAMMANFATTNING

Bakgrund

Under 1960-talet och början av 1970-talet utfördes i de nordiska länderna omfattande undersökningar av plaströr i mark med goda grundförhållanden och med kringfyllning av friktionsjord. På dessa undersökningar baserades sedan nationella normer och anvisningar för användning av markavloppsrör av plast.

Materialet till kringfyllning av friktionsjord, sand eller grus, måste ofta hämtas från sidotag. Av kostnadsskäl skulle det vara fördelaktigt om schaktmassor från rörgravschaktet kunde utnyttjas i större utsträckning. I områden med lös lera skulle sannolikt då också risken för sättningar genom grundvattensänkning minskas.

I föreliggande rapport redovisas undersökningar med plaströr i lera huvudsakligen utförda under åren 1975-1980. Som kringfyllning har använts dels sand, dels schaktmassor av lera. På basis av undersökningsresultaten ges förslag till dimensioneringsmetod för de olika läggningsfallen.

Projektet har finansierats av BFR och Sveriges Plastförbund och genomförts i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs VA-verk.

Syfte

Målsättningen med undersökningen har varit att ta fram en metod för optimal utformning av ett markavloppsrör av plast vid läggning i leriga jordarter med hänsyn till hållfasthet och deformation. För detta ändamål har studerats rörlastens storlek, samverkan rör/kringfyllning samt långtidsinverkan på rördeformationen vid olika kombinationer av rörstyvhet och kringfyllning. Även rörgravens form har varierats.

Undersökningsmetod

Undersökningarna har utförts på tre olika sätt: i jordlåda, i ett särskilt anlagt försöksfält vid Björlandavägen i Göteborg samt genom mätning på ett antal försöksledningar i Göteborgs avloppsledningsnät.

Jordlådeförsök

Belastningsförsök med rör i jord genomfördes i en jordlåda med planmått 2 x 5 m. Lådan fylldes med väl packad, fast lera i vilken uppschaktades en rörgrav. Fyra försök med enkel ledning och fyra försök med dubbel ledningsgrav med hylla har genomförts. Varje ledning innehöll 3 olika rör i dimensionen \emptyset 200 mm men med olika styvhet. Varje rör var 1,5 m långt. Vid 6 försök undersöktes PVC-rör och vid 2 försök PEH-rör.

Kringfyllningen runt rören utgjordes av torrskorpelera med respektive utan packning samt av sand utan packning. Resterande återfyllning upp till 0,6 m över rörhjässan utgjordes av sand.

På fyllningens yta anbringades en jämnt fördelad last stegvis upp till 80 kPa. Vid försöken mättes rördeformation, tøjning i rörväggen samt vertikalt jordtryck.

Kringfyllningens deformationsegenskaper bestämdes separat genom kompressionsförsök i ringkompressometer.

Försöksfält vid Björlandavägen

Ett särskilt försöksfält med 12 provledningarna under en väg med tung trafik anlades under sommaren 1975.

Jordlagren vid försöksfältet består uppifrån räknat av ca 1,0 m vägöverbyggnad, 0,8 m torrskorpelera och därunder av lös lera med skjuvhållfastheten ca 11 kPa.

Fyllningshöjden över rörhjässa uppgick i allmänhet till ca 1,8 m men för ett rör var den ca 3,6 m.

Kringfyllning utgjordes av lös lera med och utan bearbetning, av torrskorpelera utan packning samt av sand med och utan packning.

För undersökning av rörgravsbreddens inverkan på rördeformationen i lös lera utfördes ett par ledningsgravar med bredden 5 x rördiametern.

Provledningarna bestod av rör av PVC, PEH och GAP med olika styvhet och dimensionerna varierade mellan \emptyset 300 och \emptyset 800 mm.

Rördeformationer och vertikalt jordtryck mättes under återfyllningsskedet samt vid olika tillfällen fram till 1100 dygn efter läggning.

Försöksledningar i Göteborg

Denna försöksetapp omfattade deformationsmätningar på ledningar lagda under realistiska förhållanden vid avloppsledningsbyggen inom 7 olika områden i Göteborg. Ledningarna byggdes under vårvintern 1976 av Göteborgs VA-verk som på ett antal sträckor bytte ut ursprungligen planerade betongrör mot plaströr.

Totalt utfördes deformationsmätningar på 16 olika försöksledningar med en sammanlagd längd av 564 m. Samtliga ledningar utgjordes av PVC-rör \emptyset 200 mm klass T utom i ett fall då dimensionen var \emptyset 400 mm. Mätning har utförts på såväl spill- som dagvattenledningar.

Jordlagren vid samtliga försöksledningar består av lera. Kringfyllning har utförts med schaktmassor av lera och i allmänhet har viss bearbetning av kringfyllningen utförts. I några fall har kringfyllningen också innehållit frusna klumpar och sten från gatuöverbyggnaden. Fyllningshöjderna

varierar mellan 1,6 och 3,3 m för de olika ledningssträckorna.

Samtliga ledningar ligger i gatumark, några i de centrala delarna av Göteborg.

Deformationsmätningar har utförts vid flera tillfällen, det första 1 à 2 veckor efter läggning och det sista ca 800 dygn efter läggning.

Resultat

Huvudresultatet från de utförda undersökningarna är att plaströr kan läggas i lera och även i vissa fall kringfyllas med lera förutsatt att rörstyvheten valts med hänsyn till kringfyllningens deformationsegenskaper.

I det följande redovisas kortfattat de viktigaste rönen från de utförda undersökningarna.

Vertikal jordlast

Större vertikal last har uppmätts på de styva än på de slanka rören. Denna effekt är beroende av förhållandet mellan rörets och kringfyllningens styvhet, varför rörstyvhetens inverkan blir störst vid ett eftergivligt kringfyllningsmaterial som lera.

För beräkning av jordlastens storlek föreslås en metod som för mycket slanka rör ger värden som motsvarar tyngden av ovanförliggande jordpelare och för ökande rörstyvhet leder till en succecciv ökning av lasten upp till värdet 1,67 gånger tyngden av jordpelaren över röret.

För rör lagt på en fast hylla i rörgravsväggen erhöles vid återfyllning med lera en något större last än för ett rör vid sidan av hyllan. Vid kringfyllning av sand var skillnaden i last dock liten mellan de båda rören.

Rördeformation

Rördeformationens storlek påverkas av belastningens storlek, rörstyvheten, kringfyllningsmaterialet och dess packning samt av ledningsbäddens jämnhet. I samtliga fall, dvs även vid kringfyllning av lera, har kringfyllningen haft en reducerande inverkan på rördeformationen.

Vid försöken i jordlåda blev rördeformationerna vid kringfyllning av packad torrskorpelera ungefär lika stora som vid kringfyllning av opackad sand. Opackad torrskorpelera gav dock väsentligt större deformationer för de slankaste rören, t ex markavloppsrör klass L och T, vid stor belastning.

Av mätningarna från försöksfältet framgår att kringfyllning av lös Göteborgslera gav anmärkningsvärt små korttidsdeformationer även för de slanka rören, 1 à 2,5 %. Deformationsökningen av tung trafik blev dock större

för dessa rör än för rör med kringfyllning av sand. Packning eller bearbetning av den lösa leran hade endast begränsad effekt på rördeformationen, sannolikt beroende på att kringfyllningen är så lös att den även utan särskild bearbetning ger ett ungefär hydrostatiskt fördelat tryck runt röret.

För rör slankare än PVC klass T erhöles en oregelbunden deformationsfigur med en lokal nedpressning av hjässan efter en tids inverkan av tung trafik.

Deformationsmätningarna på de praktiskt utförda försöksledningarna i Göteborg visade att medeldeformationerna kort tid efter läggning i allmänhet var lägre än 5 %. Deformationerna varierade dock längs sträckorna och förhållandet mellan maximal- och medeldeformationen längs en sträcka (brunnsvstånd) uppgick vanligen till 1,5 å 2,0. För ett par sträckor som återfyllts med bl a frusna lerklumpar var detta värde högre.

Deformationsutvecklingen med tiden för försöksledningarna i Göteborg har sammanfattats på FIG S1. Redovisade kurvor avser medeldeformationerna för varje ledning och den största ökningen för någon sträcka uppgår till ca 2 % under mätperioden ca 800 dygn. Ökningen av maximaldeformationerna var av samma storleksordning som för medeldeformationen.

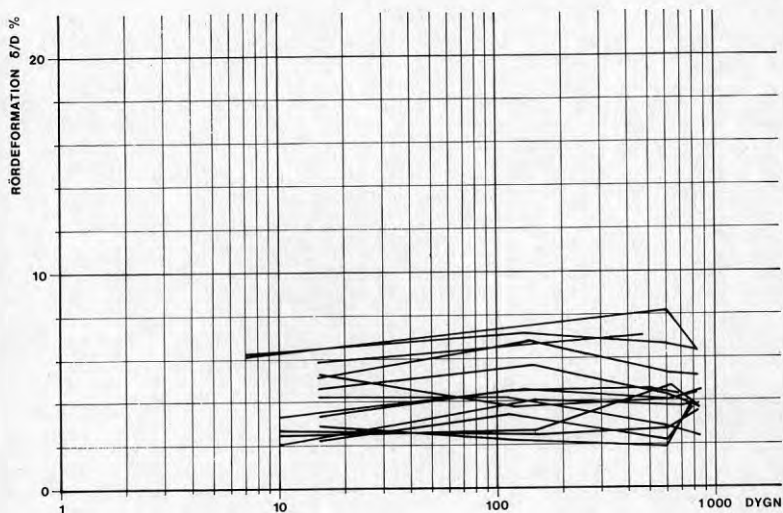


FIG S1 Sammanställning över medeldeformationens utveckling med tiden för samtliga försöksledningar i Göteborg

De uppmätta deformationerna tyder för flertalet försöksledningar på att oacceptabla deformationer ej kommer att uppstå inom den praktiska livslängden för ledningarna.

Försöken har också visat att den breddning av rörgraven till 5 x rördiametern som föreskrivs i nuvarande (1980) svenska läggingsanvisningar i lös lera ej ger mindre rördeformationer än vad som erhålls i en smalare rörgrav. Denna föreskrift bör därför slopas.

Töjning i rörväggen

Störst töjning i rörväggen uppträder vanligen vid rorbotten och beror främst av upplagstryckets fördelning, dvs upplagsvinkelns storlek, som i sin tur varierar med underlagets fasthet och kringfyllningens karaktär. Försöken har visat att upplagsvinkeln också är beroende av rörets styvhet. Upplagsvinkeln har sålunda med ledning av uppmätta töjningar konstaterats variera mellan 180° och 60° för olika rörstyvhet vid en och samma kringfyllning. Det undre värdet erhöles för det styvaste röret som provades, PVC NT 10 vid läggning på fast schaktbotten utan ledningsbädd.

Vid lådförsöken uppmättes vid en belastning motsvarande 4 m fyllningshöjd korttidstöjningar som var mindre än 0,5 % för samtliga PVC-rör, markavloppsrör klass L, klass T och tryckrör NT 10, vid kringfyllning av opackad sand eller packad torrskorpelera. Med opackad torrskorpelera uppmättes största töjningen 0,8 %. För rör på fast hylla i rörgravsväggen blev dock töjningarna ungefär dubbelt så stora vid kringfyllning av lera utan packning.

Sekantmodulen E'_s

Värdet på sekantmodulen E'_s för kringfyllningen har bestämts ur uppmätta rördeformationer samt i några fall också genom kompressometerförsök. Vid utvärdering av långtidsvärden ur rördeformationerna har den tidsberoende minskningen av ringstyvheten hos plaströren också beaktats.

Från korttidförsöken i jordlåda har ur rördeformationerna beräknats sekantmodulvärden 0,7-1,4 MPa för opackad sand och packad torrskorpelera samt 0,1-0,4 MPa för opackad torrskorpelera. Värdena överensstämmer väl med motsvarande resultat från kompressometerförsöken.

Vid fältförsöken uppmättes medeldeformationer som svarar mot sekantmoduler av storleksordningen 0,3 MPa för opackad torrskorpelera och 0,3-0,4 MPa för opackad och packad lös lera kort tid efter läggning. Som långtidsvärde för lös lera eller opackad torrskorpelera har erhållits 0,2 MPa.

Dimensionering

På basis av undersökningsresultaten presenteras i rapporten en metod för beräkning av deformationer och töjningar hos plaströr i fast respektive lös lera med olika kringfyllningsmaterial. Metoden skiljer sig från den som f n

tillämpas för markavloppsrör i fasta jordarter på fyra punkter:

- vertikallasten beräknas med hänsyn även till rörets styvhet
- upplagstryckets fördelning i ringled varierar beroende på underlagets fasthet, kringfyllningsmaterial och rörets styvhet
- det horisontella jordtrycket delas upp i en konstant del och en del som är en direkt funktion av rördeformationen
- beräknad deformation avser dimensionerande maximalvärde

Vid läggning i lös lera och med kringfyllning av schaktmassor av lera har i ytor med lätt trafiklast följande minsta erforderliga värden på förhållandet vägg tjocklek/diameter, s/D, beräknats för PVC och PEH:

Fyllningshöjd	s/D	
	PVC	PEH
H < 2,5 m	0,03	0,06
H < 4 m	0,04	0,08

Angivna tjockleksförhållanden gäller under förutsättning att deformationer upp till 15 % kan accepteras efter lång tid med hänsyn till fogarnas täthet och att långtidstöjningar av storleksordningen drygt ca 2 % för PVC och ca 5 % för PEH kan tillåtas. I gator eller trafikleder med tung, tät trafik bör kringfyllning utföras med sand.

Fördelen med den föreslagna dimensioneringsmetoden är bl a att den kan tillämpas även när rörstyvheten är mycket stor och/eller kringfyllningen är mycket lös samt att skilda läggingsanvisningar ger större utslag i kraven på rörstyvheten. Metoden kan också användas för plaströr i fasta jordarter och därmed ersätta nuvarande metod i Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningens publikation VAV P16.

1. INTRODUKTION

Under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet genomfördes ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete inom området markförlagda avloppsrör av plast. Detta arbete bedrevs delvis inom ramen för ett inter-nordiskt industriellt samarbetsprojekt vars resultat redovisades vid ett antal seminarier under tiden 1967-1972. Detta arbete resulterade i att nationella standards för rör och läggningsanvisningar upprättades inom de nordiska länderna. I Sverige tillkom under denna tid sålunda SPF Verksnorm 100 till 400 för markavloppsrör av PVC, PEH och PEL samt utgavs för Svenska vatten- och avloppsverksföreningen anvisningar om dimensionering och läggning av sådana rör, VAV P16 och VAV M15.

Det ovan beskrivna arbetet ägnades enbart åt rör i fasta jordarter och med kringfyllning av friktionsjord (sand). Efterhand ställdes frågan om även annat material, t ex lera, skulle kunna användas som kringfyllning kring plaströr eftersom detta i många fall bedömdes ge lägre anläggningskostnad.

Föreliggande rapport redovisar resultatet av ett forskningsprojekt angående plaströr i leriga jordarter, som startade med förstudier 1973, MOLIN 1973, och sedan fortsatte med laboratorieundersökningar i jordlåda i halvstor skala 1975. Samma år byggdes också ett försöksfält vid Björlandavägen i Göteborg och året därpå startades deformationsmätningar på sammanlagt 16 ledningssträckor med markavloppsrör av plast i Göteborg.

Projektet har finansierats av BFR och Sveriges Plastförbund. Jordlådeförsöken genomfördes i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för geoteknik, och fältundersökningarna genomfördes i samarbete med Göteborgs VA-verk som också svarat för byggkostnaderna för försöksfältet. Till samtliga, som bidragit till att möjliggöra detta projekt, riktas ett varmt tack.

2. PROBLEMSTÄLLNINGAR

Projektets syfte

Ett rör i mark utgör ett i hög grad komplext hållfasthetstekniskt problem där samverkan mellan rör och omgivande jord är av avgörande betydelse inte bara med avseende på rörets bärförmåga i jord utan även med avseende på den vertikala jordlastens storlek. Avgörande är styvhetsförhållandet mellan rör och kringfyllning.

I denna undersökning studeras främst frågor angående rörlastens storlek, samverkan rör/kringfyllning och långtidsinverkan på deformationen hos rör vid läggning i leriga jordarter.

Syftet med projektet är att ge dimensioneringsanvisningar för plaströr lagda i lera med återfyllning av lera eller sand. Därigenom skapas också förutsättningar för en nyansering av gällande läggningssanvisningar för markavloppsrör av plast med möjlighet till en ökad användning av schaktmassor av lera som kringfyllning.

Rörlastens storlek

I FIG 2.1 illustreras inverkan av styvhetsförhållandet rör/kringfyllning på den vertikala rörlastens storlek. Avgörande är därvid den vertikala rörelsen hos rörhjässa respektive hos kringfyllningen vid sidan av röret.

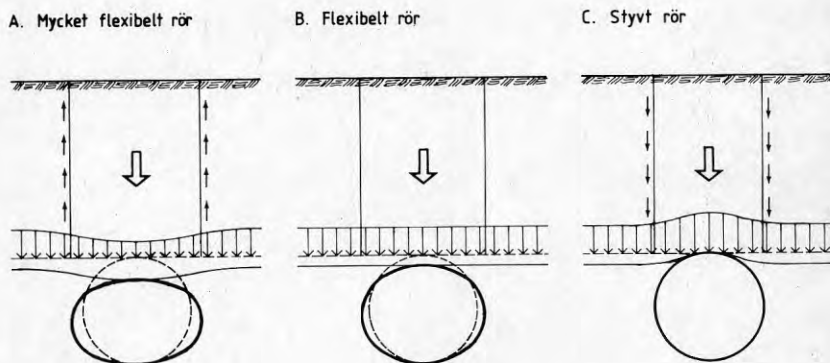


FIG 2.1 Inverkan på rörlasten av styvhetsförhållandet rör/kringfyllning

Fall A representerar ett mycket slankt rör och en eftergivlig sidofyllning där en större vertikal rörelse hos rörhjässa än hos intilliggande kringfyllning kan tänkas uppstå. Genom valvbildning i fyllningen över röret uppstår då en viss avlastning över röret och motsvarande tryckökning vid sidan av röret.

Fall B representerar det fall där rörets deformation är lika med sättningen hos fyllningen vid sidan av röret. I detta fall erhålls samma tryck över som vid sidan av röret, ett tryck som är lika med överlagringsstrycket i jorden på rörhjässans nivå. Detta lastfall ligger till grund för nuvarande dimensioneringsregler för markavloppsrör, se VAV P16.

Fall C representerar det fall att röret är styvare än fyllningen vid sidan av röret då en tryckökning uppstår över röret i förhållande till överlagringstrycket i jorden.

Beroende på rörstyvhet kan plaströr tillhöra vilket som helst av fall A, B eller C. Uppgiften är att fastställa en metod för beräkning av den vertikala lasten på röret med hänsyn tagen till styvhetsförhållandet mellan rör och kringfyllning.

Samverkan rör/kringfyllning

Hos ett flexibelt rör i jord, dvs ett rör med förmåga till stor deformation utan skador, bestäms deformation och påkänningar av i vilken grad samverkan sker mellan rör och kringfyllning. En väl packad kringfyllning har sålunda en mer uppstyvande inverkan på röret än en löst utfylld, FIG 2.2.

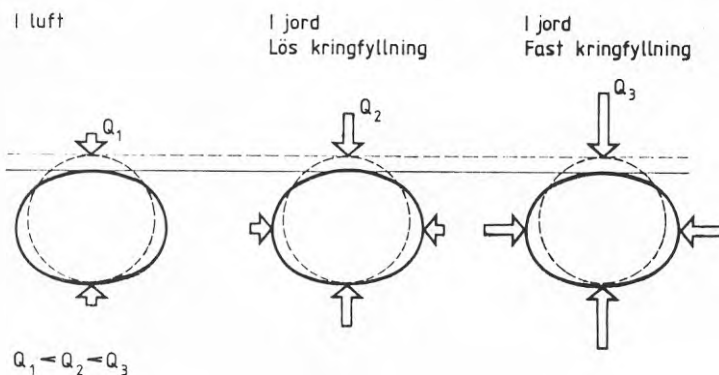


FIG 2.2 Kringfyllningens inverkan på deformationen hos ett flexibelt rör.

Vid ökad rörstyvhet minskar kringfyllningens inverkan på rördeformation och påkänningar.

Den aktuella frågeställningen är i vilken mån kringfyllning med lera av olika slag förmår samverka med röret och därmed reducera dess deformation.

I syfte att säkerställa fullgott sidostöd för röret vid läggning i lösa jordarter föreskrivs f n i VAV M15 att rörgravsbredden skall vara minst 5 x rördiametern och kringfyllningen utföras med sand. I undersökningen ingår också en studie av rörgravsbreddens inverkan i lös lera då kringfyllning utförs med sand.

Långtidsdeformationer

Undersökningar av rördeformationens ökning med tiden har i Sverige genomförts på ett antal plastledningar med kringfyllning av sand, MOLIN, 1975. Av dessa undersökningar framgår att en viss ökning äger rum med tiden men att ökningen under 1 å 1,5 år ej överstigit 1 å 2 %.

Vid läggning i lera får tidsfaktorns inverkan troligen en större betydelse.

I denna undersökning studeras tidsfaktorns inverkan genom långtidsobservationer på ett antal försöksledningar i Göteborg med kringfyllning av lera. Därigenom erhålls underlag till rekommendation av dimensioneringsmetod med beaktande av långtidseffekterna.

3. FÖRUNDESRÖKNINGAR

Innan slutligt program upprättades för denna undersökning genomfördes dels en litteraturstudie, dels en studieresa till Holland där praktisk erfarenhet finns av plaströr i lösa jordarter.

Resultatet av litteraturinventeringen, som omfattade en genomgång av aktuella tidskrifter under åren 1969-1973, och studieresan har i detalj redovisats i en delrapport, MOLIN, 1973. Nedan lämnas en kortfattad beskrivning av resultaten och i referenslistan har medtagits också de i delrapporten redovisade tidskriftsartiklarna. I kap 8 jämförs de vid denna undersökning erhållna resultaten med andra undersökningsresultat som påträffats i litteraturen under hela undersökningsperioden 1973-1979.

Litteraturinventering

Genomsökning av litteraturen under perioden 1969-1973 gav sju referenser inom det aktuella området. Endast några redovisar resultat av egna mätningar i fält eller på laboratorium, t ex WATKINS-MOSER, 1971 och NIELSON, 1972. De förstnämnda redovisar undersökningar med korrugerade plåttrummor i en ellipsformad jordlåda med fyllning av lerig, siltig finsand. Dessa undersökningar visar att den skenbara ringtryckhållfastheten för en given packningsgrad hos kringfyllningen sjunker vid ökad rördiameter. Anledningen här till förklaras dock ej närmare. De erhållna resultaten torde ej direkt kunna överföras till rör av annat material, t ex plast, eller till väsentligt annorlunda kringfyllningsmaterial och återfyllningsmetoder.

PARMELEE-COROTIS, 1972, gör en statistisk bearbetning av de av Spangler redovisade uppmätta deformationerna hos 18 befintliga vägtrummor. Spridningen i beräknade värden på modulen E' för kringfyllningen är stor. Eftersom de studerade kulvertarna lagts under en mycket lång tidsperiod, 1927-1966, och de geotekniska och läggningsmässiga förhållandena säkerligen varierat kraftigt, försvåras emellertid den statistiska utvärderingen. Tidsfaktorn har ej heller beaktats.

En annan typ av studier representerar t ex KRIZEK-KAY, 1972, som gör en matematisk analys av konstruktionen rör-jord baserad på finit elementmetod. Artikeln belyser huvudsakligen de erforderliga jordparametrarna och metoder att bestämma dessa. Speciellt påtalas svårigheten att bestämma egenskaperna hos fyllningen närmast röret.

Den inledande litteraturstudien visade att det i litteraturen ej gick att finna tillräckligt underlag till anvisningar för läggning av plaströr i lera. Särskilt gäller detta läggning i lös lera.

Studieresa i Holland

Resan genomfördes i april 1973 och syftet var att erhålla synpunkter och erfarenheter angående läggning av plaströr i lösa jordarter som lera och torv. Besök gjordes hos KIWA, Rijswijk (som är officiell provningsanstalt i Holland för plaströr), Wavins rörfabrik Hardenberg, Amstelveen samt Tekniska Högskolan i Delft. Nedanstående sammanfattning kan göras av studieresan.

I Holland pågår omfattande fältmätningar på plaströr i lera. I allmänhet består kringfyllningen av sand men ett par exempel med kringfyllning av lera finns. Den erfarenhet som gjorts är att tunnväggiga rör deformeras betydligt mer än tjockväggiga. Deformationen hos rör kringfyllda med lera är dock inte signifikant större än vid kringfyllning med sand. Numera läggs i grund med lös lera eller torv endast rör med en styvhet motsvarande PVC-rör med $s/D = 0,03$ och i svåra fall $s/D = 0,04$ eller ännu större. De holländska erfarenheterna är av stort värde för utredningen angående förhållandena i Sverige. Dock skall beaktas dels att stora områden med uppfylld mark på lösa underliggande jordlager ej förekommer i samma utsträckning i Sverige som i Holland, dels att de nordiska postglaciala lerorna i allmänhet torde vara lösare än de holländska. Erfarenheter gjorda i Holland kan därför inte ersätta undersökningar med plaströr i lera under för Sverige normala förhållanden men de utgör ett komplement till sådana undersökningar.

4. JORDLÅDEFÖRSÖK

4.1 Försökens omfattning

Dessa försök omfattade belastningsförsök i jordlåda vid CTH. Lådan har planmått 2 x 5 m. Vid försöken undersöktes rör med olika styvheter lagda i ledningsgrav i fast torrskorpelera. Ledningsgraven utformades dels för en rörledning, dels för två rörledningar enligt FIG. 4.1.

I den 5 m långa ledningen lades tre olika rör med olika styvheter. I TABELL 4.1 anges de kombinationer av ledningsgrav, rörtyp och kringfyllning, som provats.

TABELL 4.1 Omfattning av jordlådeförsök

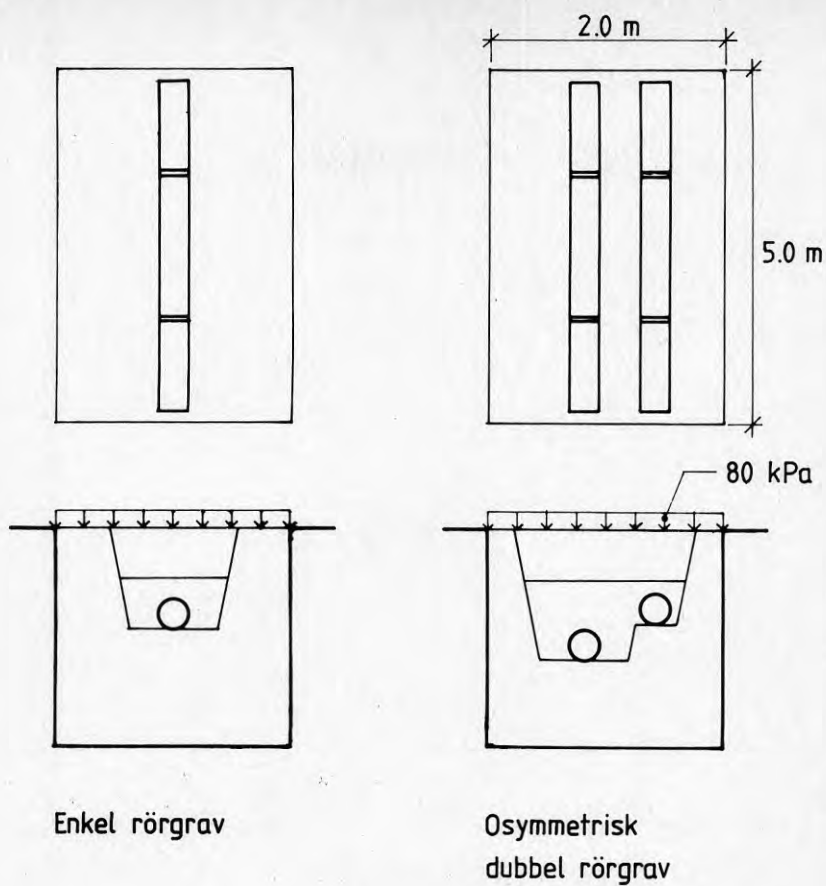
Försök nr	Antal ledningar	Rör mtrl	Kringfyllning
1	En	PVC	Opackad sand
2	En	PVC	Packad lera
3	En	PVC	Opackad lera
4	En	PEH	Packad lera
5	Två	PVC	Opackad sand
6	Två	PVC	Packad lera
7	Två	PVC	Opackad lera
8	Två	PEH	Packad lera

De provade rören hade diametern ca 200 mm.

Vid försöken 1 och 5 kringfylldes ledningen med stenig, grusig sand utan packning. Vid övriga försök kringfylldes ledningen upp till 10 cm över hjässan med fast torrskorpelera, som vid försöken 2, 4, 6 och 8 packades i tre lager, ca 10 cm tjocka, genom 3 överfarter med tät fottrampning. Vid försöken 3 och 7 påfördes kringfyllningen av lera i tre lager om ca 10 cm som dock ej packades. Resterande återfyllning över kringfyllningen utfördes med sand som packades i två skikt genom tät fottrampning.

Belastningen har utgjorts av 0,6 m jordfyllning samt av ett jämnt fördelat tryck 80 kPa på fyllningens yta. Lasten hölls konstant under 1-3 dygn.

Förutom belastningsförsök på rör har kompressionsförsök på fyllningsmaterialet utförts i stor ringkompressometer för bestämning av fyllningens deformationsmodul.



Enkel rörgrav

Osymmetrisk
dubbel rörgrav

FIG 4.1 Rörgravssektioner vid provning i jordlåda med planmått 2 x 5 m.

4.2 Mätningar i jordlådan

Rördeformation

I varje rör mättes deformationen i två punkter med mätare enligt FIG 4.2.

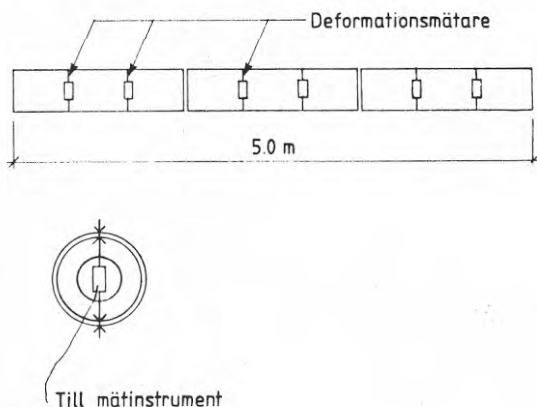


FIG 4.2 Placering av deformationsmätare

Mätarna kalibrerades innan montering i rören. Mättningsnoggrannheten uppgick till ca $\pm 0,2$ % av rördiametern.

Uppmätta rördeformationer är ungefär lika stora för de båda mätarna och i det följande redovisas endast medelvärdena.

Töjning i rörväggen

I PVC-rören bestämdes töjningen i rörväggen med tråd-töjningsgivare. Givarna monterades i rörets botten och hjässa på in- och utsida rörvägg. I varje rör utfördes mätning i två punkter. Medelvärdena för de fyra givarna i botten respektive i hjässa har beräknats.

Jordtrycksmätning

Vertikalt jordtryck i fyllningen på nivån 10 cm över rörhjässa har mätts med hydrauliska jordtrycksmätare typ Glötzl, se FIG 4.3.

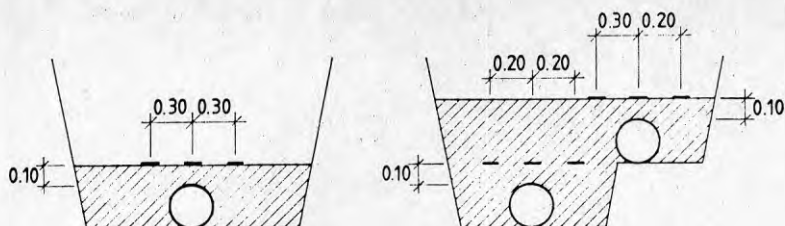


FIG 4.3 Placering av jordtrycksmätare

Vid placering i kringfyllning av lera utfördes viss inbäddning av jordtrycksmätarna i sand för att utjämna ojämn anliggning från lerklumpar. Osäkerheten i de uppmätta jordtrycken är störst vid kringfyllning av lera.

4.3 Fyllningens deformationsegenskaper i ringkompressometer

Bestämning av deformationsegenskaperna hos fyllningsmaterialen har utförts genom kompressionsförsök i stor ödometer, ringkompressometer \varnothing 50 cm, se FIG 4.4. Fördelen med denna kompressometer är att hoptryckning av provet kan ske utan friktion mot en massiv ödometerhylsa. Vid stora deformationer räcker dock ej avståndet mellan ringarna till och en viss störning av provningen genom friktion kan uppstå.

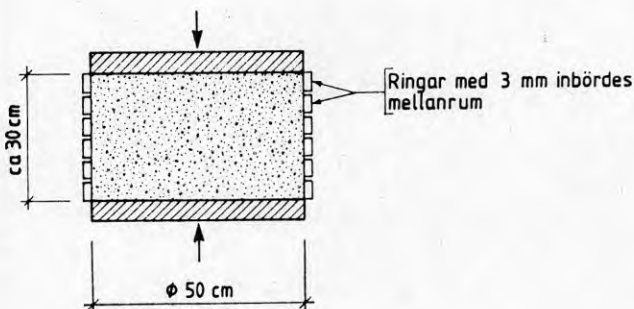


FIG 4.4 Ringkompressometer \varnothing 50 cm

Provning har utförts med ej packad sand, packad lera och ej packad lera, dvs samma varianter som använts vid lådförsöket. Belastningen påfördes i 4 steg upp till 80 kPa. Varje laststeg fick ligga på 16 minuter innan nästa påfördes. Vid 80 kPa utfördes långtidsmätningar för ej packad lera under 116 timmar.

I TABELL 4.2 redovisas data för de utförda försöken i kompressometer.

TABELL 4.2 Data för kompressometerförsök

Prov	Provhöjd mm	Densitet t/m ³	
		Före	Efter provning
Ej packad sand	302	1,57	1,69
Packad lera	245	1,56	1,70
Ej packad lera	273	1,18	1,72

De utförda kompressionsförsöken redovisas i FIG. 4.5 där provets relativa hoptryckning ϵ redovisas som funktion av pålagt tryck.

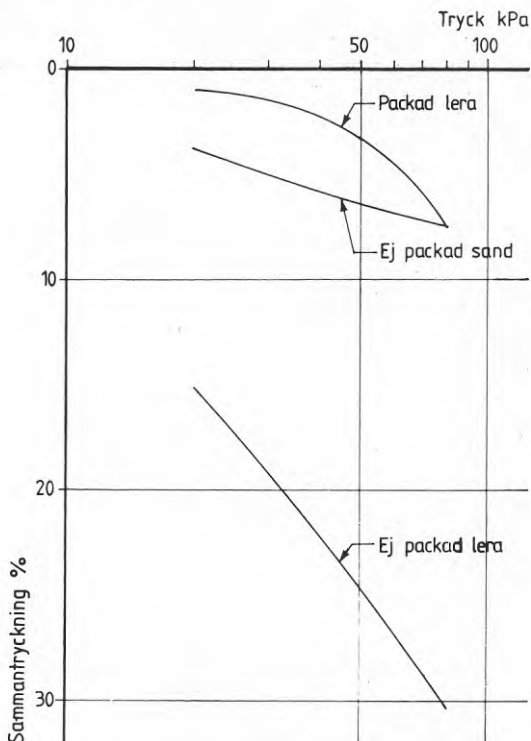


FIG 4.5 Deformationskurvor vid kompressionsförsök i ringkompressometer \varnothing 50 cm.

Kurvorna avser deformationer efter 16 minuters belastning.

Ödometermodulen M och elasticitetsmodulen E'_s , tolkade som sekantvärdena, beräknas enligt följande med hjälp av Poissons tal ν för fyllningen:

$$M_s = \frac{p}{\epsilon}$$

$$E'_s = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \cdot M_s \quad (4.1)$$

Med värdet $\nu = 0,3$ erhöjls följande värden på M_s och E'_s vid trycket $p = 80$ kPa:

	M_s MPa	E'_s MPa
Ej packad sand	1,07	0,79
Packad lera	1,07	0,79
Ej packad lera	0,26	0,20

Vid långtidslast sjunker modulerna något. De vid trycket 80 kPa utförda deformationsmätningarna visar sålunda att modulerna för packad lera efter ca 18 timmars belastning sjönk med ca 14 % och för ej packad lera med ca 4 %. I sand var deformationsökningen med tiden liten vid provning i kompressometern. Nedsättningen av modulvärdena är således liten i samtliga fall vid den utförda provningen. Inverkan av grundvattenrörelser och trafikklaster kan i praktiken dock ge större förändringar men förhållandena vid kompressometerprovningen svarar ungefär mot förhållandena i jordlådan.

4.4 Försöksresultat i jordlådan

Uppmätta rördeformationer, jordtryck och maximala töjningar redovisas i BILAGA A. Lasten q i diagrammen avser summan av fyllningens egenvikt och överlasten på fyllningens yta som uppgick till maximalt 80 kPa.

4.4.1 Rördeformation i ringled

Uppmätt maximal rördeformation direkt efter pålastning redovisas för rör lagda i enkel rörgrav i FIG 4.6.

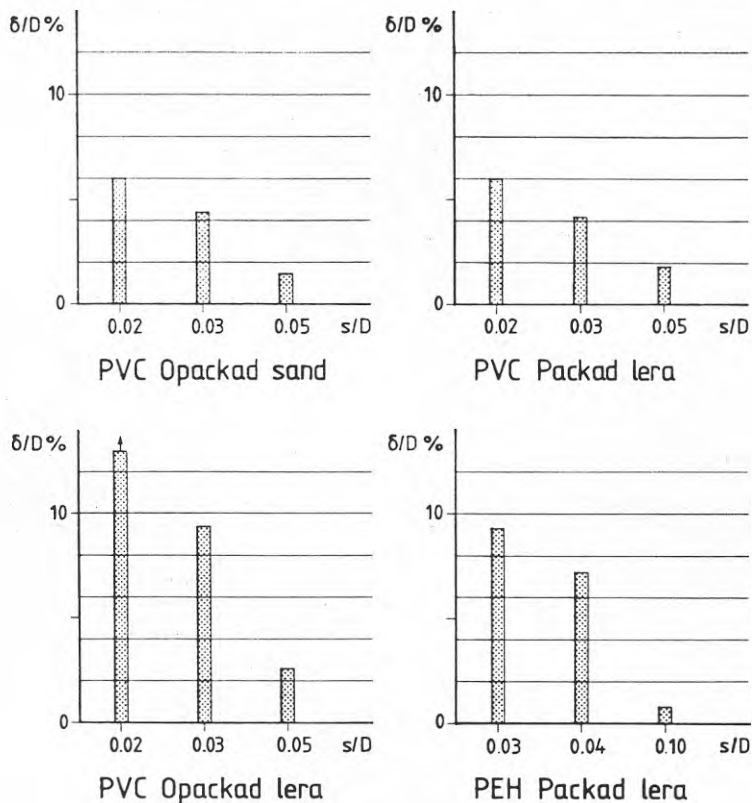


FIG 4.6 Uppmätta rördeformationer vid max belastning i enkel rörgrav

Vid försök 4, PEH-rör med kringfyllning av packad lera, utfördes en lindrigare packning av fyllningen vid sidan av röret än vid försök 2 med PVC-rör. Vid försök 4 utfördes sålunda packning ej alls vid rörcentrum utan först efter uppfyllning till rörhjässan. Detta förklarar den större deformation som erhållits för PEH-rören i jämförelse med PVC-rören.

Rördeformationen är, såsom framgår av FIG 4.6, ungefär lika stor för rör med kringfyllning av opackad sand som för rör med kringfyllning av packad lera, t ex ca 6 % för det slankaste PVC-röret. Vid kringfyllning med opackad lera är rördeformationerna väsentligt större, t ex mer än 13 % (deformationsmätarens kapacitet var begränsad till detta värde) för det slankaste röret. Det framgår också klart av FIG 4.6 att rörstyvheten, uttryckt t ex som s/D -förhållandet, inverkar på rördeformationens storlek.

I FIG 4.7 redovisas uppmätta deformationer vid max last för de två ledningarna i dubbel rörgrav med hylla.

För den övre ledningen, som ligger på en hylla i rörgravsväggen, har vid återfyllning med lera en avsevärt större rördeformation erhållits än för den undre ledningen. Vid kringfyllning med sand är deformationsskillnaderna mycket mindre. Man finner också att deformationsskillnaderna är störst för de slankaste rören, dvs de rör som är mest beroende av sidostödet från kringfyllningen.

Det är intressant att konstatera den likartade form som kurvorna över rördeformation i jordlådan för de slankaste rören och deformationskurvorna för jordproven i kompressometern uppvisar, såsom framgår av FIG 4.8. För ej packad sand och ej packad lera har deformationskurvorna ett jämnt och avtagande förlopp vid ökande tryck. För packad lera visar både kompressometer- och jordlådeförsöken att deformationerna är små i början för att över ett visst tryck (ca 30-40 kPa) öka i betydligt snabbare takt. Detta kan tolkas som att packningen motsvarar en förbelastning av leran. Vid tryck under förbelastningstrycket blir deformationerna små. När förbelastningstrycket passerats ökar deformationerna även för packad lera kraftigt och har nästan samma ökningstakt som för ej packad lera. Värdet på det ekvivalenta förbelastningstrycket är beroende av bl a packningsarbetet, packningsredskapets utformning och lerans hållfasthet. Dessa samband har ej studerats närmare i denna utredning men bör göras till föremål för en särskild studie i det fall högre värden på E'_s skall utnyttjas än vad som föreslås i denna utredning.

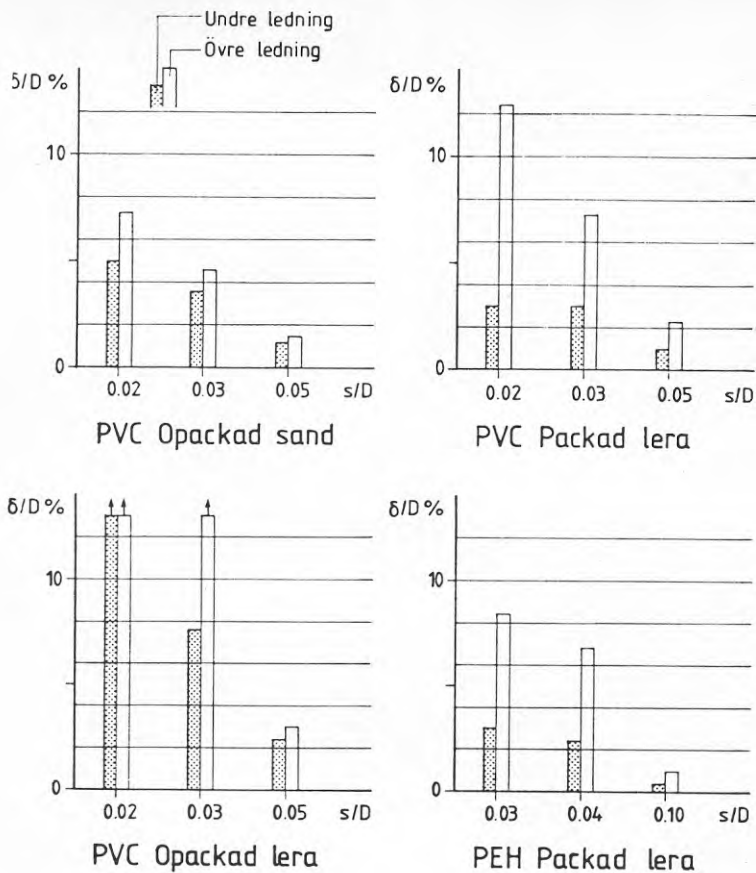


FIG 4.7 Uppmätta rördeformationer vid max belastning i dubbel rörgrav

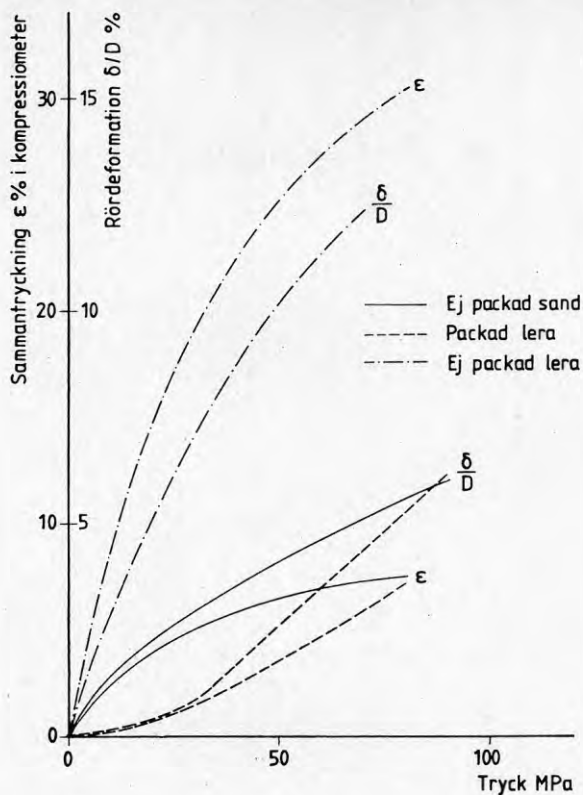


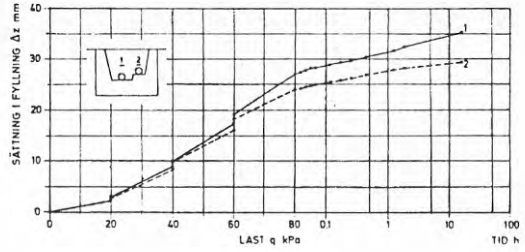
FIG 4.8 Jämförelse mellan deformationskurvor för rör PVC, $s/D = 0,02$ och deformationskurvor för jordprov i kompressiometern

Vid försök nr 5 till 8, dvs i dubbel rörgrav, utfördes även mätning av sättningarna i två punkter i kringfyllningen. Mätarna placerades rakt över de båda rören och på nivån 10 cm över hjässan på det övre röret. Uppmätta sättningar redovisas i FIG 4.9.

Sättningarna är störst för opackad lera och minst för opackad sand. För kringfyllning med packad lera var sättningarna något större än för sand. Det inbördes förhållandet mellan sättningarna i de olika materialen är ungefär detsamma som gäller för uppmätta rördeformationer. De uppmätta sättningarna stämmer också tämligen väl med deformationerna hos de övre ledningarna.

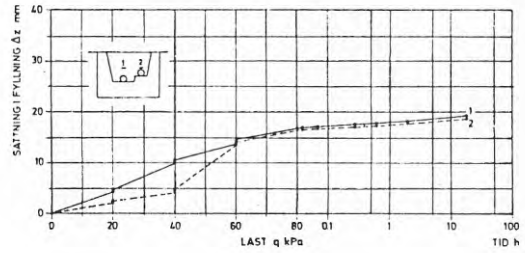
Försök nr 5

Ej packad sand



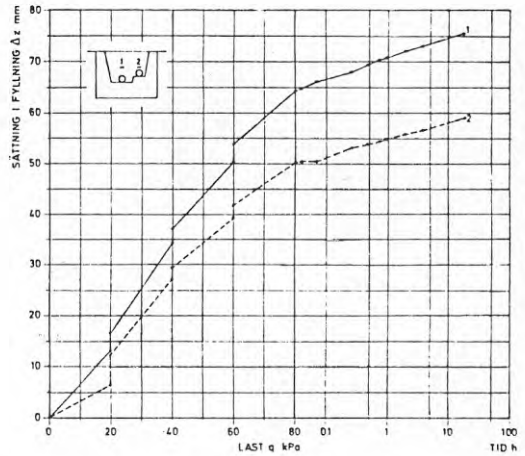
Försök nr 6

Packad torrskorpelera



Försök nr 7

Ej packad torrskorpelera



Försök nr 8

Packad torrskorpelera

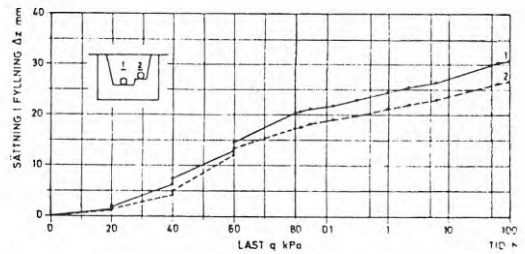


FIG 4.9 Uppmätta sättningar i kringfyllningen på nivån 10 cm över hjässan på övre ledningen.

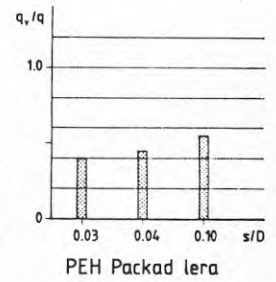
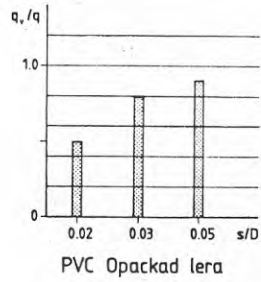
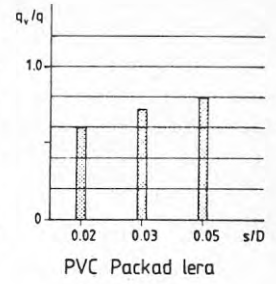
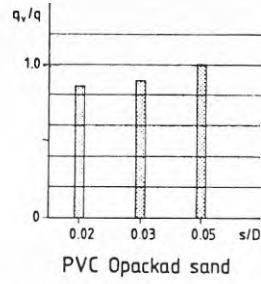
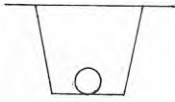
4.4.2 Vertikalt jordtryck

I FIG 4.10 redovisas förhållandet mellan uppmätt vertikalt jordtryck över samtliga rör och pålagt tryck. I allmänhet är uppmätt vertikalktryck lägre än pålagt tryck vilket beror på den graveffekt som uppstår genom att återfyllningen sätter sig mer än rörgravssidorna. Härigenom uppstår avlastande upphängningskrafter vid rörgravssidorna som minskar trycket på rören.

Med hänsyn till den inhomogena strukturen hos återfylld lera är jordtrycksmätningarna i detta material osäkrare än i sand. Enstaka värden i lera kan därför vara missvisande. Följande kan emellertid konstateras med ledning av erhållna resultat:

- Jordtrycken var större för de styvare rören än för de slanka.
- Det övre röret i dubbel ledningsgrav, som låg på fast hylla, fick väsentligt större last än det undre röret. Störst lastskillnad erhöles vid återfyllning med lera medan lastskillnaden mellan övre och undre rör vid återfyllning med sand var liten.

Enkel rörgrav



Dubbel rörgrav

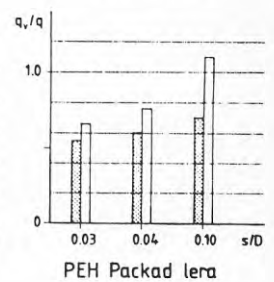
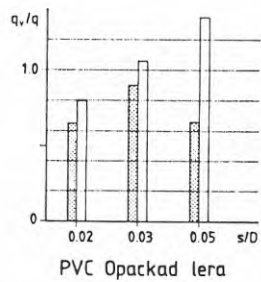
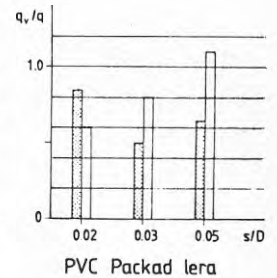
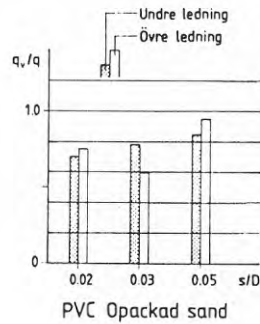
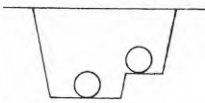


FIG 4.10 Förhållandet mellan uppmätt vertikalt jordtryck q_v över rören och pålagt tryck q i jordlåda.

4.4.3 Töjningar i rörvägg

Töjningar i rörväggen mättes på samtliga PVC-rör i såväl hjässan som botten. I TABELL 4.3 anges uppmätta töjningar vid full last dels i hjässan, ϵ_{hj} , dels i botten, ϵ_b .

TABELL 4.3 Uppmätta töjningar ϵ

Försök	s/D	ϵ_{hj} %	ϵ_b %	Försök	s/D	ϵ_{hj} %	ϵ_b %
1	0,02	0,39	0,45	6	0,02	0,23	0,21
Opackad sand	0,03	0,34	0,34	Undre	0,03	0,23	0,41
	0,05	0,18	0,23	Packad lera	0,05	0,15	0,21
2	0,02	0,34	0,34	Övre	0,02	0,52	0,75
Packad lera	0,03	0,33	0,36		0,03	0,53	0,72
	0,05	0,21	0,28		0,05	0,28	0,38
3	0,02	0,86	0,79	7	0,02	0,62	0,78
Opackad lera	0,03	0,65	0,81	Undre	0,03	0,54	0,74
	0,05	0,34	0,44	Opackad lera	0,05	0,17	0,27
5	0,02	0,28	0,26	Övre	0,02	1,30	1,39
Undre	0,03	0,28	0,40		0,03	1,09	1,25
Opackad sand	0,05	0,16	0,24		0,05	0,39	0,46
Övre	0,02	0,47	0,52				
	0,03	0,40	0,41				
	0,05	0,19	0,22				

Förhållandet mellan töjningarna i botten och töjningarna i hjässan ger en indikation på jordtrycksfördelningen runt röret. I den idealiserade jordtrycksfördelningen, FIG 7.5, som ligger till grund för beräkningsformlerna för deformation och töjning är det upplagsstryckets fördelning som kan varieras. I TABELL 4.4 redovisas därför uppmätt och beräknat förhållande mellan töjning i botten och töjning i hjässan för de olika typerna av kringfyllning vid lådförsöken.

En jämförelse av uppmätta och beräknade värden i TABELL 4.4 visar att upplagsvinkeln α varierat såväl med kringfyllning som med rörstyvhet. Vid kringfyllning av sand har således de uppmätta töjningarna motsvarat en upplagsvinkel

mellan 180° och 90° medan upplagsvinkeln med kringfyllning av lera legat mellan 180° och 60° . Den större upplagsvinkeln har erhållits för det slankaste röret, $s/D = 0,02$, medan upplagsvinkeln närmast sig det lägre värdet för det styvaste röret $s/D = 0,05$.

En bidragande orsak till att upplagsvinkeln minskat så kraftigt vid stor rörstyvhet har vid lådförsöken varit att rören ej lagts på ledningsbädd av sand utan direkt på den fasta schaktbotten i hård lera.

TABELL 4.4 Förhållande mellan töjningar i botten och hjässa

Kringfyllning	s/D	Töjning i botten/Töjning i hjässa ¹⁾				
		Uppmätt	Beräknat ²⁾			
			$\alpha=180^\circ$	90°	60°	30°
Sand (1 och 5)	0,02	1,0	1,0	1,3	1,6	2,1
	0,03	1,2	1,0	1,3	1,6	2,1
	0,05	1,2	1,0	1,2	1,5	1,8
Packad lera (2 och 6)	0,02	1,0	1,0	1,3	1,6	2,1
	0,03	1,4	1,0	1,3	1,6	2,1
	0,05	1,4	1,0	1,2	1,5	1,8
Opackad lera (3 och 7)	0,02	1,1	1,0	1,3	1,7	2,2
	0,03	1,3	1,0	1,2	1,5	1,9
	0,05	1,4	1,0	1,2	1,5	1,8

1) Medelvärden av ledning i enkel rörgrav och undre ledning i dubbel rörgrav.

2) Ekv (7.11)

Följande konstateranden kan göras beträffande de uppmätta töjningarna:

- Vid kringfyllning av sand har vid försöken töjningen understigit 0,5 % för samtliga rör. Vid kringfyllning av packad lera var motsvarande värde 0,4 % (0,8 %) och vid kringfyllning av opackad lera 0,8 % (1,4 %). Värden inom parentes avser övre ledningar på fast hylla.
- Ungefär samma töjning har erhållits för rör $s/D = 0,02$ som för rör $s/D = 0,03$ i samtliga försök. Den större styvheten hos det senare röret har således medfört en deformationsminskning som varit tillräcklig för att kompensera den ökade töjningsbenägenheten på grund av den större väggtjockleken.

- Töjningsmätningarna indikerar att upplagsvinkeln för jordtrycket minskar med ökad rörstyvhet och minskad fasthet hos kringfyllningen. Vid läggning direkt på fast schaktbotten har upplagsvinkeln varierat mellan 180° och 90° vid kringfyllning med sand och mellan 180° och 60° vid kringfyllning med lera.

4.4.4 Utvärdering av E'_S ur rörförsöken

Sambandet mellan rördeformation, belastning, rörstyvhet och fyllningens elasticitetsmodul E'_S (sekantmodul) kan t ex uttryckas enligt ekv (7.6) som f_n används för beräkning av deformationerna hos flexibla rör i mark. Med hjälp av uppmätta värden på vertikalt jordtryck och rördeformation har de i TABELL 4.5 angivna värdena beräknats på fyllningens sekantmodul E'_S . I sand har därvid antagits upplagsvinkeln $\alpha = 180^\circ$ och i lera $\alpha = 90^\circ$. Vid beräkning av värdena i TABELL 4.5 har som E-modul för PVC använts 3000 MPa och för PEH 600 MPa.

De på ovan angivna sätt beräknade värdena kan nu jämföras med dem som bestämts genom försök med jordprover i ringkompressometern och som redovisas i kap 4.3. Vid dessa försök erhöles värdet ca 0,8 MPa för sand och packad lera och 0,2 MPa för opackad lera. Jämförs dessa med de som anges i TABELL 4.5 finner man att överensstämmelsen är god för rören i enkel rörgrav och undre ledning i dubbel rörgrav så länge de två slanka rören i varje försök betraktas. För de styvaste rören har som regel väsentligt större E'_S beräknats ur rörförsöken. Detta visar att det vid små deformationer verkar ett horisontaltryck mot röret som är större än det jordtryck som är proportionellt mot rördeformationen. De höga beräknade sekantmodulvärdena för dessa rör är således endast fiktiva beräkningsvärden och kan ej läggas till grund för deformationsberäkning av rör med annan styvhet. Denna svårighet kan elimineras genom val av den beräkningsmodell som föreslås i kap 7.

Av BILAGA 1 framgår att deformationsökningen med tiden är obetydlig för rör med kringfyllning av sand medan den för de tunnväggiga rören är stor vid kringfyllning av lera. Vid utvärdering av rördeformationens tidsberoende måste förändringar såväl hos fyllningens sekantmodul som hos rörets ringstyvhet beaktas. Ur de uppmätta deformationsökningarna med tiden har E'_S beräknats vid olika tidpunkter varvid rörets E-modul reducerats enligt finska relaxationsförsök med ringar från PVC-rör vid temperaturen $+5^\circ\text{C}$, KOSKI 1972. Dessa försök visade exempelvis att ringstyvheten efter ca 100 timmars belastning genom relaxation (eller krypning) sjunkit till ca 90 % av ursprungligt värde. I TABELL 4.6 anges beräknade värden på E'_S för PVC-rör $s/D = 0,03$ för ledning i enkel rörgrav.

TABELL 4.5 Beräknade värden på E'_S

Försök	s/D	E'_S MPa	Försök	s/D	E'_S MPa
1	0,02	0,73	6	0,02	0,79
Opackad sand	0,03	0,75	Undre	0,03	0,45
	0,05	1,93	Packad lera	0,05	1,89
2	0,02	0,54	Övre	0,02	0,22
Packad lera	0,03	0,77		0,03	0,14
	0,05	1,20		0,05	2,06
3	0,02	0,14	7	0,02	0,15
Opackad lera	0,03	0,15	Undre	0,03	0,35
	0,05	0,28	Opackad lera	0,05	1,32
4	0,03	0,21 ¹⁾	Övre	0,02	0,06
Packad lera	0,04	0,17		0,03	0,13
	0,10	1,36		0,05	1,35
5	0,02	0,66	8	0,03	0,97
Undre	0,03	0,74	Undre	0,04	1,39
Opackad sand	0,05	2,67	Packad lera	0,10	21,5
Övre	0,02	0,51	Övre	0,03	0,39
	0,03	0,37		0,04	0,32
	0,05	1,81		0,10	5,46

1) Låga värden på g a att packning ej utförts vid rörcentrum.

TABELL 4.6 Sekantmodulens tidsberoende beräknad ur deformationsmätningar vid lådförsöken

Försök	Belastningstid	Sekantmodul E'_s
	tim	MPa
1. Opackad sand	0,01	0,75
	3	0,77
	20	0,78
	48	0,78
	91	0,77
2. Packad lera	0,01	0,77
	0,10	0,70
	0,30	0,65
	1,0	0,61
	2,0	0,59
	4,0	0,57
	21,0	0,52
3. Opackad lera	0,01	0,15
	0,10	0,14
	0,30	0,14
	1,0	0,13
	2,0	0,13
	6,0	0,12
	46,0	0,11

Som framgår av TABELL 4.6 är förändringen av E'_s mycket liten för kringfyllning av sand. För lera sjunker däremot värdet på E'_s med tiden och någon större skillnad i fråga om minskningstakt har vid dessa försök ej erhållits vid kringfyllning med packad respektive opackad lera. E'_s efter ca 20 timmars belastning uppgår till ca 70 % av korttidsvärdet. Vid kompressometerprovningen erhöles ca 95 à 85 % för denna belastningstid. Skillnaden mellan värdena framtagna enligt de båda metoderna är ej större än att de kan bero på felaktiga antaganden beträffande minskningen av rörens E-modul.

Vid försöken i jordlåda har rören endast varit utsatta för konstant belastning utan grundvatten. I verkligheten varierar normalt belastningen på grund av trafik och i kringfyllningen sker omlagringar till följd av skakningar och grundvattenvariationer, vilket påverkar och sänker sekantmodulen E_s . Detta måste beaktas vid val av långtidsvärden för sekantmodulen i fält.

5. FÖRSÖKSFÄLT VID BJÖRLANDAVÄGEN, GÖTEBORG

5.1 Försökens omfattning

Ett särskilt försöksfält omfattande 12 ledningsgravar under en väg med tung trafik har anlagts på Hisingen i Göteborg av VA-verket i Göteborg med arbetsledning av personal från VBB i Malmö. Försöksfältet är beläget i arbetsväg Björlandavägen - Steneby och byggdes under sommaren 1975. Vägen har varit utsatt för tung trafik i samband med byggnation av ny lastvagnsfabrik för Volvo. På grund av försenad byggstart kom dock trafiken inte igång förrän i december 1976.

Jordgrunden på försöksplatsen består överst av ca 1 m torrskorpelera med vattenkvoten 15-25 % och därunder följer en lös lera med vattenkvoten ca 50 % och finlekstalet ca 50 %. Den odränerade skjuvhållfastheten uppgår till ca 11 kPa och sensitiviteten till ca 10.

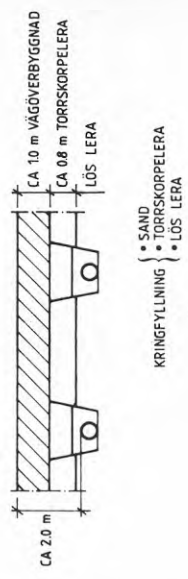
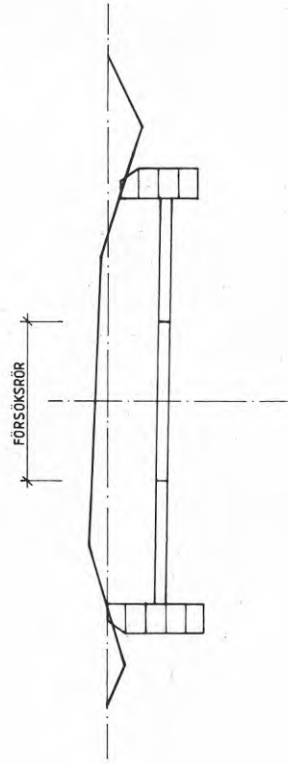
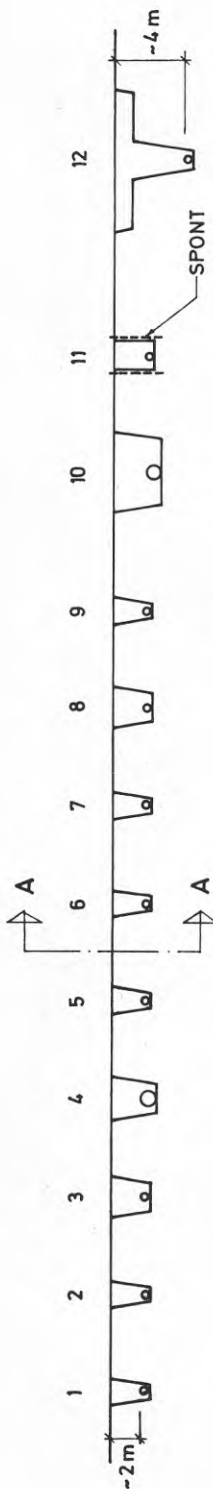
Provledningarnas placering visas på FIG 5.1. I varje ledningsgrav ligger en ledning. I TABELL 5.1 anges data för rör, rörgrav och kringfyllning.

Två typer av kringfyllning har använts i varje ledningsgrav. I 6 ledningsgravar har 2 olika fyllningsmaterial använts medan i 6 gravar endast packningen varierats.

Kringfyllningen har utförts upp till 10 cm över rörhjässan med sand eller lera. Däröver har återfyllningen alltid utförts med sand som packades på ytan.

Rördeformationerna har mätts med vertikal och horisontal deformationsmätare, bestående av induktionslägesgivare, monterade på släde. Mätaren drogs genom ledningarna och avläsning utfördes i sammanlagt 12 punkter i varje ledning. Störst deformation erhöles i vägens centrala del. Endast denna deformation redovisas. Noggrannheten i dessa mätningar bedöms vara $\pm 0,3$ %. För GAP-ledningarna har deformationsmätning utförts manuellt med skjutmått. Noggrannheten bedöms vara $\pm 0,1$ %. Deformationsmätningarna har utförts av personal från VBB i Malmö.

I ledningsgravarna 5, 6, 7, 8 och 9 har på nivån ca 10 cm över rörhjässan mätning av vertikalt jordtryck utförts med 4 mätare av typ Glötzl i varje ledningsgrav. Jordtrycksmätningarna har utförts av personal från institutionen för geoteknik vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.



SEKTION A

FIG 5.1 Försöksfält vid Björlandavägen. Provledningarnas placering.

TABELL 5.1 Försöksfält vid Björlandavägen. Försöksomfattning

Ledn nr	Rörtyp	Rör- gravs- bredd, m	Kringfyllning och packning	Fyllnings- höjd, m
1	PEH T Ø 315	0,8	Lös lera, packad Lös lera, ej packad	1,85
2	PEH NT6 Ø 300	0,8	Lös lera, packad Sand, ej packad	1,70
3	PEH NT6 Ø 300	1,5	Lös lera, packad Sand, ej packad	1,60
4	GAP T Ø 800	1,6	Lös lera, packad Sand, ej packad	1,80
5	PVC T Ø 315	0,8	Sand, packad Sand, ej packad	1,85
6	PVC T Ø 315	0,8	Lös lera, packad Lös lera, ej packad	1,85
7	PVC T Ø 315	0,8	Sand, ej packad Torrskorpelera, ej packad	1,85
8	PVC T Ø 315	1,5	Sand, packad Sand, ej packad	1,70
9	PVC NT10 Ø 300	0,8	Lös lera, packad Lös lera, ej packad	1,75
10	GAP T Ø 700	3,5	Lös lera, packad Sand, ej packad	1,70
11	PVC T Ø 315	1,5	Lös lera, packad Lös lera, ej packad Spont	2,10
12	PVC T Ø 315	1,0	Sand, ej packad Torrskorpelera, ej packad	3,60

Då kringfyllningen påförts till 10 cm över rörhjässan utfördes i kringfyllning av lera bestämning av den odränerade skjuvhållfastheten i fyllningen vid sidan av röret. För kringfyllning av sand bestämdes packningsgraden genom densitetsmätning med vattenvolymeter och tung laboratorieinstampning. Resultatet redovisas i TABELL 5.2

Packning av kringfyllningen av såväl lera som sand utfördes genom 3 överfarter med tät fottrampning i 10 cm lager. Vid lös utfyllnad påfördes kringfyllningen utan särskild bearbetning eller packning.

De uppmätta packningsgraderna i sand är mycket låga. Sålunda är den uppmätta packningsgraden endast ca 80 % efter packning och 70 à 75 % vid lös utfyllnad. Dessa låga värden kan bero på den lösa schaktbotten som kraftigt reducerat effekten av packningsarbetet.

I den lösa leran hade fottrampningen ej någon märkbar effekt på kringfyllningen. Ungefär samma skjuvhållfasthetsvärden har uppmätts i packad och ej packad kringfyllning.

I FIG 5.2 visas några fotografier från försöksfältet.

TABELL 5.2 Försöksfält vid Björlandavägen.
Uppmätt skjuvhållfasthet och packningsgrad
för kringfyllning av lera resp sand

Ledning nr	Kringfyllning	Skjuvhåll- fasthet, kPa	Packn grad mod. Proctor
1	Lös lera, packad	4,5	
	Lös lera, ej packad	4,1	
2	Lös lera, packad	5,7	-
	Sand, ej packad	-	76
3	Lös lera, packad	4,5	-
	Sand, ej packad	-	74
4	Lös lera, packad	3,2	-
	Sand, ej packad	-	77
5	Sand, packad	-	80
	Sand, ej packad	-	74
6	Lös lera, packad	7,0	-
	Lös lera, ej packad	4,1	-
7	Sand, ej packad	-	67
	Torrskorpelera, ej packad	18,7	-
8	Sand, packad	-	71
	Sand, ej packad	-	72
9	Lös lera, packad	4,3	-
	Lös lera, ej packad	4,3	-
10	Lös lera, packad	5,1	-
	Sand, ej packad	-	71
11	Lös lera, packad	5,1	
	Lös lera, ej packad	4,5	
12	Sand, ej packad	-	80
	Torrskorpelera, ej packad	18,4	-



Vy över försöksfältet

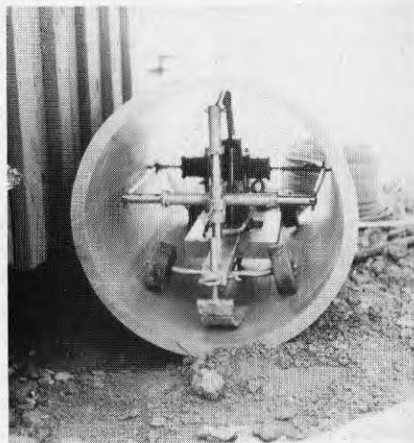


Återfyllning och vägöverbyggnad klar.
Beläggningen ännu ej utförd.

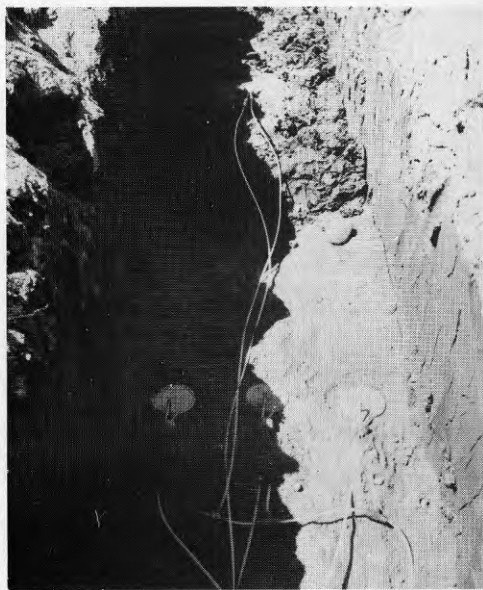
FIG 5.2a Fotografier från försöksfältet
vid Björlandavägen



De provade rörtyperna



Deformationsmätare



Jordtrycksmätare av typ Glötzl

FIG 5.2b Fotografier från försöksfältet vid Björlandavägen

5.2 Försöksresultat

Uppmätta rördeformationer och jordtryck vid försöksfältet vid Björlandavägen redovisas i BILAGA B.

5.2.1 Rördeformation i ringled

I TABELL 5.3 anges uppmätta rördeformationer efter färdig återfyllning av rörgravarna (ca 30 dygn efter läggning) samt efter 1100 dygn. Av tabellen framgår att deformationerna varierar och att de normalt ökar med tiden.

Inverkan av rörstyvheten

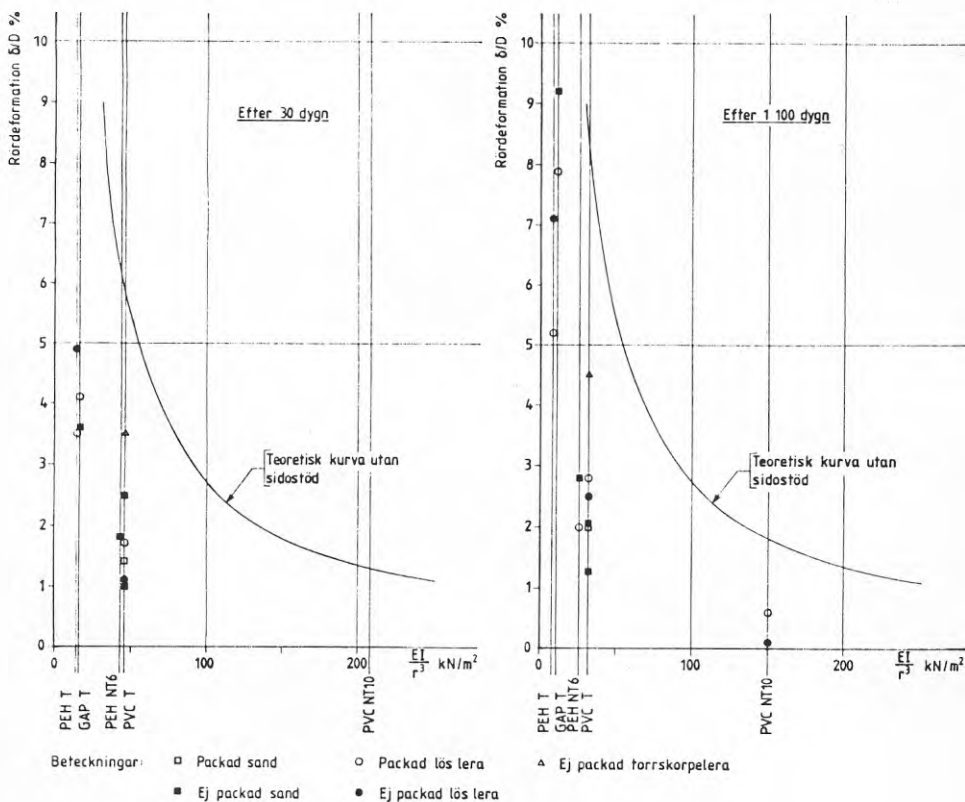


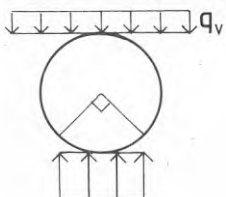
FIG 5.3 Uppmätta rördeformationer vid försöksfältet

I FIG 5.3 redovisas i diagramform uppmätta rördeformationer tillsammans med kurvor för teoretiskt beräknad rördeformation beräknad utan något sidostöd alls, se FIG. 5.4.

TABELL 5.3 Försöksfält vid Björlandavägen.
Uppmätta rördeformationer

Rör	Rörtyp	Kringfyllning	Rördeformation δ/D %	
			30 dygn	1100 dygn
1	PEH T	Lös lera, packad	3,5	5,2
		Lös lera, ej packad	4,9	7,1
2	PEH NT6	Lös lera, packad	-0,2	2,0
		Lös lera, ej packad	1,8	2,8
3	PEH NT6	Lös lera, packad	0,4	4,6
		Sand, ej packad	4,6	4,0
		Bred rörgrav		
4	GAP T	Lös lera, packad	4,1	7,9
		Sand, ej packad	3,6	9,2
5	PVC T	Sand, packad	1,4	2,0
		Sand, ej packad	2,5	2,0
6	PVC T	Lös lera, packad	1,7	2,8
		Lös lera, ej packad	1,1	2,5
7	PVC T	Sand, ej packad	1,0	1,3
		Torrskorpelera, ej packad	3,5	4,5
8	PVC T	Sand, packad	1,8	3,3
		Sand, ej packad	3,4	4,4
9	PVC NT10	Lös lera, packad	-0,6	0,6
		Lös lera, ej packad	-1,2	0,1
10	GAP T	Lös lera, packad	ca 1,5	4,4
		Sand, ej packad	5,0	8,2
		Bred rörgrav		
11	PVC T	Lös lera, packad	2,1	4,3
		Lös lera, ej packad Spont	1,7	4,0
12	PVC T	Sand, ej packad	6,2	7,8
		Torrskorpelera, ej packad	7,1	8,3

Följande uttryck gäller då för rördeformationen:



$$\frac{\delta}{D} = 0,096 q_v \frac{r^3}{EI} \quad (5.1)$$

FIG 5.4 Jordtryck utan sidostöd

Vertikala jordtrycket q_v har satts lika med jordfyllningens egenvikt (överlagringstrycket) vid medelfyllningshöjden 1,8 m och densiteten 1,6 t/m³.

Styvheten EI/r^3 för de olika rören har beräknats med följande värden på krypmodulen E efter 30 respektive 1100 dygns belastning:

	Korttid, 30 d	Långtid, 1100 d
PVC	2500 MPa	1800 MPa
PEH	300 MPa	180 MPa
GAP	10000 MPa	7000 MPa

För PVC och PEH har krypmodulerna valts med ledning av relaxationsmätningar på ringar ur rör redovisade av KOSKI, 1972.

De uppmätta rördeformationerna är som framgår av FIG 5.3 alltid lägre än de beräknade utan sidostöd, i de flesta fall avsevärt lägre.

Vad beträffar rörstyvhetens inverkan på rördeformationen visar resultaten i FIG 5.3 att stora variationer förekommer. I huvudsak gäller dock att störst rördeformationer erhållits för de slankaste rören och minst för de styvaste. Speciellt påtagligt är detta för långtidsdeformationerna.

För GAP-rören har uppmätta deformationer i vertikal och horisontal led uppritats i FIG 5.5, där δ_h och δ_v representerar den horisontala respektive vertikala förändringen av rördiametern. Man finner att den vertikala deformationen efter ca 400 dygn ökat högst påtagligt i samband med att tung trafik kom igång på vägen medan horisontaldeformationen för båda rören minskat något. Samma tendens kan utläsas i mätresultaten för PEH T men ej för PVC T. Det förefaller sålunda som om trafiklasten orsakar en deformationsfigur som avviker från den elliptiska för rör med så stor slankhet som de provade rören GAP och PEH klass T.

Rör med större styvhet, t ex PVC klass T, förmår tydligen bättre utjämna trafiklastens inverkan.

Den oregelbundna deformationsfiguren hos de slanka rören liknar den som uppstår vid buckling av rörväggen varför risken för buckling ökar hos rör som deformeras på detta sätt.

Förutom av rörstyvheten beror deformationsfiguren av trafiklast i hög grad på fyllningshöjdens storlek och kringfyllningens fasthet.

Vid tidigare undersökningar med trafiklast på tunnväggiga GAP-rör i sand, MOLIN 1967, erhöles följande värden på vertikal och horisontal deformation vid belastning med hjultrycket 53 kN och fyllningshöjden 0,6 m:

Kringfyllningens packningsgrad	Deformationer δ/D %			
	Löst utfylld 78 %		Packad 92 % mod Proctor	
	Vert	Hor	Vert	Hor
Hjul rakt över rör	7,0	4,9	0,7	0,7
Kvarstående efter 1 överkörning	6,6	4,8	0,5	0,7
Kvarstående efter 60 överkörningar	-	-	1,0	1,0

Som framgår är den vertikala och horisontala deformationen lika stor vid kringfyllning av väl packad sand medan den vertikala är betydligt större än den horisontala vid löst utfylld sand.

Undersökningsresultaten visar således att för väl packad kringfyllning i fast mark, rördeformationen av trafik även för mycket slanka rör blir måttlig och ungefär ellipsformad medan den för lös kringfyllning blir stor och oregelbunden med tendens till avplattning vid rörhjässan för rör med mindre styvhet än den som motsvaras av PVC klass T.

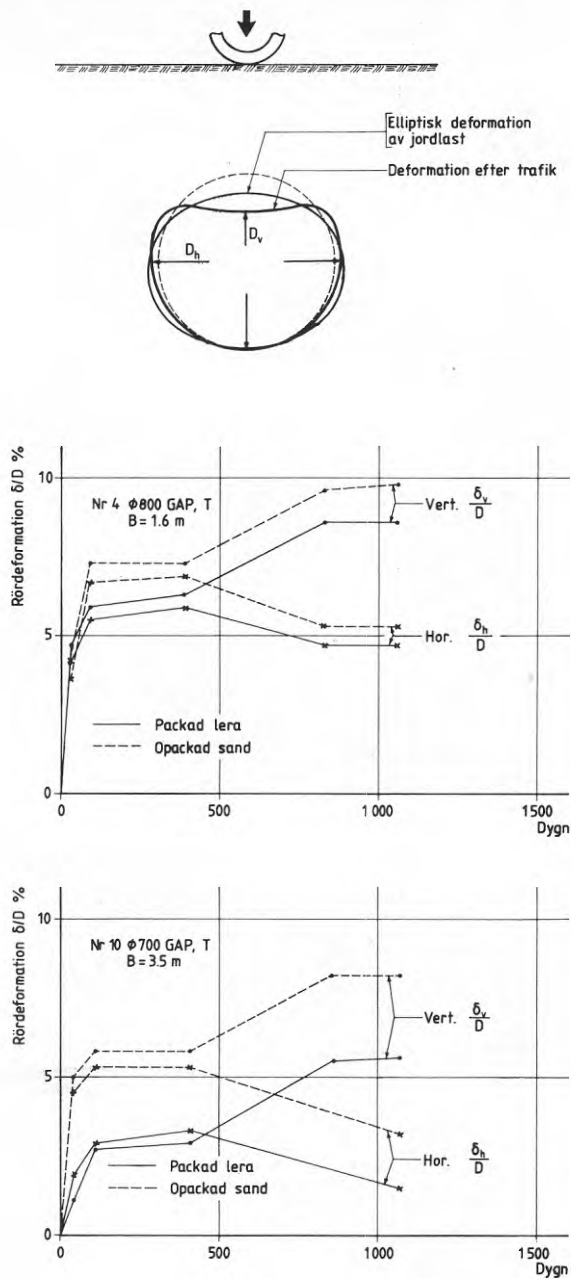


FIG 5.5 Uppmätt vertikal och horisontal rördeformation för GAP-rören.

Inverkan av kringfyllningsmaterial och packning

I FIG 5.6 redovisas uppmätta deformationer enbart för de slanka rören, nämligen PVC T, PEH T och PEH NT 6 med liten diameter, 300-315 mm och normal rörgravsbredd, $B = 0,8$ m. Samtliga rör har fyllningshöjden ca 1,8 m.

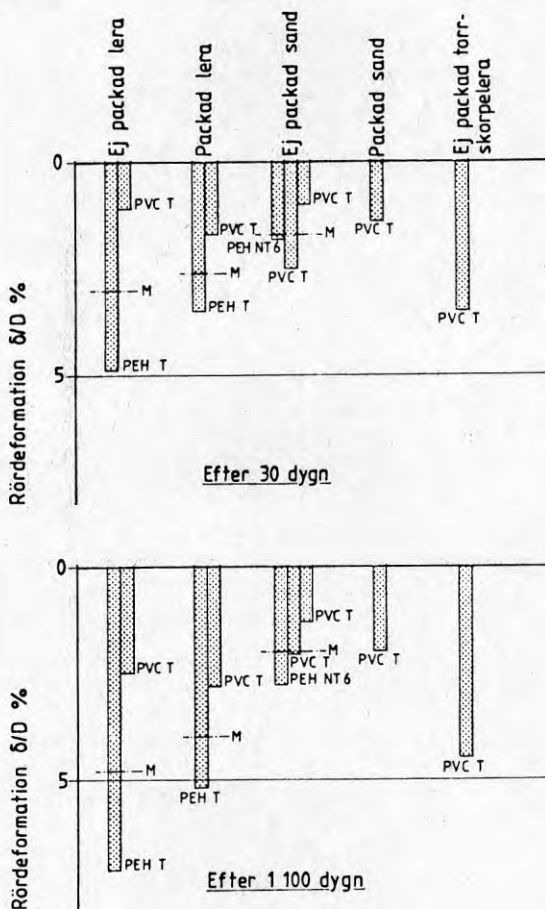


FIG 5.6 Uppmätta rördeformationer vid normal rörgravsbredd för rördimension 300 mm.

Tendensen i FIG 5.6 är att kringfyllning med lera och torrskorpelera har givit större deformationer än kringfyllning med sand. För kringfyllning med lera är skillnaden mellan de olika rören stor. Vad gäller deformationsökningen med tiden kan konstateras att den tycks ske något snabbare för rör med lera än för rör med sand som kringfyllning. I lera är uppmätt deformationsökning under mätperioden således i genom-

snitt 50-60 % av 30-dygnsvärdet medan motsvarande ökning i sand uppmätts till 20-30 %.

Vad beträffar packningens inverkan så har för lös lera en något mindre deformation i medeltal erhållits i packad än i opackad lera. Skillnaden är dock tämligen liten vilket förmodligen beror på att den använda leran är så lös att redan den bearbetning, som åstadkoms i samband med schaktning och fyllning, är tillräckning för att en i huvudsak homogen lerfyllning skall erhållas. En efterföljande mekanisk packning ökar ej nämnvärt lagringstätheten hos leran. I båda fallen erhålls en återfyllning runt röret med vätskeliknande karaktär. För torrskorpelera kan däremot packning förväntas ge utslag i mindre rördeformation vilket också påvisats vid lådförsöken. Vid fältförsöken utfördes dock endast kringfyllning med opackad torrskorpelera. I sand är deformationerna för de studerade rören i FIG 5.6 små och någon nämnvärd skillnad mellan packad och opackad kringfyllning har ej erhållits.

Inverkan av rörgravsbredd

I försöksfältet finns dels rörgravar med normal bredd enligt MarkAMA 72, dvs 0,8 m för rördimension 300 mm och 1,6 m för dimension 800 mm, dels rörgravar med ökad bredd enligt VAV M15 i lös lera, dvs 5 x D eller 1,5 m för dimension 300 mm och 3,5 m för dimension 700 mm. Anledningen till att en bredare rörgrav föreskrivs i lös jord är att genom en bärkraftig kringfyllning åstadkomma erforderligt sidostöd för röret.

I FIG 5.7 visas resultat för jämförbara rör i smal respektive bred rörgrav. Det framgår att i samtliga dessa fall den uppmätta rördeformationen i bred rörgrav är större än rördeformationen i smal rörgrav. Detta något oväntade resultat kan bero på de olika belastnings- och sättningsförhållanden som uppstår i de båda fallen.

Först och främst är det totala trycket på rörhjässans nivå lägre i den smala än i den breda rörgraven på grund av den större valvverkan i fyllningen som uppstår i det förstnämnda fallet. En del av fyllningens egenvikt rakt över röret överförs således till jorden vid sidan av rörgraven och belastningen på röret är därför mindre i den smala än i den breda rörgraven. Denna effekt kan i lös lera också tänkas bli extra förstärkt genom de olika sättningsförhållandena vid rörgravsbotten som illustreras i FIG 5.8. I smal rörgrav är sannolikt trycket mot rörgravsbotten förhållandevis jämnt fördelat och därmed också sättningen ungefär lika stor över hela bredden. I bred rörgrav kan det däremot tänkas att jordtrycket är ojämnare fördelat mot botten av rörgraven eftersom jordtrycket genom rörets deformation sannolikt är lägre rakt under röret än något vid sidan av det-

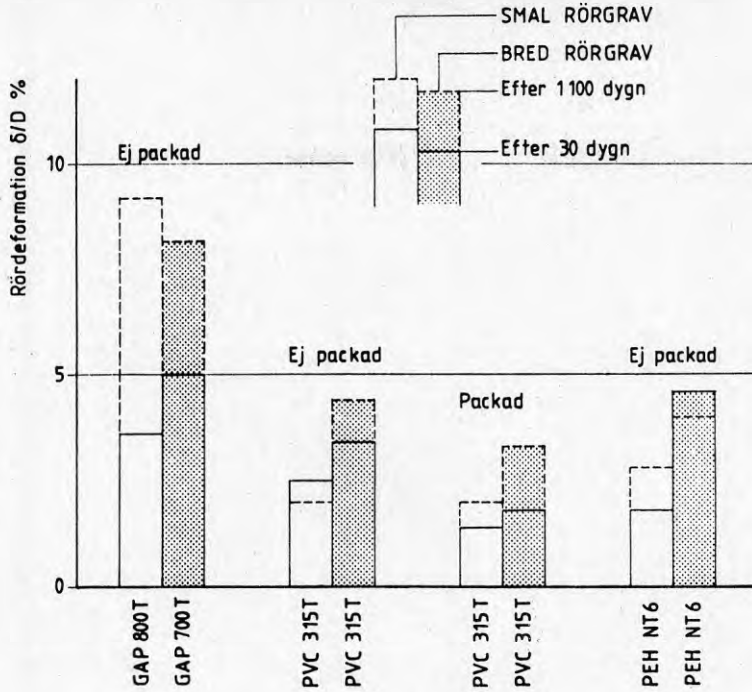


FIG 5.7 Uppmätt rördeformation i smal respektive bred rörgrav. Kringfyllning: sand

samma. Den ojämna sättningen i botten bidrar till en ökning av lasten på röret genom lokal bankverkan runt röret. Det är också sedan gammalt känt att en ökad rörgravsbredd ger en ökad belastning på styva rör. Man kan tolka de erhållna resultaten från deformations- och jordtrycksmätningarna så att den genom ökning av rörgravsbredden eftersträvade styvhetsökningen hos sidofyllningen ej varit lika stor som lastökningen för flexibla rör. Detta gäller således vid jämförelse mellan rör i rörgrav med bredderna ca 3 respektive 5 gånger rördiametern. Det är inte osannolikt att vid smalare rörgrav än ca 3 gånger rördiametern deformationerna i rörgravssidan ger så stort deformationstillskott hos röret att detta överväger lastminskningen.

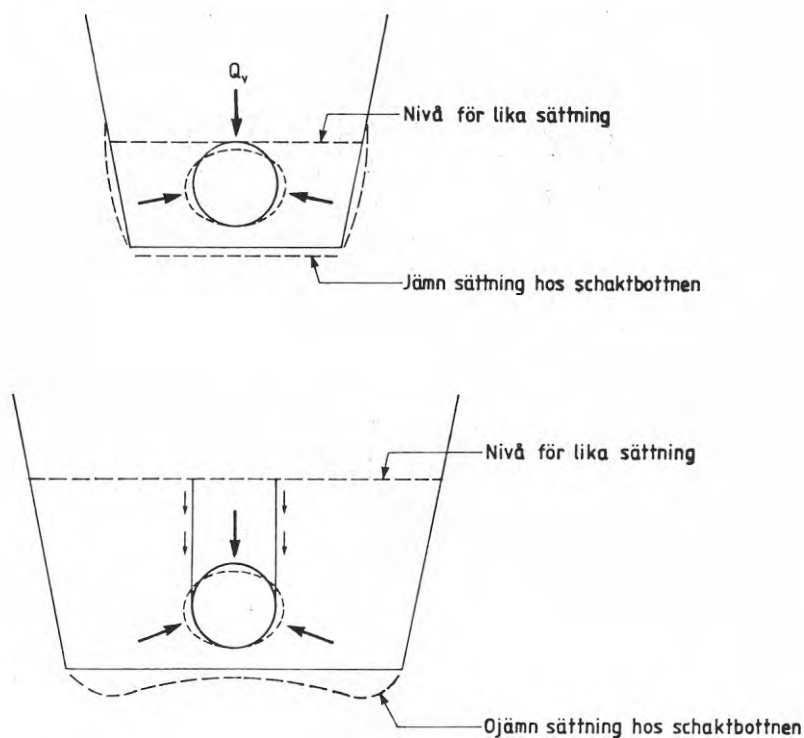


FIG 5.8 Deformationsförhållandena i smal respektive bred rörgrav i sättningbenägen lera

Inverkan av spontdragning

Vid försök 11 utfördes ledningsgraven med stålsfont som drogs upp när återfyllningen nått höjden 0,8 m över rörhjässan. Sponten var nedslagen ca 1 m under schaktbotten och tiden mellan spontslagning och uppdragning uppgick till ca 7 dagar. Kringfyllningen runt röret utgjordes av packad respektive ej packad lös lera. Ingen nämnvärd effekt kunde iakttas på rördeformationen i samband med spontdragningen. Möjligen finns en viss tendens till något större långtidsdeformationer hos ledning i spontad rörgrav vid jämförelse med ledning nr 6 i ospontad grav, som utförts med lika kringfyllning. Skillnaden i deformation är dock inte särskilt stor och kan också bero på oavsiktliga variationer i kringfyllningen samt på skillnaden i rörgravsbredd, 1,5 respektive 0,8 m.

5.2.2 Vertikalt jordtryck

Det vertikala jordtrycket har mätts med jordtrycks-
mätare placerade ca 10 cm över rörhjässan i fem av
de utförda ledningsgravarna. I TABELL 5.4 redovisas
de erhållna resultaten dels vid färdig återfyllning
ca 30 dygn efter läggning dels ca 880 dygn efter
läggning.

TABELL 5.4 Sammanställning av vertikalt jord-
tryck rakt över rörhjässa

Rör Rörtyp	Kringfyllning	Vert jordtryck, kPa	
		30 dygn	880 dygn
5 PVC 315 T	Sand, ej packad	27	32
	Sand, packad	26	44
6 PVC 315 T	Lera, ej packad	24	33
	Lera, packad	23	37
7 PVC 315 T	Torrskorpelera, ej packad	28	37
	Sand, ej packad	24	28
8 PVC 315 T	Sand, ej packad	46	55
	Sand, packad	40	43
	Bred rörgrav		
9 PVC 315 NT10	Lera, ej packad	22	32
	Lera, packad	28	45

Mätningen efter ca 30 dygn utfördes under augusti
månad 1975. Grundvattnet hade då ej stigit över led-
ningsnivån. Vid de senare mättillfällena fanns det
alltid grundvatten i brunnarna på varierande nivåer
över rören. I samband med mätningarna läns pumpades
den brunn där mätning utfördes. Det torde dock vara
osäkert i vilken grad grundvattennivån i fyllningen
utanför röret påverkades av denna kortvariga pump-
ning som endast pågick en kort stund före mätning.
Det är därför troligt att de uppmätta trycken efter
880 dygn även inkluderar ett grundvattentryck vari-
erande mellan 0 och 1 m vattenpelare, eller 0 och
10 kPa. De verkliga jordtrycken efter 880 dygn är
således osäkra men uppgår sannolikt till värden som
ligger 5 à 10 kPa lägre än de i tabell 5.4 angivna.
Vid beräkning av de värden på sekantmodulen E_s för
kringfyllningen, som redovisas i kap 5.2.3, har för
långtidsvärdena de vertikala jordtrycken satts lika
med de uppmätta trycken reducerade med 5 kPa.

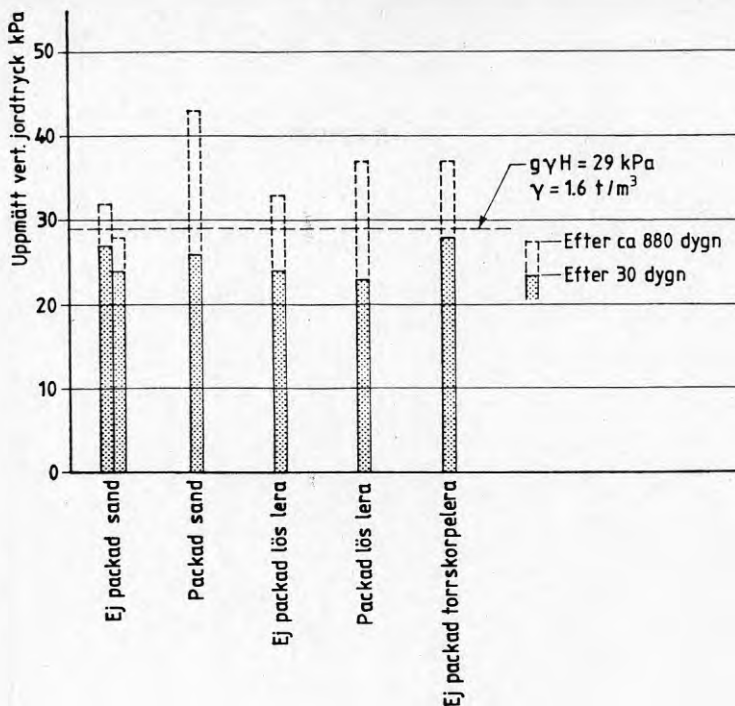
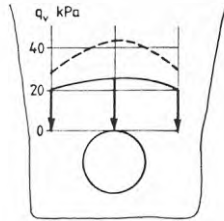


FIG 5.9 Uppmätta jordtryck mot rör PVC 315 T i smal rörgrav

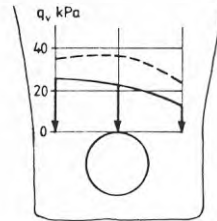
Såsom framgår av FIG 5.9, som redovisar uppmätta tryck för rör PVC 315 T med lika rörgravsbredd men med olika kringfyllning, finns ingen nämnvärd skillnad mellan olika typer av kringfyllning.

Av FIG 5.9 framgår också att de uppmätta jordtrycken ligger strax under det beräknade överlagringstrycket av fyllningens egenvikt beräknad för fyllningshöjden 1,8 m och densiteten 1,6 t/m³, dvs 29 kPa. Man finner också att jordtrycken ökat något över detta värde med tiden men det torde i första hand bero på variationer i grundvattennivån eftersom motsvarande ökning av rördeformationerna ej uppmätts. En viss ökning till följd av bl a trafikens inverkan kan dock spåras. För det styvaste röret, 9 PVC NT10, tyder mätningarna på att jordtrycket mot hjässan översteg jordfyllningens egenvikt med ca 30 % redan kort tid efter återfyllning.

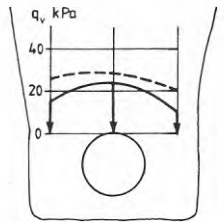
I FIG 5.10 redovisas jordtryckets fördelning över rörgravsbredden.



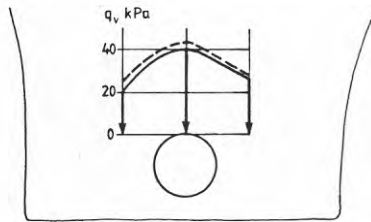
5. PVC 315 T B=0.8 m
Packad sand



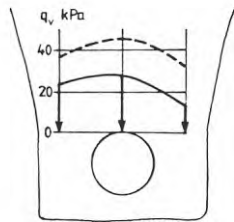
6. PVC 315 T B=0.8 m
Packad lös lera



7. PVC 315 T B=0.8 m
Ej packad sand



8. PVC 315 T B=1.5 m
Packad sand



9. PVC NT10 B=0.8 m
Packad lös lera

FIG 5.10 Uppmätt vertikal jordtrycksfördelning över ledningarna i försöksfältet vid Björlandavägen

För samtliga rör är jordtrycket högre rakt över än vid sidan av röret. Överraskande nog är jordtrycksfördelningen mest ojämn för rör 8 PVC 315 T i bred rörgrav och inte för det betydligt styvare röret 9 PVC 315 NT10. En förklaring härtill ges i kap 5.2.1 med utgångspunkt från sättningsförhållandena i återfyllning och rörgravsbotten.

Resultatet av de utförda jordtrycksmätningarna kan sammanfattas enligt följande:

- Uppmätt jordtryck över det styvare röret PVC NT10 är större än över det slankare röret PVC T vid lika läggningsförhållanden (9 och 6). Skillnaden är dock överraskande liten med tanke på den stora styvhetsskillnaden mellan rören. Detta beror sannolikt på att de aktuella rören kringfyllts med lera som därefter "packats" och således fått en mycket lös konsistens. Därigenom uppstår tydligen ett tryck mot röret som är ungefär hydrostatiskt.
- Uppmätt jordtryck över rörhjässan kort tid efter läggning var något lägre än egenvikten hos ovanförliggande fyllning både för markavloppsrör PVC 315 T och tryckrör PVC 315 NT10 vid läggning i smal rörgrav.

Jordtrycket ökade med tiden och hade efter 2,5 år i vissa fall stigit till ca 30 % över jordfyllningens egenvikt.

- Ingen skillnad i uppmätta jordtryck har erhållits för rör med olika kringfyllningsmaterial. Ej heller har packning av kringfyllningen påtagligt påverkat jordtryckets storlek. Detta kan bero på att packningen varit ringa och att uppmätta packningsgrader även för packat material varit synnerligen låga.
- I bred rörgrav erhöles ett jordtryck över rörhjässan som var något större än fyllningens egenvikt.

TABELL 5.5 Beräknade värden på E_s' ur uppmätta rördeformationer vid försöksfältet

Ledning	Kringfyllning	E_s' MPa		Packningsgrad mod Proctor
		30 d	1100 d	
1 PEH 315 T (s/D=0,04)	Packad lera	0,61	0,40	
	Opackad lera	0,41	0,28	
2 PEH 300 NT 6 (s/D=0,06)	Packad lera	-	0,90	
	Opackad sand	0,78	0,49	76 %
3 PEH 300 NT 6 (s/D=0,06) Bred grav	Packad lera	-	0,28	
	Opackad sand	0,16	0,28	74 %
4 GAP 800 T (s/D=0,014)	Packad lera	0,43	(0,20)	
	Opackad sand	0,43	(0,12)	77 %
5 PVC 315 T (s/D=0,03)	Packad sand	0,89	1,11	80 %
	Opackad sand	0,37	0,80	74 %
6 PVC 315 T (s/D=0,03)	Packad lera	0,69	0,68	
	Opackad lera	1,28	0,72	
7 PVC 315 T (s/D=0,03)	Opackad sand	1,19	1,31	67 %
	Opackad torr- skorpelera	0,26	0,30	
8 PVC 315 T (s/D=0,03) Bred grav	Packad sand	1,13	0,56	71 %
	Opackad sand	0,50	0,55	72 %
9 PVC 300 NT 10 (s/D=0,05)	Packad lera	-	4,25	
	Opackad lera	-	20,0	
10 GAP 700 T Bred grav	Packad lera	1,28	(0,39)	
	Opackad sand	0,24	(0,14)	
11 PVC 315 T (s/D=0,03) Spont	Packad lera	0,90	0,40	
	Opackad lera	1,20	0,45	
12 PVC 315 T (s/D=0,03) Djup grav	Opackad sand	0,27	0,28	80 %
	Opackad torr- skorpelera	0,27	0,33	

5.2.3 Utvärdering av E'_S ur rörförsök

Sidostödet uttryckt som sekantmodulen E'_S har beräknats på samma sätt som vid jordlådeförsöken, dvs enligt ekv (7.6). Med $b_1 = 0,083$ för kringfyllning av sand och $b_1 = 0,096$ för kringfyllning med lera erhålls då de i TABELL 5.5 angivna värdena på sekantmodulen E'_S 30 dygn respektive 1100 dygn efter läggning. Vid beräkning av E'_S har använts uppmätt vertikalt jordtryck för rör där jordtrycksmätning skett och tyngden av ovanförliggande jordpelare för rör där jordtrycksmätning ej utförts. För mätningarna efter 1100 dygn har antagits att grundvattennivån vid mätningstillfället stod 0,5 m över rören och uppmätt tryck har således reducerats med 5 kPa.

De ur rördeformationerna beräknade värdena på E'_S varierar mycket. I TABELL 5.6 har sammanställts ur mätningresultaten bedömda lägsta värden för de olika fyllningsmaterialen för de slanka rören med dimension 300 och 315 vid normal rörgravsbredd.

TABELL 5.6 E'_S för olika fyllningsmaterial vid försöksfältet

Kringfyllning	E'_S MPa	
	30 d	1100 d
Packad sand	0,9	0,9
Opackad sand	0,4	0,4
Packad lös lera	0,6	0,4
Opackad lös lera	0,4	0,3
Opackad torrskorpelera	0,3	0,3

Försök har också gjorts att genom ödometerförsök med \emptyset 60 mm provdiameter och 20 mm provhöjd bestämma E'_S på omrörd lera. Försöken har dock misslyckats beroende på svårigheten att efterlikna förhållandena för den verkliga kringfyllningen i ett så litet prov. Detta gäller särskilt för provning av torrskorpelera som i kringfyllningen förekommer i form av klumpar. Provning av lera som återfyllning bör därför utföras i den i kap 4.3 beskrivna kompressometern eller i apparat med minst denna provvolym.

För de slankaste rören, GAP-rören, har formellt lägre värden än de i TABELL 5.6 erhållits. Detta beror emellertid på att deformationen, orsakad av trafiklast, ej resulterat i en i huvudsak elliptisk utan i en mer oregelbunden deformationsfigur med avsevärt större vertikal än horisontal deformation. Denna deformationsbild kan ej läggas till grund för utvärdering av E'_s .

6. FÖRSÖKSLEDNINGAR I GÖTEBORG

6.1 Försökens omfattning

Som etapp 3b i projektplaneringen ingick att utföra deformationsmätningar på ledningar lagda under realistiska förhållanden utan direkt påverkan från projektpersonalen. Försöksledningarna har byggts av Göteborgs VA-verk som på ett antal sträckor bytte ut de ursprungliga planerade betongrören till plaströr. I TABELL 6.1 redovisas data för de olika försöksledningarna.

Vid utförandet av försöksledningarna lämnades inga andra instruktioner till läggningsspersonalen än att läggningen skulle utföras på samma sätt som normalt, dvs som för betongrör. Projektpersonal besökte varje arbetsplats någon gång under läggningen för dokumentation av rörgravsform och återfyllning.

Totalt utfördes 16 försökssträckor fördelade på 7 olika områden i Göteborg, se FIG 6.1. Ledningarna byggdes under tiden februari-mars 1976.

6.2 Mätning av rördeformation i ringled

Deformationsmätningarna har för samtliga ledningssträckor utom för dagvattenledningen i Åketorp utförts med mätare av typ Maddarakku, se Fig 6.2. Dagvattenledningen i Åketorp har mätts med samma deformationsmätare av tyskt fabrikat som använts vid försöksfältet i Steneby. Mätaren av typ Maddarakku är en kontinuerligt registrerande mätare som dras genom ledningen. Mätkroppen är försedd med 7 armar som påverkar en gemensam lägesgivare. Via ledning överförs signal från lägesgivaren till ett visarinstrument på vilket ett deformationsvärde avläses. Endast ett deformationsvärde erhålls och detta representerar värdet för den mest intryckta armen. Det går således ej att särskilja deformationerna i vertikal och horisontal led. Mätaren kalibrerades i samband med mätningarna och den verkliga rördeformationen erhålls med hjälp av kalibreringskurvan. Det avlästa värdet kan normalt antas representera vertikaldeformationen.

Kalibrering gjordes med 3 olika lägen för deformationsmätare och ett medelvärde för kalibreringskurvan har använts vid utvärderingen. Största uppmätta avvikelser från medelkurvan var $\pm 0,5\%$. Vid bedömning av den totala felmarginalen för deformationsmätningarna måste även de fel som uppstår på grund av det praktiska mätningförfarandet beaktas. Mätkroppen dras således genom röret med hjälp av en särskild draglina. Avståndet mellan brunnar kan vara 50-60 m eller mer. Avläsning av mätaren sker

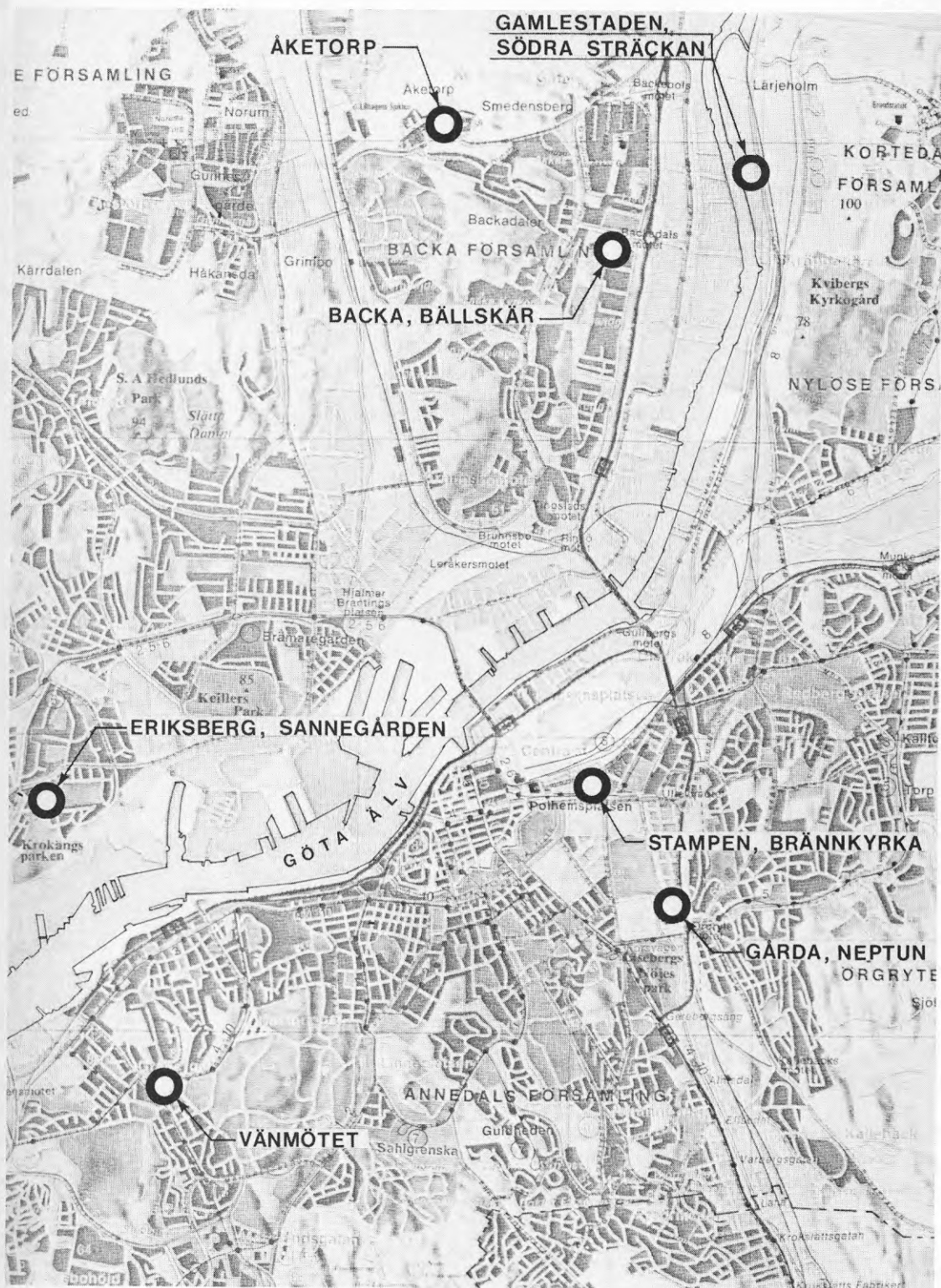


FIG 6.1 Lokalisering av försöksledningarna i Göteborg

TABELL 6.1 Data för försöksledningarna

Områdets namn	Sträcka	Rör	Fyllnings- höjd, m	Längd
Backa-Bällskär				
Spill	26 - 27	PVC 200 T	2,3 - 2,5	53
Dag	26 - 27	PVC 200 T	2,0	53
Spill	30 - 29	PVC 200 T	2,6	32
Dag	30 - 29	PVC 200 T	2,1	32
Eriksberg				
Sannegården				
Spill	21 - 22	PVC 200 T	3,3 - 3,0	54
Spill	22 - 23	PVC 200 T	2,9 - 2,7	19
Spill	23 - 24	PVC 200 T	2,6 - 2,0	6
Gamlestaden				
Södra				
Spill	19 - 20	PVC 200 T	1,7	66
Gårda Neptun				
Spill	25 - 251	PVC 200 T	1,9	27
Dag	25 - 251	PVC 200 T	1,6	27
Stampen				
Brännkyrka				
Spill	4 - 3	PVC 200 T	2,3	47
Dag	4 - 3	PVC 200 T	1,9	47
Vänmötet				
Spill	-	PVC 200 T	2,0	15
Dag	-	PVC 200 T	1,6	16
Åketorp				
Spill	102 - 103	PVC 200 T	3,2	37
Dag	102 - ca 103	PVC 400 T	2,5	33
Totalt				564 m

en gång per meter varför en viss variation i mätresultaten kan uppstå genom att mätaren ej hamnar på exakt samma ställe vid varje måttillfälle. Särskilt märkbar blir denna effekt vid stora men mycket lokala deformationer, t ex orsakade av sten- anläggning. Det är givetvis omöjligt att exakt kvantifiera de fel som kan uppstå av denna orsak men för lokala stora deformationstoppar av storleks- ordningen 10-15 % bedöms felmarginalen kunna uppgå till flera procentenheter.

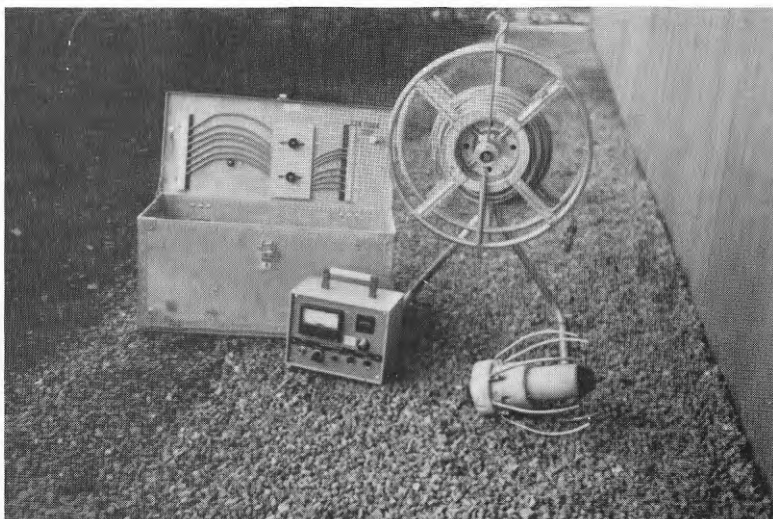
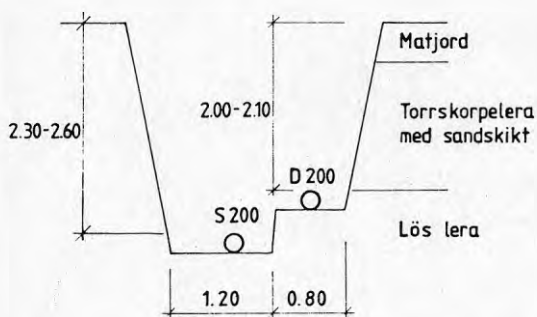


FIG 6.2 Deformationsmätare typ Maddarakku

6.3 Beskrivning av försöksledningarna

I 5 av områdena lades ledningarna i befintlig gatu-
mark medan i 2, Backa Bällskär och Gamlestaden, led-
ningarna utfördes i ängsmark eller i samband med ny-
byggnad av gata. Ledningarna har vanligen lagts
direkt på schaktbotten men i några fall utfördes
viss avjämning med sand. Som kringfyllning har för
samtliga ledningar använts uppschaktat material.
I det följande beskrivs de olika försöksledningarna
mer detaljerat.

Backa Bällskär



Topografi och jordlager

Ledningarna, dvs en spill- och en
dagvattenledning av \varnothing 200 PVC-
klass T, är lagda i ängsmark.

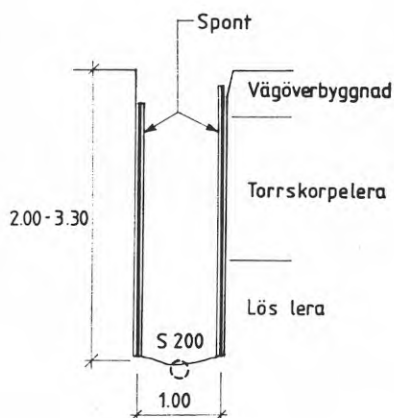
Ca 1 år efter läggning har en
lokalgata iordningställt över
ledningsstråket. Vid lägg-
ningen utgjordes jordlagerfölj-
den av 0,4 m matjord, 1,6 m torr-
skorpelera samt därunder lera med
skjuvhållfastheten 20-40 kPa.
Både torrskorpeleran och leran
är varvad med tunna sandlager.

Läggning och återfyllning

De slutliga fyllningshöjderna
blev för spillvattenledningen
2,3 - 2,6 m och för dagvatten-
ledningen 2,0 - 2,1 m. Innan
gatan iordningsställt var fyll-
ningshöjderna något lägre. Dag-
vattenledningen är lagd på hylla.

Ledningarna är lagda på avjämnad schaktbotten. Kringfyllningen utgörs av en blandning av torrskorpelera och lös lera. Frostgrader i samband med läggningen medförde att ledningen på vissa ställen kringfyllts med frusna klumpar av torrskorpelera. Kringfyllningen bearbetades något med skyffel och genom fottrampning upp till 5 cm över rörhjässa. Frosten angrep även de korta sträckorna av schaktbotten som var frilagda under nätterna.

Eriksberg, Sannegården



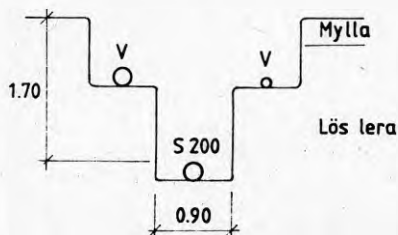
Topografi och jordlager

Ledningen, dvs ett \varnothing 200 PVC-rör av klass T, är lagd i gatumark med lokaltrafik. De övre jordlagren består av friktionsmaterial i väggkropp samt utfyllt material med en sammanlagd mäktighet av ca 1,5 m. De underliggande naturliga jordlagren består av lera med skjuvhållfastheten ca 20 kPa, vattenkvoten ca 60 % samt sensitiviteten ca 10.

Läggning och återfyllning

Fyllningshöjden varierar mellan 3,3 och 2,0 m och gravbredden ca 1,0 m. Stålspont nyttjades. Ledningen är lagd på avjämnad schaktbotten och är kringfylld med relativt homogen lös lera. Kringfyllningen bearbetades genom fottrampning. Skjuvhållfastheten i kringfyllningen är ca 20 kPa.

Gamlestaden



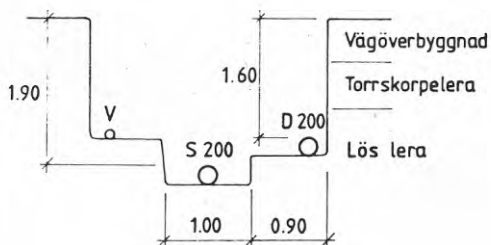
Topografi och jordlager

Ledningen, som är en spillvattenledning av typ \varnothing 200 PVC-klass T, har lagts i samband med att en lokalgata utmed Göta älv byggts. Gatan har trafikerats endast under mättningsperiodens senare del. Jordlagerföljden var 0,3 m matjord samt därefter lera med inblandat sjögräs. Skjuvhållfastheten för leran är ca 20 kPa.

Läggning och återfyllning

Fyllningshöjden är 3,1 m och gravbredden upp till 1,0 m över hjässan är 0,9 m.

Ledningen är lagd på avjämnad schaktbotten. Kringfyllningen består av lös lera som bearbetats genom en överfart med fottrampning. Återfyllningen med lös lera över rörhjässan är utlagd med grävmaskin. Skjuvhållfastheten i återfyllningen är ca 10 kPa.

Gårda, Neptun

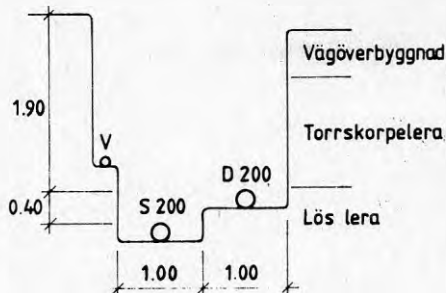
Topografi och
jordlager

Ledningarna, dvs en spill- och en dagvattenledning av typ \emptyset 200 PVC-klass T, är lagda i gatumark med lokaltrafik. Jordlagerföljden utgörs av 0,5 m friktionsmaterial inkl tegelskärv etc i väggkropp, 0,5 m torrskorpelera samt därunder lös svart lera med skjuvhållfastheten ca 30 kPa.

Läggning och
återfyllning

Fyllningshöjderna är 1,4 samt 2,0 m för dag- respektive spillvattenledningen. Dagvattenledningen ligger på hylla.

P g a regn samt tillflöde av spillvatten från befintlig ledning erhöles besvärliga förhållanden i rörgraven. Rörgravsbotten avjämnades med sand. Återfyllningen utgjordes av en inhomogen blandning av ovannämnda jordarter. Ingen packning eller understoppning utfördes. Kringfyllningen kom på plats i huvudsak genom grävmaskin. Det manuelle arbetet med att lägga dit och breda ut kringfyllningen har således endast utförts i ringa omfattning vid dessa ledningar.

Stampen, Brännkyrka

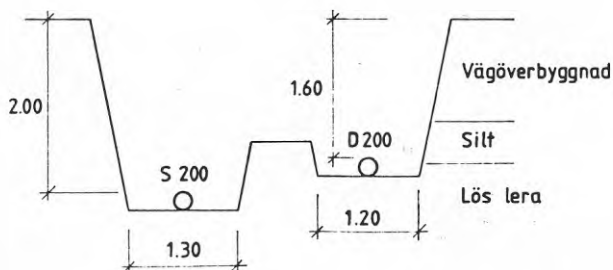
Topografi och jordlager

Ledningarna, dvs en spill- och en dagvattenledning av typ \emptyset 200 PVC-klass T, är lagda i gatumark i Göteborgs centrala delar. Jordlagerföljden utgörs av 0,5 m friktionsmaterial i vägkropp, 1,3 m torrskorpelera samt därunder lös lera med skjuvhållfastheten ca 20 kPa, vattenkvoten ca 60 % och densiteten 1,6 - 1,7 t/m³.

Läggning och återfyllning

Fyllningshöjderna är 2,3 m respektive 1,9 m. Dagvattenledningen är lagd på hylla.

Ledningarna är lagda på avjämnad schaktbotten. I rörgraven fanns vatten p g a tillflöde från befintlig spillvattenledning. Ingen packning eller understoppning utfördes. Kringfyllning och återfyllning utfördes med schaktmassor av i huvudsak torrskorpelera som delvis var frusen. Kringfyllning och återfyllning är utlagd av grävmaskin.

Vänmötet

Topografi och jordlager

Ledningarna, dvs en spill- och en dagvattenledning av \varnothing 200 PVC-klass T, är lagda i gatumark med lokaltrafik. Översta jordlagret om ca 1,2 m utgörs av en blandning av sand, grus, skärv, gamla stenbeläggningar m m. Därunder finns ett lager om ca 0,5 m bestående av siltig torrskorpelera. Under detta skikt finns lera med en skjuvhållfasthet på ca 17 kPa.

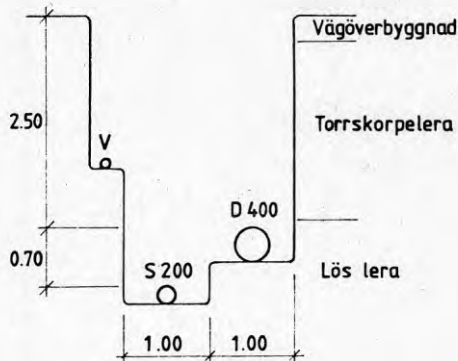
Läggning och återfyllning

Fyllningshöjderna är 2,0 respektive 1,6 m. Dagvattenledningen är lagd på hylla.

P g a tillflöde från befintlig spillvattenledning erhöles vatten i rörgraven. På grund härav iordningsställdes en ledningsbädd på ca 10 cm för spillvattenledningen. Dagvattenledningen har emellertid lagts på avjämnad schaktbotten.

Ledningarna har kringfyllts med schaktmassor bestående av en blandning av nämnda jordlager. Ingen understoppning har utförts. Kringfyllningen utbreddes och fottrampades genom en överfart i nivå med rörhjässa.

Åketorp



Topografi och jordlager

Ledningarna är lagda i gatumark med lokaltrafik av liten omfattning. Jordlagerföljden utgörs av 0,5 m friktionsmaterial i vägkropp, gråbrun torrskorpelera mellan 0,8 - 2,1 m samt därunder grå lera med skjuvhållfastheten ca 20 kPa.

Läggning och återfyllning

Spillvattenledningen, som är ett \varnothing 200 PVC-rör av klass T, har fyllningshöjden 3,2 m. Dagvattenledningen, som är ett \varnothing 400 PVC-rör av klass T, har fyllningshöjden 2,5 m och är lagd på en 1,0 m bred hylla i rörgraven. Ledningarna är lagda på avjämnad schaktbotten. Återfyllningen utgörs av schaktmassor, dvs en blandning av torrskorpelera och lös lera. Fottrampning med en överfart utfördes då ledningarna kringfyllts upp till rörcentrum. I övrigt utfördes ingen annan särskild packning eller bearbetning av schaktmassorna. Restande återfyllning över rörcentrum har utlagts av grävmaskin.

6.4 Försöksresultat

Vid deformationsmätningarna har avläsning skett med intervall av 1,0 m. Mätning har skett vid fyra olika tidpunkter efter läggning, varav den första utfördes inom 1 à 2 veckor efter färdig återfyllning och den senaste i juni 1978 ca 800 dygn efter läggning. Före varje mätning har ledningarna alltid renspolats med högtrycksaggregat.

Uppmätta deformationsvärden redovisas i BILAGA C.

Huvudsyftet med försöksledningarna har varit att få information om långtidsdeformationerna hos praktiskt utförda plastledningar i lera. Ingen variation har därför gjorts beträffande rörstyvhet eller dimension. Samtliga rör är således markavloppsrör PVC 200 klass T utom dagvattenledningen i Åketorp, som är PVC 400 klass T.

6.4.1 Rördeformation i ringled

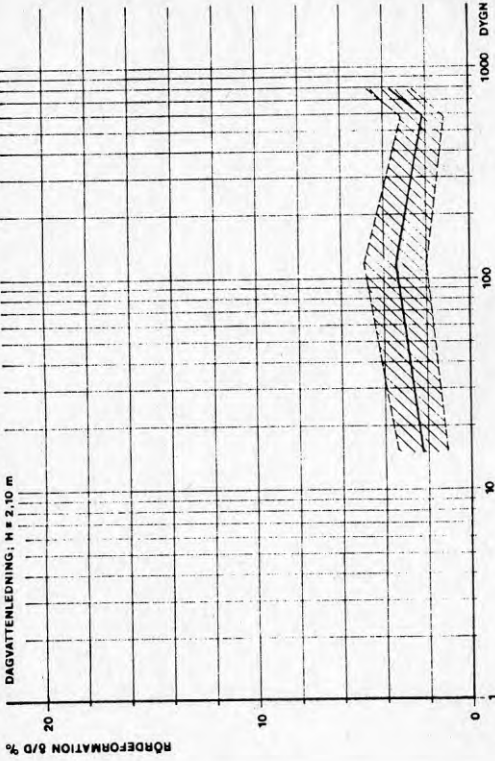
I FIG 6.3 till FIG 6.7 redovisas medeldeformationerna hos de olika ledningssträckorna som funktion av tiden efter läggning. I figurerna har omkring medelkurvan lagts in ett streckat band med bredden en standardavvikelse åt vardera hållet från medelkurvan.

Beträffande medeldeformationen kan konstateras att den för samtliga ledningssträckor, utom för de två vid Stampen, vid första mättillfället var mindre än 5 %. Vid Stampen var motsvarande värde ca 6 %. Fler-talet ledningar uppvisar en viss ökning av medeldeformationen med tiden men ökningen är överraskande liten. Största relativa ökningen finns hos spillvattenledningen i Gamlestaden där medeldeformationen ökat från ca 2 % till ca 4 % mellan första och sista mätningen. För vissa ledningssträckor har t o m en smärre minskning av medeldeformationen uppmätts.

Bredden hos det i figurerna inlagda spridningsbandet är ett mått på variationen hos uppmätta deformationsvärden på varje sträcka. Sträckor med mycket ojämna deformationsvärden får således ett brett band. En enstaka stor deformation ger däremot inget större utslag i bandbredden. Ledningssträckor med brett variationsområde finns främst i Gårda och Stampen. Vid dessa ledningar har kringfyllningen utförts på ett synnerligen enkelt sätt. En blandning av schaktmassor bestående av skärv, torrskorpelera och lös lera delvis i form av frusna klumpar, har återfyllts direkt på rören med grävmaskin. Ingen manuell utsortering av sten eller utbredning av kringfyllningen har utförts. Minst spridning i deformationsvärdena har erhållits för ledningar som kringfyllts med lös lera såsom vid Eriksberg och Gamlestaden. Den statistiska spridningen hos mätvärdena kan således betraktas som ett mått på kvaliteten i det utförda lägg-

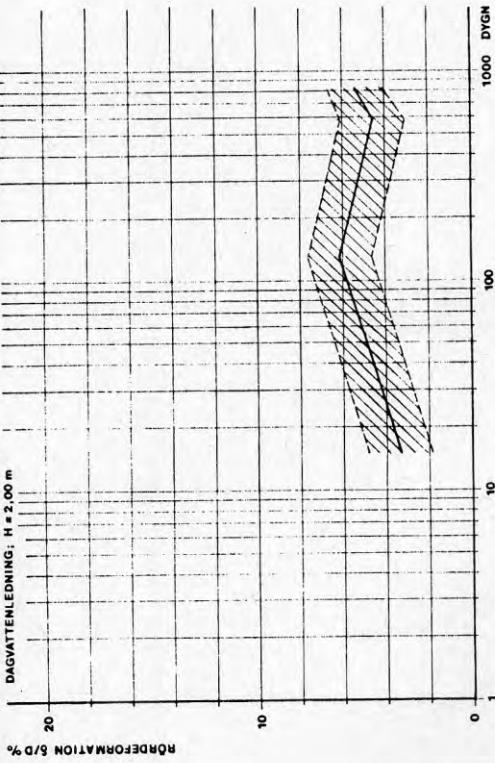
BACKA, BÄLLSKÄR, STR. 30 - 29

DAGVATTENLEDNING; H = 2,10 m

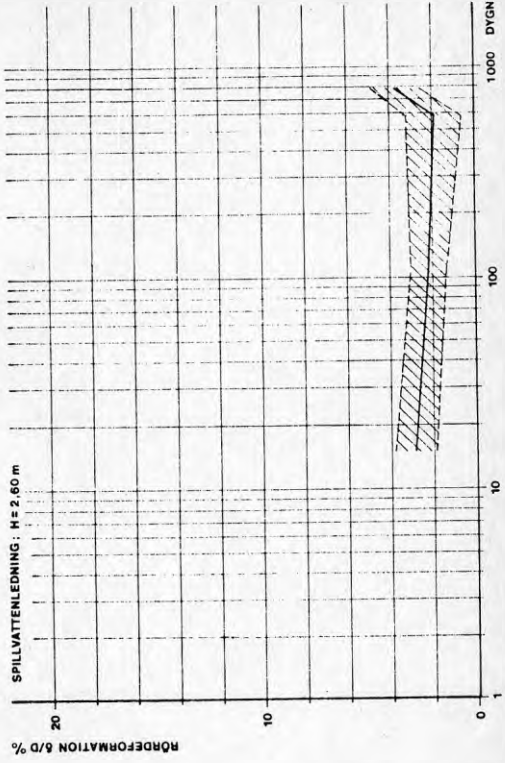


BACKA, BÄLLSKÄR, STR. 26 - 27

DAGVATTENLEDNING; H = 2,00 m



SPILLVATTENLEDNING; H = 2,60 m



SPILLVATTENLEDNING; H = 2,30 - 2,50 m

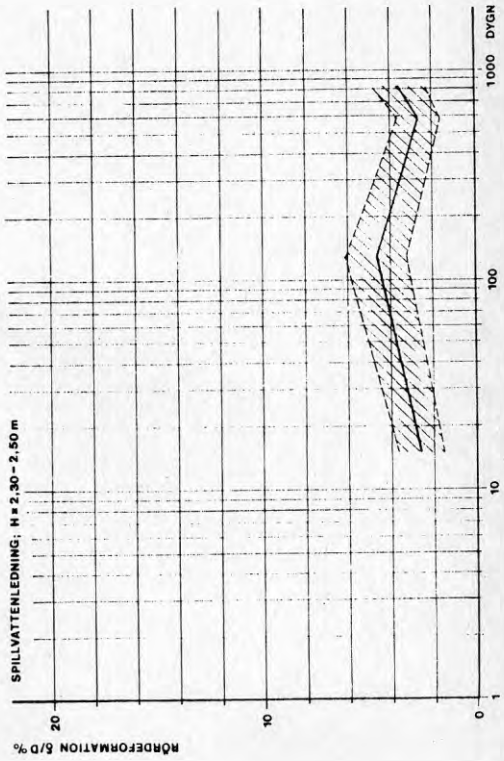
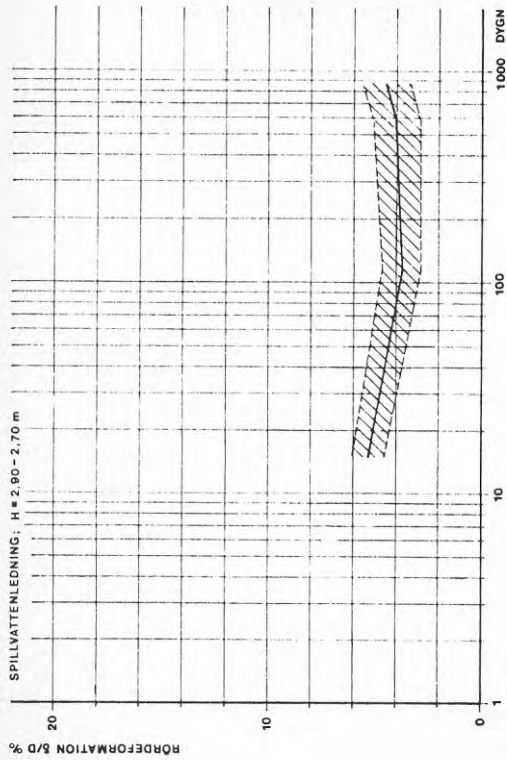
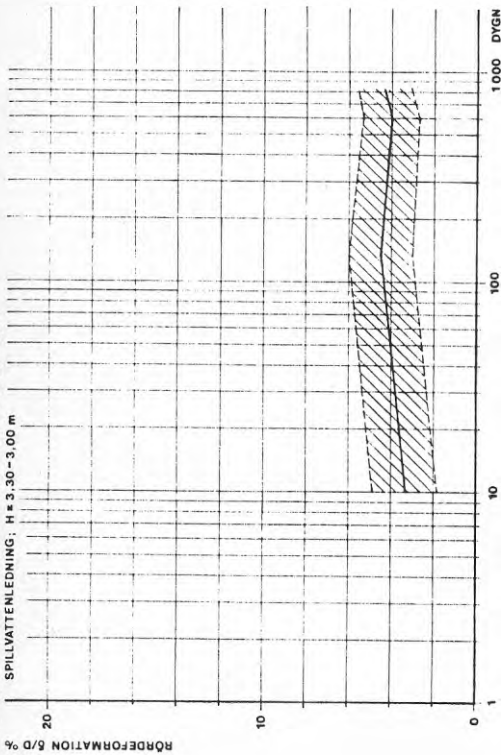


FIG 6.3 Backa, Bällskär. Uppmätta medeldeformationer jämte beräknade standardavvikelser.

ERIKSBERG, SANNEGÅRDEN, STR. 22-24
STR. 22-23



ERIKSBERG, SANNEGÅRDEN, STR. 21-22



STR. 23-24

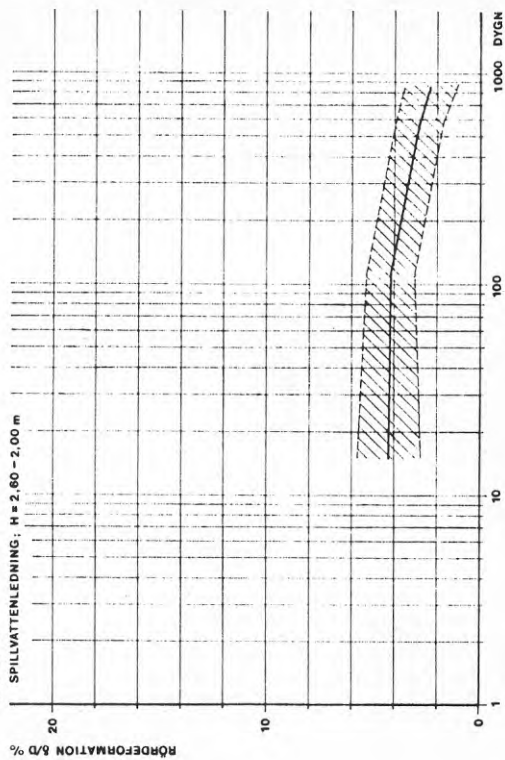
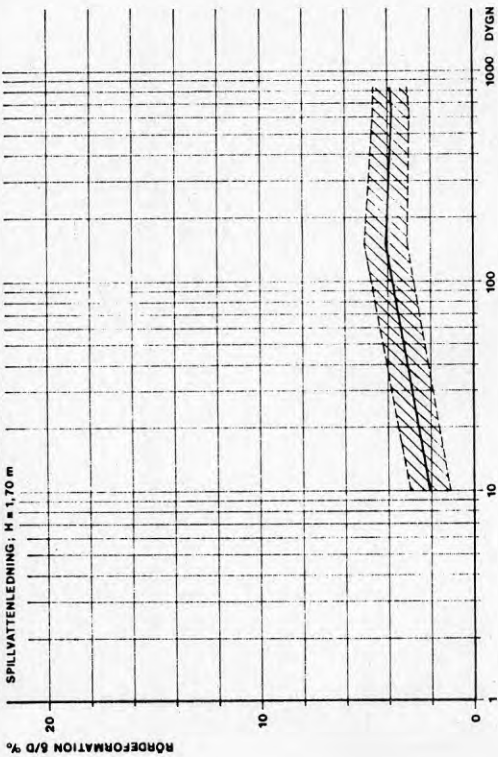


FIG 6.4 Eriksberg, Sannegården. Uppmätta medel deformationer jämte beräknade standardavvikelser.

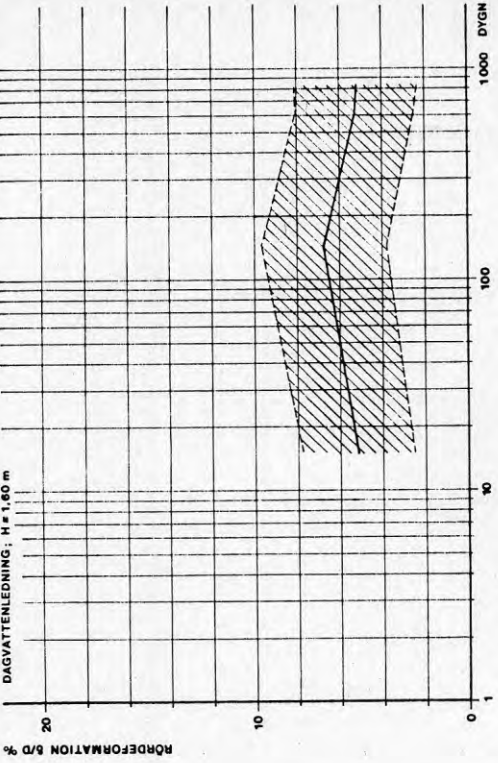
GAMLESTADEN, SÖDRA STRÄCKAN

SPILLVATTENLEDNING: H = 1,70 m



GÅRDA, NEPTUN, STR. 25 - 251

DAGVATTENLEDNING: H = 1,60 m



GAMLESTADEN, SÖDRA STRÄCKAN

SPILLVATTENLEDNING: H = 1,70 m



GÅRDA, NEPTUN, STR. 25 - 251

DAGVATTENLEDNING: H = 1,60 m

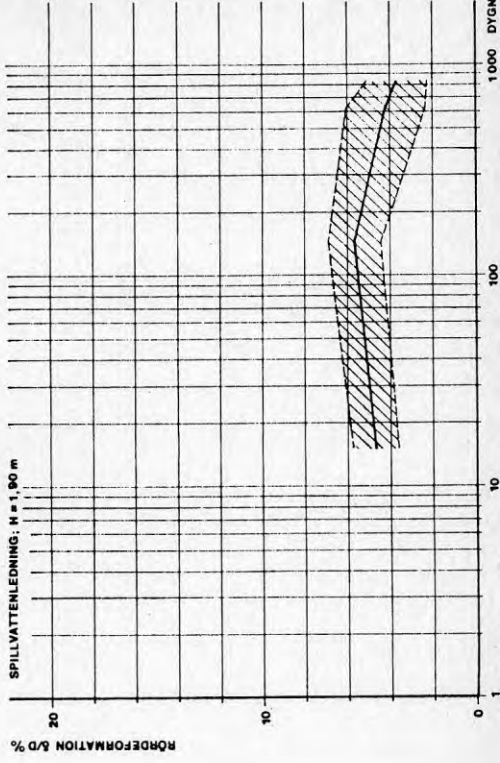
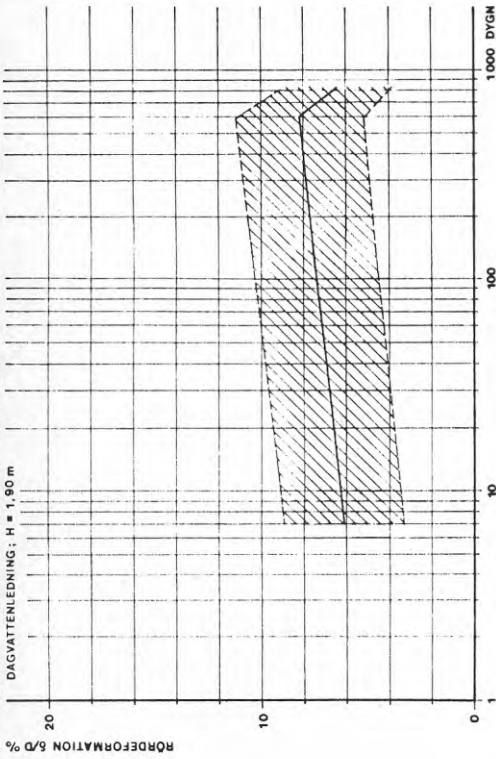


FIG 6.5 Gamlestaden och Gårda, Neptun. Uppmätta medeldeformationer jämte beräknade standardavvikelser.

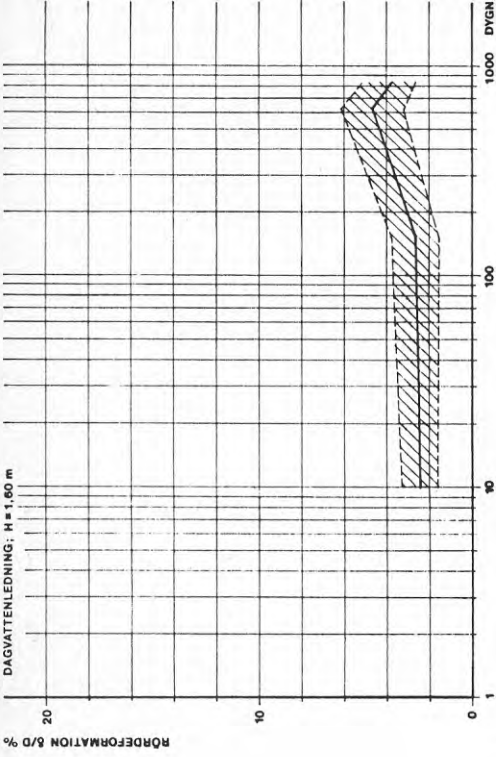
STAMPEN, BRÄNNKYRKA, STR. 4-3

DAGVATTENLEDNING; H = 1,90 m

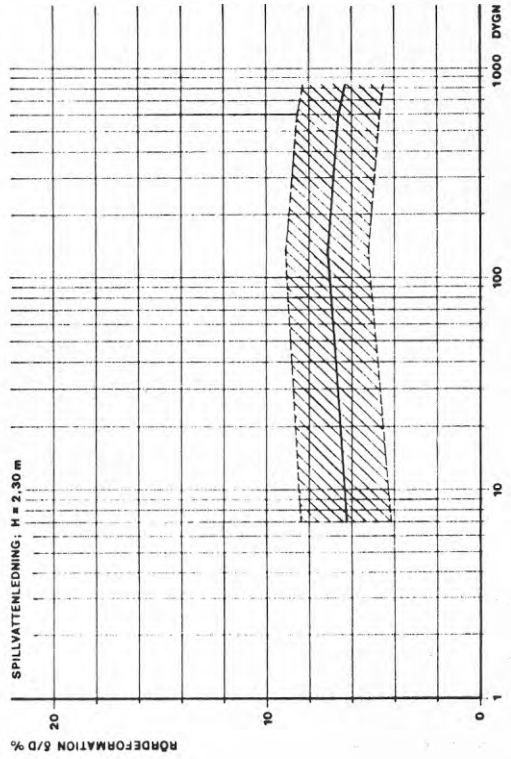


VÄNMÖTET

DAGVATTENLEDNING; H = 1,90 m



SPILLVATTENLEDNING; H = 2,30 m



SPILLVATTENLEDNING; H = 2,00 m

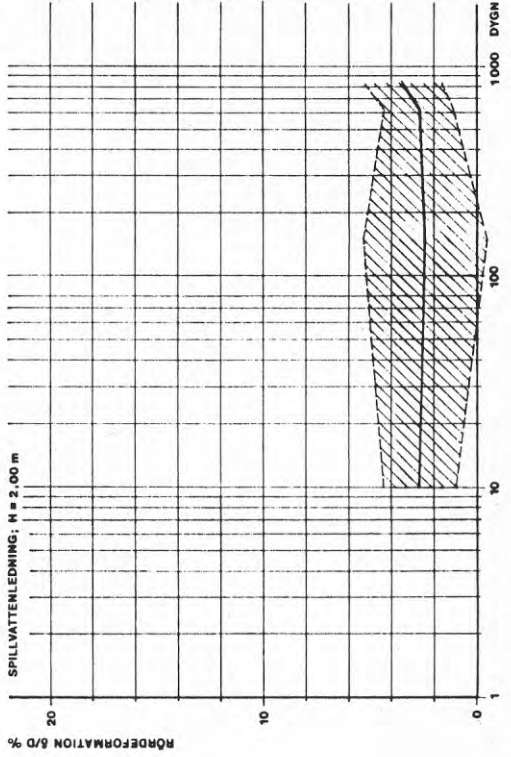


FIG 6.6 Stampen, Brännkyrka och Vännötet. Uppmätta medeldeformationer jämte beräknade standardavvikelser.

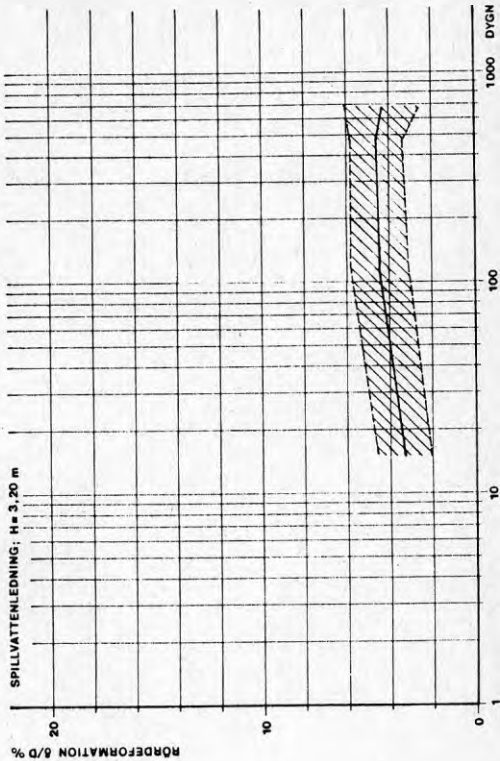
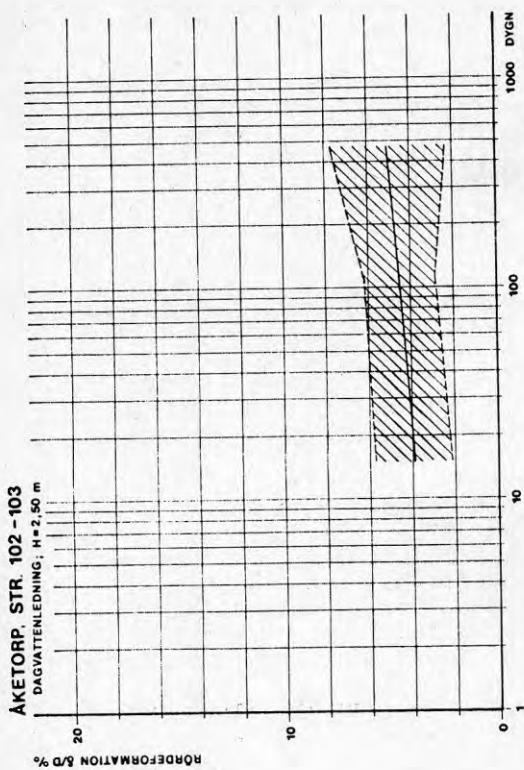


FIG 6.7 Aketorp. Uppmätta medel deformationer jämte beräknade standardavvikelser.

ningsarbetet vad gäller kringfyllning och underlagets jämnhet. Ojämn schaktbotten eller ledningsbädd har dock större inverkan vid läggning i fasta jordarter än vid läggning i lösa, varför huvudorsaken till de ojämna deformationerna kan antas vara lokala lasttoppar och varierande fasthet hos kringfyllningen.

De uppmätta extremvärdena för deformationerna är mycket osäkra. De representerar ofta mycket lokala deformationer hos rören och är ibland också resultat av föroreningar i rören som trots högtrycksspölning ej kunnat avlägsnas. Stora deformationstoppar, som endast uppmätts vid ett enstaka måttillfälle, kan därför normalt anses ha orsakats av invändiga föroreningar och representerar ej någon verklig deformation hos röret. Efter bortsortering av sådana extremvärden erhålls de i TABELL 6.2 angivna maxdeformationerna för de olika ledningarna.

I TABELL 6.2 anges också förhållandet mellan erhållna maximaldeformationer och medeldeformationerna för varje ledningssträcka. De angivna värdena kan betraktas som typiska för hela mätperioden. En exakt beräkning är inte särskilt meningsfull med hänsyn till osäkerheten i framförallt maximalvärdets storlek. En tendens är dock att kvoten mellan maximalvärde och medeldeformation minskar något med tiden.

De stora maxdeformationer, som erhållits vid Gårda och Stampen, har troligen orsakats av stenar eller hårda klumpar i kringfyllningen.

En jämförelse mellan ovan angivna maximalvärden och motsvarande medeldeformationer och standardavvikelser visar att maximalvärdena i allmänhet ej överstiger medeldeformationen plus två standardavvikelser. Vid Gårda och Stampen är dock maximaldeformationerna större än dessa värden.

Det är svårt att exakt avläsa förändringarna hos maxdeformationerna med tiden. De utförda mätningarna tyder dock på att ökningen är måttlig och att den under den första 2-årsperioden endast uppgått till ett fåtal %-enheter.

TABELL 6.2 Maxdeformationer för försöksledningarna efter drygt 2 år

Ledning		(δ/D)max %	(δ/D)max/(δ/D)medel
Backa Bällskär			
26-27	Spill	7 %	1,8
26-27	Dag	8 %	1,6
30-29	Spill	5 %	1,7
30-29	Dag	6 %	2,0
Eriksberg Sannegården			
21-22	Spill	6 % ¹⁾	1,5
22-23	Spill	7 %	1,7
23-24	Spill	6 %	1,5
Gamlestaden			
19-20	Spill	6 %	1,5
Gårda Neptun			
25-251	Spill	8 %	1,6
25-251	Dag	12 %	2,0
Stampen Brännkyrka			
4-3	Spill	15 %	2,1
4-3	Dag	20 %	2,9
Vänmötet			
	Spill	5 %	1,7
	Dag	6 %	2,0
Åketorp			
102-103	Spill	8 %	2,0
102-103		10 %	2,0

1) Invid nedstigningsbrunn 21 är deformationen större (ca 10 %) förmodligen beroende på ojämna sättningar.

I FIG 6.8 visas uppmätt medeldeformation hos samtliga ledningar utom de vid Gårda och Stampen efter ca 2 år som funktion av fyllningshöjden.

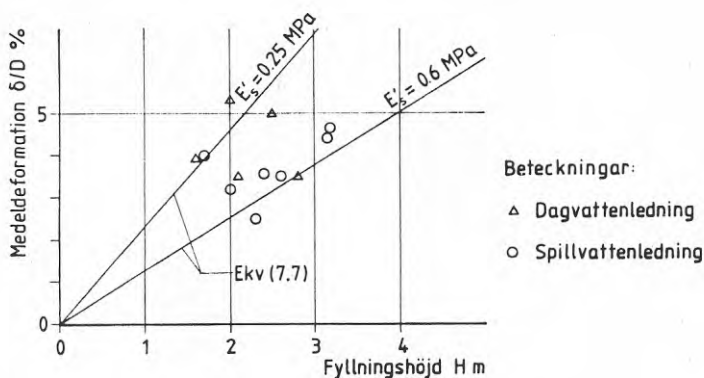


FIG 6.8 Uppmätta medeldeformationer som funktion av fyllningshöjden

Uppmätta medeldeformationer ligger mellan de enligt ekv (7.7) beräknade linjerna med $E_s = 0,25$ MPa och $E_s = 0,6$ MPa. För dagvattenledningarna, vilka som regel ligger på hylla i rörgraven, är deformationsvärdena något högre än för spillvattenledningarna. Dock är skillnaden mellan värden för dagvattenledning och värden för spillvattenledning ganska liten. Detta beror dels på att hyllan ej varit särskilt fast dels på att den vanligtvis varit ganska bred.

Vid Eriksberg utfördes rörgraven med spont. De utförda mätningarna avslöjar ingen särskild inverkan av spontdragningen vid jämförelse med resultaten från ledningar i rörgravar utan spont. Detta överensstämmer med erfarenheterna från försöksfältet vid Björlandavägen och sammanhänger förmodligen med att kringfyllningen, som i båda fallen utförts med lös lera, genom sin lösa konsistens förmår fylla ut eventuella hålrum efter sponten utan några större om- lagringar invid röret.

Resultaten från de utförda mätningarna på försöksledningarna kan sammanfattas enligt följande:

- Medeldeformationen hos försöksledningar med kringfyllning av lös lera och torrskorpelera var efter drygt två år i allmänhet mindre än 6 %.
- Deformationsökningen under drygt två år har uppgått till högst ca 2 %.

- För ledningar med kringfyllning av lös lera och torrskorpelera tyder resultaten på att maximaldeformationen på en ledning ungefär är lika med 1,5 à 2 gånger medeldeformationen. Maximal deformation för dessa ledningar uppgick efter drygt två år till ca 10 %.
- För ledningar kringfyllda med massor innehållande sten och hårda (frusna) jordklumpar har erhållits större och ojämnare deformationer än för övriga ledningar. Deformations-
toppar på upp till 20 % har noterats.
- Spontdragning i smal rörgrav med återfyllning av lös lera har ej haft någon märkbar effekt på rördeformationen.

6.4.2 Utvärdering av E'_s ur rörförsök

Liksom i jordlådan och vid försöksfältet har kringfyllningens sekantmodul E'_s beräknats ur ekv (7.6) med $b_1 = 0,096$. Vertikaltrycket mot rören har antagits vara lika med överlagringstrycket och densiteten hos återfyllningen har satts lika med $1,5 \text{ t/m}^3$. I TABELL 6.3 anges korttids- och långtidsvärden på E'_s beräknade ur uppmätta rördeformationer. Medelvärdena har beräknats ur medeldeformationerna för respektive ledning.

Om man bortser från ledningarna vid Gårda och Stampen varierar korttidsmedelvärdena på E'_s ungefär mellan 0,3 och 0,8 MPa och långtidsmedelvärdena mellan 0,2 och 0,6 MPa.

För ledningarna vid Gårda och Stampen har små värden erhållits på E'_s främst beroende på den synnerligen dåliga kvaliteten på återfyllningen. Dessa ledningar har således fått ett dåligt sidostöd samt är utsatta för höga lokala vertikalktryck orsakade av stenar eller hårda jordklumpar.

Vad beträffar sekantmodulens förändring med tiden tyder värdena i TABELL 6.3 på att en viss minskning i allmänhet inträffat under mätperioden för medelvärdena.

TABELL 6.3 Beräknade medelvärden på E_s' ur uppmätta rördeformationer hos försöksledningarna

Ledning	E_s' MPa		
		Korttid 10-20 d	Långtid ca 800 d
Backa			
26-27	Spill	0,72	0,55
	Dag	0,35	0,18
30-29	Spill	0,65	0,59
	Dag	0,74	0,42
Eriksberg			
21-22	Spill	0,75	0,60
22-23	Spill	0,27	0,46
23-24	Spill	0,29	0,89
Gamlestaden			
	Spill	0,52	0,24
Gårda			
25-251	Spill	0,11	0,34
	Dag	- 0,01	0,10
Stampen			
4-3	Spill	0,07	0,18
	Dag	0,01	0,09
Vänmötet			
	Spill	0,47	0,39
	Dag	0,42	0,23
Åketorp			
102-103	Spill	0,78	0,62
	Dag	0,38	0,34

7. FÖRSLAG TILL BERÄKNINGSMETOD

7.1 Vertikal jordlast

Jordlastens storlek på ett rör i jord är beroende av många faktorer och omfattande studier i frågan har bedrivits främst i USA under ledning av Anson Marston och M G Spangler. Därvid utvecklades de klassiska rörteorierna, gravteori och bankteori. Undersökningarna utfördes i första hand med styva rör. En kritisk granskning och modifiering av beräkningsmetoderna för styva rör har senare utförts av JANSON, 1965.

För flexibla rör med måttlig styvhet, t ex markavloppsrör av plast, har dimensionering i såväl grav som bank och med kringfyllning av friktionsjord hittills skett med vertikala jordlasten lika med överlagringsstrycket q_0 i marken, se MOLIN 1971:

$$q_0 = g \gamma H \quad (7.1)$$

där g = jordaccelerationen (10 m/s^2), γ = fyllningens densitet och H = fyllningshöjden över rörhjässan.

När rörstyvheten ökar eller kringfyllningens fasthet minskar, t ex genom kringfyllning med lera, påverkas emellertid jordlasten så att den i vissa fall även för flexibla rör kan bli större än överlagringsstrycket. En ungefärlig beskrivning av sambandet mellan rörstyvhet, fyllningens E-modul och vertikal jordlast kan göras genom tillämpning av elasticitets-teoretiska metoder. Sålunda redovisas av HÖEG, 1966, en av Burns-Richard lanserad beräkningsmetod för en cylinder inbäddad i ett elastiskt medium, se FIG 7.1. Vertikaltrycket på stort avstånd från cylindern är q_0 och horisontaltrycket $K_0 \cdot q_0$.

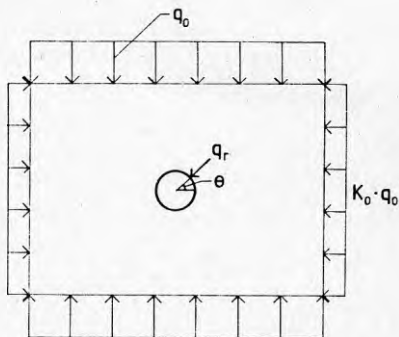


FIG 7.1 Beräkningsmodell enligt Burns-Richard

Metoden tar hänsyn till bl a mediets elasticitetsmodul, cylinderns styvhet i ringled samt friktionen mellan cylinder och medium. Efter bearbetning av de av Höeg angivna uttrycken för radiellt tryck mot cylindern erhålls för $K_0 = 0,5$ följande:

$$\frac{q_r}{q_0} = a_1 - \frac{a_2 \cdot S - a_3}{a_4 + a_5 \cdot S} \cdot \cos 2\theta \quad (7.2)$$

$$S = \frac{EI}{E'_s \cdot r^3} = \text{styvhetsfaktor}$$

där E = rörets elasticitetsmodul, I = rörväggens tröghetsmoment, r = rörradie och E'_s = fyllningens elasticitetsmodul.

Koefficienterna a_1 till a_5 har följande värden för de båda fallen ingen respektive fri glidning mellan cylinder och omgivande medium:

	Ingen glidning	Fri glidning
a_1	0,98	0,98
a_2	5,30	15,85
a_3	0,33	0
a_4	1,15	2,00
a_5	12,95	23,50

En mer approximativ men enkel metod för beräkning av vertikallastens storlek med beaktande av styvhetsförhållandet mellan rör och fyllning beskrivs av JANSON, 1965. Enligt denna metod betraktas vid härledning av uttrycket för vertikal rörlast en cylindrisk kropp i ett elastiskt medium utsatt för ett enaxligt tryck. Janson fann att metoden gav god överensstämmelse med värden beräknade enligt klassisk bankteori för styva rör.

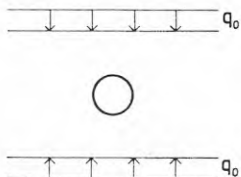


FIG 7.2

Följande uttryck erhålls för vertikalt tryck mot röret:

$$q_v = C \cdot q_0 \quad (7.3)$$

$$C = \frac{5 + 3n}{(1+n)(3+n)} = \text{lastfaktor}$$

$$n = \frac{E'_s \cdot r^3}{12 EI} = \frac{1}{12 S}$$

I FIG 7.3 redovisas med ekv (7.2) och ekv (7.3) beräknade kurvor över q_v/q_0 som funktion av styvhetsfaktorn S . För styva rör, dvs för stort värde på S , går värdet på q_v/q_0 enligt ekv (7.2) mot 1,65 i fallet fri glidning och mot ett något lägre värde i fallet ingen glidning. Enligt ekv (7.3) blir motsvarande värde 1,67.

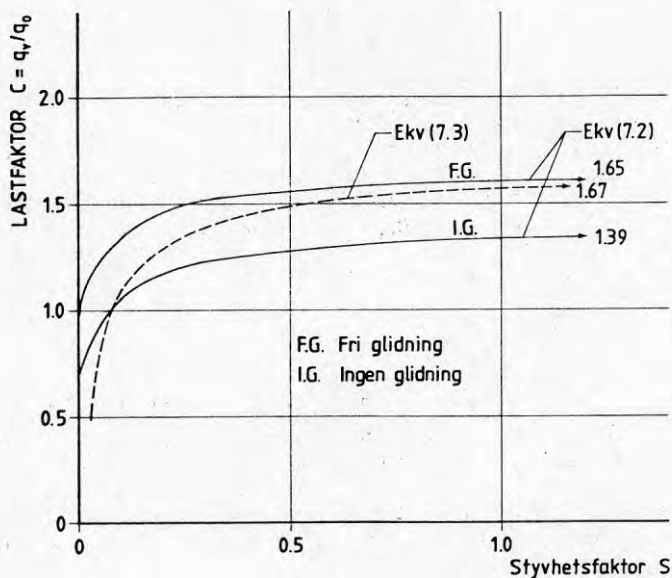


FIG 7.3 Samband mellan q_v/q_0 och styvhetsfaktorn S enligt ekv (7.2) och evk (7.3)

Det är svårt att jämföra de beräknade kurvorna med uppmätta jordtryck vid de utförda försöken. Rören har där lagts i rörgravar i vilka upphängningskrafter vid gravväggarna reducerar det pålagda trycket innan det når ledningsnivån. Detta fenomen är speciellt påtagligt vid kringfyllning med lera i jordlådoförsöken där gravväggarna var utförda i mycket fast, packad lera. Den verkliga tryckfördelningen i rörgravarna vid försöken är därför svårbedömd. Beräkningar enligt gravteori tyder dock på att förhållandet q_v/q_0 , där q_0 då är ett medeltryck på rörhjässans nivå, är av storleksordningen 1 å 1,5 vid kringfyllning med lera.

Det kan noteras att på markavloppsrör av plast med kringfyllning av sand styvhetsfaktorn S normalt är mindre än 0,1 vilket ger beräkningsvärden lägre än 1 på lastfaktorn C .

Eftersom ekv (7.3) ger värden som stämmer väl för helt styva rör föreslås att detta uttryck används för beräkning av vertikaltrycket på flexibla - halvstyva rör. Dock sätts alltid $C \geq 1,0$.

Rör på hylla

Undersökning av belastningsförhållandena för styvt rör på hylla i fasta jordarter har nyligen redovisats, MOLIN-OLOFSSON, 1978. Enligt denna undersökning kan belastningen på ett styvt rör lagt på fast hylla beräknas genom multiplikation av den normala rörlasten med förstoringfaktorn K_1 under förutsättning att återfyllningen upp till hyllans nivå packas och utförs med material enligt MarkAMA 72.

$$K_1 = 1 + 0,1 \frac{H_1}{D} \quad (7.4)$$

där H_1 = rörgravens djup under hyllans nivå. K_1 föreslås begränsas till värdet 1,6.

För ett flexibelt rör föreslås att förstoringfaktorn multipliceras med $C/1,67$, där C är lastfaktorn enligt ekv (7.3).

Belastningen på ett flexibelt rör lagt på en fast hylla i rörgravsväggen föreslås därför beräknas enligt följande:

$$q_{\text{hylla}} = \frac{C \cdot K_1}{1,67} \cdot q_v \quad (7.5)$$

där q_v = vertikalt jordtryck utan hänsyn till hylla.

7.2 Rördeformation i ringled

Deformationen för flexibelt rör med kringfyllning av friktionsjord beräknas enligt följande formel, MOLIN, 1971:

$$\frac{\delta}{D} = q_v \frac{b_1}{\frac{EI}{r^3} + 0,122 E'_S} \quad (7.6)$$

där δ = förkortning av vertikal rördiameter D , $b_1 = 0,083$, E = rörets elasticitetsmodul, I = rörväggs tröghetsmoment ($s^3/12$ för slät rörvägg), r = rörradie och E'_S = kringfyllningens elasticitetsmodul (sekantvärdet).

Ekv (7.6) bygger på en jordtrycksfördelning runt röret som ursprungligen lanserats av SPANGLER, 1941, se FIG 7.4. Det horisontala jordtrycket mot rorsidorna är direkt proportionellt mot rörets deformation som multipliceras med en bäddmodul k .

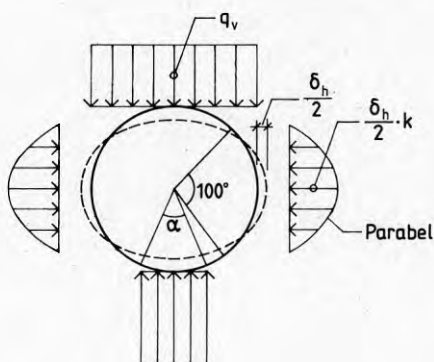


FIG 7.4 Jordtrycksfördelning enligt Spangler

Baserat på försöksresultat har vid härledning av ekv (7.6) använts sambandet $k = 2 E'_S/r$. När förhållandet mellan rörstyvhet och fyllningens styvhet E'_S ökar så minskar det horisontella jordtrycket. För ett helt styvt rör blir enligt denna belastningsmodell horisontaltrycket lika med noll. Undersökningar på styva rör har emellertid visat att så inte är fallet utan att det normalt uppstår ett horisontaltryck som minst motsvarar $0,3$ å $0,5 \cdot q_o$. För att erhålla en belastningsmodell som täcker hela styvhetsområdet från flexibelt till styvt rör föreslås därför den i FIG 7.5 visade jordtrycksfördelningen.

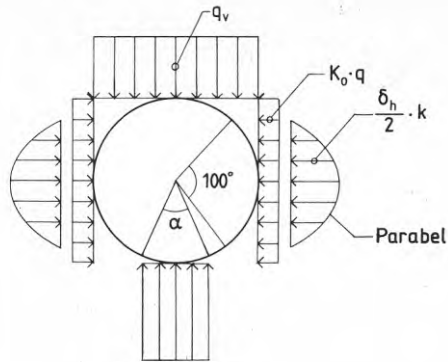


FIG 7.5 Förslag till dimensionerande jordtrycksfördelning

Följande uttryck för rördeformation erhålls vid jordtrycksfördelning enligt FIG 7.5 och med lastfaktor C enligt ekv (7.3)

$$\frac{\delta}{D} = q_0 \cdot \frac{(C \cdot b_1 - 0,083 \cdot K_0)}{\frac{EI}{r^3} + 0,061 \cdot E'_S} \quad (7.7)$$

där b_1 = koefficient beroende av upplagsvinkeln α ,
 K_0 = jordtryckskoefficient.

Följande värden gäller för b_1 :

α	b_1
0°	0,116
30°	0,113
60°	0,105
90°	0,095
120°	0,089
180°	0,083

Ekv (7.6) och (7.7) avser egentligen den horisontella rördeformationen. Uttrycket för vertikal rördeformation blir väsentligt mer komplicerat. För mycket

styva rör, dvs rör med stort värde på EI/r^3 , blir rördeformationen ungefär elliptisk med ungefär lika stor vertikal som horisontal rördeformation. För slanka rör kan deformationerna i de båda huvudriktningarna skilja sig åt.

Kontrollberäkningar har dock visat att denna skillnad är så liten att den för praktiskt bruk kan försummas vid sidan av den inverkan som t ex en avvikelse från den antagna jordtrycksfördelningen skulle innebära. För praktiskt bruk kan således ekv (7.6) och ekv (7.7) användas vid beräkning av den vertikala rördeformationen.

Jordtryckskoefficienten K_0 för den konstanta delen av horisontaltrycket bör i princip vara en vilofriktionskoefficient. För friktionsjord brukar sättas $K_0 = 1 - \sin \phi$, där ϕ är fyllningens inre friktionsvinkel. För sand med friktionsvinkeln $\phi = 30^\circ$ erhålls då $K_0 = 0,5$.

För fyllning av lera är jordtrycket bl a beroende av lerans skjuvhållfasthet. Sålunda kan koefficienten för aktivt jordtryck, som är mindre än vilofjordtrycket, skrivas $K_A = 1 - 2 \tau_f/q_0$, där τ_f är lerans skjuvhållfasthet. Vid små värden på τ_f närmar sig således aktivt jordtryck överlagringstrycket q_0 och ett i stort sett hydrostatiskt tryck uppstår även runt rör med stor styvhet. Detta gäller för fyllning av lös lera som kan förväntas bli tämligen homogen. Återfyllning av fast lera sker däremot normalt i form av lerklumpar där dessa fungerar som kornen i en friktionsjord.

För dimensioneringsändamål föreslås därför att jordtryckskoefficienten K_0 sätts lika med 0,5 för alla återfyllningsmaterial. Därigenom erhålls en viss marginal vid återfyllning med lös lera.

I ekv (7.6) lyder andra termen i nämnaren $0,122 E_s^2$ dvs ett dubbelt så stort värde som motsvarande term i ekv (7.7). För båda ekvationerna är det ursprungliga uttrycket $0,061 \cdot k \cdot r$. I ekv (7.6) avser bäddmodulen k sambandet mellan horisontell rördeformation och det totala horisontella jordtrycket. Genom utvärdering av ett stort antal rörförsök har för denna lastmodell sambandet $k = 2 E_s^2/r$ fastställts, MOLIN 1971. I ekv (7.7) avser k sambandet mellan deformation och horisontaltrycksökning över vilofjordtrycket. För slanka rör är denna ökning ungefär lika med halva totaltrycket. Bäddmodulen k har satts lika med $1,0 E_s^2/r$. Faktorn 1,0 har valts efter analys med Burns-Richard elasticitetsteoretiska metod, för beräkning av tryck och deformationer, se HÖEG, 1966. Teoretiskt erhålls nämligen värden mellan 0,8 och 1,6 vid ingen respektive fri glidning vid rörväggen.

Följande deformationsvärden beräknas enligt ekv (7.6) och ekv (7.7) för PVC-rör med fyllningshöjden 4 m vid läggning i sand utan packning ($\alpha = 180^\circ$) med sekantmodulen $E'_S = 1,0$ MPa, och vid läggning i lera $\alpha = 90^\circ$ med sekantmodulen $E'_S = 0,2$ MPa:

s/D	δ/D			
	$E'_S = 1,0$ MPa		$E'_S = 0,2$ MPa	
	Ekv (7.6)	Ekv (7.7)	Ekv (7.6)	Ekv (7.7)
0,02	4,3	3,9	17,1	13,9
0,03	3,4	2,6	8,8	9,8
0,05	1,6	1,6	2,5	3,0

Som framgår ger ekv (7.6) och ekv (7.7) praktiskt taget lika värden för rör med styvhet motsvarande markavloppsrör klass T eller större. För det slankaste röret ger ekv (7.7) något mindre deformation vid lös kringfyllning.

För en ledning lagd på fast hylla i rörgravsväggen kommer sättningar i den djupa delen av rörgraven vid sidan av hyllan att öka deformationen hos röret på hyllan och att öka lasten på detta rör såsom angivits i avsnitt 7.1. Rörgravsformens och återfyllningens inverkan på deformationer och laster på röret på hyllan är komplicerad och ej i detalj utredd. Ett sätt att approximativt beakta deformationsökningseffekten är att ansätta en reduktionsfaktor på sekantmodulen E'_S för fyllningen. Det synes då vara rimligt att anta att reduktionsfaktorn är en funktion av sättningsskillnaden mellan hyllan och fyllningen på hyllans nivå dividerad med rördiametern, FIG 7.6.

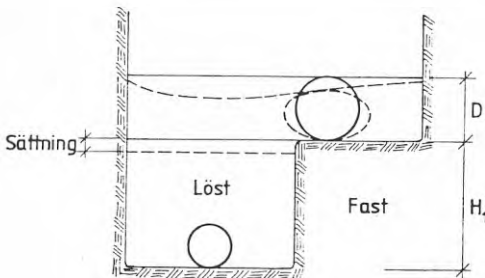


FIG 7.6 Rörgrav med fast hylla

Eftersom sättningens storlek är beroende av rörgravsdjupet H_1 under hyllan föreslås följande uttryck för sekantmodulen för rör på fast hylla:

$$E'_s \text{ hylla} = K_2 \cdot E'_s \quad (7.8)$$

$$K_2 = \frac{1}{1 + c_1 \cdot \frac{H_1}{D}}$$

där c_1 = koefficient främst beroende av fyllningsmaterialet samt av belastnings- och deformationsförhållandena.

Hittills utförda undersökningar av hyllans inverkan på rördeformationen är mycket begränsade varför underlaget för ekv (7.8) är osäkert. Från jordlådeför-söken har emellertid följande ungefärliga värden erhållits på koefficienten c_1 utvärderade ur resultaten från försök nr 5 till 8:

	c_1
Opackad sand	0,5
Lera	1,0-1,5

För packad friktionsjord enligt MarkAMA 72 bedöms c_1 vara liten och kan sättas lika med noll.

Ovanstående värden bedöms kunna användas t v för dimensionering av rör på hylla i fasta jordarter såsom hård moränlera o d. I lösare jordarter minskar värdet på c_1 och hyllans inverkan minskar i motsvarande grad.

För att eliminera den ogynnsamma effekten av fast hylla kan denna utföras så bred att röret ej ligger närmare hyllans kant än 1 à 2 gånger rördiametern.

Inverkan av fast hylla på flexibla rör bör göras till föremål för en särskild studie. Särskilt intressant ter sig möjligheten att använda finit elementmetod för detta ändamål.

7.3 Töjning i ringled

Töjning i rörväggen orsakad av moment i ringled är en funktion av rördeformation, rörstyvhet, kringfyllningens styvhet och jordtryckets fördelning runt röret, MOLIN, 1971. För den i FIG 7.5 föreslagna jordtrycksfördelningen kan följande uttryck härledas för momentet i rörväggen:

$$M = q_0 r^2 (C \cdot b_2 - 0,250K_0) - 0,083E'_s \cdot r \cdot \delta \quad (7.9)$$

Koefficienten b_2 är en funktion av upplagsvinkeln α och har följande värden:

α	Botten b_2	Hjassa b_2
0	0,593	0,299
30	0,466	0,295
60	0,378	0,286
90	0,314	0,274
120	0,276	0,262
180	0,250	0,250

Töjningen i rörväggen beräknas på vanligt sätt enligt följande:

$$\epsilon = \frac{M}{E \cdot W} \quad (7.10)$$

där W = rörväggens motståndsmoment.

För ett slätt rör är $W = s^2/6$ och följande uttryck för töjningen erhålls efter insättning av sambandet mellan belastning och deformation enligt ekv (7.7):

$$\epsilon = 1,5 \left(\frac{\delta}{D}\right) \left(\frac{D}{S}\right)^2 \left(\frac{E'_s}{E}\right) \left[\frac{(S+0,061)(C \cdot b_2 - 0,250K_0)}{C \cdot b_1 - 0,083K_0} - 0,167 \right] \quad (7.11)$$

$$S = \frac{EI}{E'_s \cdot r^3}$$

I TABELL 7.1 jämförs de med ekv (7.11) beräknade töjningarna med de uppmätta vid jordlådeförsöken. I ekv (7.11) har insatts uppmätta värden på δ/D samt de i kap 4 redovisade värdena på E'_s bestämda ur deformationsmätningarna. För de styvaste rören, $s/D = 0,05$, har dock använts de värden på E'_s som erhöles för $s/D = 0,03$. Utvärderingen av E'_s är nämligen mycket osäker för de styvaste rören. Vid beräkning av töjningarna har använts värden på upplagsvinkeln α som bedömts som rimliga med ledning av den uppmätta töjningsfördelningen mellan botten och hjassa för varje rör enligt kap 4.4.3. Vid försöken lades rören utan ledningsbädd direkt på fast schaktbotten i hård lera.

TABELL 7.1 Beräknade och uppmätta töjningar
vid jordlådeförsöken

Försök nr	s/D	Töjning ϵ %		Försök nr	s/D	Töjning ϵ %	
		Ekv(7.11)	Mätt			Ekv(7.11)	Mätt
1. Opackad sand	0,02	0,45 ¹⁾	0,45	5. Opackad sand ₄₎	0,02	0,38 ¹⁾	0,28
	0,03	0,45 ¹⁾	0,34		0,03	0,37 ¹⁾	0,41
	0,05	0,26 ²⁾	0,23		0,05	0,23 ²⁾	0,24
2. Packad lera	0,02	0,51 ¹⁾	0,34	6. Packad lera ₄₎	0,02	0,30 ¹⁾	0,29
	0,03	0,57 ²⁾	0,36		0,03	0,39 ²⁾	0,45
	0,05	0,37 ³⁾	0,28		0,05	0,22 ³⁾	0,22
3. Opackad lera	0,02	1,12 ¹⁾	0,68	7. Opackad lera ₄₎	0,02	1,89 ¹⁾	0,62
	0,03	1,00 ²⁾	0,81		0,03	0,85 ²⁾	0,74
	0,05	0,50 ³⁾	0,44		0,05	0,25 ³⁾	0,27

1) $\alpha = 180^\circ$ 2) $\alpha = 90^\circ$ 3) $\alpha = 60^\circ$ 4) Undre ledning

Som framgår av TABELL 7.1 är överensstämmelsen mellan "beräknade" och uppmätta töjningar mycket god. För de slankaste rören, $s/D = 0,02$, har dock i några fall den uppmätta töjningen varit påtagligt mindre än den beräknade, beroende på att jordtrycksfördelningen för dessa rör blivit gynnsammare än den antagna.

De utförda mätningarna visar att ekv (7.11) med tillfredsställande noggrannhet beskriver sambandet mellan rördeformation och töjning i ringled och kan användas för dimensioneringsändamål.

8. JÄMFÖRELSE MED ANDRA UNDERSÖKNINGAR

8.1 Norska undersökningar

Inom ramen för ett stort forskningsprojekt kallat Prosjekt Rensning Avløpsvann, förkortat PRA, som genomförts i Norge under 1970-talet har också ingått undersökningar av ledningar i mark. HUUN, G. et al., 1976, redovisar undersökningar med flexibla rör i jord. Undersökningarna har omfattat mätning av deformationer och täthet hos drygt 1300 m avloppsledningar av PVC och PEH varav huvudparten ingick i det normala huvudledningsnätet med kringfyllning av sand eller makadam. Ca 300 m av den undersökta ledningslängden bestod dock av experimentledningar med kringfyllning av lera.

Leran utgjordes vanligen av torrskorpelera med vattenkvoten 20-30 vikts-% och olika grader av bearbetning utfördes. I FIG 8.1 återges en sammanställning ur PRA 25, 1978, av uppmätta medeldeformationer efter ett år för rör \varnothing 200 mm av PVC och PEH vid kringfyllning av lera med olika bearbetningsgrader, "dårlig" (ingen bearbetning), "middels" (3 överfarter med tät fottrampning 300 mm och 800 mm över underkant rör) och "god" (3 överfarter med tät fottrampning med lagertjocklekarna 150-200 mm).

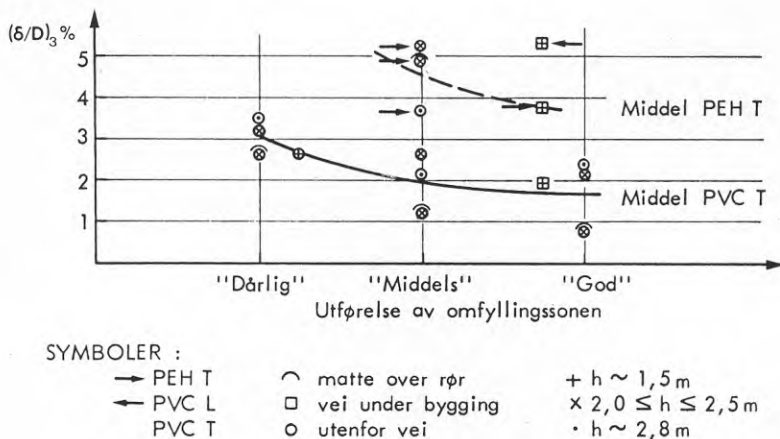


FIG 8.1 Sammanställning av medeldeformationen etter ett år vid kringfyllning med torrskorpelera vid norske undersökningar (enl PRA 25, 1978)

Mätningarna visar en klar inverkan av rörstivheten och att störst deformationer uppmätts för det slankaste röret, PVC klass L, och minst för det styvaste, PVC klass T. Detta resultat stämmer väl med de som erhållits vid försöksfältet vid Björlandavägen (se FIG 5.3).

Enligt de norska observationerna uppstår huvuddelen av deformationsskillnaden mellan de olika rören redan i läggings- och återfyllningsskedet. Deformationsutvecklingen med tiden är sedan ungefär lika. Liknande tendens har observerats vid de egna deformationsmätningarna. Dock är det oklart hur trafikbelastningen varit under mätperioden för de norska ledningarna, en faktor som vid de egna undersökningarna lett till större deformationsökningar för de slanka än för de styvare rören.

Deformationsutvecklingen med tiden redovisas i FIG 8.2 som visar medelvärdet av medeldeformationerna för samtliga ledningar i undersökningen.

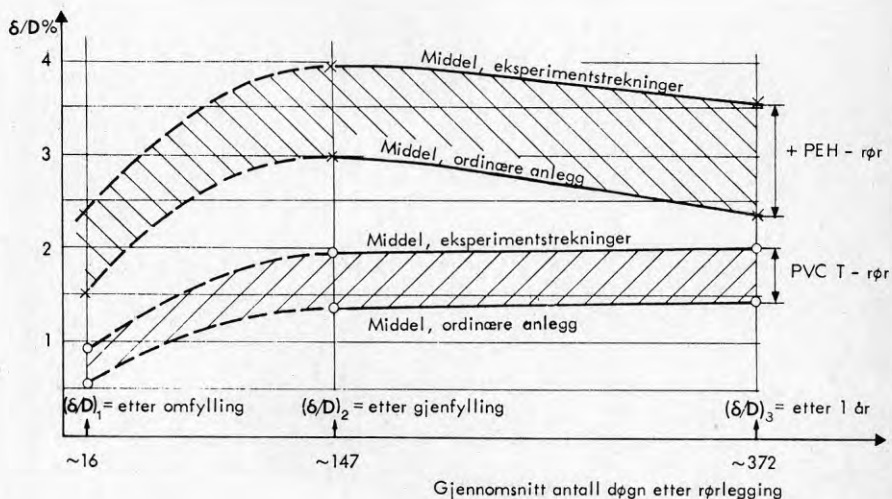


FIG 8.2 Deformationsutvecklingen för plastledningar i norska undersökningar (ur PRA 25, 1978)

För de ordinära anläggningarna består kringfyllningen av friktionsjord och för experimentsträckningarna av lera. Deformationsökningen har som framgår varit mycket liten, t o m negativ, efter ca ett halvt år, ett resultat som överensstämmer med egna mätningar på försöksledningarna i Göteborg. Dock har genom trafiklastens inverkan större

deformationsökningar erhållits för några ledningar i Göteborg. Deformationerna tycks dock ha stabiliserats efter viss tid.

Vid de norska undersökningarna har erhållits lokala punktdeformationer som är 1,5 å 3 gånger högre än medeldeformationerna. Detta stämmer tämligen väl med de egna resultaten som gav maximaldeformationer som var normalt mellan 1,5 och 2 gånger högre än medeldeformationerna, men ett enstaka värde på 2,9 har registrerats. Förhållandet mellan maximal- och medeldeformation bestäms främst av ledningsbäddens eller schaktbottnens jämnhet samt i andra hand av kvaliteten på kringfyllningsarbetet. Överensstemmelsen mellan de norska och svenska undersökningarna på denna punkt måste därför betecknas som överraskande god. Det bör påpekas att i båda undersökningarna saknades ledningsbädd av friktionsjord som kan förväntas reducera maximaldeformationens storlek.

8.2 Finska undersökningar

I Finland har undersökning av plaströr med kringfyllning av lera utförts i stor jordlåda, TAMMIRINNE et al. (1979). Vid dessa undersökningar utfördes deformations- och jordtrycksmätningar på rör av PVC och PEH i dimension \varnothing 400 och med olika styvhetsklasser. Rörlängderna var 1,3 m och 1,9 m och fyllningshöjden uppgick till 1,4 m och 3,2 m. Ingen trafiklast ingick i dessa försök. Kringfyllningen utgjordes av grus, silt (vattenkvot 27 vikts-%), torrskorpelera (vattenkvot 31 vikts-%) och lös lera (vattenkvot 58-95 vikts-%). All kringfyllning packades, grus och torrskorpelera med handstamp och silt och lös lera genom fottrampning.

Deformationsmätningarna visade att genomgående små deformationer erhöles för samtliga provade rörstyvheter vid kringfyllning med grus, silt och torrskorpelera. Deformationerna var mindre än 1 % och någon nämnvärd deformationsökning med tiden ägde inte rum för dessa rör. Deformationens storlek var också i stort sett oberoende av rörstyvheten. Detta resultat stämmer väl med tidigare undersökningsresultat med plaströr i fasta jordarter.

För rör med kringfyllning av lös lera ökade emellertid deformationen i flertalet fall (3 av 4) kontinuerligt med tiden (i halvlogaritmiskt diagram). Deformationen ökade för rör av klass L och T från initialvärdet 0,5-1,0 % vid läggningstillfället till 3-4 % efter ca 800 dygn.

Ur deformations- och jordtrycksmätningarna har kringfyllningens deformationsmodul beräknats som förhållandet mellan horisontellt jordtryck och horisontell rördeformation. Följande värden redovisas:

Grus	23 MPa
Silt	7 MPa
Torrskorpelera	3-7 MPa
Lös lera	2-3 MPa

Ovan angivna värden är laboratorievärden och enligt Tamminne är dessa värden ungefär dubbelt så stora som värden mätta under fältförhållanden. Vid de egna mätningarna har värden på sekantmodulen E'_s vid kringfyllning med lös lera varierat mellan 0,2 och 0,8 MPa, värden som är något lägre än vad som kunde förväntas med ledning av de finska försöken. De lägre egna värdena torde främst bero på att dessa erhållits från ledningar i fält med kringfyllning av osorterad lös lera och torrskorpelera utan någon kontrollerad bearbetning eller packning. Därjämte kan inverkan av grundvatten och trafiklast ha bidragit till de lägre fältvärdena.

8.3 Amerikanska undersökningar

Under 1970-talet har studier angående flexibla rör i mark genomförts vid Bureau of Reclamation. Studierna har omfattat dels egna mätningar plast- och stålrör vid belastning i jordlåda och i fält, dels analys av deformationsmätningar från ett stort antal äldre ställedningar i USA. Undersökningarna har redovisats i bl a HOWARD-SELANDER, 1974 och HOWARD, 1977.

Vid lådförsöken, som utfördes på rör av stål, PVC, PEH och RPM (Reinforced Plastic Mortar, dvs glasfiberarmerad, sandfylld polyester), undersöktes kringfyllning av sand och lera. Leran, som är av speciellt intresse i detta sammanhang, var en sandig, siltig lera med flygräns ca 27 % och plasticitetsindex 15. Vattenkvoten vid försöken var 11-12 vikts-%, vilket innebär att vattenkvoten var ungefär lika med den optimala vid instampningsförsök enligt Standard Proctor. Vid försöken i jordlådan packades leran med mekaniskt packningsredskap till packningsgraderna 90 % och 100 % Standard Proctor. Denna packningsgrad är väsentligt högre än den som utfördes vid de egna försöken med torrskorpelera i jordlådan.

I FIG 8.3 visas resultat från lådförsöken med RPM-rör med $EI/r^3 = \text{ca } 30 \text{ kPa}$ och kringfyllning av lera med olika packningsgrad.

Formen på deformationskurvorna stämmer väl med de som erhållits vid de egna försöken. Deformationen vid 90 % packningsgrad (motsvarande densiteten $1,82 \text{ t/m}^3$ för den använda leran) uppgår vid belastningen 80 kPa till ca 2 %. Vid de egna försöken uppmättes vid packad lera ca 3 % deformation och densiteten hos kringfyllningen var då ca $1,7 \text{ t/m}^3$. Med beaktande av skillnaden i densitetsvärdena stämmer således egna och amerikanska försöksvärdena väl överens.

Baserat på mätningar och analyser av äldre ledningar föreslår Howard de i TABELL 8.1 angivna värdena på den passiva jordtrycksmodulen E' i Iowaformeln att användas för beräkning av rördeformationen omedelbart efter läggning. Modulen E' har erhållits ur Spanglers formel som ger ungefär dubbelt så höga värden som vid utvärdering ur ekv (7.6). För att få lika rördeformation skall således modulen E' i Spanglers formel vara dubbelt så stor som sekantmodulen E'_s i ekv (7.6) och ekv (7.7).

TABELL 8.1 Jämförelse av rekommenderade korttidsvärden på modulen för kringfyllning av lera

	Modul för kringfyllningen, MPa			
	Opackad		Packad	
	Howard E'	Eget E' _s	Howard E'	Eget E' _s
Lös lera	0	0	0	0
Fast lera	0,3	0	1,4	0,5

Som framgår av tabellen är överensstämmelsen mellan rekommenderade värden tämligen god mellan Howards och de egna värdena eftersom E'_s skall dubbleras vid jämförelse med E'.

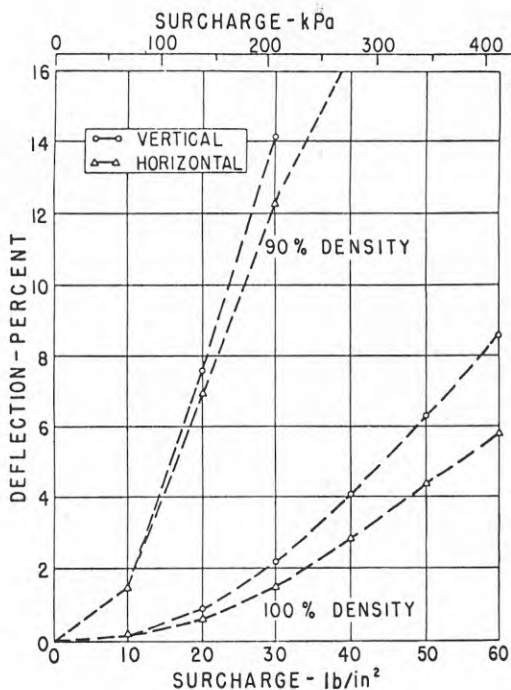


FIG 8.3 Uppmätta deformationer vid försök i jordlåda med RPM-rör ($EI/r^3 = \text{ca } 30 \text{ kPa}$) och kringfyllning av sandig, siltig lera. Packningsgrader refererar till Standard Proctor (enligt HOWARD, 1977).

De i TABELL 8.1 angivna värdena avser medeldeformationen för en ledningssträckning. Howard anger att normalt variationsområde mellan största och minsta deformationsvärde är + 2 % omkring medelvärdet enligt amerikanska erfarenheter. De egna undersökningarna i Sverige visar att variationen här kan vara större särskilt vid kringfyllning med lera. Den egna rekommendationen är därför att maximaldeformationen beräknas som 1,5 å 2 gånger medeldeformationen. Detta leder i allmänhet till något större maximaldeformation än Howards anvisning. Detta kan spegla skillnader i utförandep Praxis i USA och Sverige.

9. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

9.1 Undersökningsresultat

Huvudslutsats

- Undersökningen har visat att kringfyllning av lera kan användas för plaströr i jord. Rören måste dock dimensioneras för de belastningsfall som uppstår till följd av fyllningens speciella egenskaper på kort och lång sikt.

Rörlastens storlek

- Vertikala rörlastens storlek har vid försöken varit beroende av rörets styvhet. Större last har uppmätts på de styva än på de slanka rören. Sålunda har för markavloppsrör av PVC klass T ($s/D = 3\%$) uppmätt vertikallast varit något lägre än tyngden av ovanförliggande jordpelare medan vertikallasten för ett styvare rör, PVC NT 10 ($s/D = 5\%$), uppmätts till ca 1,3 gånger jordpelarens tyngd. Kort tid efter läggning var dock rörlasterna ungefär lika för de båda rörstyvheterna och uppmätt maximal last för det styvare röret erhöles först efter 2,5 år.

Någon påtaglig inverkan av kringfyllningen har ej kunnat påvisas vid de utförda fältförsöken. Detta kan dock bero på att skillnaden i packningsgrad och styvhet ej varit särskilt stor vid de olika försöksledningarna.

- Beräkning av vertikallastens storlek på ett flexibelt rör i enkel rörgrav rekommenderas ske enligt ekv (7.3) som beaktar såväl rörets som kringfyllningens styvhet. Dock rekommenderas att vertikallasten av jord aldrig väljs lägre än egenvikten av ovanförliggande jordpelare.
- Rör på hylla i osymmetrisk rörgrav erhöles i allmänhet något större last än röret vid sidan av hyllan vid återfyllning med lera. Belastningen för ett rör på fast hylla föreslås därför beräknas enligt ekv (7.5) då kringfyllning utförs med lera. Vid kringfyllning med sand kan rörlasten beräknas som vid läggning i enkel rörgrav.

Samverkan rör/kringfyllning

- Den allmänt vedertagna beräkningsmodellen för flexibla rör i jord baseras på Spanglers antaganden om samverkan rör/kringfyllning som utgår från direkt proportionalitet mellan det horisontella jordtrycket mot rörsidorna och den horisontella diameterns förlängning vid rörets deformation, FIG 7.4. Denna modell har visats vara fullt användbar för slanka rör.

För styvare rör leder modellen till att horisontaltrycket blir litet och vid helt styvt rör t o m lika med noll. Detta strider mot beräkningspraxis för

styva rör då med vissa undantag ett horisontaltryck motsvarande vilojordtrycket beaktas.

Därför föreslås att en modifierad beräkningsmodell enligt FIG 7.5 istället läggs till grund för dimensioneringsförfarandet för flexibla rör i jord med giltighet oberoende av rörstyvhet. Endast den del av horisontaltrycket, som överstiger vilojordtrycket, antas vara proportionell mot rördeformationen.

De olika beräkningsmodellerna baseras på något olika definitioner av jordens sekantmodul E'_s . I det förra fallet gäller E'_s vid ökning av trycket från noll upp till aktuellt värde medan i det senare fallet E'_s gäller för en tryckökning från vilojordtryck upp till aktuellt horisontaltryck. I praktiken torde skillnaden mellan dessa värden vara liten och samma värde på E'_s föreslås gälla i båda fallen.

Vid dimensionering föreslås att rördeformationen beräknas enligt ekv (7.7) och töjningarna i ringled enligt ekv (7.11).

Deformation i ringled, korttid

- Deformationerna i ringled har i samtliga fall varit mindre än de beräknade utan sidostöd. I samtliga fall har således kringfyllningen haft en reducerande inverkan på rördeformationen.
- Rörstyvheten har som väntat haft en klar inverkan på rördeformationen så att minst deformation erhållits för de styvaste rören.
- För mycket slanka rör har genom inverkan av tung trafik och kringfyllning med lera en deformationsfigur som markant avviker från ellipsformen erhållits. Sålunda har en utpräglad avplattning vid rörhjässa observerats samtidigt som den horisontella rördiametern förblivit oförändrad eller minskat sin längd. Denna effekt har ej observerats vid tidigare försök med slanka rör i sand och ej heller för rör med en styvhet som minst svarar mot PVC klass T ($s/D = 3 \%$) vid läggning i lera. Rör under ytor med tung trafik bör därför vid läggning i lera ej ha mindre styvhet än PVC klass T.
- Vid lådförsöken har ungefär lika rördeformationer erhållits vid kringfyllning av opackad sand som vid kringfyllning av packad torrskorpelera (t ex 6 % för rör PVC klass L). Kringfyllning med opackad torrskorpelera har givit väsentligt större rördeformation (t ex större än 13 % för PVC klass L).
- För rör med en styvhet som minst motsvarar PVC klass T

har ungefär samma korttidsdeformation erhållits vid kringfyllning med lös lera som med sand (1 % - 2,5 %). Opackad torrskorpelera har däremot givit något högre korttidsdeformation (4 %).

Deformationsökningen under mätperioden 1100 dygn vid försöksfältet var i genomsnitt 50-60 % av 30 dygnsvärdet vid kringfyllning med lera och 20-30 % vid kringfyllning med sand.

- Packning av kringfyllning av lös lera har endast haft begränsad inverkan på rördeformationerna. Packning vid kringfyllning av torrskorpelera har däremot medfört avsevärt lägre rördeformation än vid opackad kringfyllning.
- Vid deformationsmätning av långa ledningssträckor varierar deformationsvärdena längs ledningen. Medeldeformationen kan då anses spegla främst kringfyllningens kvalitet (material och medelpackning) medan spridningen i deformationsvärden främst är ett resultat av arbetsutförandets kvalitet (ojämn ledningsbädd och variationer i kringfyllningsarbetet).

För de undersökta ledningssträckorna i Göteborg uppgick medeldeformationen efter läggning vid kringfyllning med blandade schaktmassor av lös lera och torrskorpelera till mindre än 5 %. Fyllningshöjden varierade mellan 1,6 och 3,3 m och rören utgjordes av PVC klass T.

För ledningar med kringfyllning av lös lera och torrskorpelera uppgick för försöksledningarna maximaldeformationen till 1,5 å 2 gånger medeldeformationen.

För ledningar där kringfyllningen innehållit sten och frusna klumpar har deformationstoppar på upp till 4 gånger medeldeformationen uppmätts.

Spontdragning i smal rörgrav med återfyllning av lös lera har ej haft någon märkbar effekt på rördeformationen.

Långtidsdeformationer

- Medeldeformationerna ökar med tiden dels beroende på krypning i rörmaterialet, dels beroende på krypning och omlagringar i kringfyllningen under inverkan av jord- och trafiklasten samt grundvatten.

För försöksledningarna i Göteborg med kringfyllning av lera har deformationsökningarna under mätperioden, ca 2 år, varit överraskande små och uppgått till ca 2 %. Deformationen tycks ha stabiliserats på en ungefär konstant nivå efter 0,5-1 år.

- Uppmätta maximaldeformationsvärden är mycket osäkra. Dock motsäger inte mätningarna antagandet att stora lokala deformationstoppar ökar med tiden i högst samma takt som medeldeformationen. Detta beror på att de-

formationstopparna i allmänhet mer orsakats av ojämnt underlag än av låg kvalitet hos kringfyllningen.

Töjningar i ringled

- Vid lådförsöken har vid belastning motsvarande ungefär 4 m fyllningshöjd töjningarna i PVC-rören understigit 0,5 % i samtliga fall då kringfyllning utförts av sand. Vid kringfyllning av lera var töjningarna 0,4 % (0,8 %) med packning och 0,8 % (1,4 %) utan packning. Siffror inom parentes avser rör på hylla.
- Ungefär samma töjningar har uppmätts för PVC-rör med $s/D = 2$ % som för rör med $s/D = 3$ %. Den större styvheten hos det senare röret har således medfört en deformationsminskning som varit tillräcklig för att kompensera den ökade töjningsbenägenheten orsakad av den större vägg tjockleken. För det styvaste röret med $s/D = 5$ % var töjningarna i allmänhet påtagligt lägre än för de båda andra rören.
- Töjningarna i rörväggen är starkt beroende av upplagsvinkelns storlek vid rörbotten. Mätningarna i jordlådan indikerar att vid läggning på fast schaktbotten utan ledningsbädd upplagsvinkeln varierar mellan 180° och 90° för rör med olika styvhet vid kringfyllning av sand och mellan 180° och 60° vid kringfyllning av lera. De lägre värdena avser rör med stor styvhet.

Sekantmodulen E'_s

- Följande sammanställning kan göras över värden på E'_s som erhållits dels vid kompressionsförsök i kompressometer på fyllningsmaterialet, dels vid utvärdering av E'_s ur uppmätta rördeformationer:

	Sekantmodulen E'_s , MPa			
	Kompresso- meter	Låd- försök	Försöks- fält	Försöks- ledning
Opackad sand				
Korttid	0,8	0,7	0,3	-
Långtid	-	-	0,3	-
Packad torrskorpelera				
Korttid	0,8	0,5	-	-
Långtid	-	-	-	-
Opackad torrskorpelera				
Korttid	0,2	0,1	0,3	-
Långtid	-	-	0,3	-
Packad lös lera				
Korttid	-	-	0,4	-
Långtid	-	-	0,3	-
Opackad lös lera				
Korttid	-	-	0,4	0,3
Långtid	-	-	0,3	0,2

De ovan angivna värdena avser representativa lägsta-
värden för medeldeformationerna för de olika fyllnings-
alternativen. Avvikelsen från dessa värden kan dock
vara avsevärd, i synnerhet vid fältmätningarna.

För försöksledningarna, som delvis kringfyllts med en
blandning av fast och lös lera utan packning, har kort-
tidsdeformationer svarande mot $E'_S = 0$ uppmätts i några
fall. Vid mätning efter ca 2 år har i dessa fall
sekantmodulen dock ökat genom att kringfyllningen med
tiden stabiliserats och blivit fastare och rördeforma-
tionen ökat genom krypning i rörmaterialet. Ett rim-
ligt långtidsvärde för denna typ av kringfyllning be-
döms vara $E'_S = 0,2$ MPa för rör med krypegenskaper lik-
nande PVC.

- För rör lagda på fast hylla och med kringfyllning av
lös lera skall sekantmodulen reduceras enligt ekv (7.8).
Vid kringfyllning med packad sand kan dock samma
värden användas som för ledning i enkel rörgrav.

Bred rörgrav

- Bred rörgrav (5 x rördiametern) i lös lera och kring-
fyllning av sand har vid försöken ej givit lägre
rördeformationer än smal rörgrav. Det synes därför
ej vara motiverat att bibehålla anvisningen i Mark-
AMA om en rörgravsbredd av 5 x rördiametern i lös lera
eller lös silt. Normala typsektioner bör istället an-
vändas för rörgravar även i dessa jordarter. Dock
bör rörgravsbredden ej understiga 3 x rördiametern vid
kringfyllning av sand vilket för större rördimensioner
kan medföra en viss ökning av rörgravsbredden jämfört
med MarkAMAs typsektioner.

9.2 Dimensioneringsanvisningar för plaströr i lera

Med hjälp av de i tidigare avsnitt angivna formlerna kan
deformationer och påkänningar i röret beräknas för dimen-
sionerande förhållanden.

9.2.1 Rörgrav i lös lera

För rör i lös lera med kringfyllning av lös lera eller
opackad torrskorpelera föreslås följande dimensionerings-
förutsättningar gälla:

- Dimensionerande deformation och töjning
kort tid efter återfyllning beräknas med
 $E'_S = 0$. Upplagsvinkel $\alpha = 90^\circ$ och jord-
tryckskoefficienten $K_0 = 0,5$.
- Medeldeformation och töjning efter 50 år
beräknas med $E'_S = 0,2$ MPa för rör av PVC
eller PEH och med $E'_S = 0$ för rör av GAP.
Dimensionerande deformation antas uppgå till
1,5 gånger medeldeformationen. Upplags-
vinkel $\alpha = 90^\circ$.

I FIG 9.1 och 9.2 visas beräknade deformationer och töjningar för PVC-rör dels kort tid efter läggning, $E = 3000$ MPa, dels efter 50 år, antaget värde $E = 800$ MPa. I FIG 9.3 och 9.4 visas detsamma för PEH-rör med ansetta värden 600 MPa och 100 MPa som korttids- respektive långtidsvärden för E . Kurvorna har beräknats med antagande av att densiteten för återfyllning av lera är $1,6 \text{ t/m}^3$ och att fyllningen överst består av en $1,0$ m tjock vägöverbbyggnad av friktionsjord med densiteten $1,9 \text{ t/m}^3$. Följande laster har då erhållits för olika fyllningshöjder:

$H = 1,0-2,5$ m	$q_0 = 0,049$ MPa	(jord + axeltryck 70 kN)
$H = 1,5-2,5$ m	$q_0 = 0,049$ MPa	" " 140 kN)
$H = 1,0-4,0$ m	$q_0 = 0,067$ MPa	" " 140 kN)
$H = 1,0-6,0$ m	$q_0 = 0,099$ MPa	" " 140 kN)

Minsta värde på erforderlig rörstyvhet bestäms av risken för buckling. I MOLIN 1971, anges metod för beräkning av bucklingstrycket. För rör med kringfyllning av lera antas att fyllningens tangentmodul är $0,2$ MPa och med hänsyn till de stora deformationerna väljs den formella säkerhetsfaktorn till 3. I FIG 9.2 och 9.4 har inlagts en gränslinje för buckling som sammanbinder de punkter på respektive kurva som svarar mot beräknad minsta rörstyvhet med hänsyn till buckling. Beräkningsmetoden är approximativ och verklig säkerhetsfaktor efter 50 år är lägre än den formella.

Under förutsättning att deformationen ca 15 % efter lång tid kan accepteras med hänsyn till funktion och fogtät-het samt att långtidstöjningar av storleksordningen drygt 2 % för PVC och ca 5 % för PEH kan tillåtas erhålls följande krav på minsta s/D vid kringfyllning med opackad lös lera och torrskorpelera vid maximalt $2,5$ respektive $4,0$ m fyllningshöjd:

Fyllningshöjd	Vägg tjocklek/diameter, s/D	
	PVC	PEH
1. $H < 2,5$ m	0,03	0,06
2. $H < 4,0$ m	0,04	0,08

För det första fallet har förutsatts att endast lätt trafiklast normalt förekommer. Det andra fallet inkluderar normal tung trafik. Vid större fyllningshöjd än 4 m eller under trafikleder med tät, tung trafik bör kringfyllning utföras med sand.

Vid kringfyllning med sand beräknas långtidsvärdet för rörets medeldeformation och töjning med 50 % av de värden på E' som anges i FIG 9.5. Upplagsvinkeln $\alpha = 180^\circ$ och jordtryckningskoefficienten $K_0 = 0,5$.

Med hänsyn till svårigheten att packa kringfyllningen då rörgravsbotten och schaktsidorna består av lös lera bör

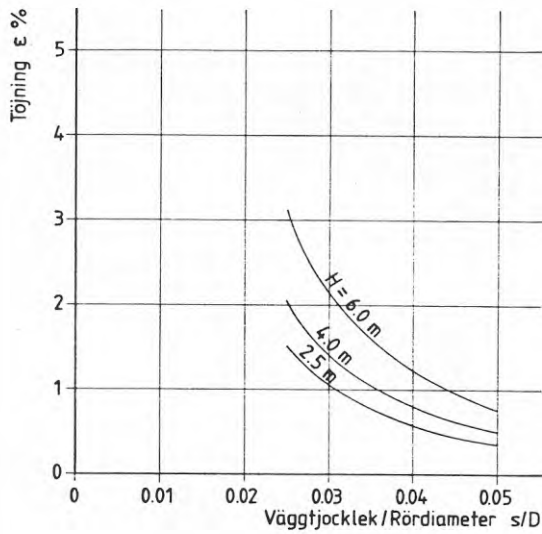
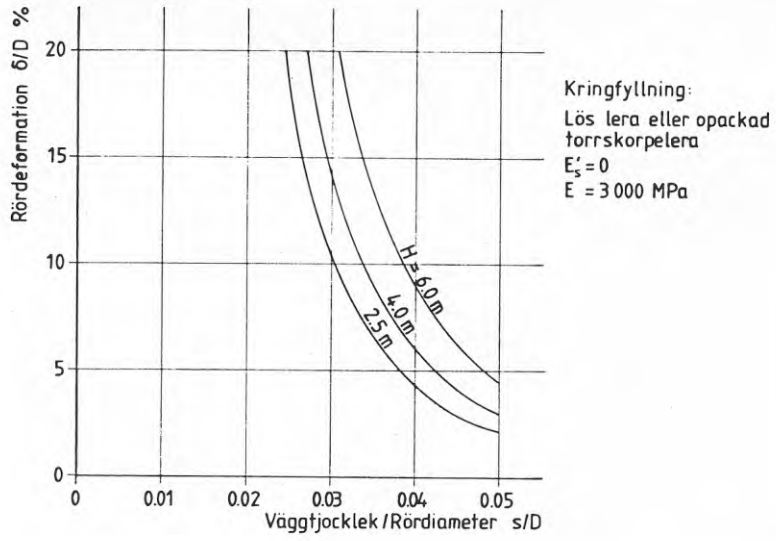


FIG 9.1 Beräknad deformation och töjning för PVC-rör i lös lera. Korttidsvärden.

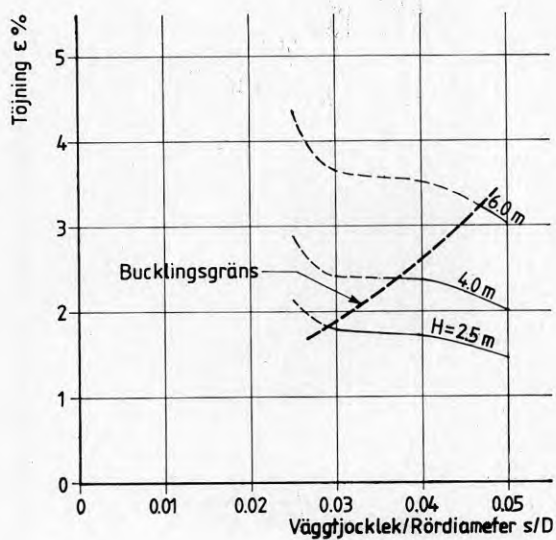
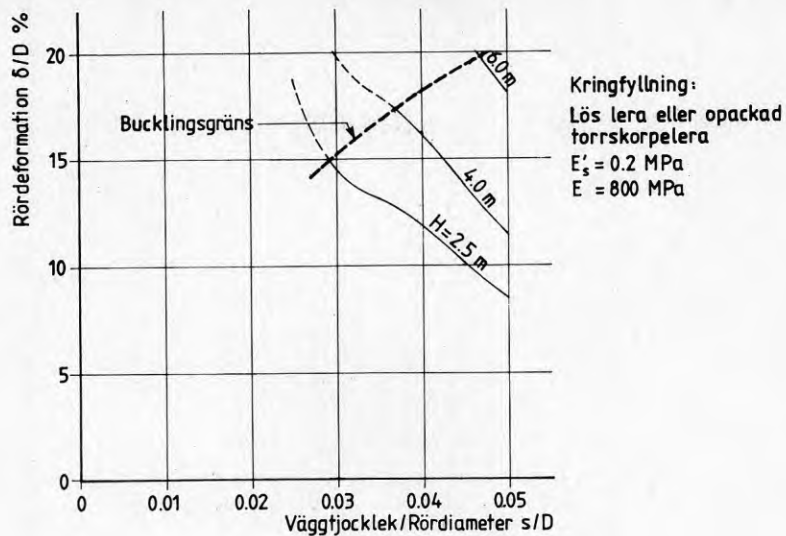


FIG 9.2 Beräknad deformation och töjning för PVC-rör i lös lera. Långtidsvärden.

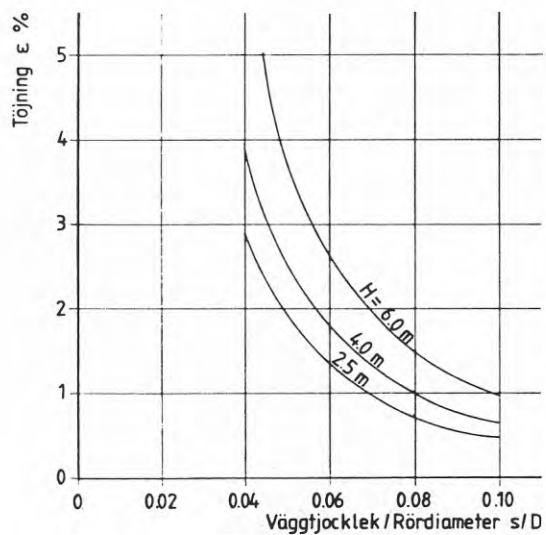
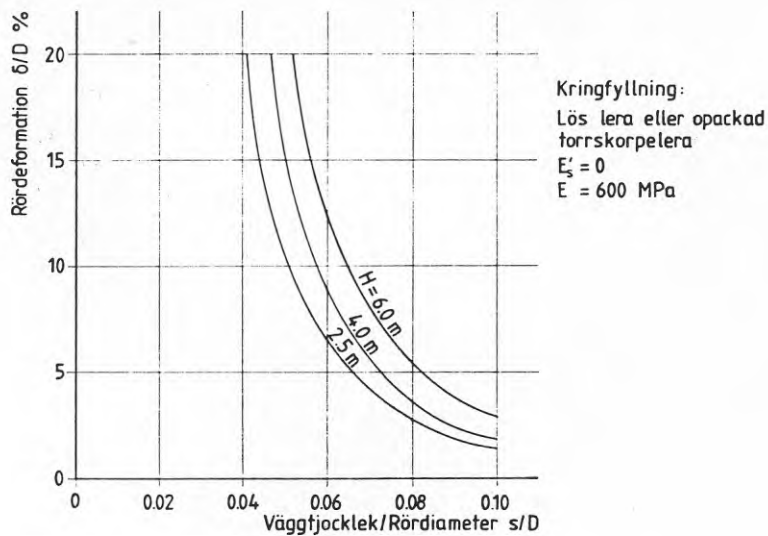


FIG 9.3 Beräknad deformation och töjning för PEH-rör i lös lera. Korttidsvärden.

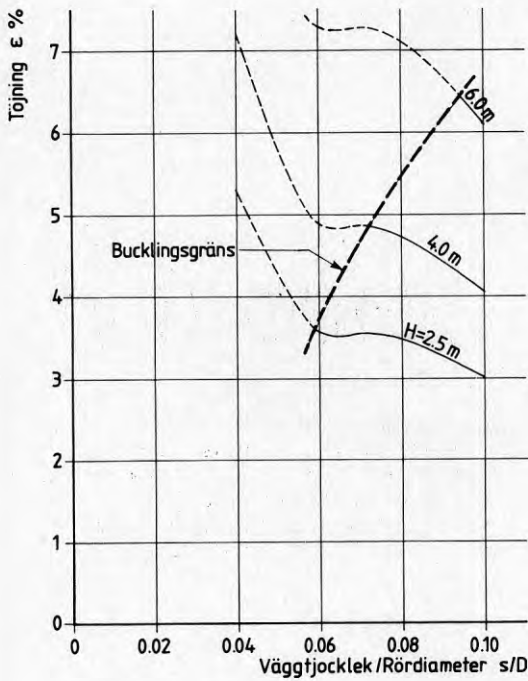
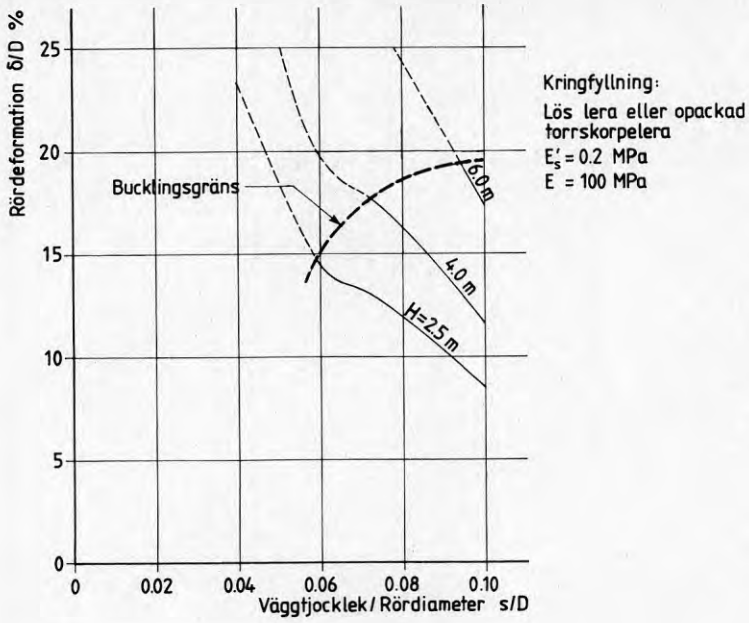


FIG 9.4 Beräknad deformation och töjning för PEH-rör i lös lera. Långtidsvärden.

ett lågt värde på packningsgraden väljas, normalt ej över 80 % Mod Proctor.

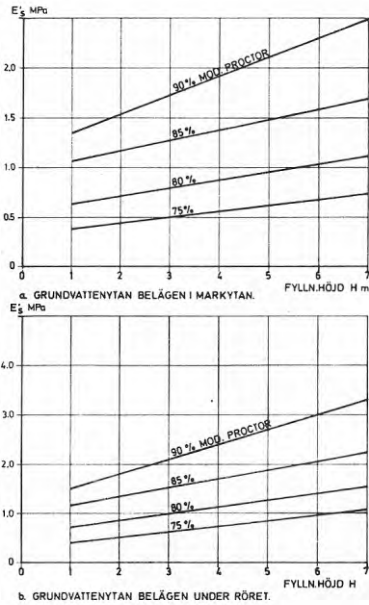


FIG 9.5 Sekantmodulen E'_s för friktionsmaterial enligt MOLIN, 1971

Dimensionerande deformation antas uppgå till 1,5 gånger medeldeformationen. Rörgraven bör vid återfyllning med sand ha bredden 3 x rördiametern, dock minst det värde som anges i MarkAMAs typsektioner.

9.2.2 Rörgrav i fast lera

Vid rörgrav i fast lera, varmed här menas lera med skjuvhållfasthet större än 50 kPa, antas att återfyllning sker med fast lera eller sand. Följande förutsättningar föreslås gälla vid dimensionering av rör i fast lera vid kringfyllning av lera respektive sand under förutsättning att ledningsbädd av min 15 cm sand utförs:

	Lera		Sand
	Opackad	Packad	
Medel- deformation			
Korttid	$E'_S = 0$	$E'_S = 0,5$	$E'_S = \text{enl FIG 9.5}$
$\delta_{\text{dim}}/\delta_{\text{medel}}$	1,5	1,5	1,5
Långtid	$E'_S = 0,2^1)$	$E'_S = 0,3$	$E'_S = 50 \% \text{ av FIG 9.5}$
$\delta_{\text{dim}}/\delta_{\text{medel}}$	1,5	1,5	1,5
Upplagsvinkel α	90°	90°	180°
Jordtrycks- koefficient K_o	0,5	0,5	0,5

1) Gäller för PVC och PEH. För GAP sätts $E'_S = 0$

Ovan angivna förutsättningar gäller för rör i rörgrav utan hylla och för rör på hylla om antingen återfyllning upp till hyllans nivå utförs med sand som packas till packningsgraden 90 % eller hyllan utförs så bred att avståndet mellan hyllans kant och rörvägg är minst lika med 1,5 x rördiametern. I annat fall ökas vertikallasten och minskas sekantmodulen enligt de riktlinjer som anges i kap 7.1 och 7.2

Om ledningsbädd ej utförs blir upplagstrycket ojämnare fördelat i såväl ringled som längdled. För detta fall bör följande förutsättningar tillämpas:

	Lera		Sand
	Opackad	Packad	
Medel- deformation			
Korttid	$E'_S = 0$	$E'_S = 0,5$	$E'_S = \text{enl FIG 9.5}$
$\delta_{\text{dim}}/\delta_{\text{medel}}$	2	2	2
Långtid	$E'_S = 0,2^1)$	$E'_S = 0,3$	$E'_S = 50 \% \text{ av FIG 9.5}$
$\delta_{\text{dim}}/\delta_{\text{medel}}$	1,5	1,5	1,5
Upplagsvinkel α			
PVC s/D = 0,03	90°	90°	180°
PVC s/D = 0,05	60°	60°	90°
Jordtrycks- koefficient K_o	0,5	0,5	0,5

1) Gäller för PVC och PEH. För GAP sätts $E'_S = 0$

För andra värden på s/D för PVC och för andra rörmaterial får interpoleras mellan de angivna värdena. För andra rörmaterial än PVC framräknas ett fiktivt värde på s/D för ett PVC-rör med samma korttidsstyvhet som det aktuella röret.

10. REFERENSER

- HOWARD K - SELANDER C E, 1974: Laboratory load tests on buried reinforced thermosetting, thermoplastic and steel pipe.
Journal AWWA, sept 1974
- HOWARD K, 1977: Modulus of soil reaction (E') values for buried flexible pipe.
Bureau of Reclamation. REC-ERC-77-1.
Denver 1977
- HUUN G - BÖYUM Å - EGGESTAD Å, 1976: Undersökelse av ledningar lagt av fleksible rör.
Prosjektrapport for PRA 4.3
Oslo vann- og kloakvesen, Oslo 1976
- HÖEG K, 1966: Pressure distribution on underground structural cylinders.
MIT/AF Weapons Lab. NM. Technical report
AFWL-TR-65-98, 1966
- JANSON J-E, 1965: Undersökning avseende belastningar på styva rör i mark.
Kungl Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen,
P181, Stockholm 1965
- KOSKI L, 1972: Relaxation measurements of plastic pipes.
Rapport vid NUVGs seminarium 3,
Stockholm 1972
- KRIZEK R J - PARMELEE R A - KAY J N - ELNAGGAR H A, 1971: Structural analysis and design of pipe culverts.
Highway Research Board.
Report nr 116. Washington 1971
- KRIZEK R J - KAY J N, 1972: Material properties affecting soil-structure interaction of underground conduits.
Highway Research Record, No 413,
Washington 1972
- MOLIN J, 1967: Flexibla rör i jord.
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1967
- MOLIN J, 1971: Dimensioneringsprinciper för plast-rör i jord.
Svenska Vatten- och Avloppsverks-föreningen, publikation VAV P16, 1971
- MOLIN J, 1973: Plaströr i leriga jordarter.
Delrapport. Etapp 1.
BFR Projekt nr 730015-1.
VBB Malmö 1973

- MOLIN J, 1975: Deformationer hos markförlagda självfallsledningar av PVC och PEH.
BFR-projekt 720205-9F 1031,
Sveriges Plastförbund, 1975
- MOLIN, J - OLOFSSON D, 1978: Speciella belastningsfrågor för armerade betongrör i mark.
Utredningsetapp 2. Fältförsök vid Hyllie vattentorn i Malmö.
BFR-projekt 740523-8. VBB Malmö 1978
- NIELSON F D, 1972: Experimental studies in soil-structure interaction.
Highway Research Record, No 413.
Washington 1972
- PARMELEE R A - COROTIS R B, 1972: The IOWA deflection formula: an appraisal.
Highway Research Record, No 413.
Washington 1972
- PRA 25, 1978: Legging av avlöpsledningar.
Prosjektkomiteén for rensning av avløpsvann. Oslo 1978
- ROBERTS J, 1971: Structural design of flexible sewer pipes. Journal of Water Pollution.
Control Federation, Vol 43 (1971) No 9
- SPANGLER M G, 1941: The structural design of flexible pipe culverts.
Iowa Engineering Experiment Station,
Bulletin No 153, 1941
- TAMMIRINNE M - JÄÄSKELÄINEN H, 1979: Deformation of plastic pipes in finegrained soils.
Int. Conf. on Soil Mech., Tokyo 1979
- VAV M15, 1971: Avloppsrör av PVC, PEH och PEL för självfallsledningar i mark.
Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen,
meddelande VAV M15, 1971
- WATKINS R K - MOSER A P, 1971: Response of corrugated steel pipe to external soil pressures.
Highway Research Record, No 373.
Washington 1971

BILAGA A

Mätresultat från försök
i jordlåda

Rördeformationer
Töjningar
Jordtryck

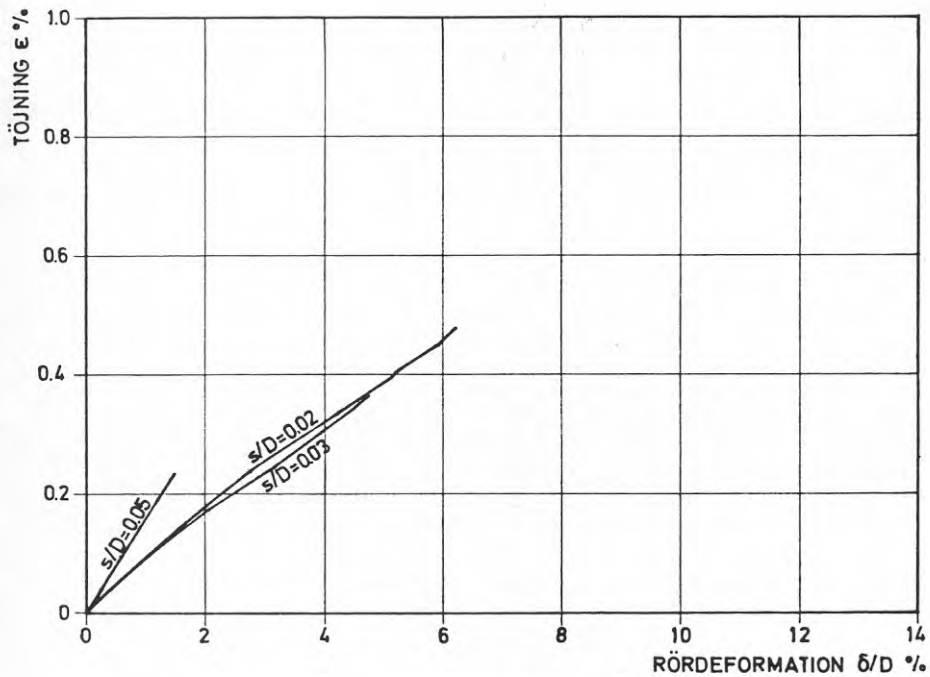
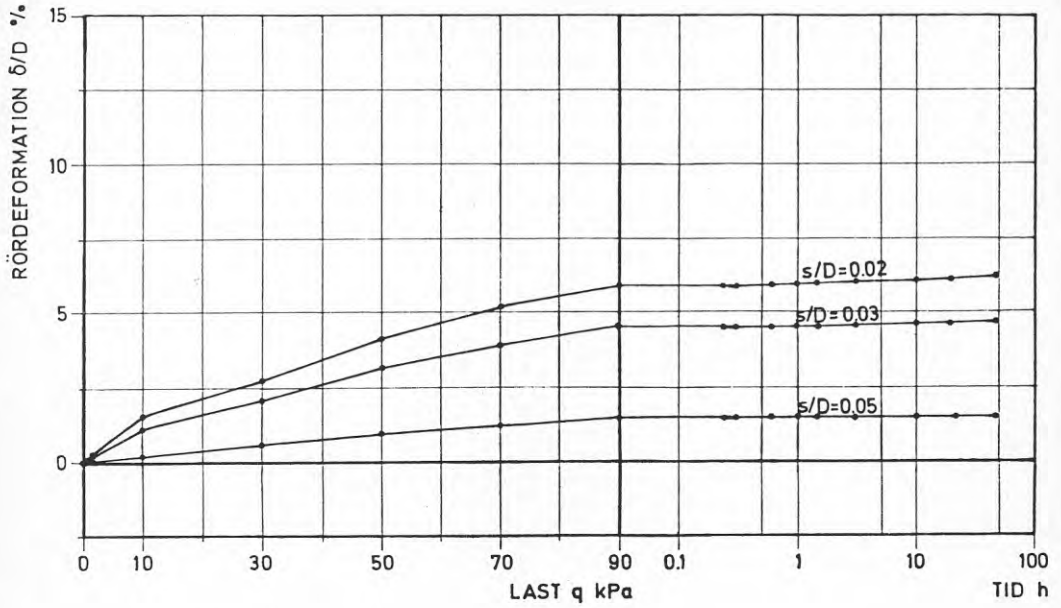


FIG A.1 Jordlåda. Försök nr 1, PVC-rör, opackad sand. Rördeformationer och töjningar.

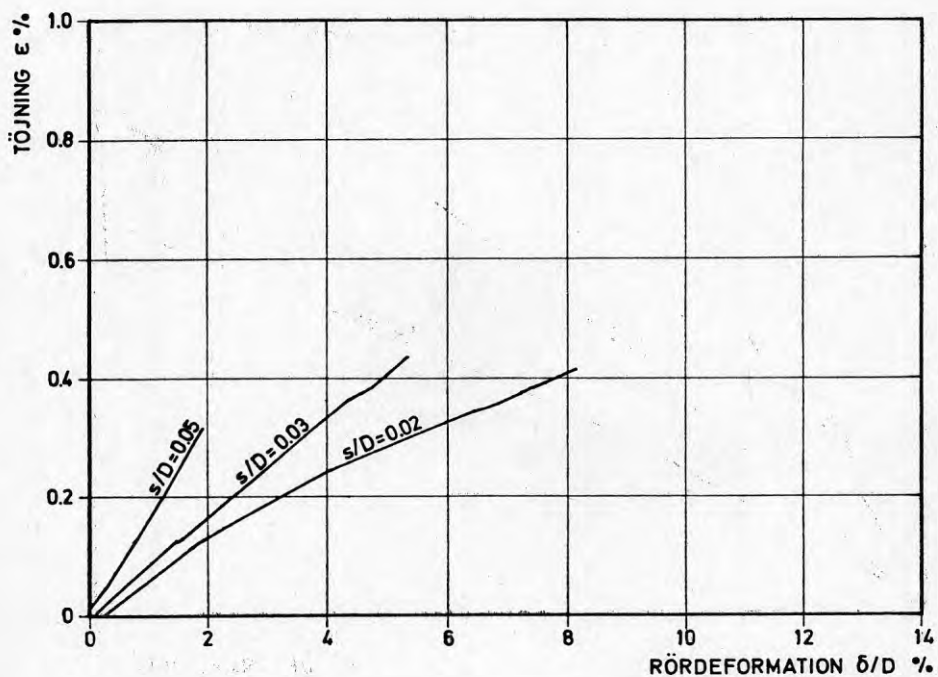
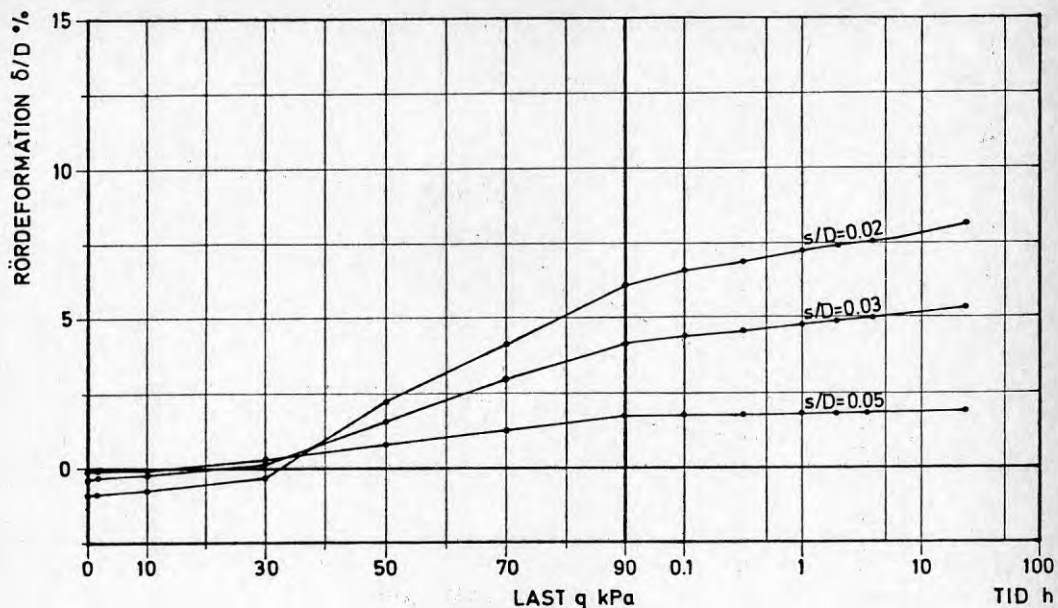


FIG A.2 Jordlåda. Försök nr 2, PVC-rör, packad lera. Rördeformationer och töjningar.

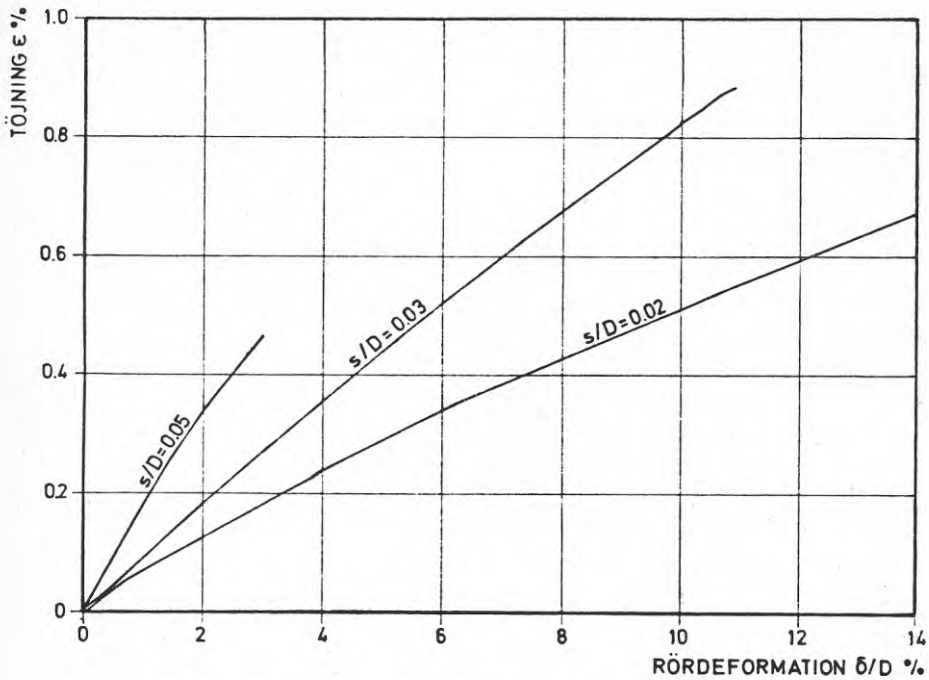
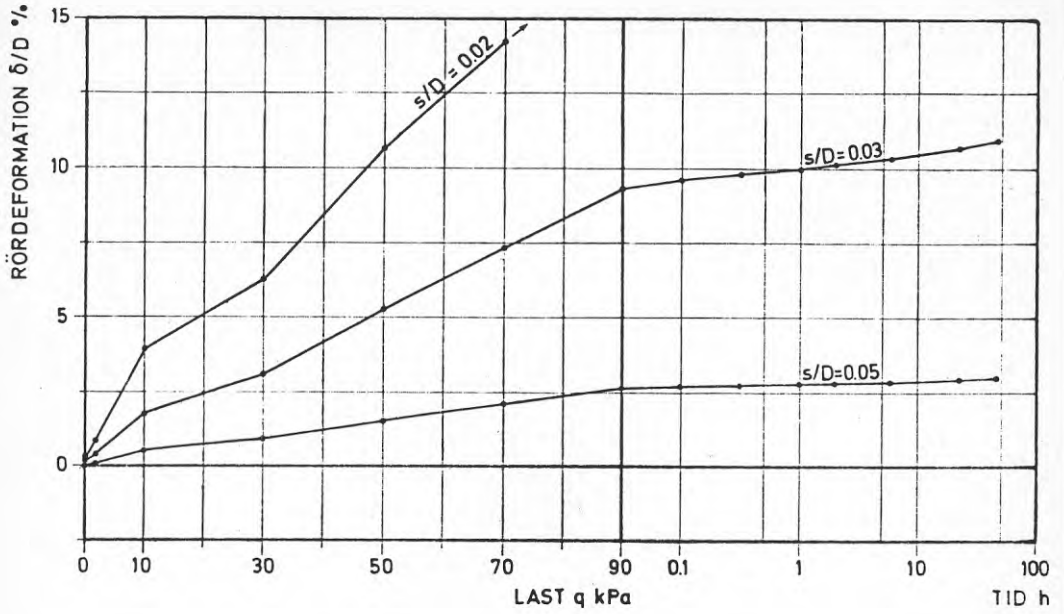


FIG A.3 Jordlåda. Försök nr 3, PVC-rör, opackad lera. Rördeformationer och töjningar.

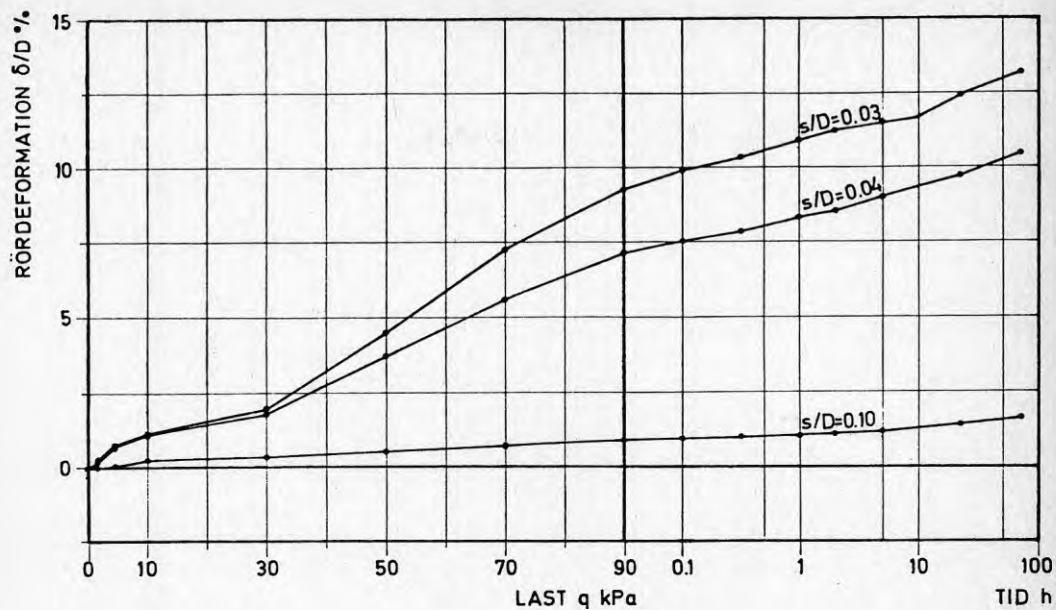


FIG A.4 Jordlåda. Försök nr 4, PEH-rör, packad lera.
Rördeformationer.

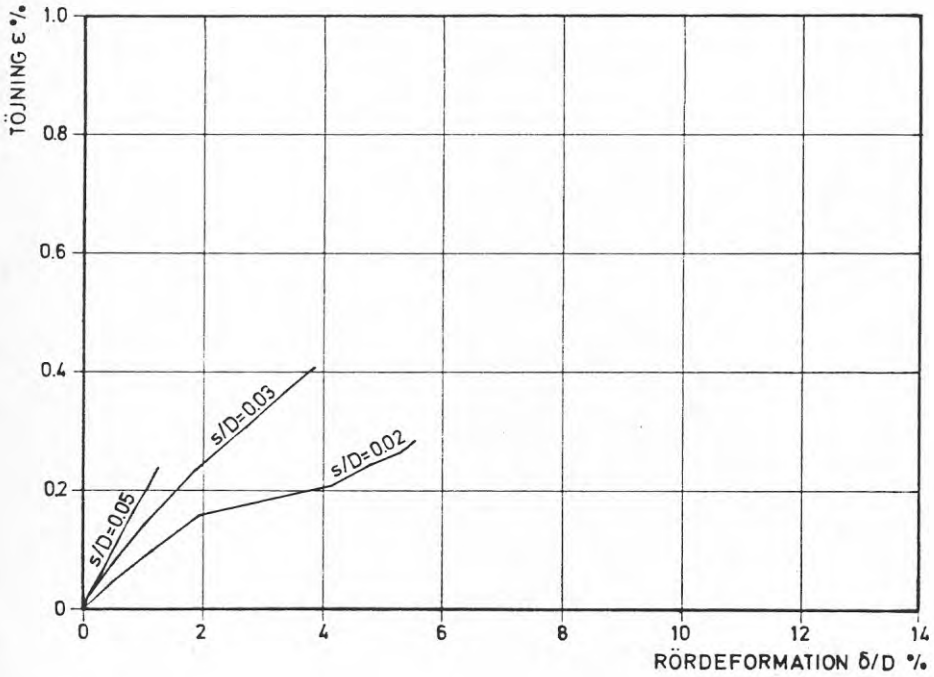
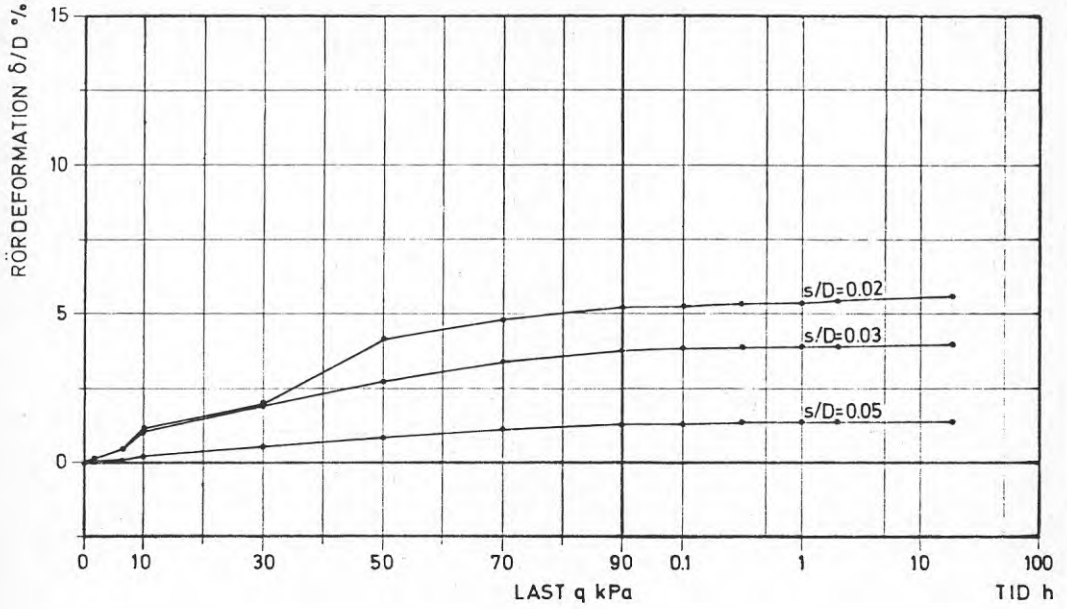


FIG A.5a Jordlåda. Försök nr 5, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, opackad sand, undre ledning. Rördeformationer och töjningar.

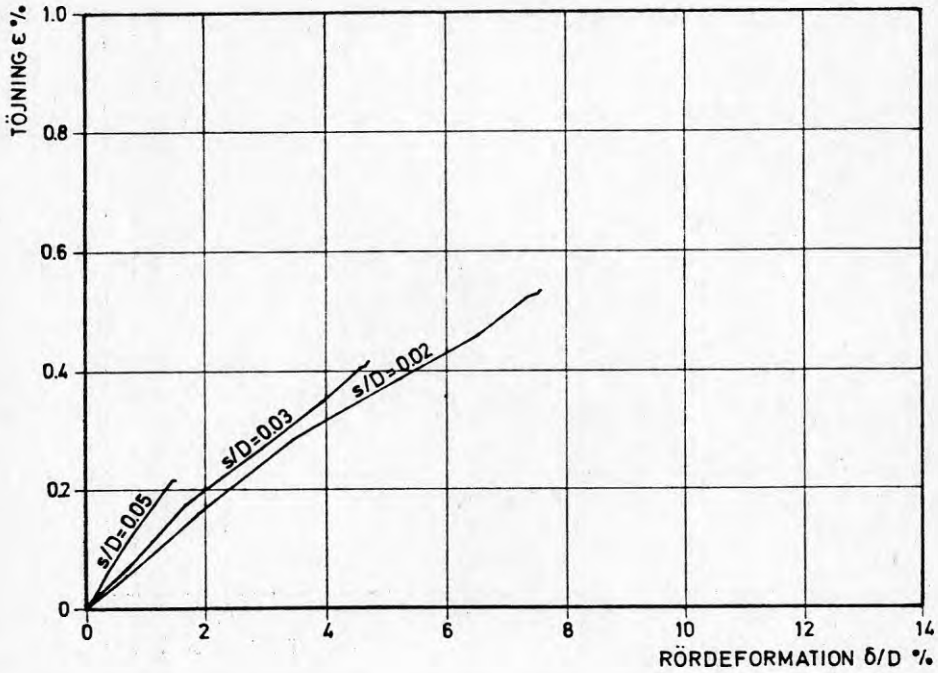
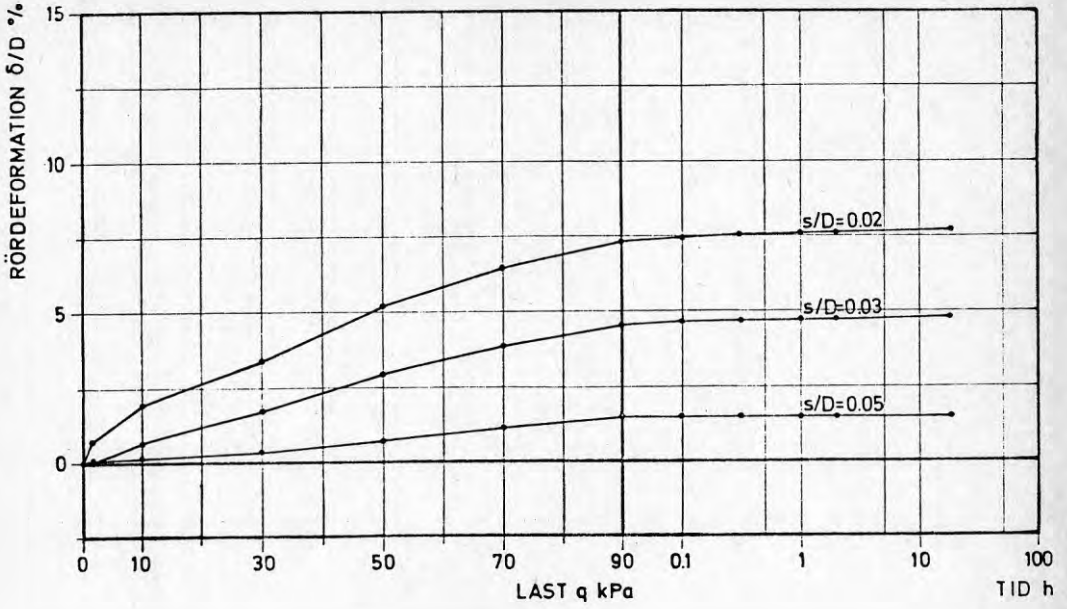


FIG A.5b Jordlåda. Försök nr 5, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, opackad sand, övre ledning. Rördeformationer och töjningar.

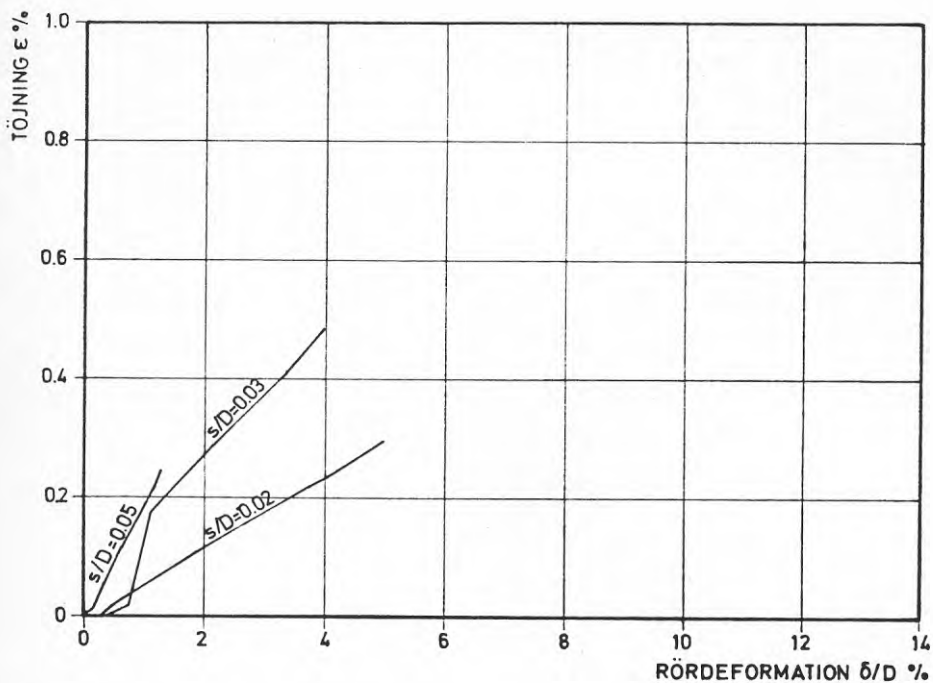
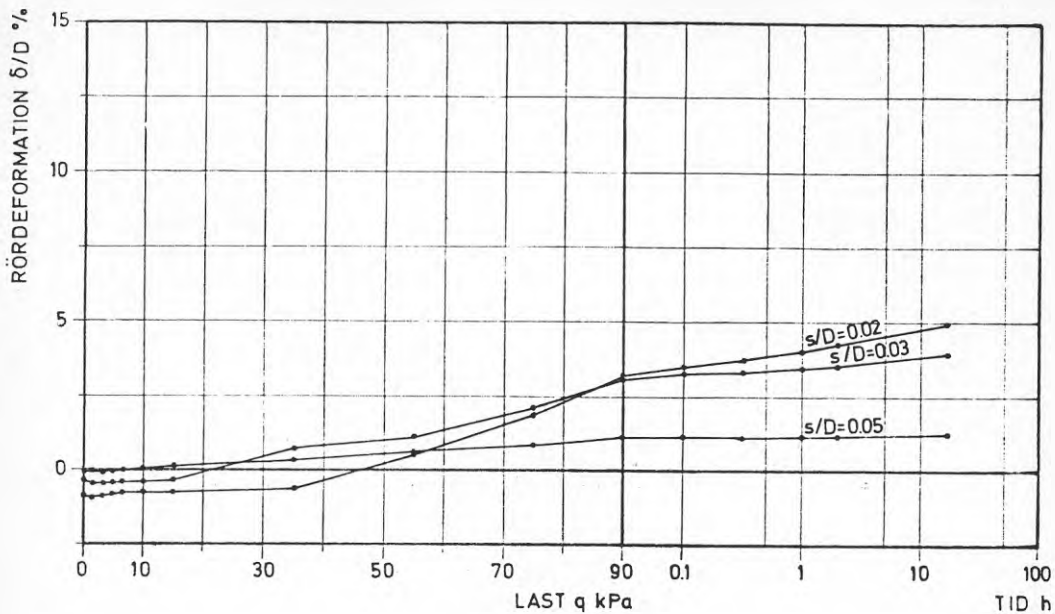
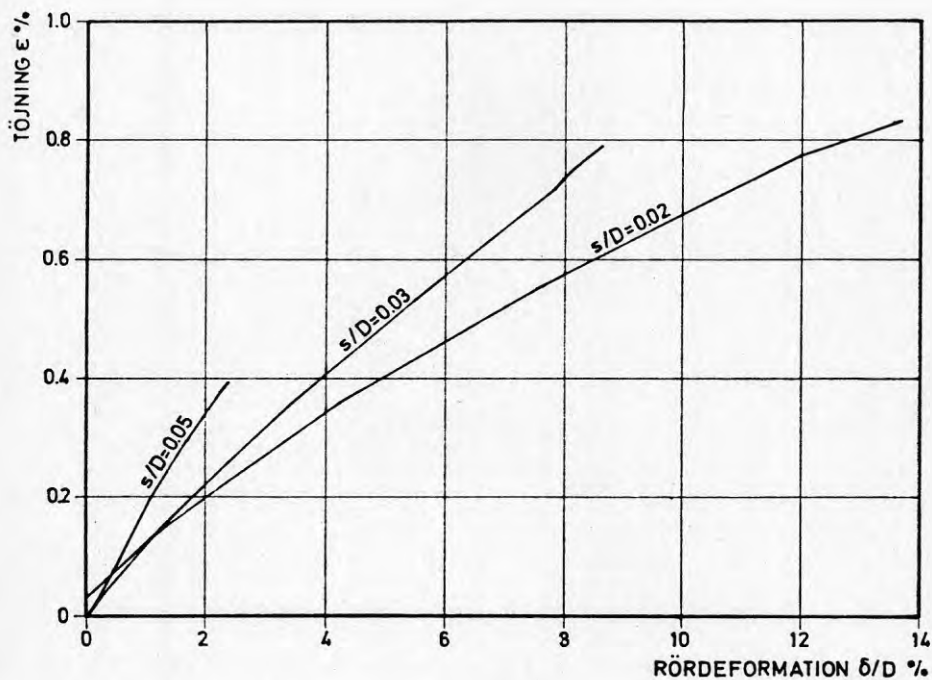
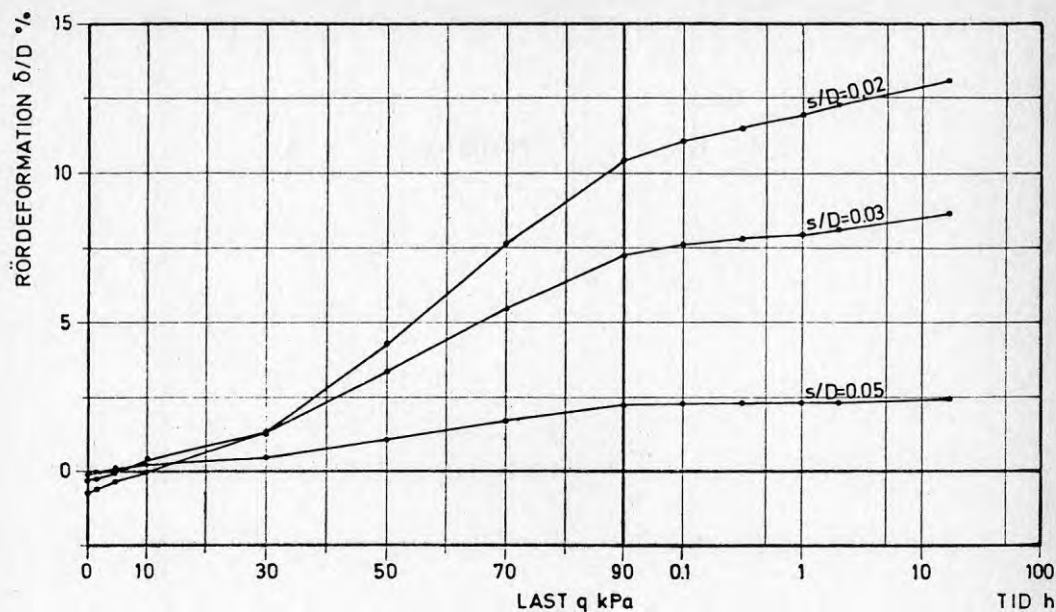


FIG A.6a Jordlåda. Försök nr 6, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, packad lera, undre ledning. Rördeformationer och töjningar.



FIGA.6b Jordlåda. Försök nr 6, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, packad lera, övre ledning. Rördeformationer och töjningar.

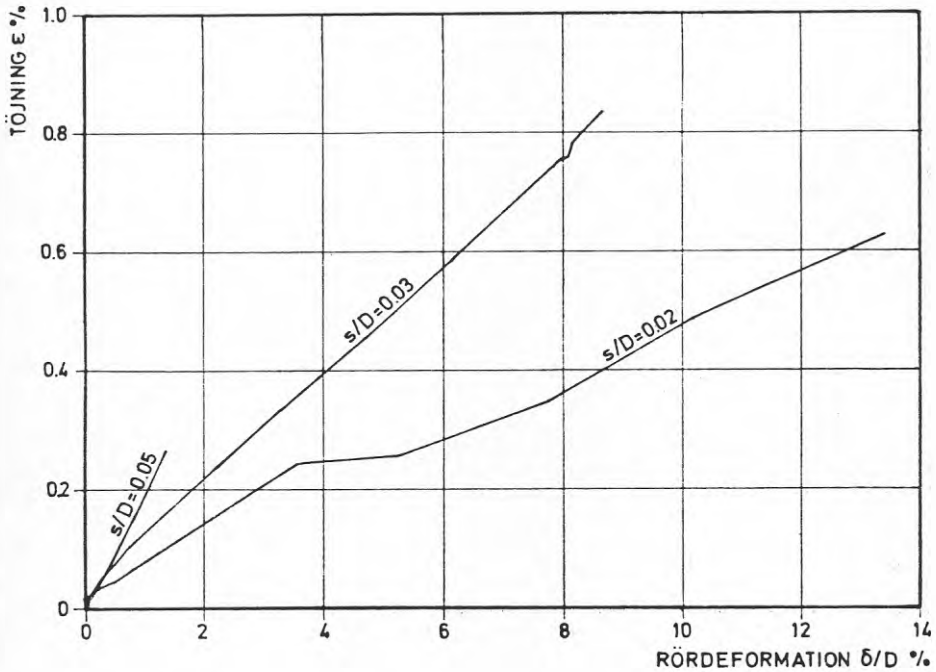
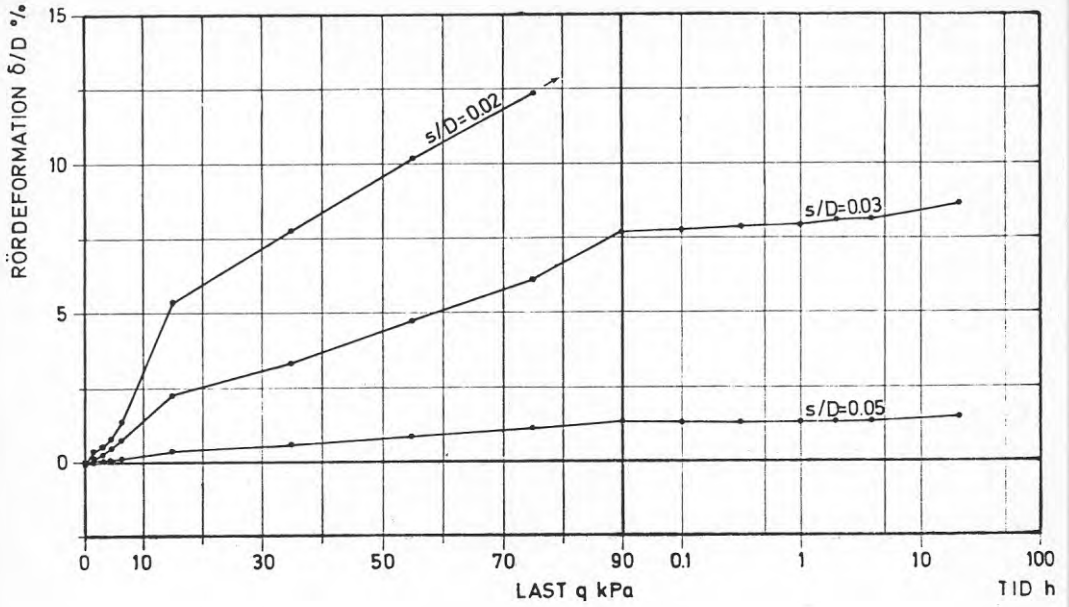


FIG A.7a Jordlåda. Försök nr 7, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, opackad lera, undre ledning. Rördeformationer och töjningar.

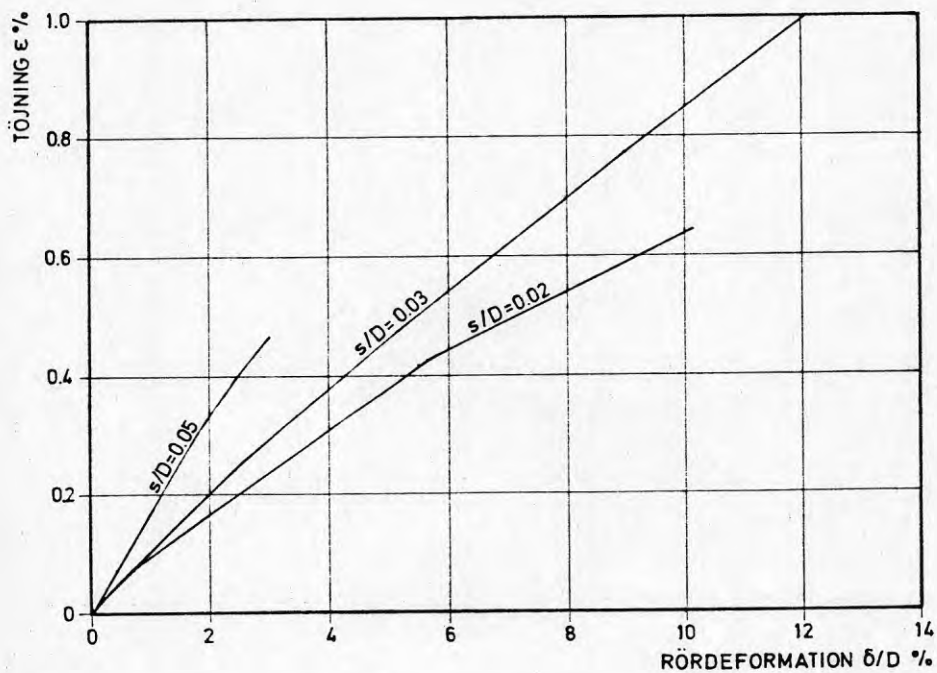
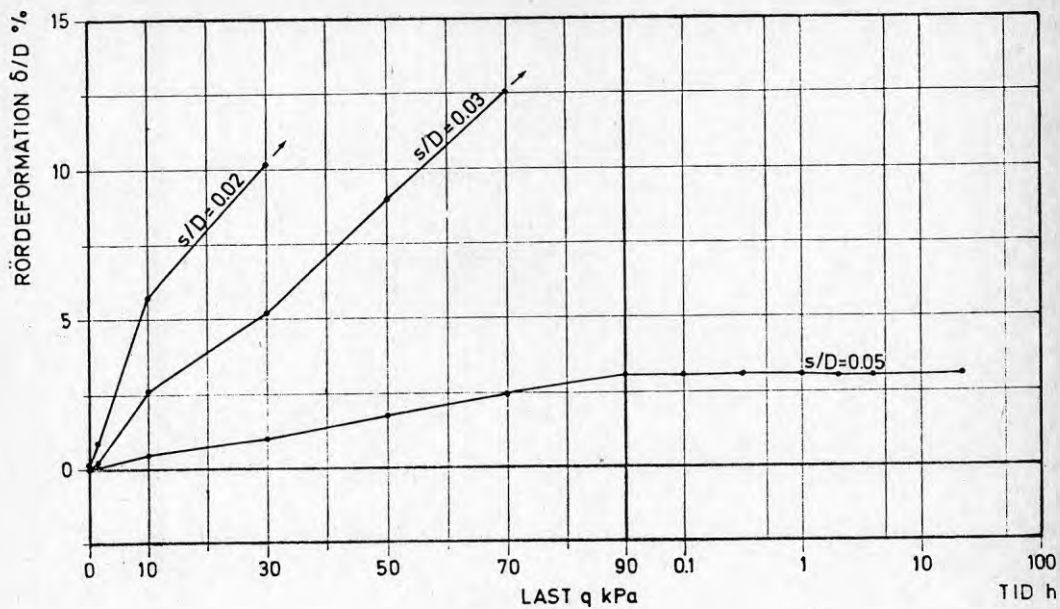


FIG A.7b Jordlåda. Försök nr 7, osymmetrisk rörgrav. PVC-rör, opackad lera, övre ledning. Rördeformationer och töjningar.

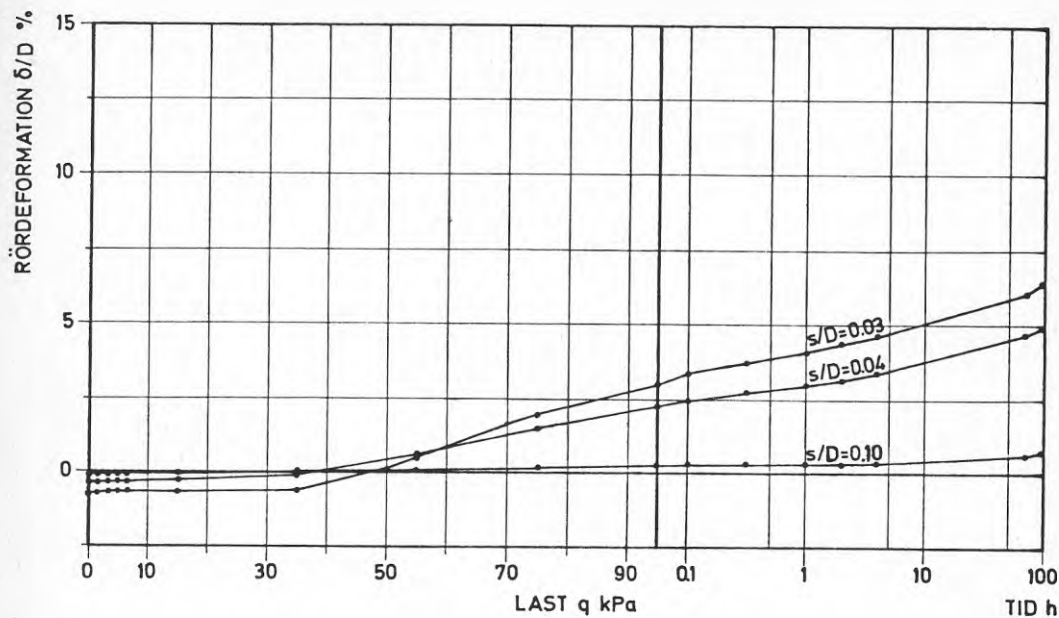


FIG A.8a Jordlåda, försök nr 8, osymmetrisk rörgrav. PEH-rör, packad lera, undre ledning. Rördeformation.

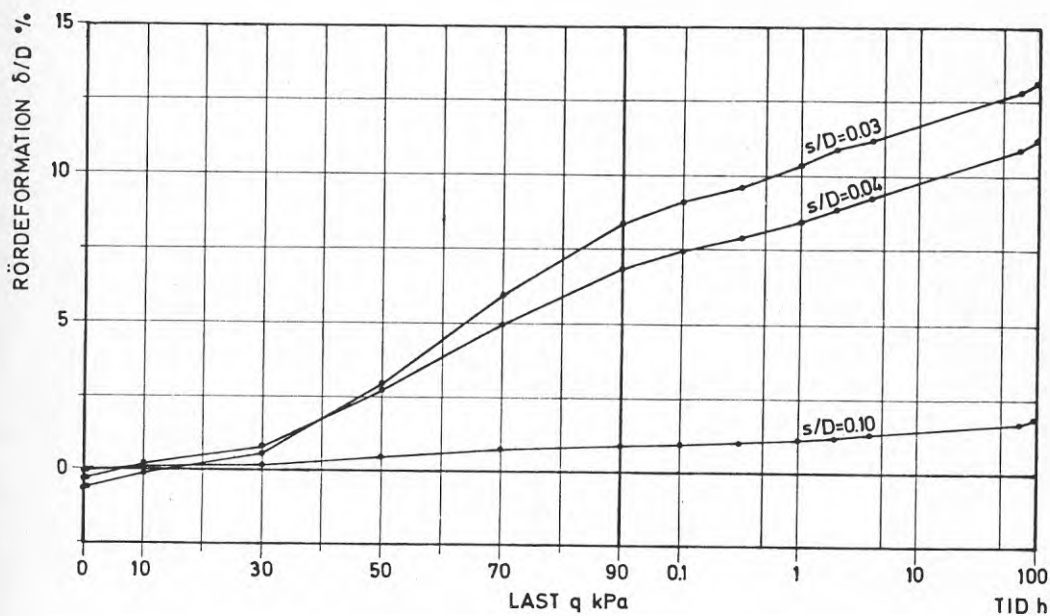
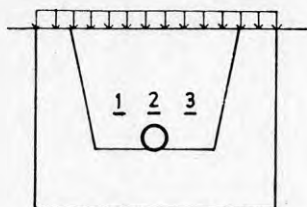


FIG A.8b Jordlåda, försök nr 8, osymmetrisk rörgrav. PEH-rör, packad lera, övre ledning. Rördeformation.



FÖRSÖK NR 1
PVC-RÖR
SAND, EJ PACKAD

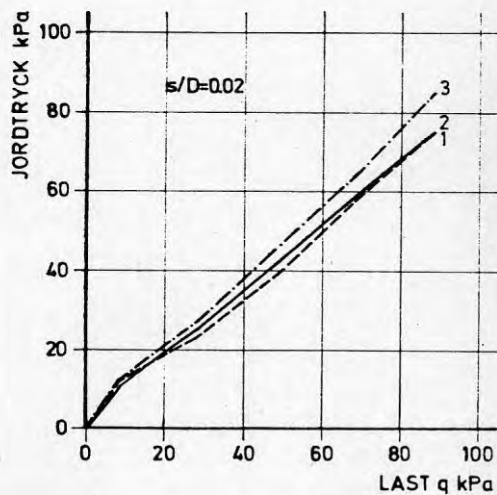
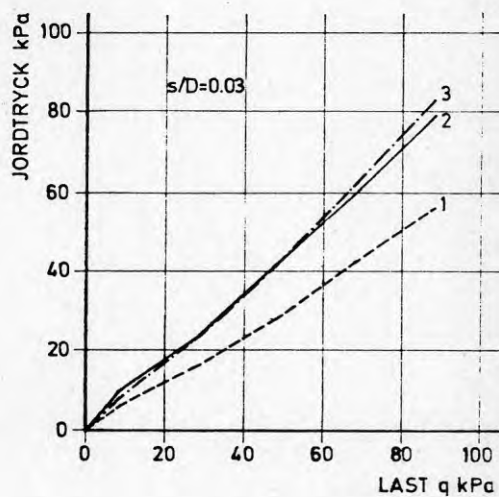
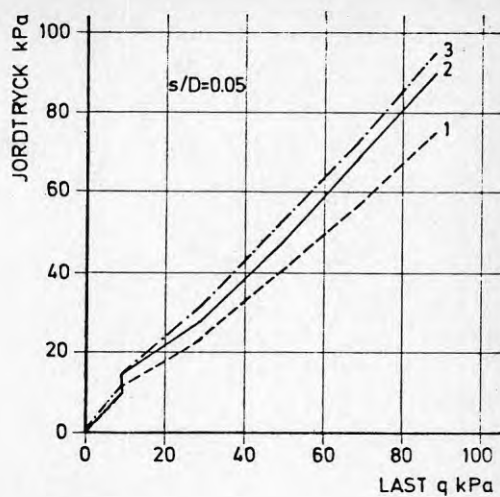
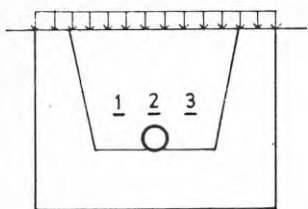


FIG A.9 Jordlåda, försök nr 1.
Jordtryck.



FÖRSÖK NR 2
PVC-RÖR
LERA, PACKAD

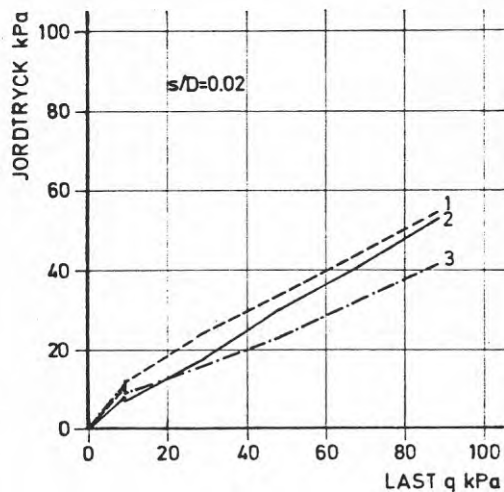
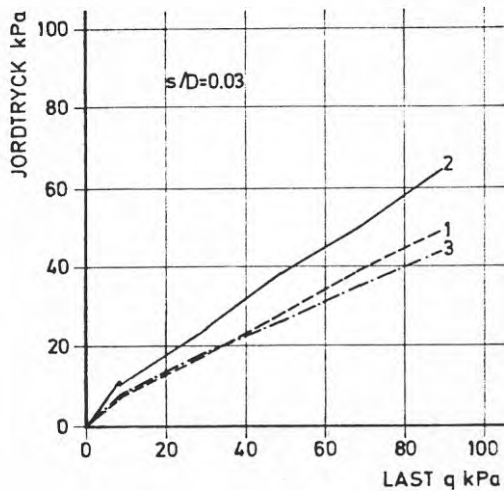
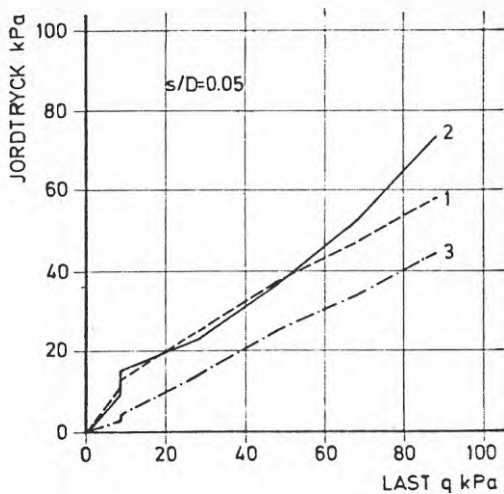
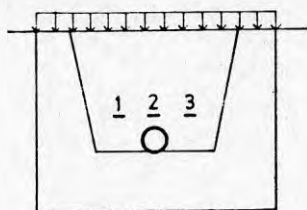


FIG A.10 Jordlåda, försök nr 2.
Jordtryck.



FÖRSÖK NR 3
PVC-RÖR
LERA, EJ PACKAD

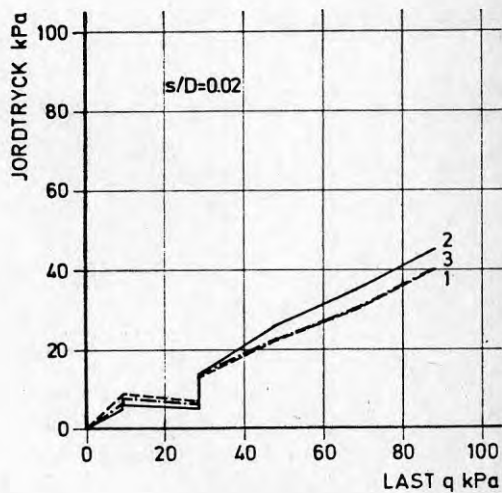
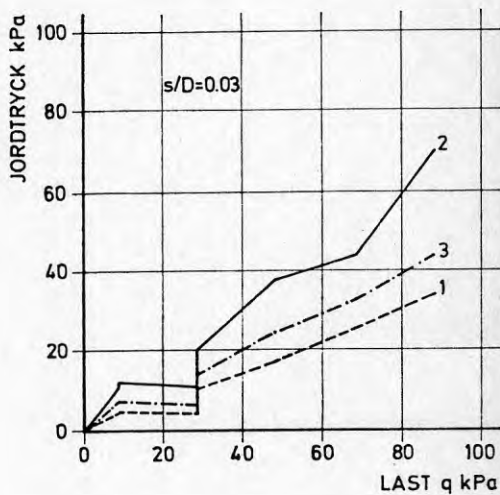
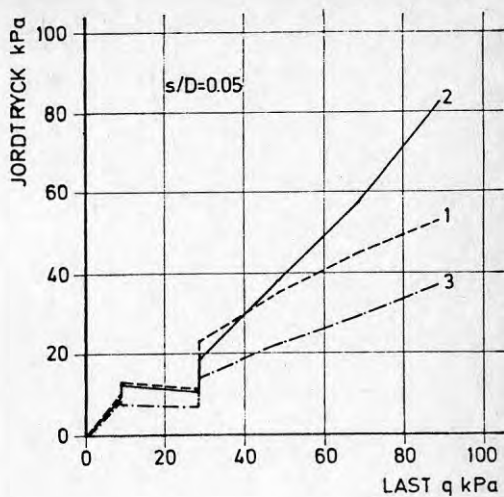
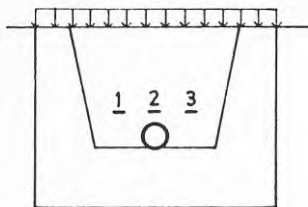


FIG A.11 Jordlåda, försök nr 3.
Jordtryck.



FÖRSÖK NR 4
PEH-RÖR
LERA, PACKAD

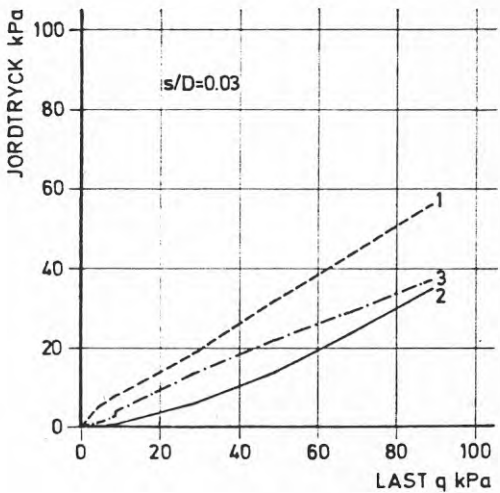
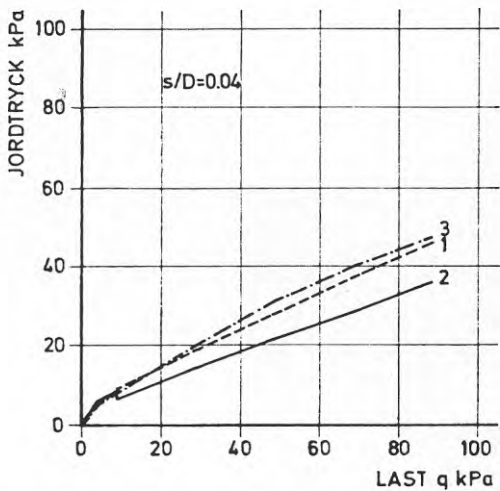
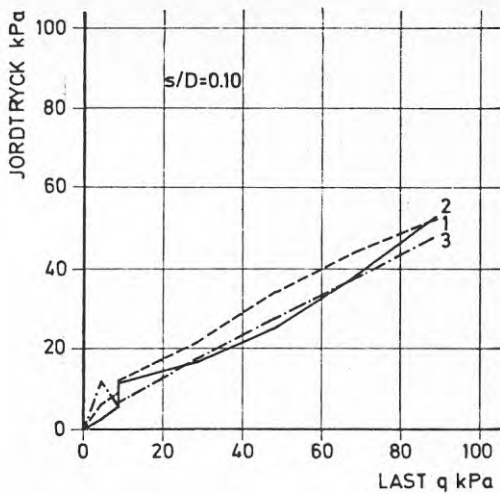
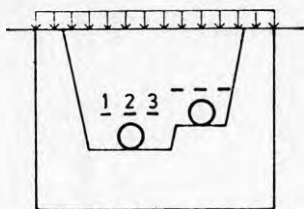


FIG A.12 Jordlåda, försök nr 4.
Jordtryck.



FÖRSÖK NR 5
PVC-RÖR
SAND, EJ PACKAD

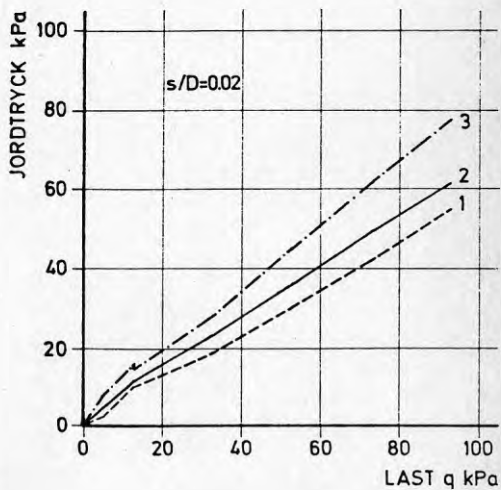
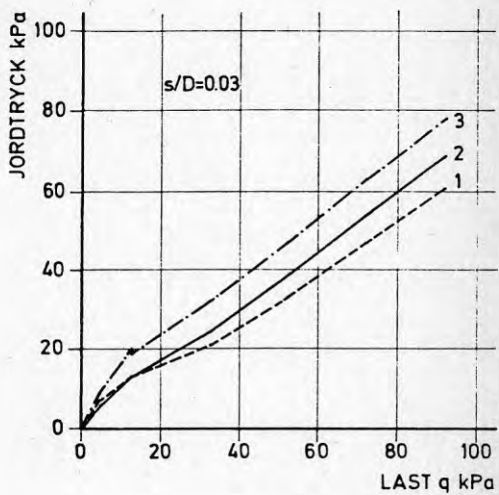
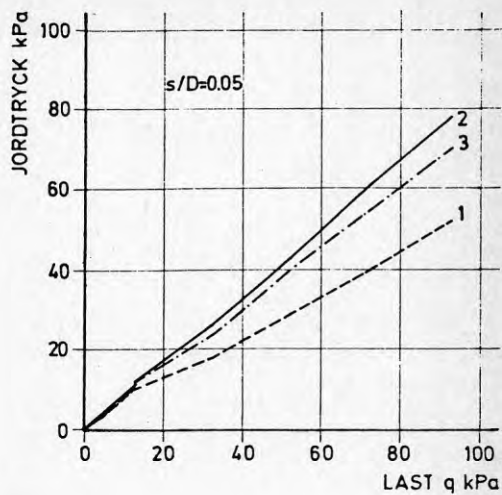
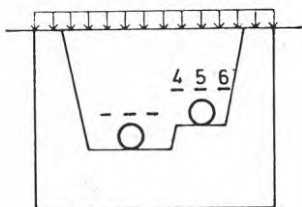


FIG A.13a Jordlåda, försök nr 5, undre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 5
PVC - RÖR
SAND, EJ PACKAD

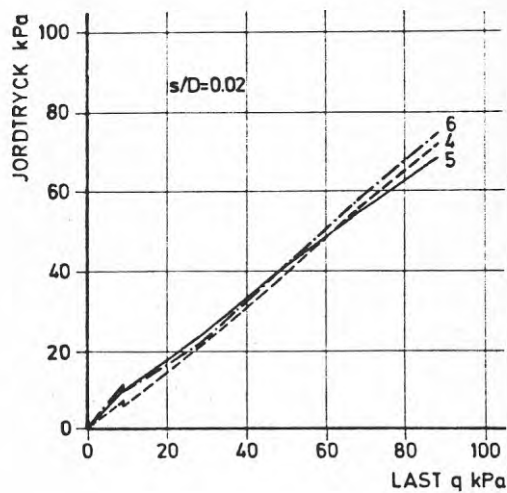
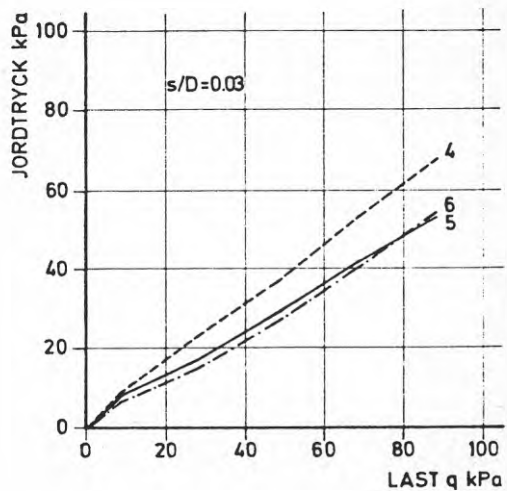
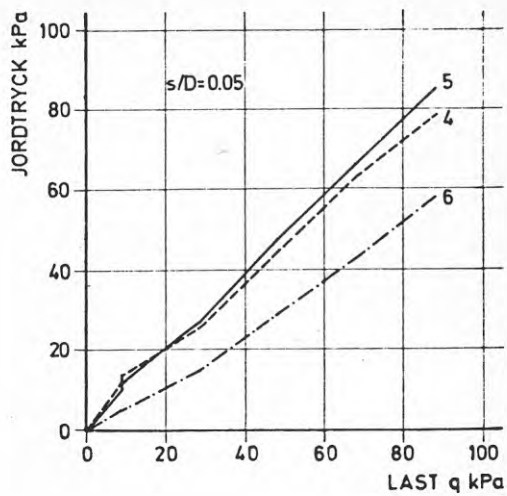
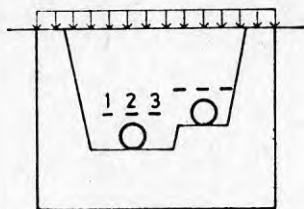


FIG A.13b Jordlåda, försök nr 5, övre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 6
PVC-RÖR
LERA, PACKAD

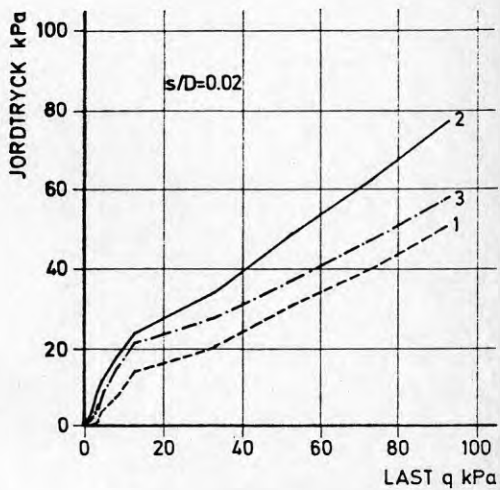
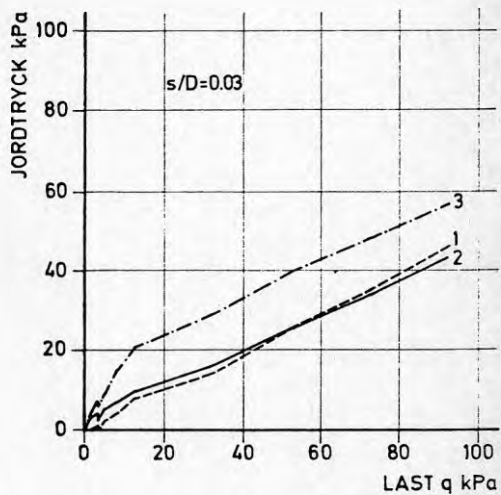
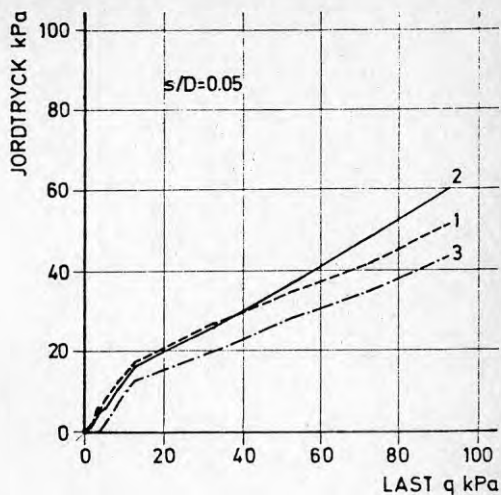
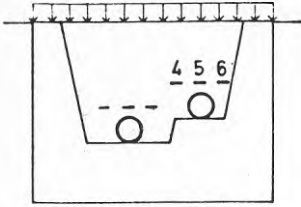


FIG A.14a Jordlåda, försök nr 6, undre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 6
PVC-RÖR
LERA, PACKAD

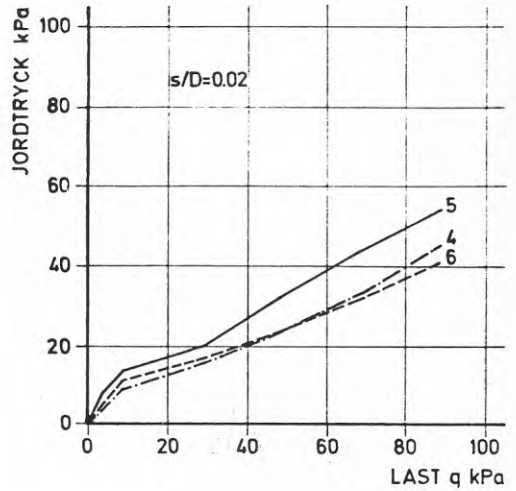
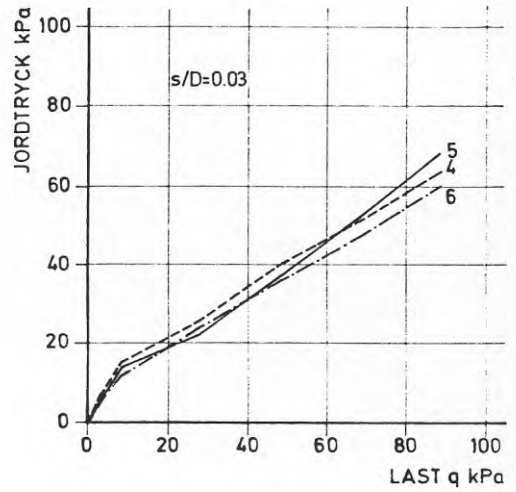
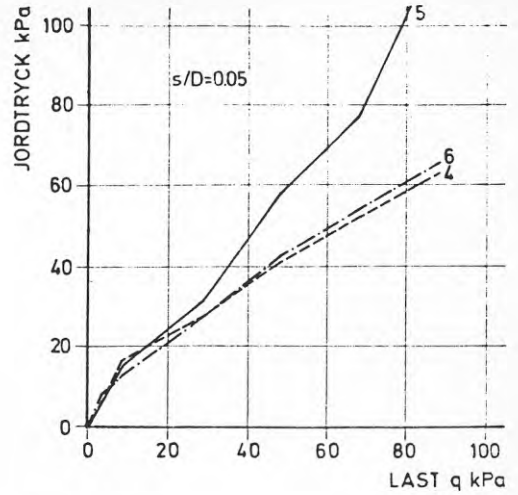
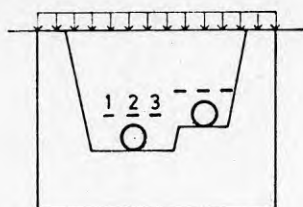


FIG A.14b Jordlåda, försök nr 6, övre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 7
PVC-RÖR
LERA, EJ PACKAD

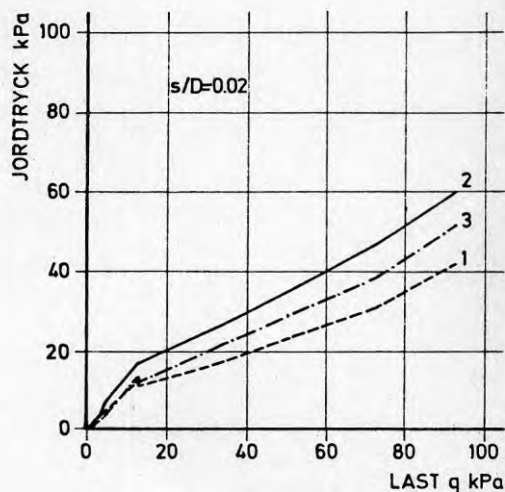
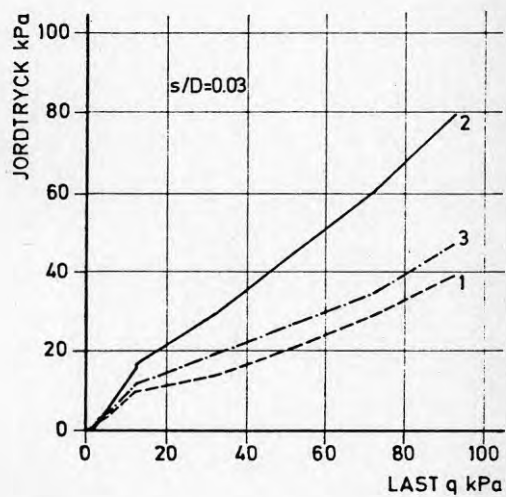
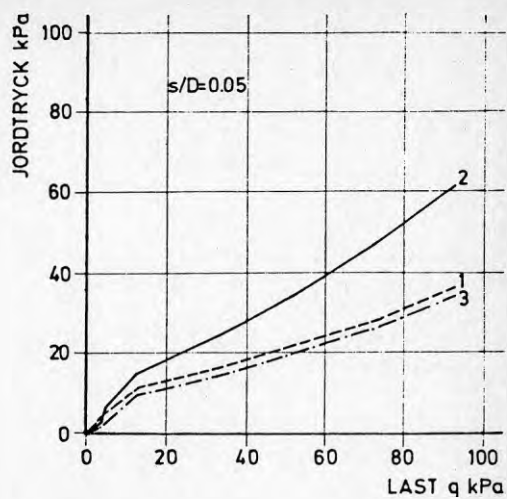
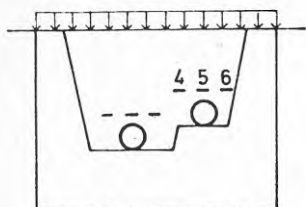


FIG A.15a Jordlåda, försök nr 7, undre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 7
PVC-RÖR
LERA, EJ PACKAD

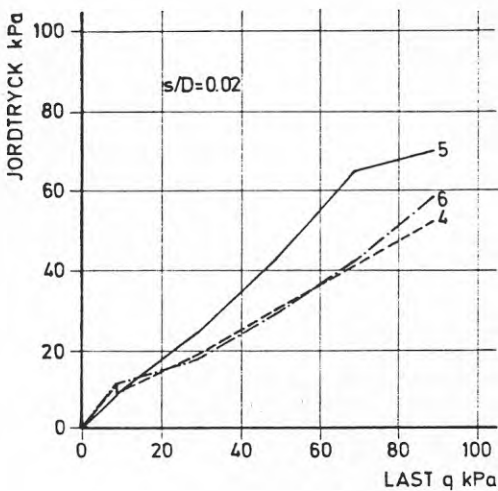
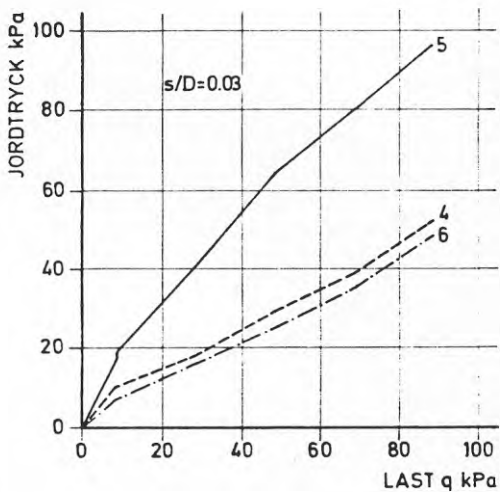
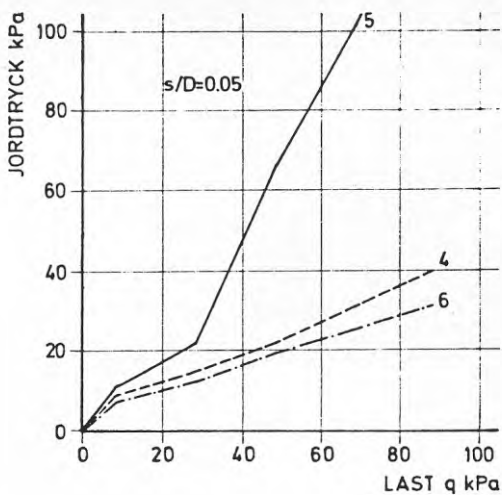
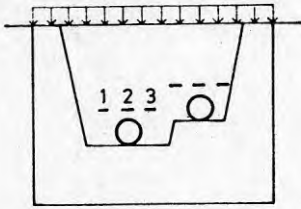


FIG A.15b Jordlåda, försök nr 7, övre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 8
PEH-RÖR
LERA, PACKAD

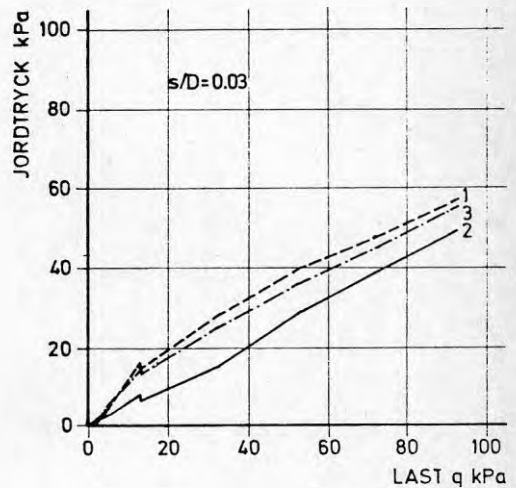
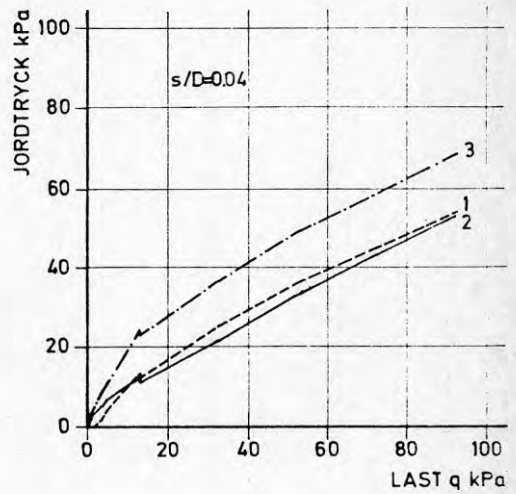
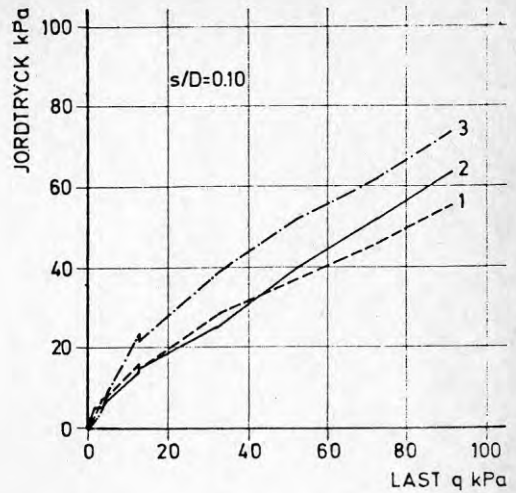
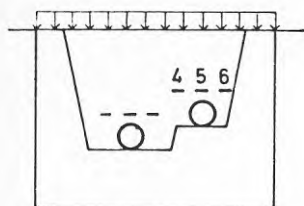


FIG A.16a Jordlåda, försök nr 8, undre ledning. Jordtryck.



FÖRSÖK NR 8
PEH-RÖR
LERA, PACKAD

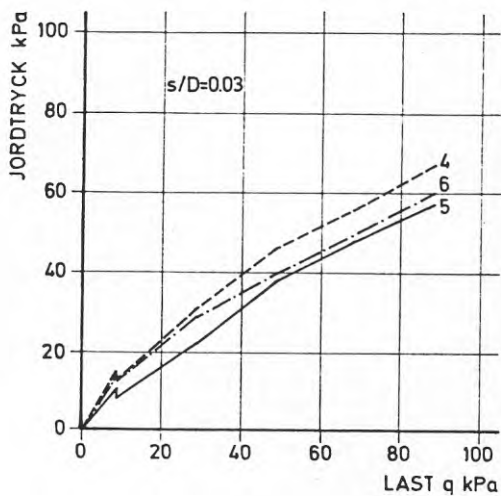
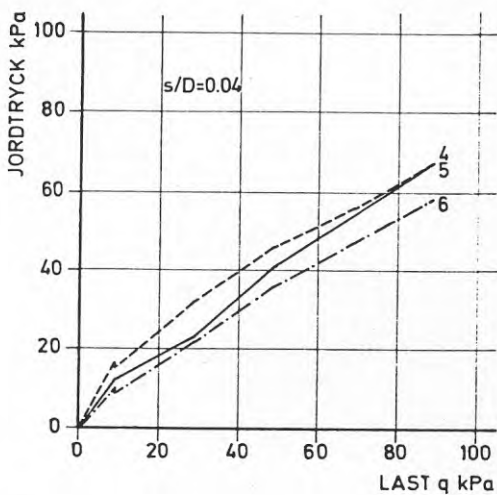
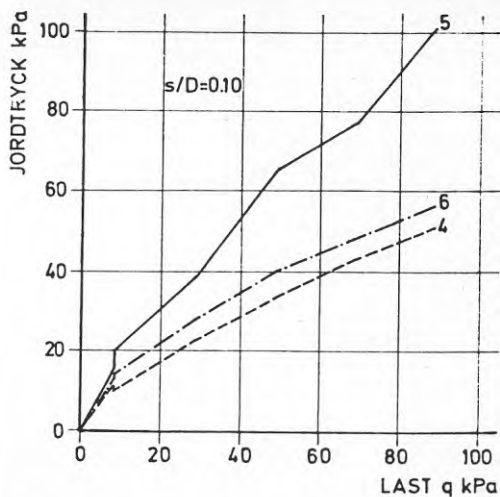


FIG A.16b Jordlåda, försök nr 8, övre ledning. Jordtryck.

BILAGA B

Mätresultat från försöksfält

Rördeformationer
Jordtryck

DEFORMATIONS MÄTNINGAR LEDNING NR 1

PEH 315 T, GRAVBREDD 0.8 m

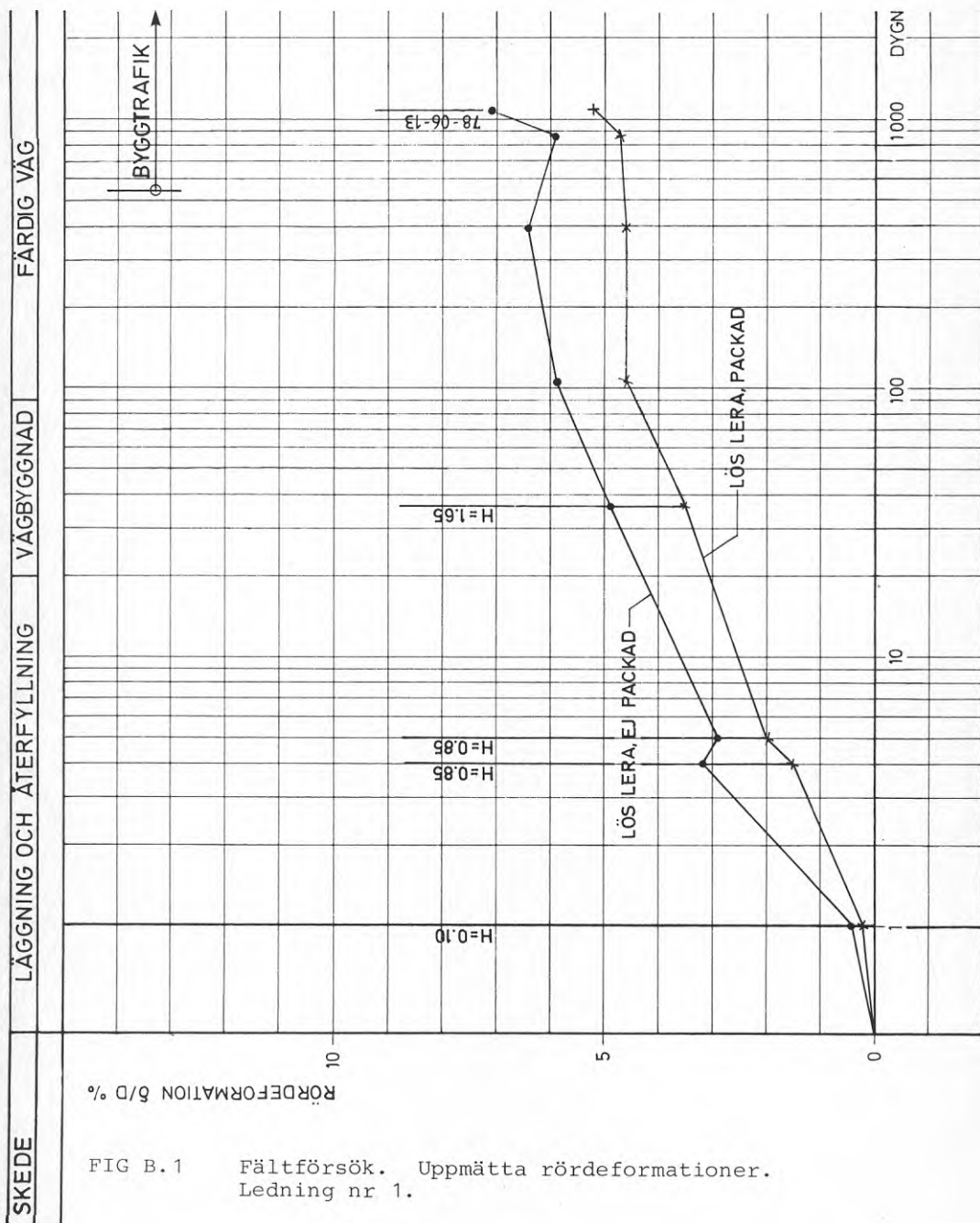


FIG B.1 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 1.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR LEDNING NR 2

PEH 315 NT6, GRAVBREDD 0.8 m

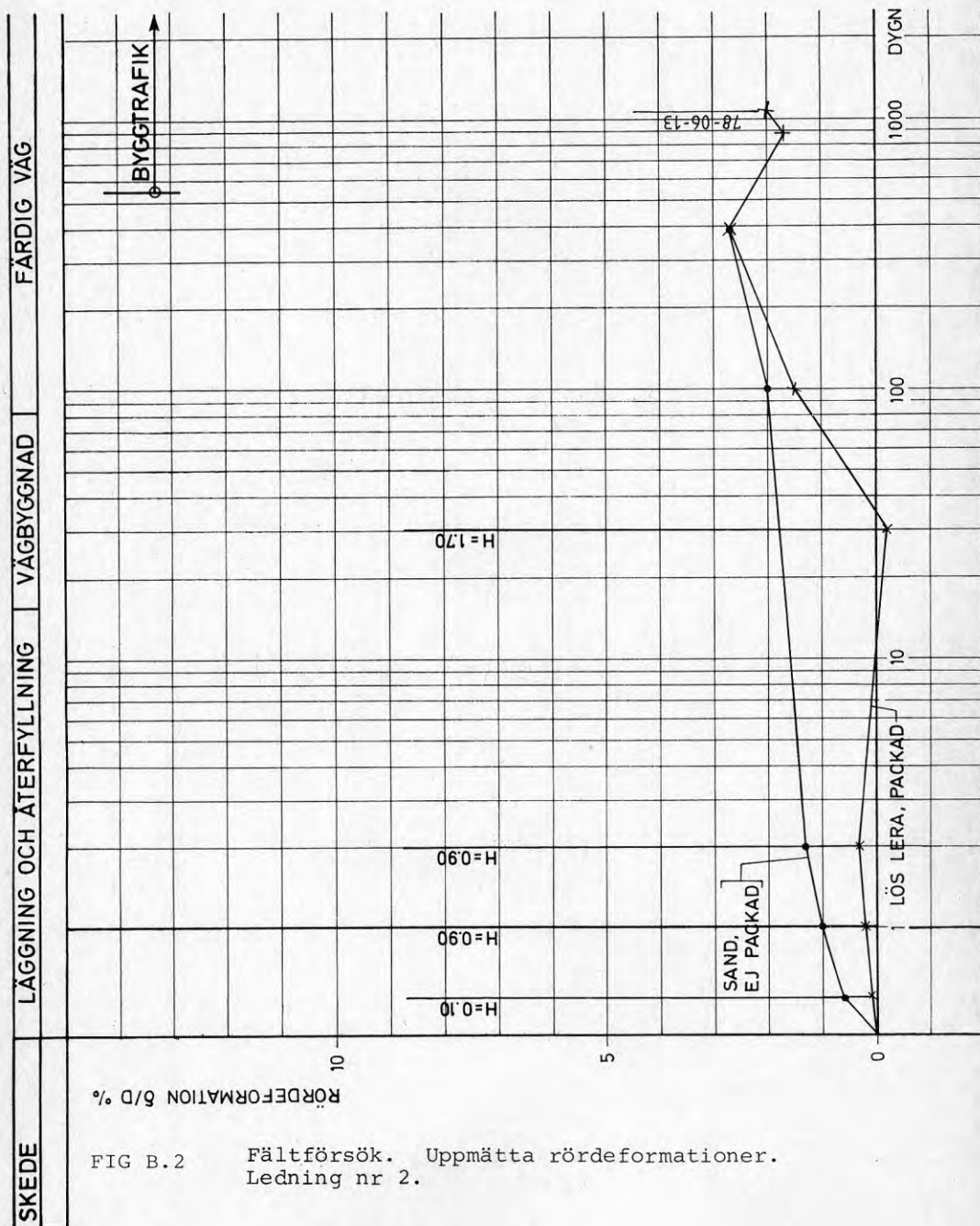


FIG B.2 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 2.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR LEDNING NR 3

PEH 315 NT 6, GRAVBREDD 1.5 m

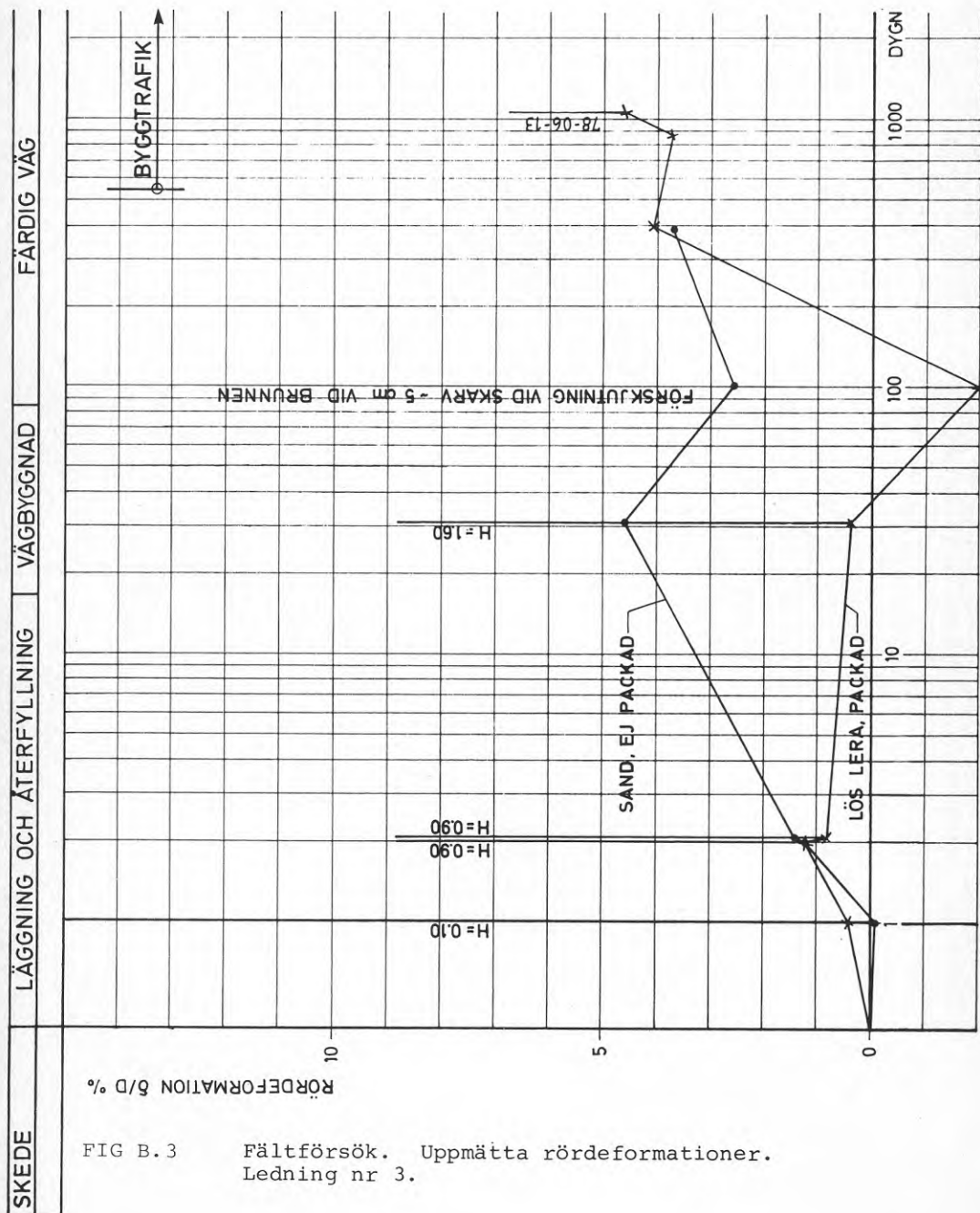


FIG B.3 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 3.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR LEDNING NR 4

GAP 800 T, GRAVBREDD 1.6 m

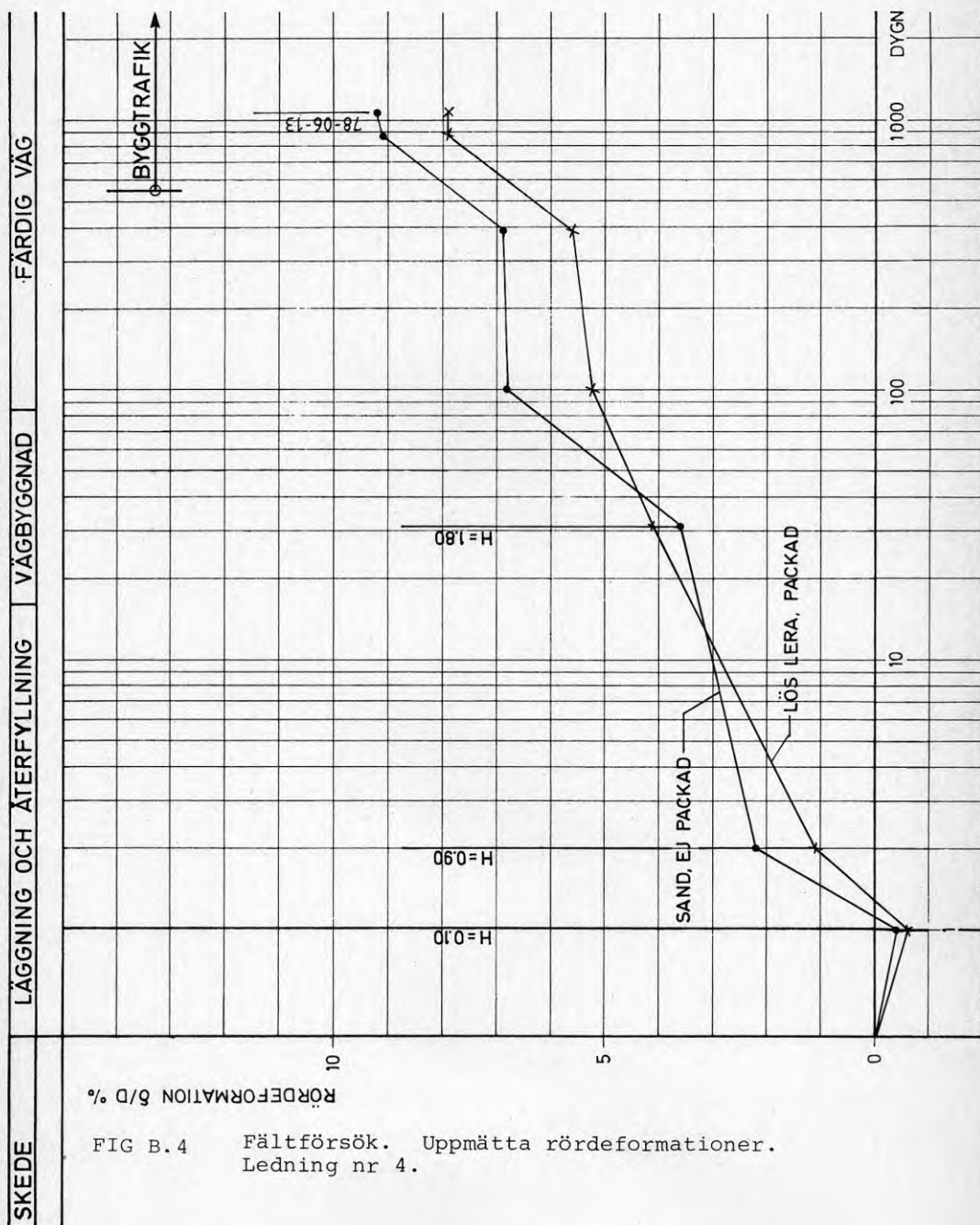


FIG B.4 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 4.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR

LEDNING NR 5

PVC 315 T, GRAVBREDD 0.8 m

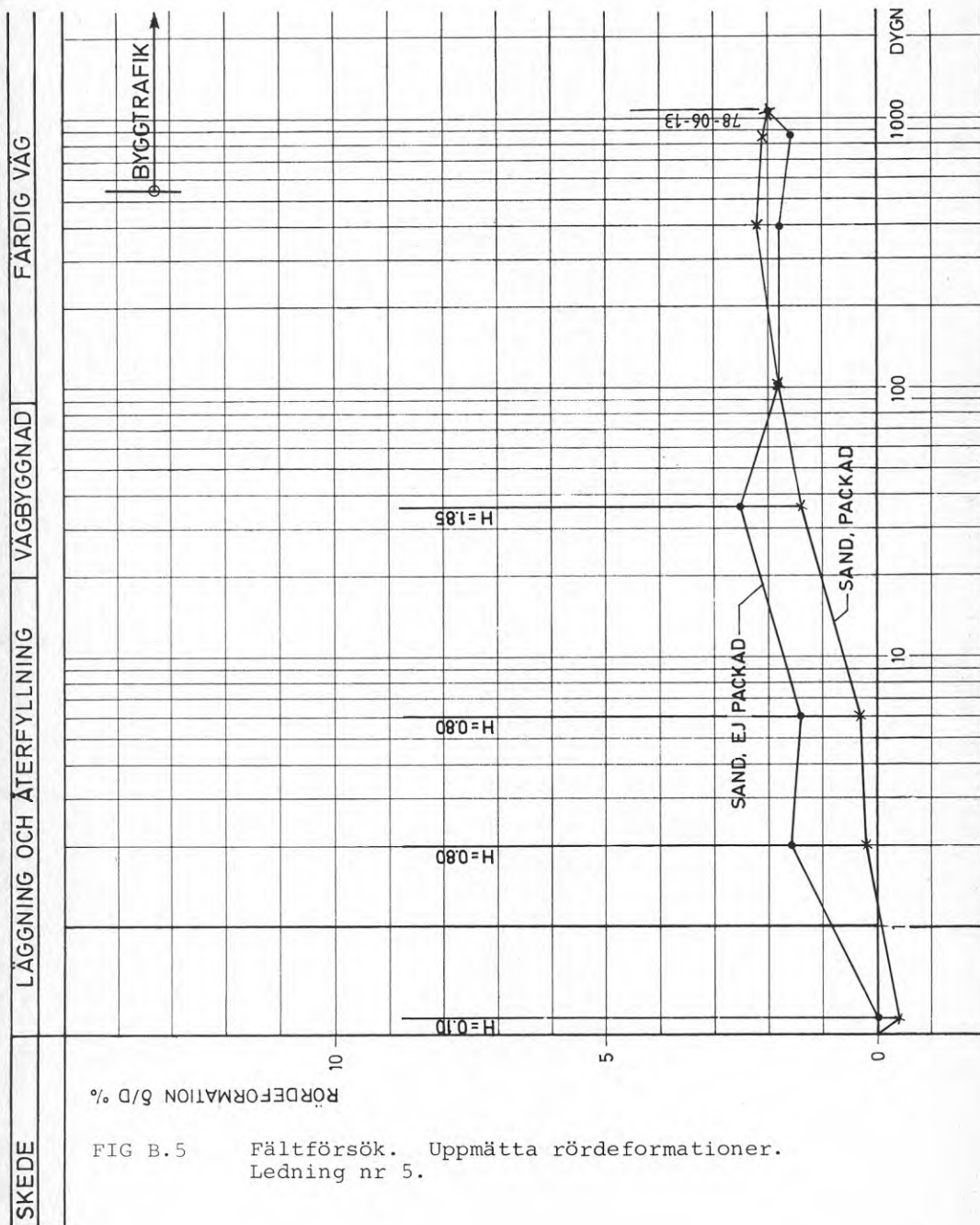


FIG B.5 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 5.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR LEDNING NR 6

PVC 315 T, GRAVBREDD 0.8 m

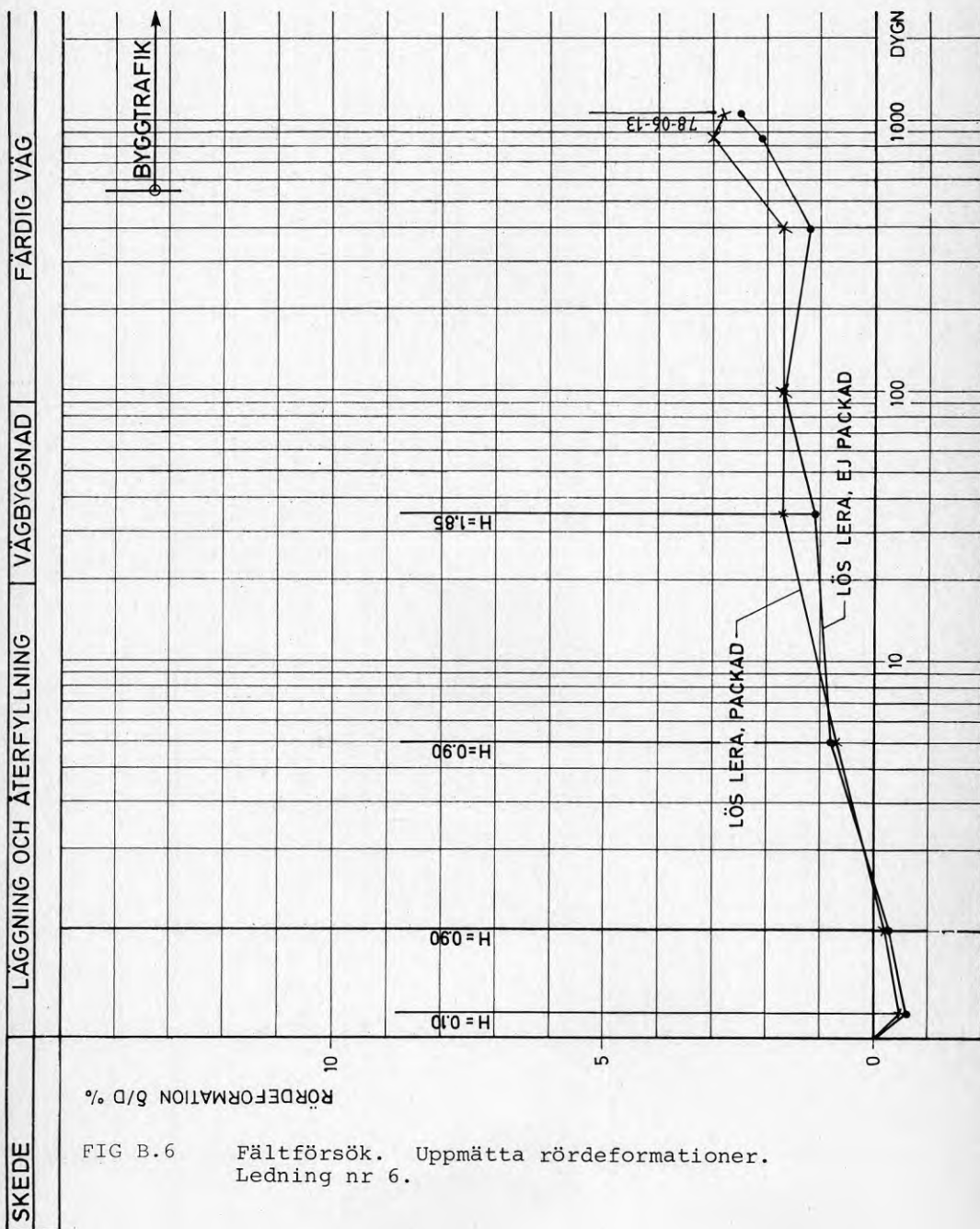


FIG B.6 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 6.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR

LEDNING NR 7

PVC 315 T, GRAVBREDD 0.8 m

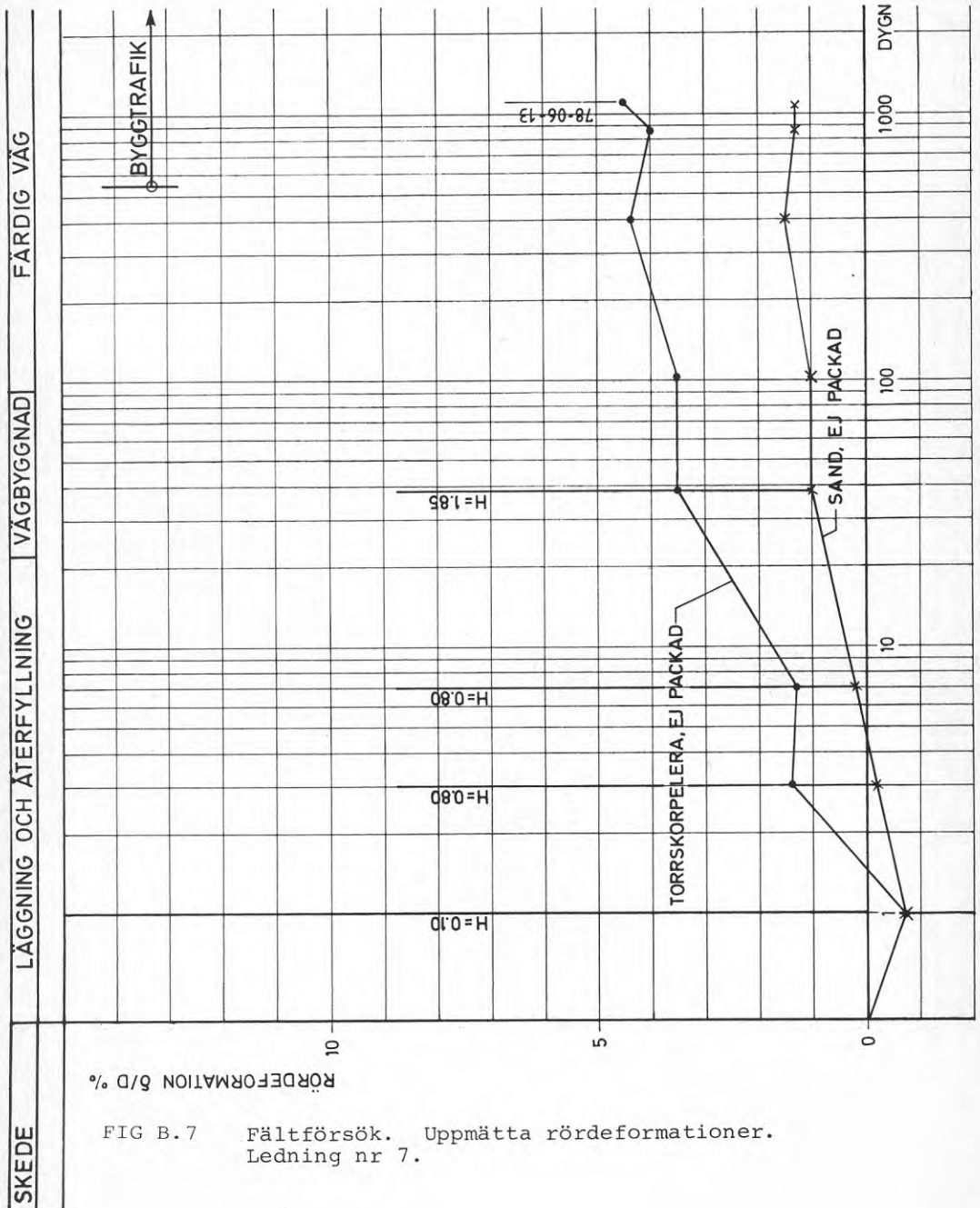


FIG B.7 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 7.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR LEDNING NR 8

PVC 315 T, GRAVBREDD 1.5 m

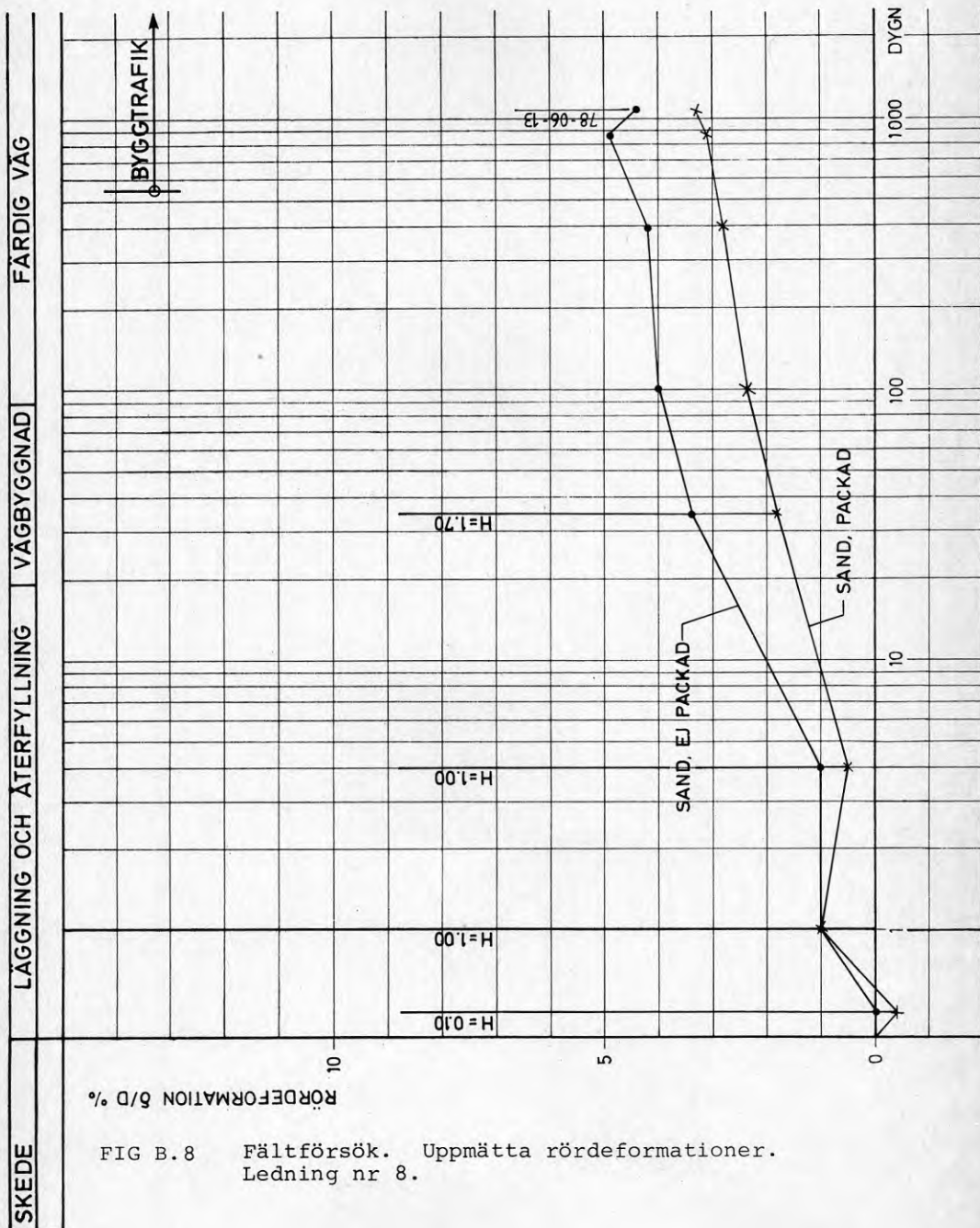


FIG B.8 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 8.

DEFORMATIONS MÄTNINGAR
LEDNING NR 9
PVC 315 NT10, GRAVBREDD 0.8 m

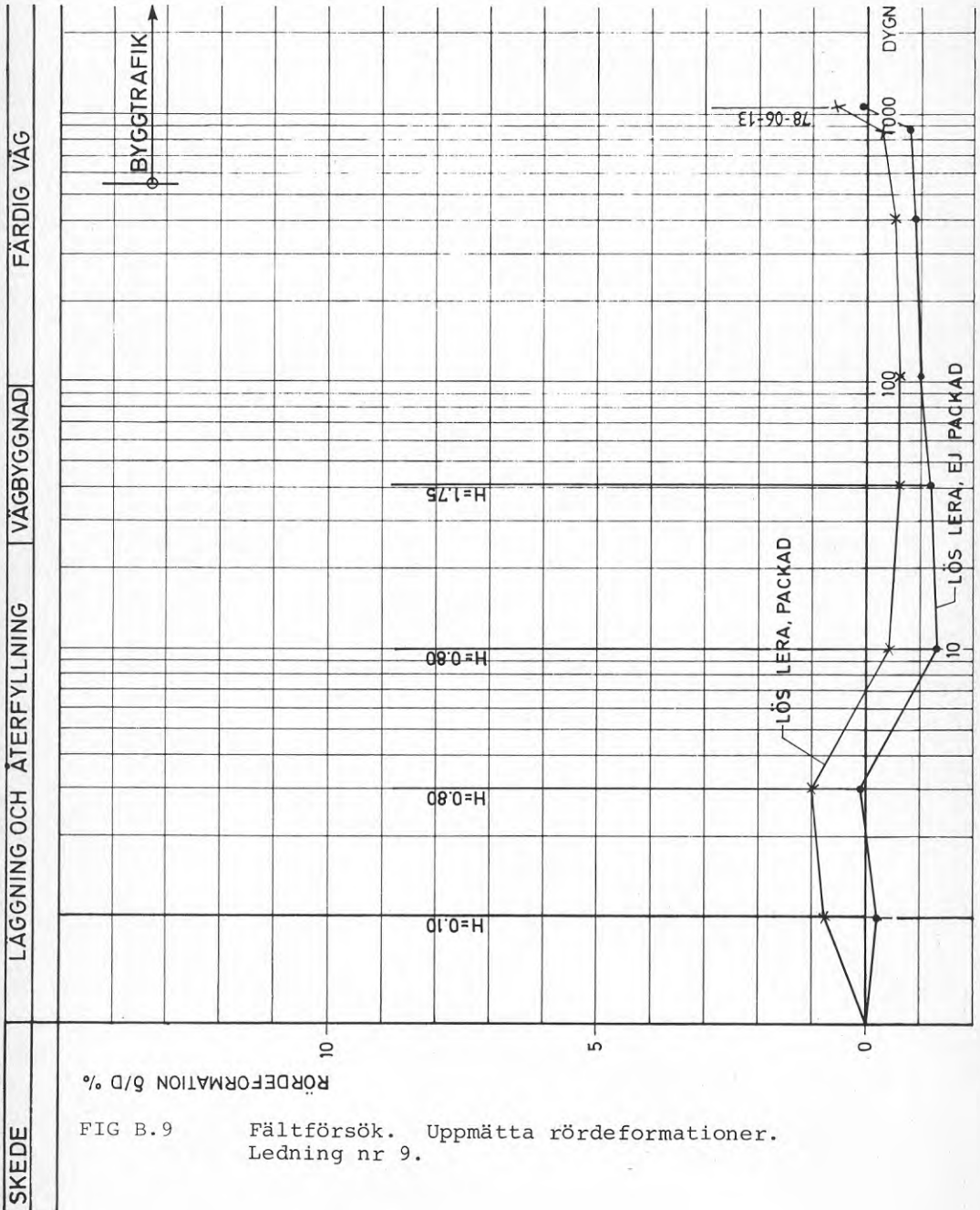


FIG B.9 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 9.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR

LEDNING NR 10

GAP 700 T, GRAVBREDD 3.5 m

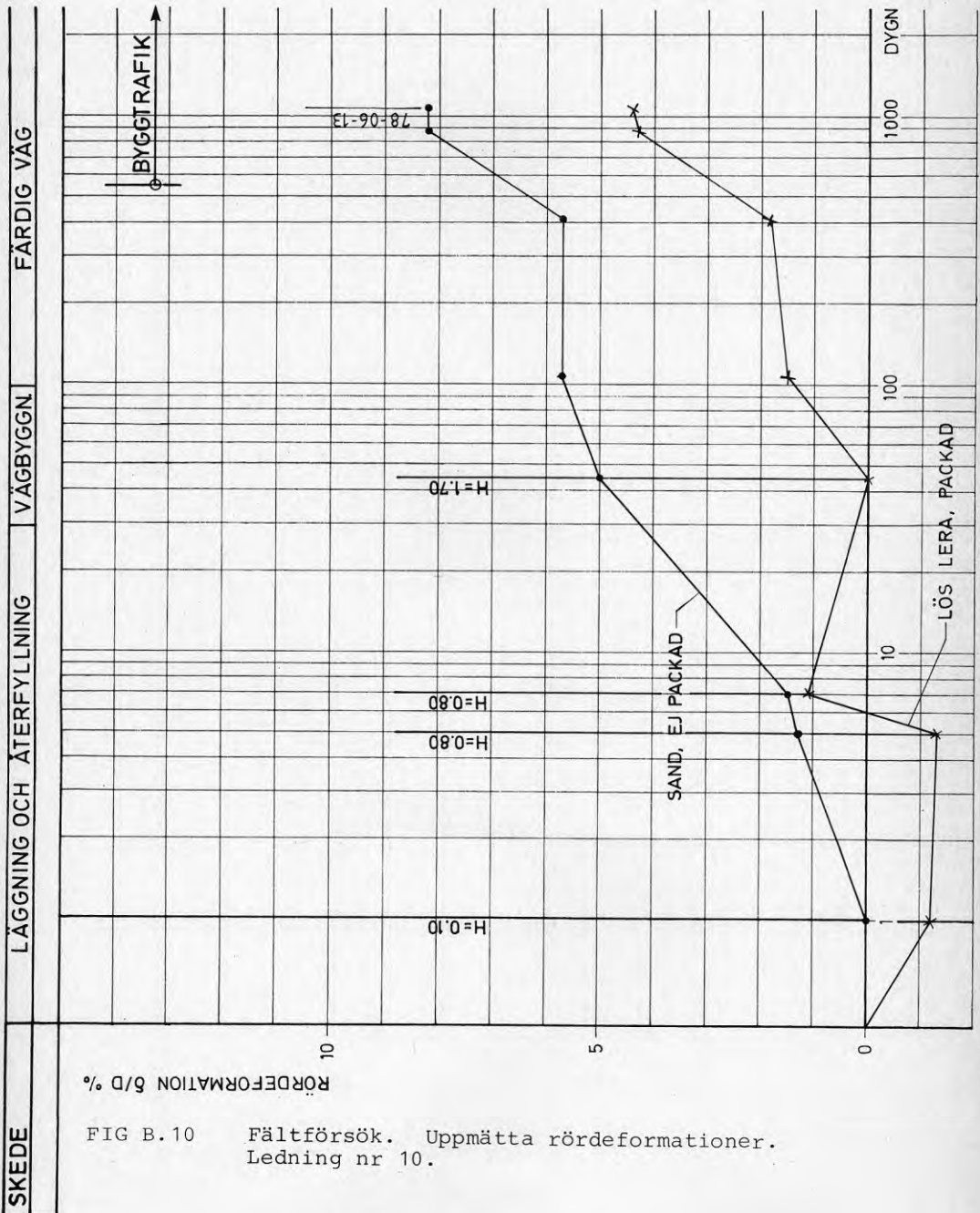


FIG B.10 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer. Ledning nr 10.

DEFORMATIONS MÄTNINGAR

LEDNING NR 11

PVC 315 T, GRAVBREDD 1.5 m, SPONT

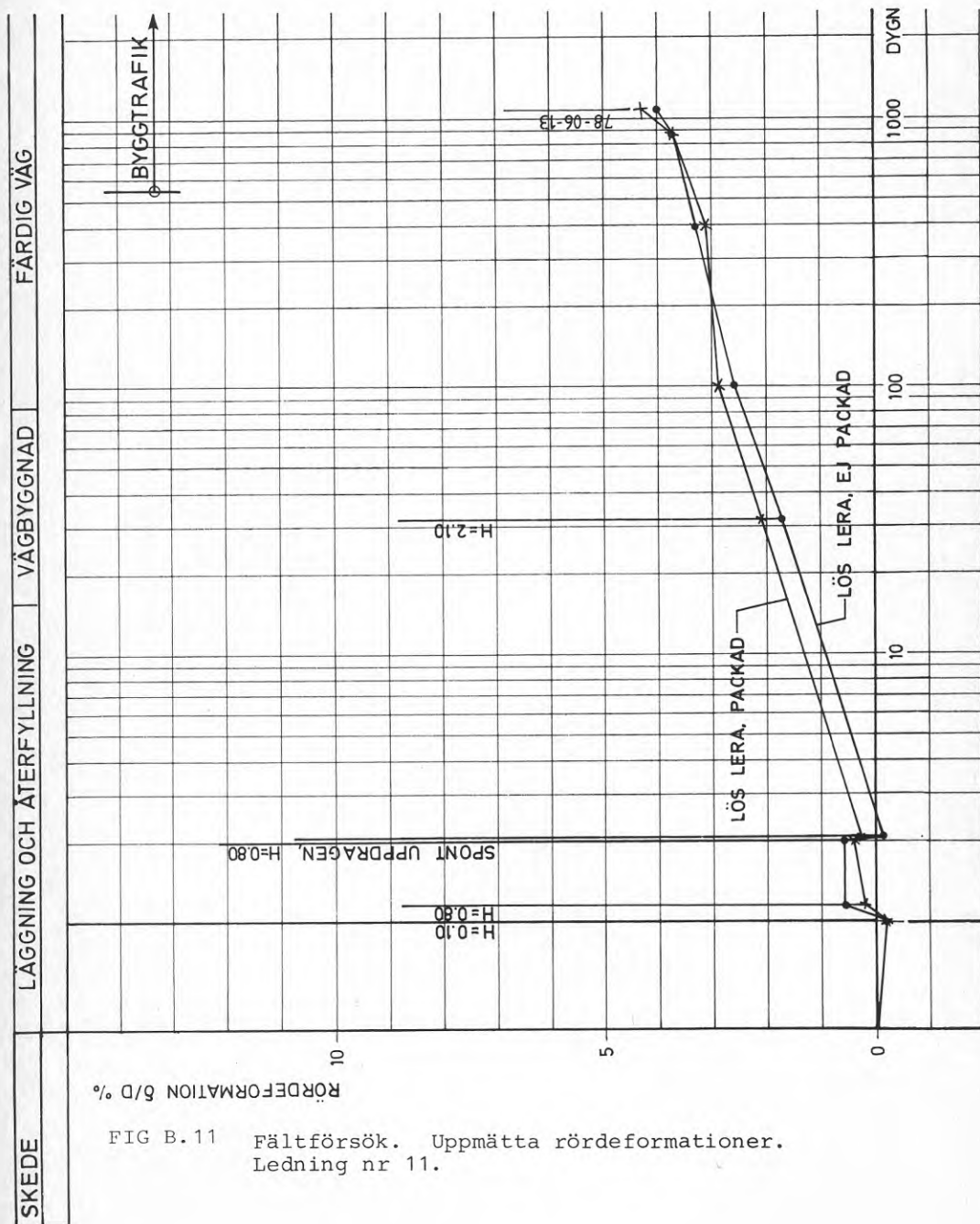


FIG B.11 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 11.

DEFORMATIONSMÄTNINGAR
LEDNING NR 12
PVC 315 T, GRAVBREDD 1.0 m

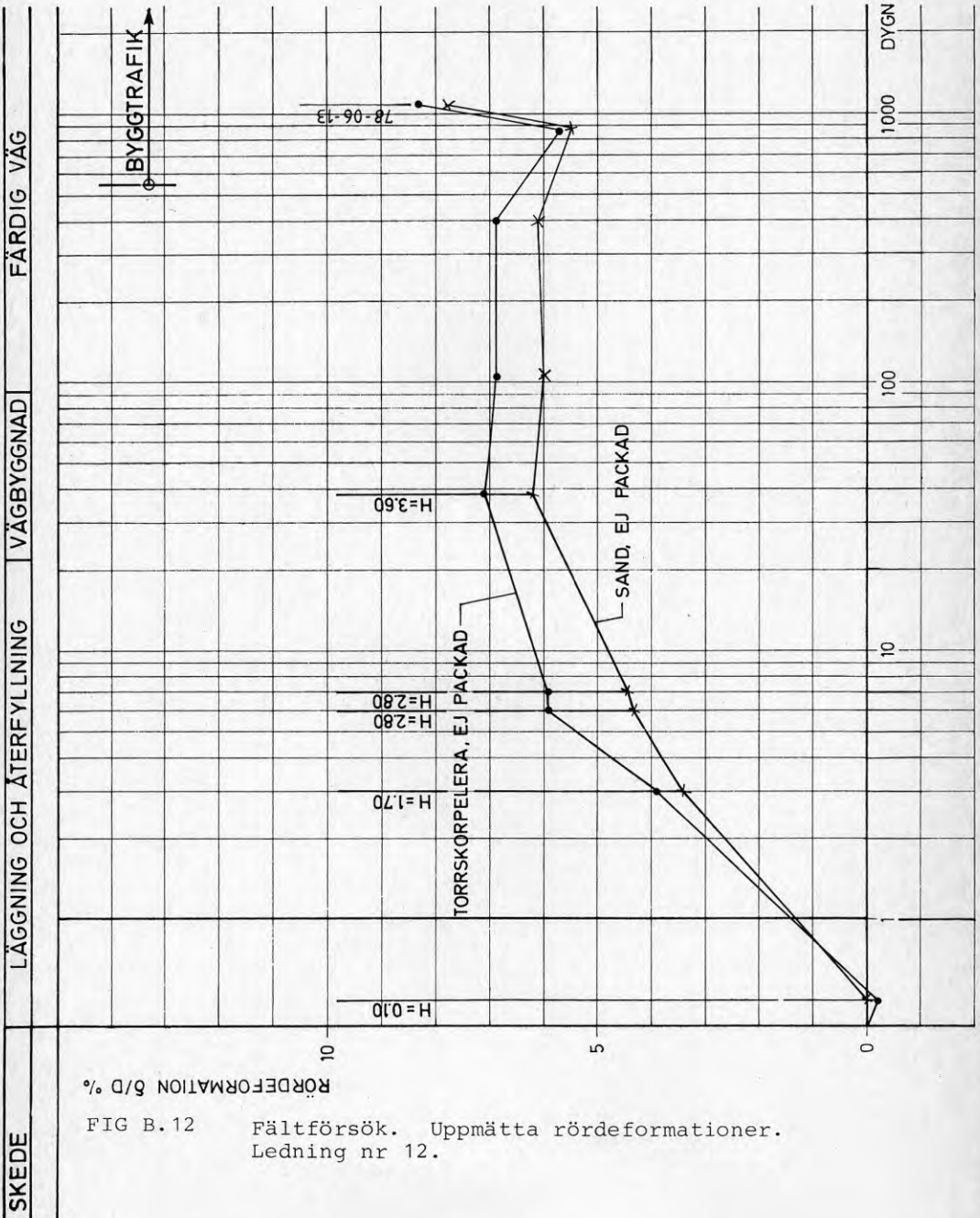


FIG B.12 Fältförsök. Uppmätta rördeformationer.
Ledning nr 12.

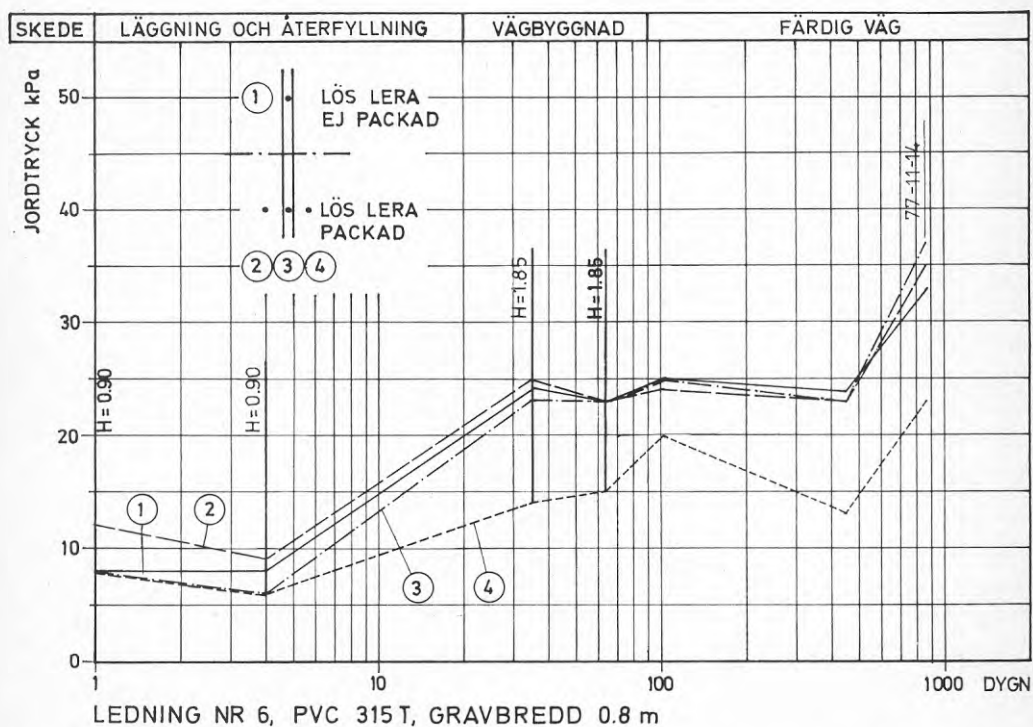
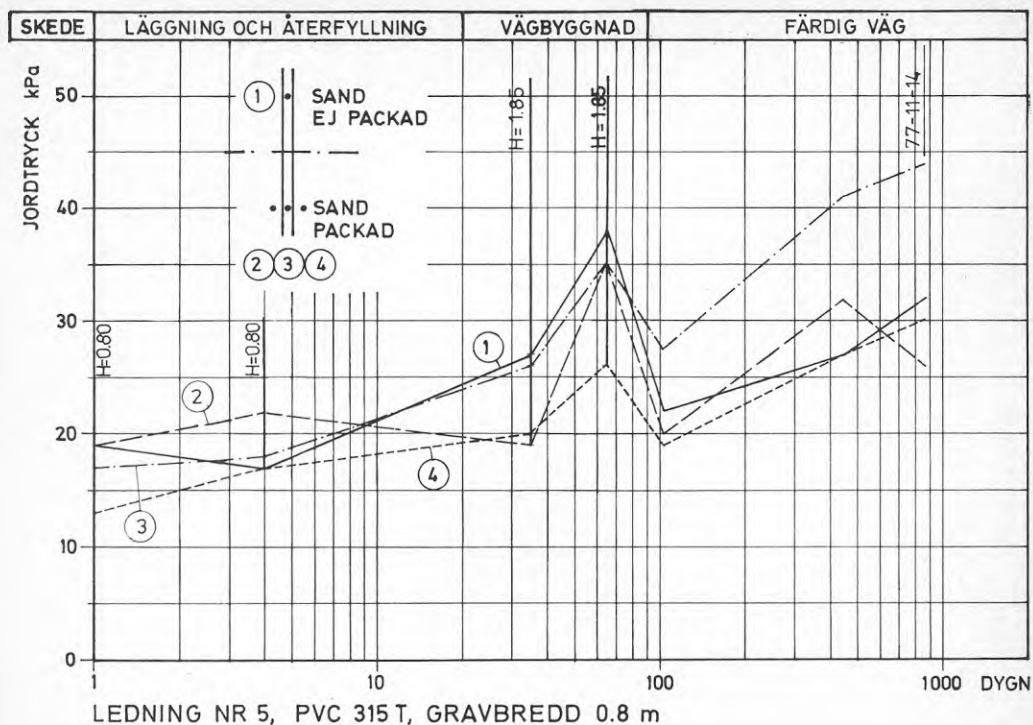


FIG B.13 Fältförsök. Uppmätta jordtryck. Ledning nr 5 och 6.

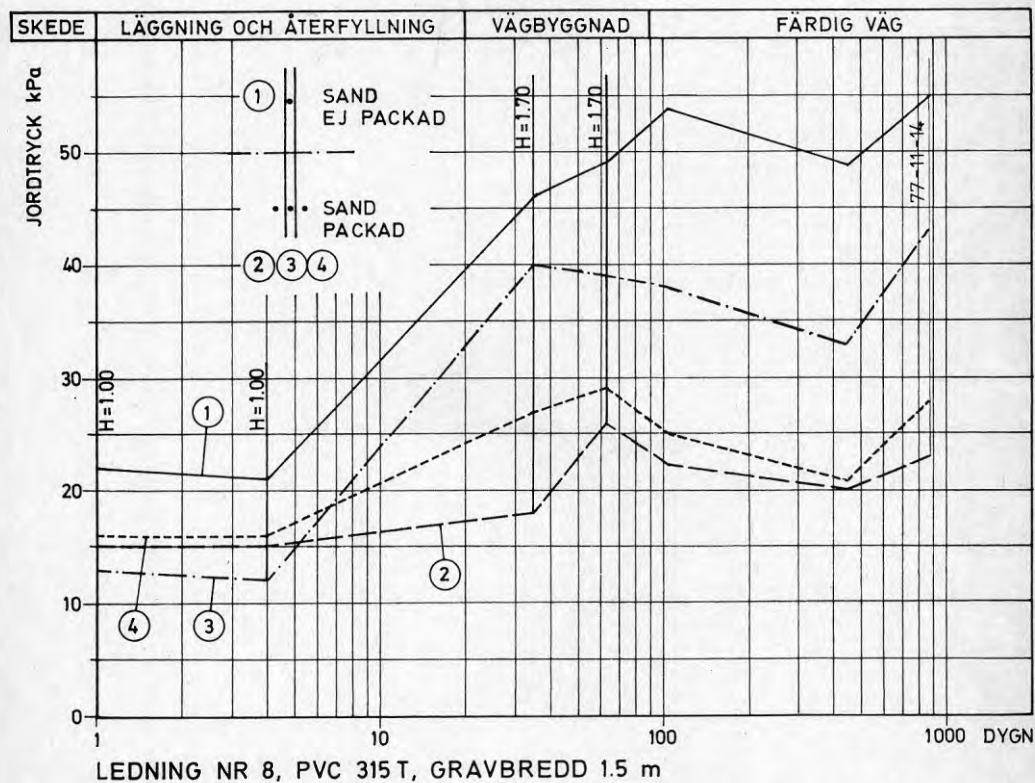
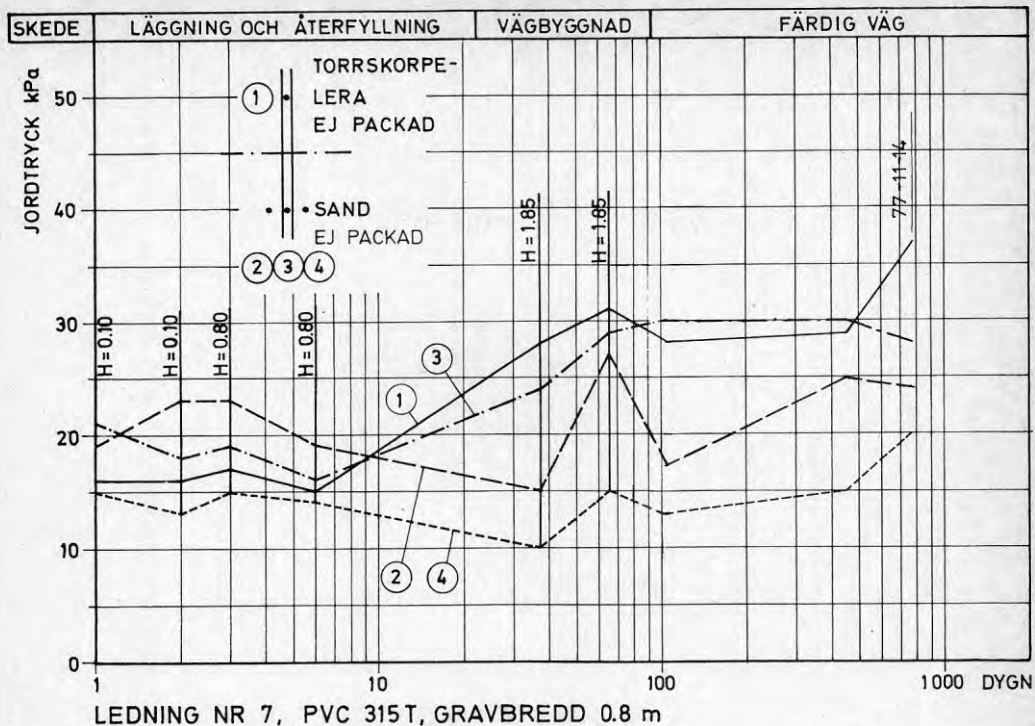


FIG B.14 Fältförsök. Uppmätta jordtryck. Ledning nr 7 och 8.

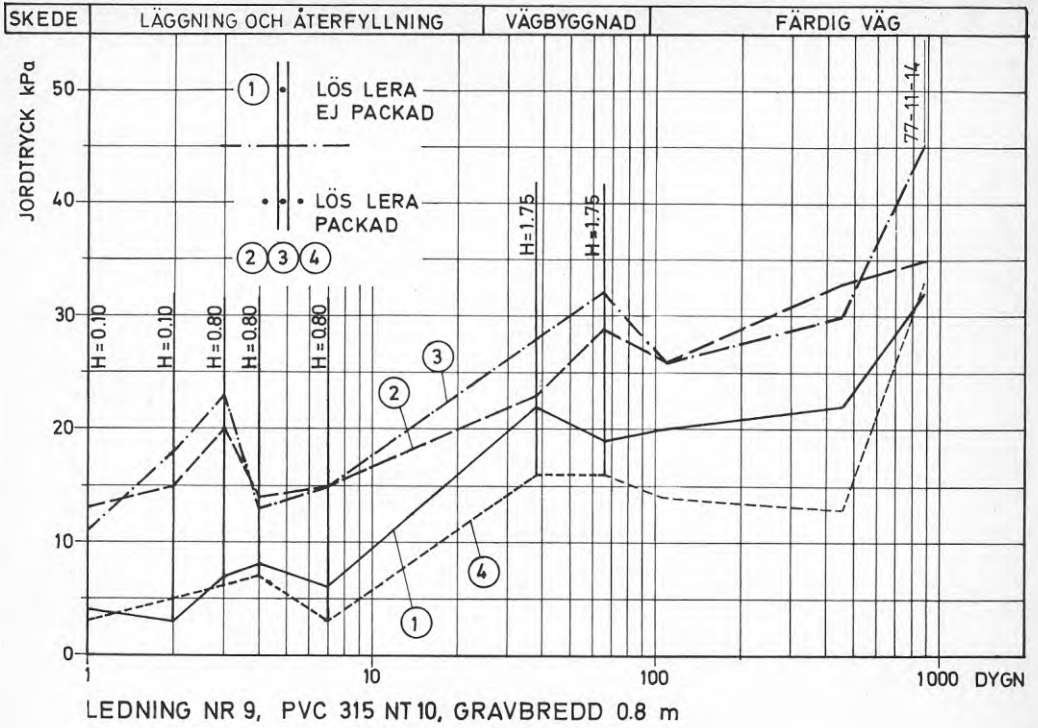
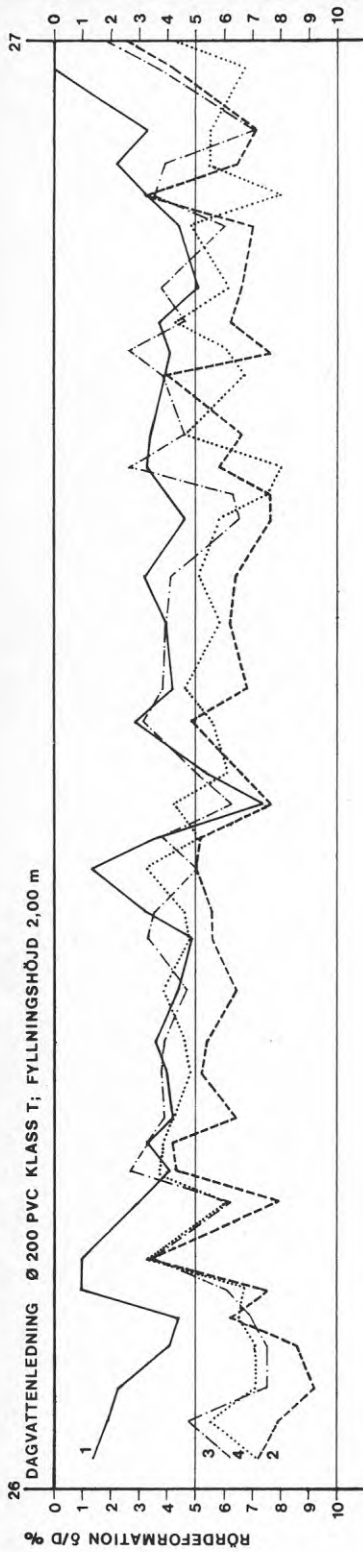


FIG B.15 Fältförsök. Uppmätta jordtryck. Ledning nr 9.

BILAGA C

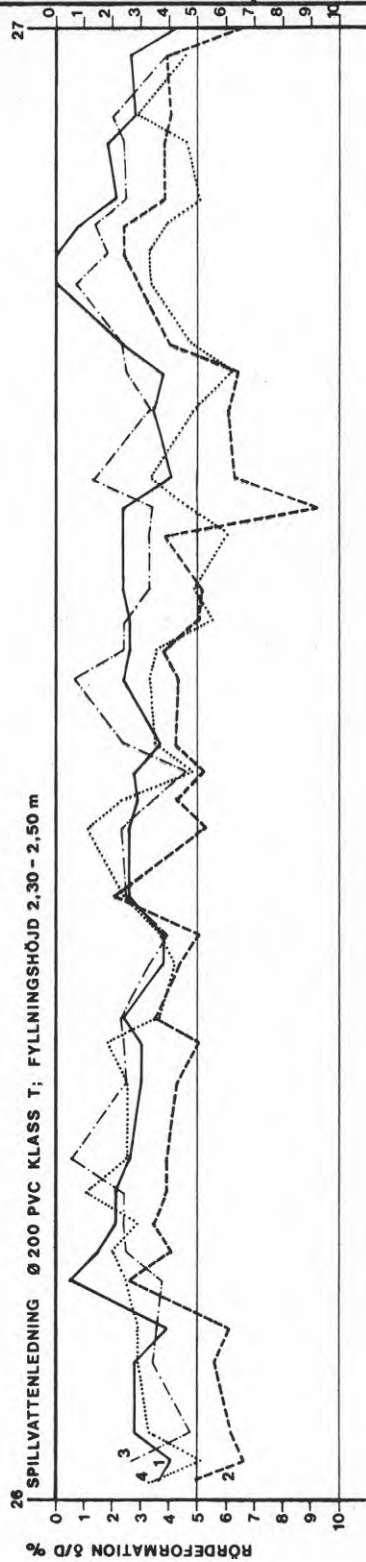
Mätresultat från ledningssträckor
i Göteborg

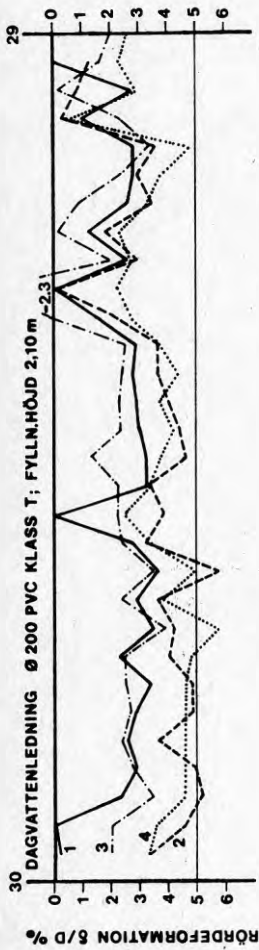
Rördeformationer



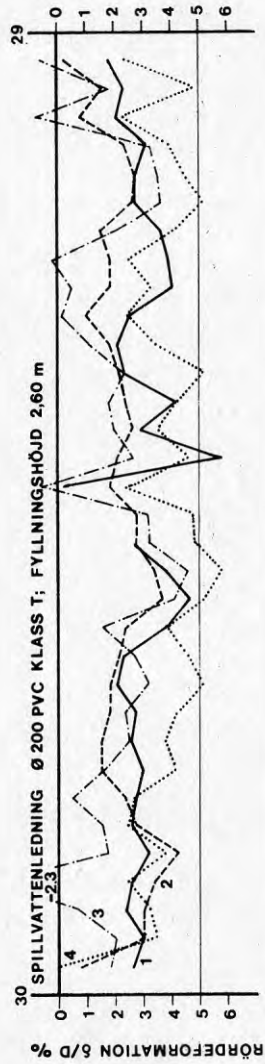
KURVA 1 15 DAGAR
 2 129 DAGAR
 3 589 DAGAR
 4 805 DAGAR

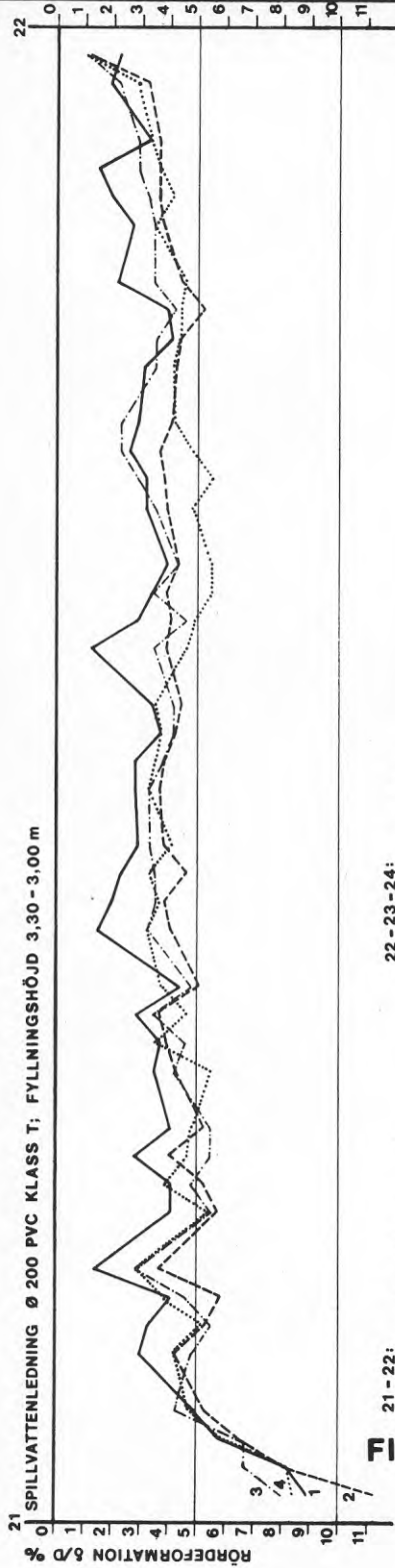
FIGUR C.1





KURVA 1 15 DAGAR
 2 115 DAGAR
 3 575 DAGAR
 4 792 DAGAR

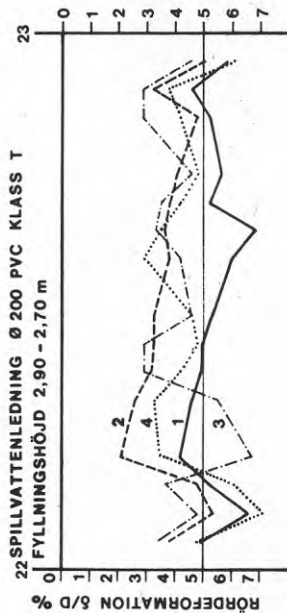
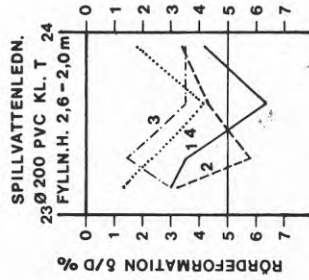




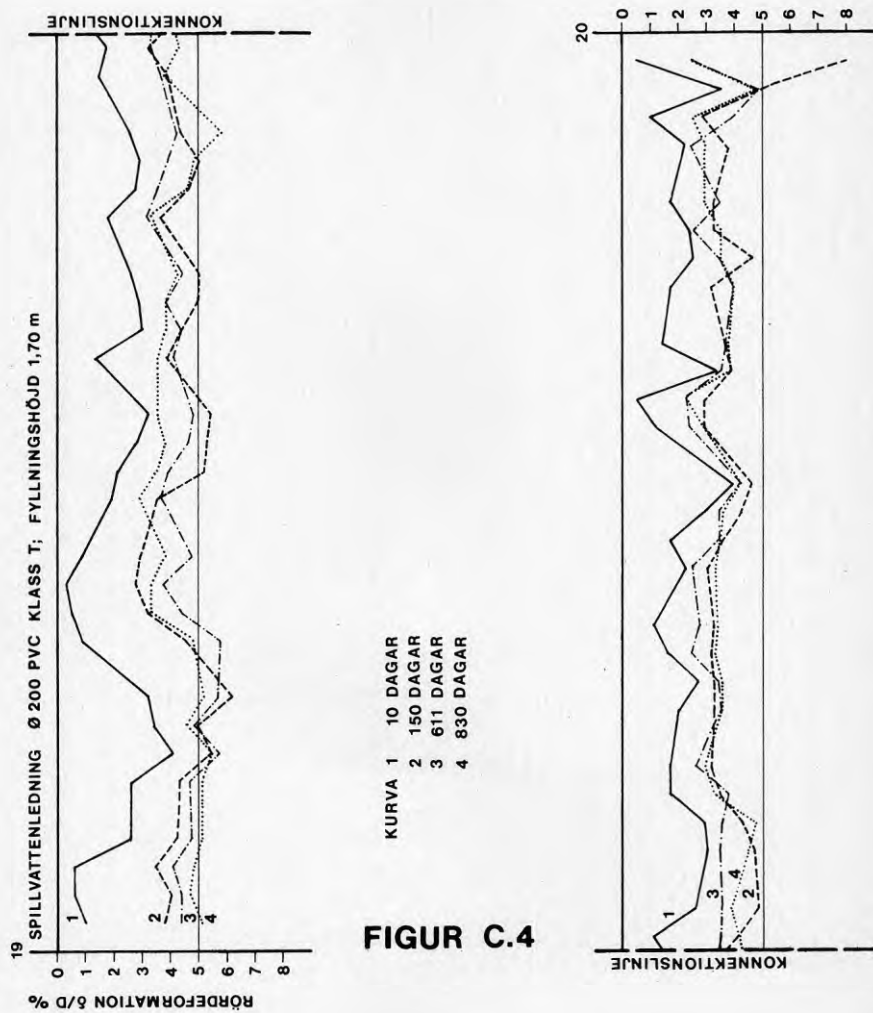
FIGUR C.3

21-22:
KURVA 1 10 DAGAR
2 138 DAGAR
3 600 DAGAR
4 815 DAGAR

22-23-24:
KURVA 1 15 DAGAR
2 114 DAGAR
3 576 DAGAR
4 852 DAGAR

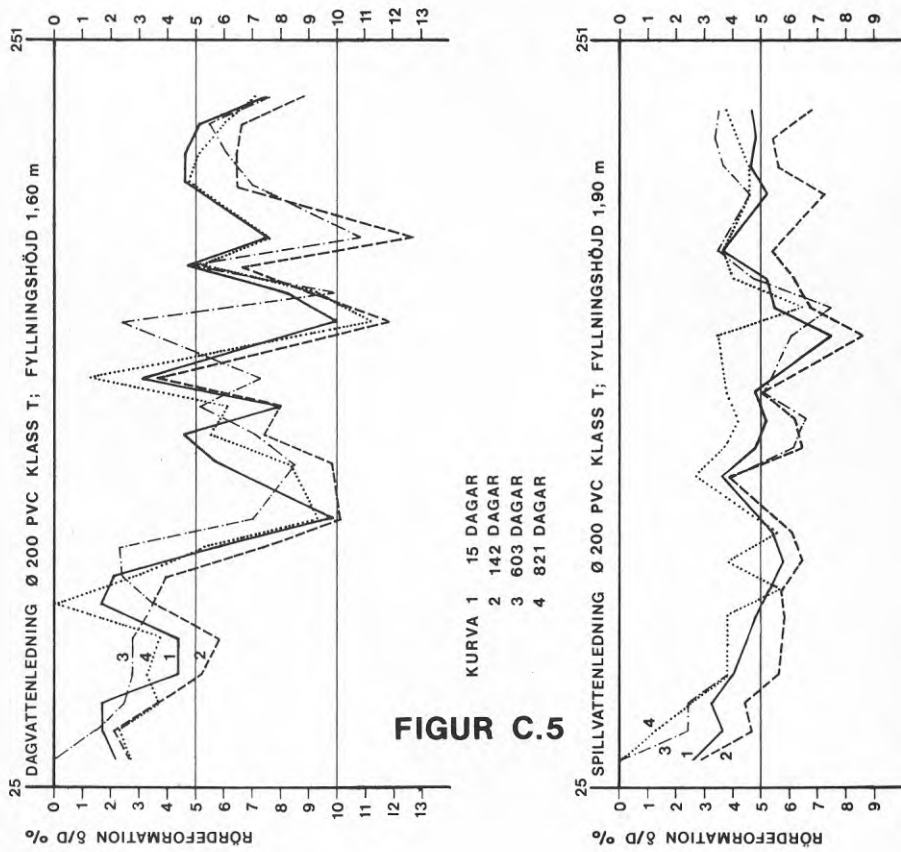


DEFORATIONS MÄTNING
GAMLESTADEN, SÖDRA STRÄCKAN

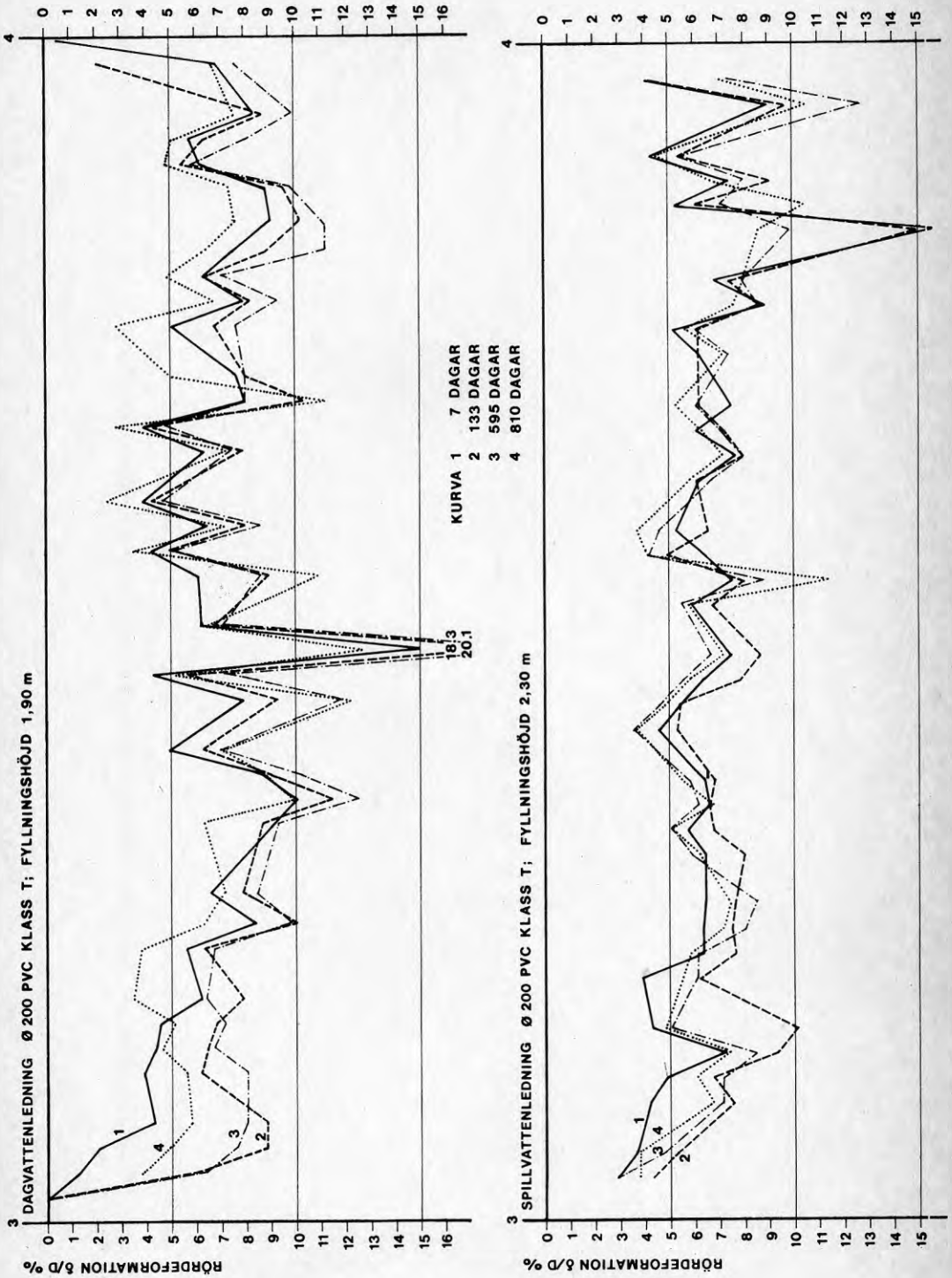


FIGUR C.4

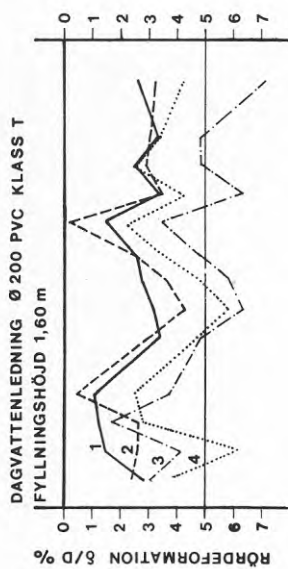
DEFORMATIONSMÄTNING
GÅRDA, NEPTUN, STR. 25 - 251



FIGUR C.6

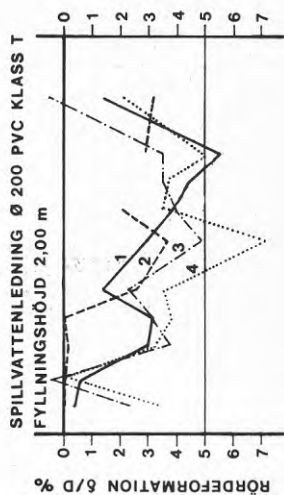


DEFORMATIONS MÄTNING
VÄNMÖTET

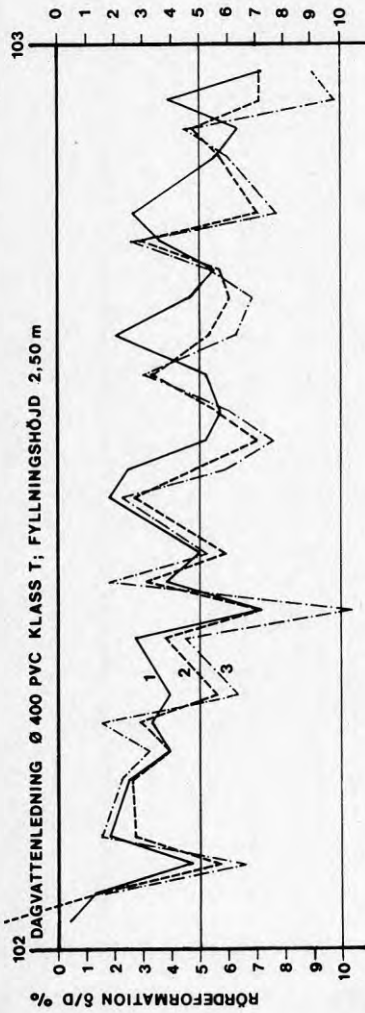


KURVA 1 10 DAGAR
2 149 DAGAR
3 612 DAGAR
4 829 DAGAR

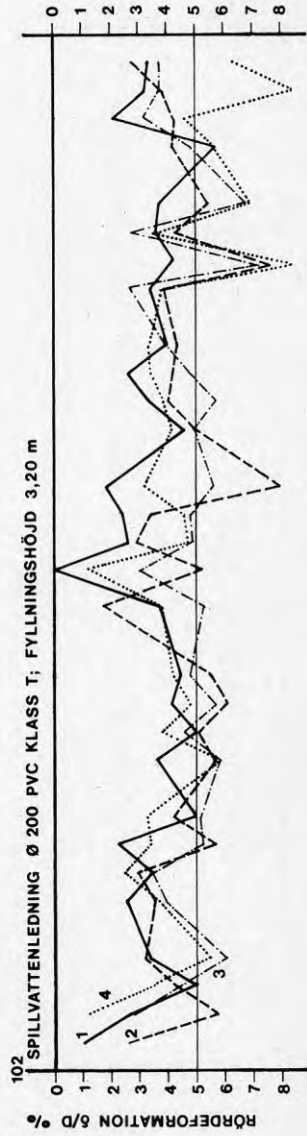
FIGUR C.7



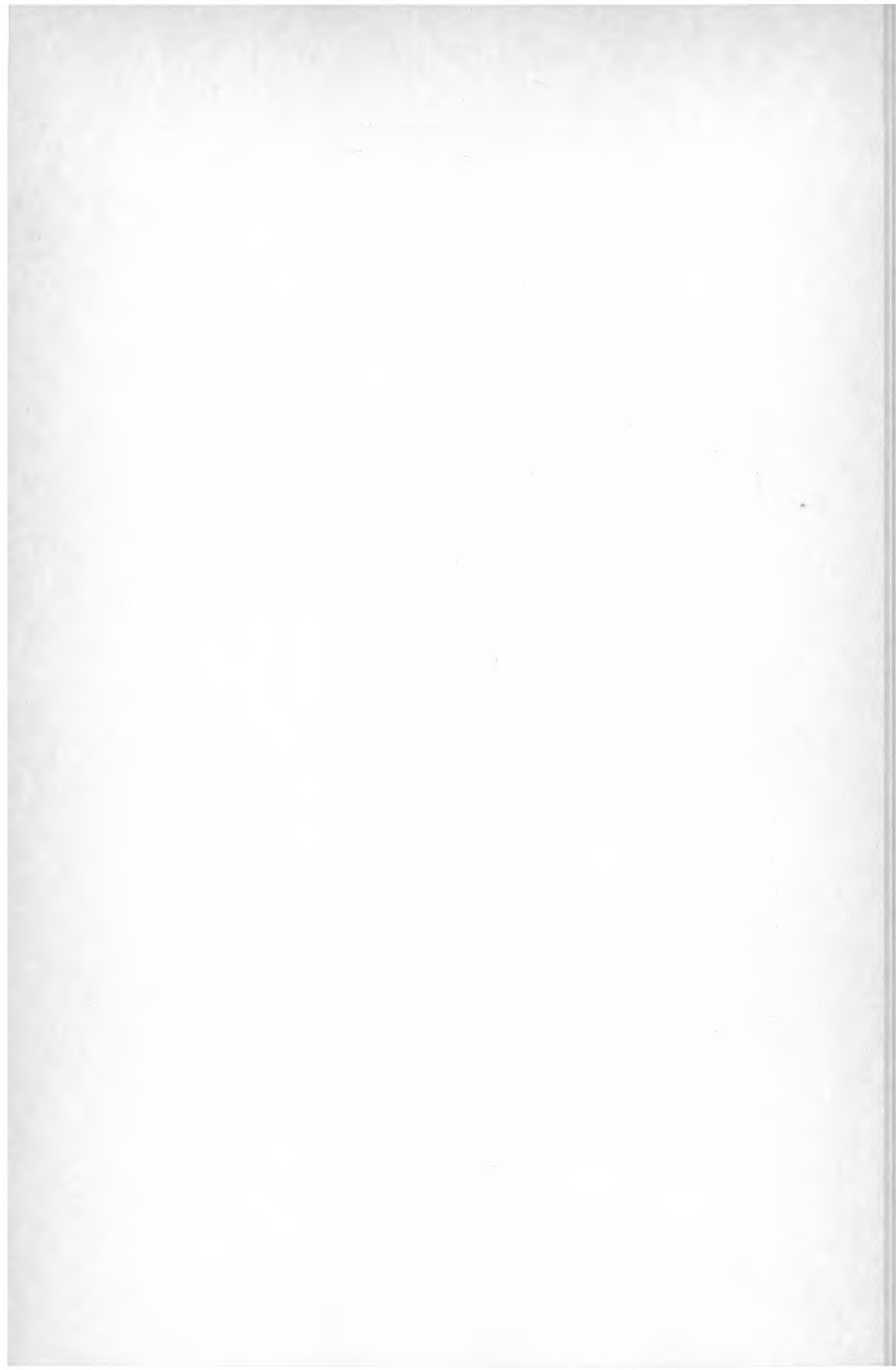
DEFORMATIONSMÄTNING
ÅKETORP, STR. 102 - 103

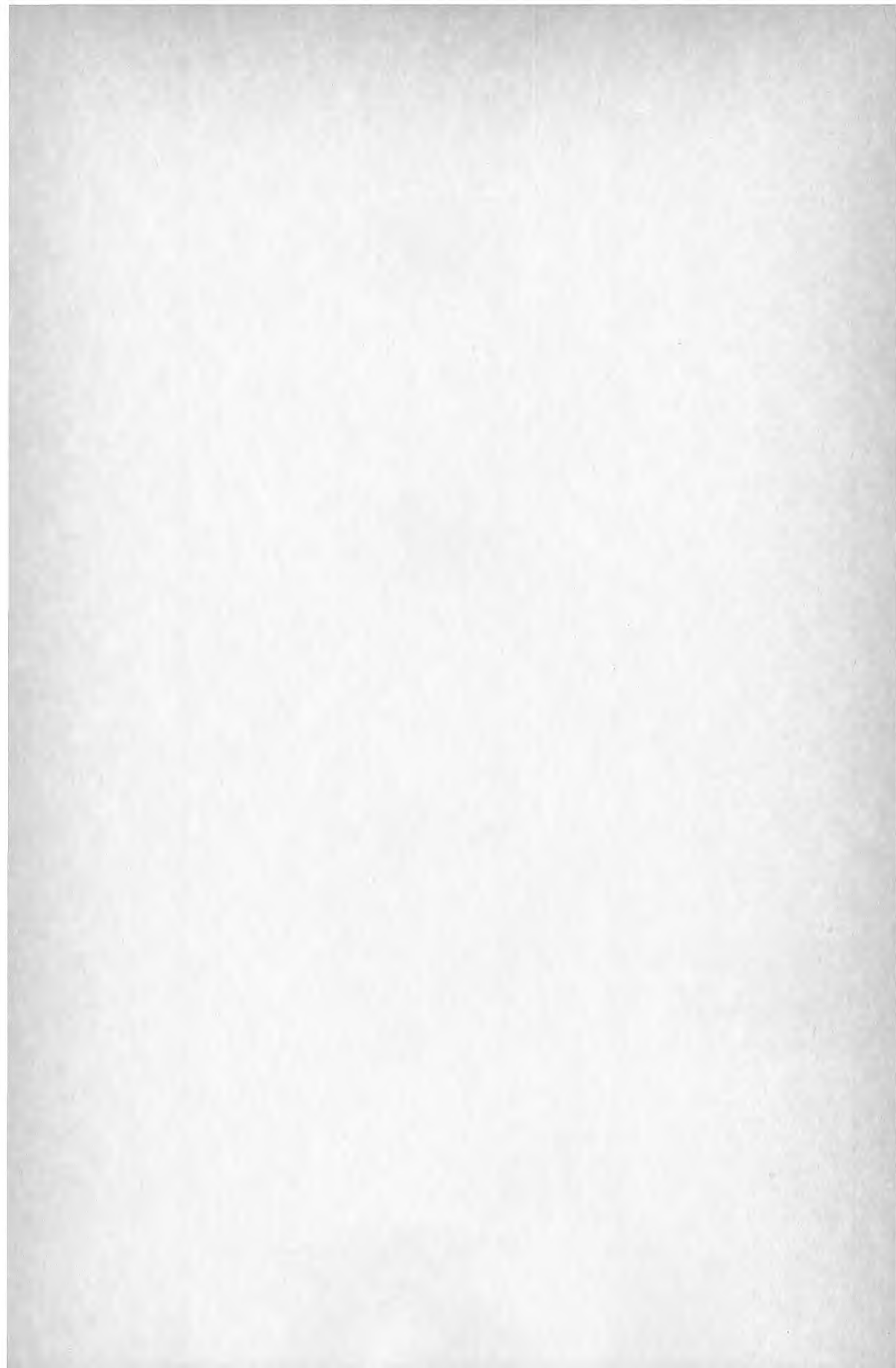


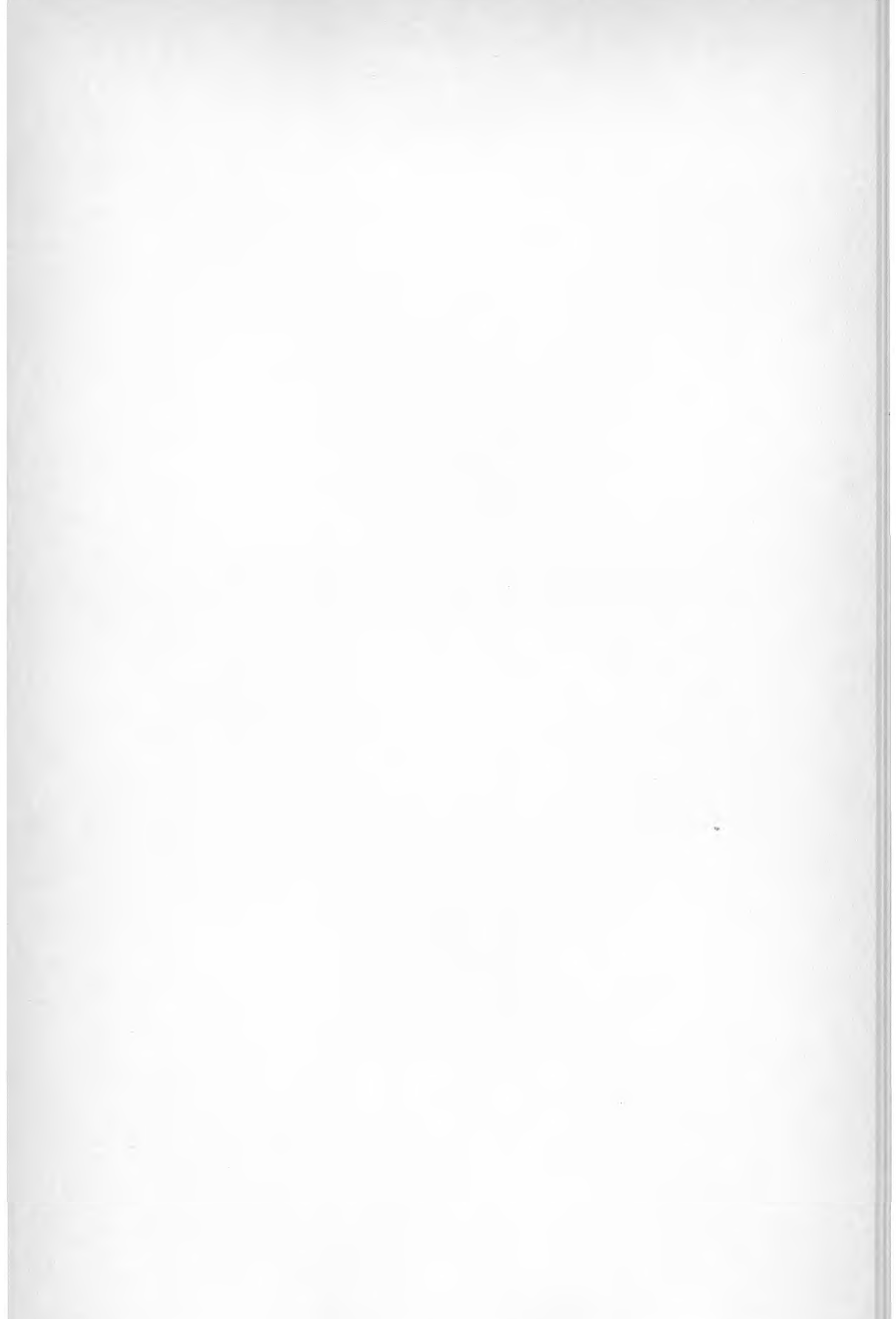
KURVA 1 15 DAGAR
2 112 DAGAR
3 466 DAGAR
4 683 DAGAR



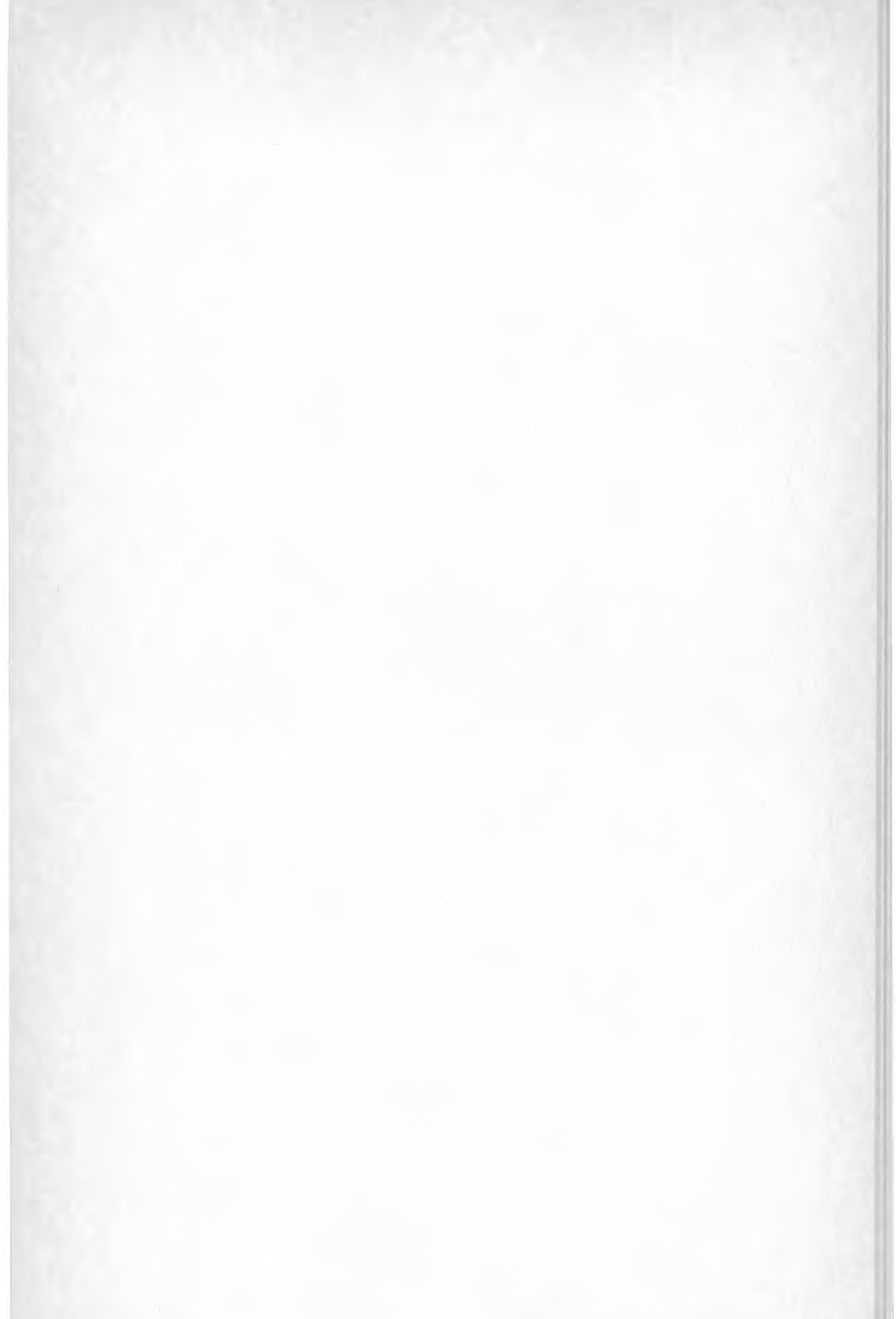
FIGUR C.8











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730015-1
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB Vatten-
byggnadsbyrån, Malmö.**

R61: 1981

ISBN 91-540-3502-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700361

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 45 kr exkl moms