

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 22 1991

Renovering af afløbssystemer



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

Nr. 22 1991

Renovering af afløbssystemer

Belastning af PEH-rør ved dynamisk rørsprængning

Jan Molin, Bo Nislev, Inge Faldager, Ulla Anthonisen,
Viggo Nielsen, Kurt Sparwath

Om spildevandsforskning

Miljøstyrelsen har med baggrund i en særlig programbevilling i perioden 1988-91, med rådgivning fra Vandrensningsrådet, igangsat en række forskningsprojekter på spildevandsområdet.

Disse projekter er tæt koordineret med en række tilsvarende projekter, igangsat af Teknologirådet under Industri- og Handelsstyrelsen.

Miljøstyrelsens projekter offentliggøres i denne serie om spildevandsforskning. De øvrige offentliggjorte rapporter er anført på omslagets næstsidste side.

Det bemærkes, at offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at indholdet er udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter, men styrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt bidrag til den videnopbygning, der også skulle være et led i gennemførelsen af Vandmiljøplanen.

Indholdsfortegnelse

	Forord	Side 5
1.	Sammenfatning	7
2.	Indledning	19
2.1	Projektet	19
3.	Beskrivelse af rørsprængnings-systemer	21
3.1	Metodebeskrivelse	21
3.2	Udstyr til rørsprængning, generelt	23
3.3	Overbelastning	25
3.4	Renoform	25
4.	Forsøg og målinger i praksis	29
4.1	Måleprincip	29
4.2	Forsøgsstrækninger	31
4.3	Måleresultater	36
5.	Teoretisk baggrund	47
5.1	Indledning	47
5.2	Kræfter ved sprængningshovedet	47
5.3	Kræfter på indføringsrøret	51
6.	Praktisk beregningsmetode	57
6.1	Forsøgsresultater	57
6.2	PEH-rørets styrke	64
6.3	Forslag til dimensioneringsmetode for PEH-røret	69
7.	Kvalitetsstyring under rørsprængnings-arbejder	77
7.1	Jordbundsundersøgelser	77
7.2	Forundersøgelser	77

		Side
7.3	Rørmaterialet	78
7.4	Samling af rør	78
7.5	Stiktilslutning	79
7.6	Tilslutning og indføring i brønde	79
7.7	Indføring	79
7.8	Beskadigelse af overfladen	80
7.9	Belastning af indføringsrøret under rørsprængning	80
7.10	Længdeforøgelse	82
7.11	Kortrørsforing	82
7.12	Tilfyldning af udgravning	82
7.13	Kontrol	82
8.	Litteratur	85

Forord

I forbindelse med fornyelse af hovedkloaksystemerne er det blevet mere og mere almindeligt at anvende opgravningsfri renoveringsmetoder. En af de metoder, der har haft størst fremgang gennem de sidste par år, er rørsprængning, hvor man ved hjælp af fx en trykluftdrevet hammer sprænger den eksisterende ledning og trækker et nyt plastrør ind i den gamle ledning.

Under installation af den nye ledning kan der optræde så store belastninger af rørmaterialet, at levetiden nedsættes mærkbart.

I denne rapport beskrives resultaterne af målinger på ledninger under installation. Målingerne er sammenlignet med en teoretisk model, og en beregningsmetode til bestemmelse af belastninger på plastledningen under installation er udviklet.

Modellen er udviklet for rørsprængningsmetoden Renoform, hvor installationen kan foregå med eller uden stålbånd til at beskytte plastrøret.

Rapporten er udarbejdet for Miljøstyrelsen og Industri- og Handelsstyrelsen med finansiel støtte fra Hans Jørgensen & Søn A/S og Sveriges Plastforbund. Disse parter samt Køge Kommune har haft repræsentanter i projektets styregruppe.

Projektet er udført af:

Jan Molin	VBB, Sverige,
Bo Nislev	Hans Jørgensen & Søn A/S
Inge Faldager	Rørcenteret, DTI
Ulla Anthonisen	Rørcenteret, DTI
Viggo Nielsen	Rørcenteret, DTI
Kurt Sparwath	Rørcenteret, DTI

1. Sammenfatning

Afløbssystemerne i Danmark er i så dårlig en tilstand, at omfattende fornyelser skal iværksættes straks. Fornyelse af afløbsledninger kan ske ved traditionelle metoder, hvor ledningerne erstattes med nye ved opgravning. I byområder, i trafikerede gader og på steder med mange ledninger og kabler er opgravning ofte dyr og meget generende for handel og trafik. I stedet kan anvendes opgravningsfri metoder, hvor generne begrænses eller helt kan undgås.

Denne rapport beskriver resultaterne af et udredningsprojekt vedrørende rørsprængningsmetoden Renoform udviklet af Hans Jørgensen & Søn A/S.

Rørsprængningsmetoden

Generelt

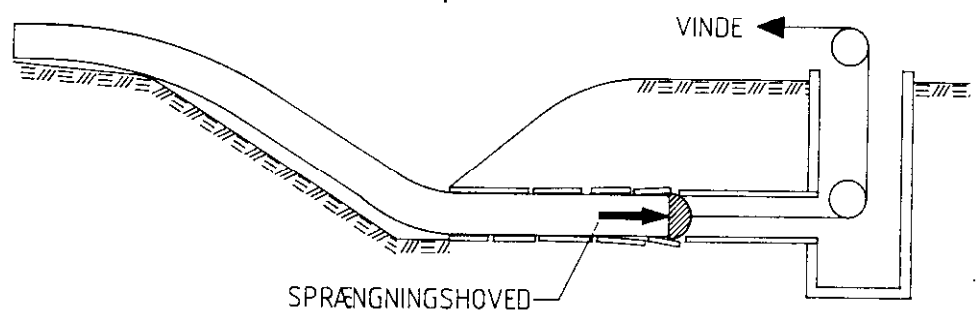
Som alternativ til traditionel omlægning (opgravning efterfulgt af lægning af ny ledning) er der udviklet en metode, ved hvilken den gamle ledning knuses. Stumperne presses ud i jorden, og en ny ledning trækkes og/eller skubbes ind i "hulrummet".

Arbejdet udføres på den måde, at en jordrakiet (slaghammer) med påmonteret sprængningshoved trækkes igennem den eksisterende ledning ved hjælp af et hydraulisk spil. Den nye ledning har enten samme dimension som den gamle, eller den er større. Den nye ledning er sat fast bag på sprængningshovedet og trækkes ind samtidig med, at knusningen foregår (figur 1.1). Den nye ledning er af PEH.

Arbejdet kan udføres fra en arbejdsgrube mellem to brønde, hvor en delstrækning af den eksisterende ledning fjernes.

Arbejdet kan også udføres fra en arbejdsgrube i nærheden af en nedgangsbrønd. I dette tilfælde bores den nye ledning ned til bundløb i brønden. Arbejdet afsluttes som regel i en nedgangsbrønd (modtagebrønden).

Når knusningen er afsluttet, afmonteres sprængningshovedet i modtagebrønden, og raketten trækkes tilbage gennem den nye ledning til arbejdsgruben.



Figur 1.1

Principskitse af rørsprængning. Sprængningshovedet sprænger det eksisterende rør, og et nyt rør trækkes ind. Sprængningshovedet aktiveres med trykluftdrevet hammer eller med hydraulisk presse.

Under indføringen af det nye plastrør påvirkes dette af forskellige kræfter: Trækket fra wiren, overflademodstand fra jorden, dynamiske kræfter fra sprængningshoved og trykkræfter, hvis det yderligere skubbes ind.

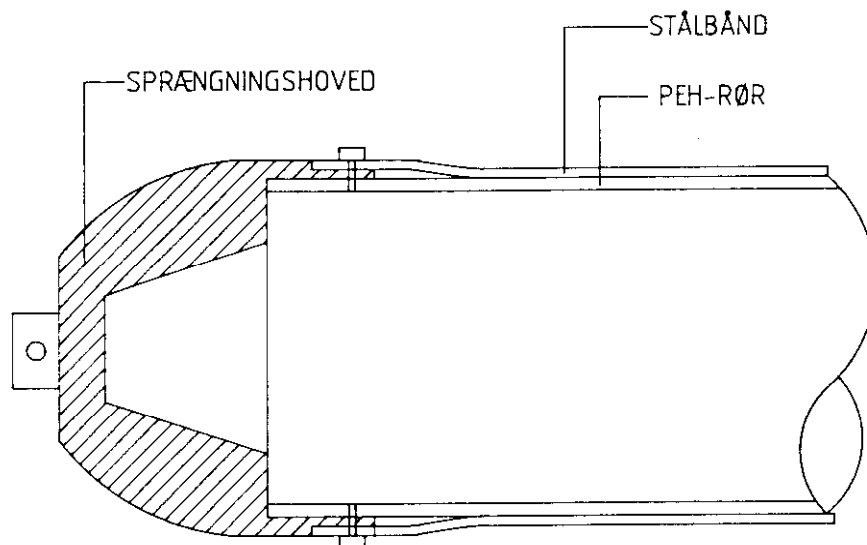
For at mindske overflademodstanden på rørene, kan hulrummet injiceres med betonite under rørsprængning. Betonite "smører" og nedsætter dermed overflademodstanden.

Overflademodstanden kan også nedsættes via en kappe af stålband rundt om røret.

Dette princip anvendes netop ved Renoformsystemet.

Renoform

Renoformsystemet består af et sprængningshoved, hvori der er indbygget en pneumatisk hammer (figur 1.2). En wire fra et trækspil er fastgjort til sprængningshovedet.



Figur 1.2

Sprængningshovedet med plastrør og stålband fastgjort med bolte.

Med Renoformsystemet kan renoveringen udføres med lange sammensvejste rør eller med et system af korte rør.

I Renoformsystemet er det muligt at beskytte den nye ledning med en kappe af stålband, der monteres på sprængningshovedet.

Formålet med stålbandene er dels at beskytte rørene mod ridser i overfladen, dels at opnå, at overflademodstanden fra jorden overføres til stålbandene, uden at rørene overbelastes.

Renoform har desuden indbygget en sikring mod overbelastning af røret lige bag sprængningshovedet. Sikringen fungerer på den måde, at når påvirkningerne af rørmaterialet nærmer sig det maksimalt tilladelige, frigøres sprængningshovedet fra røret, og rørsprængningen ophører.

Projektets gennemførelse

Projektet er gennemført på den måde, at der er opstillet en teoretisk model for de påvirkninger, som plastrørene udsættes for under installation. I modellen beskrives kræfterne ved sprængningshovedet. Kræfterne, der påvirker indføringsrøret, beskrives både ved installation med og uden stålbånd.

Derefter er der gennemført målinger på plastrørene under rørsprængning af 4 ledningsstrækninger, hver ca. 80 m lange. Ved hjælp af strain gauge, der er limet fast på rørvæggen, er tøjningsværdierne i plastmaterialet målt under installationen. Måleudstyret og metoden er udviklet af Afdelingen for Materialeforskning på Risø.

Derefter er den teoretiske model blevet afprøvet ved sammenligning med resultaterne fra de gennemførte forsøg med og uden stålbånd. Virkningen af stålbåndene er beskrevet, og endelig er der opstillet et forslag til praktisk dimensioneringsmetode for installation af PEH-rør ved rørsprængning.

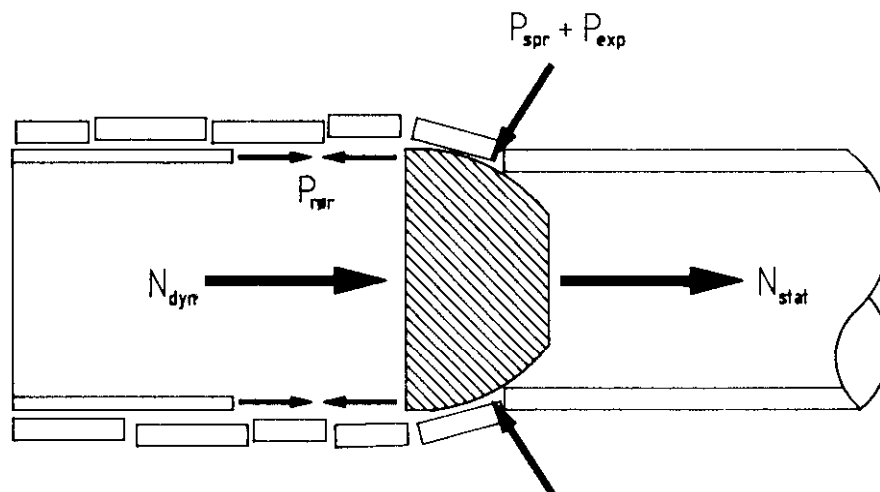
Sluttelig er de enkelte elementer i rørsprængningsprocessen gennemgået med henblik på kvalitetsstyring af arbejdets udførelse.

Alle disse forhold er detaljeret gennemgået i rapporten. Neden for er summarisk gennemgået de anvendte fremgangsmåder og nogle væsentlige resultater.

Teoretisk model

Rørsprængningen og indtrækningen af plastrøret sker dels med en næsten konstant kraft gennem wiren fra trækspillet dels med en overlejet dynamisk kraft fra jordraketten. Når sprængningshovedets diameter er større end det eksisterende rørs indvendige diameter, skal kræfterne være så store, at de kan sprænge og udvide røret. For selve sprængningen af røret har den dynamiske kraft fra jordraketten (stødkraften) større betydning end den statiske trækraft fra wiren. Kræfterne på sprængningshovedet er illustreret i figur 1.3.

Da sprængningshovedet ligger tæt an til den eksisterendes ledning, skønnes størstedelen af sprængningshovedets dynamiske energi at blive brugt til arbejdet med at sprænge og ekspandere det eksisterende rør, og kun en mindre del af energien overføres til plastrøret.



Figur 1.3

Kræfter, der virker på sprængningshovedet ved sprængning og ekspansion af det eksisterende rør.

Sprængkraftens størrelse P_{spr} afhænger af kvalitet og rørtype på den eksisterende ledning samt af sprængningshovedets udformning. Denne kraft kan normalt ikke beregnes, men må bestemmes eksperimentelt for hvert enkelt udstyr.

Ekspansionskraftens størrelse P_{exp} afhænger af tætheden i omkringfyldningen. Ved beregning efter en metode, som er angivet i /3/, fås en fornemmelse af kraftens størrelse.

Størrelsen af den dynamiske kraft N_{dyn} afhænger blandt andet af slaghammerens egenskaber samt systemets fjedervirkning. Den største dynamiske kraft fås, når sprængningshovedet ligger helt an mod den eksisterende ledning i slagøjeblikket.

Den statiske kraft N_{stat} svarer til trækket i trækwiren fratrasket friktionstab i wireblokken.

I rapporten opstilles en model, hvor den beregnede kraft $P_{\text{rør}}$ lige bag ved sprængningshovedet antages at blive optaget af friktionskræfter mod PEH-rørets overflade under indtrækningen.

Uden stålband virker kræfterne direkte på PEH-røret. Når røret beskyttes med stålband, fordeles kraften mellem båndene og røret. Stålband er væsentligt stivere end PEH-røret, og dette betyder, at stålbandene overtager størstedelen af kraften.

Den ydre last Q på indføringsrøret kan variere mellem meget vide grænser. I stabil jord (eksempelvis meget stiv moræneler) kan der over en anelig længde forblive en luftspalte mellem det sprængte rør og indføringsrøret under installationen.

I sådanne jordarter kan indtrækningslængden blive stor, uden at der opstår problemer.

I ustabil jord (fx sand eller silt) sker der en tilbagefjedring, som efter kort tid giver en mere eller mindre fuldstændig kontakt mellem den eksisterende ledning og indføringsrøret. Sådanne jordarter kan i denne sammenhæng betragtes som "elastiske" jordarter, og belastningerne på PEH-røret kan blive meget store.

Denne tilbagefjedring indgår i modellerne til beregning af belastningerne på PEH-røret under rørsprængning.

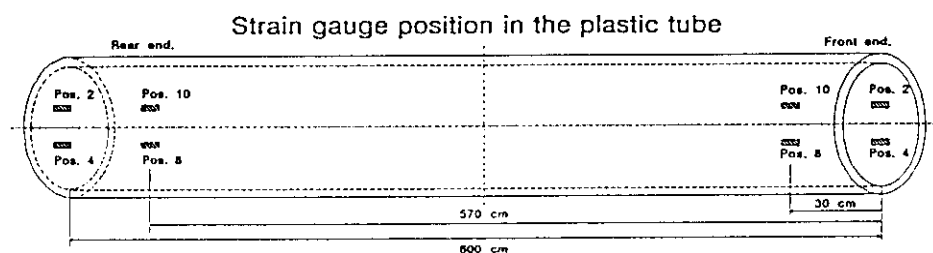
Målinger i praksis

De praktiske forsøg og målinger blev udført i markarealer på Forskningscenter RISØ, hvor kloakledninger i nogen tid etapevis er blevet renoveret. RISØ's afdeling for materialeforskning har udviklet den anvendte målemetode og derefter udført målinger og efterfølgende databehandling.

Måleprincippet går ud på ved hjælp af strain gauge at måle, hvor meget og hvor hurtigt PEH-røret deformeres, når det installeres ved rørsprængningsmetoden. Strain gauge har den egenskab, at de på kendt måde ændrer elektriske data, når de udsættes for deformation. Strain gauge, der er limet til PEH-røret, vil deformeres på samme måde som røret.

Det udviklede måleudstyr består af strain gauges limet til indersiden af et 6 m langt rør i dimension, som den ledning der skal anvendes

på den pågældende strækning. Der anvendes 4 strain gauges i hver rørende, som vist på figur 1.4. Strain gauges forbliver i røret, når forsøget er afsluttet, men de sidder glat med rørvæggen og vil ikke nedsætte rørets transportevne. Det 6 m lange målerør spejlsvejses til den PEH-ledning, der skal anvendes. Strain gauges er med et kabel med 3 ledere pr. gauge forbundet til en computer med opsamling og online databehandling via et forstærkersystem. Kablet fra strain gauges til forstærker/computer er trukket inde i PEH-røret. Forstærker, computer m.v. er anbragt i en bil, som placeres således, at kabellængden bliver så kort som muligt.



Figur 1.4

Skitse af strain gauge placering i målerøret.

Der blev foretaget målinger på i alt 4 strækninger, hvor de gamle ledninger alle var ø 250 mm glaserede lerrør.

Formålet med opdelingen var at kunne udføre forsøg under ensartede ydre betingelser (jordbundsforhold, ledningsdybde m.v.) med PEH-ledninger uden og med stålband. Desuden opnås, at der kan udføres forsøg, hvor der indføres PEH-ledning i større dimension end den gamle ledning.

Jordbunden langs samtlige forsøgsstrækninger består af fast moræneler.

Forsøg 1

Strækning 1: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 315 mm PEH ledning, PN 4 uden stål-bånd.

Forsøg 2

Strækning 2: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 315 mm PEH ledning, PN 4 beskyttet med stålband.

Forsøg 3

Strækning 3: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 250 mm PEH-ledning PN 6 uden stålband.

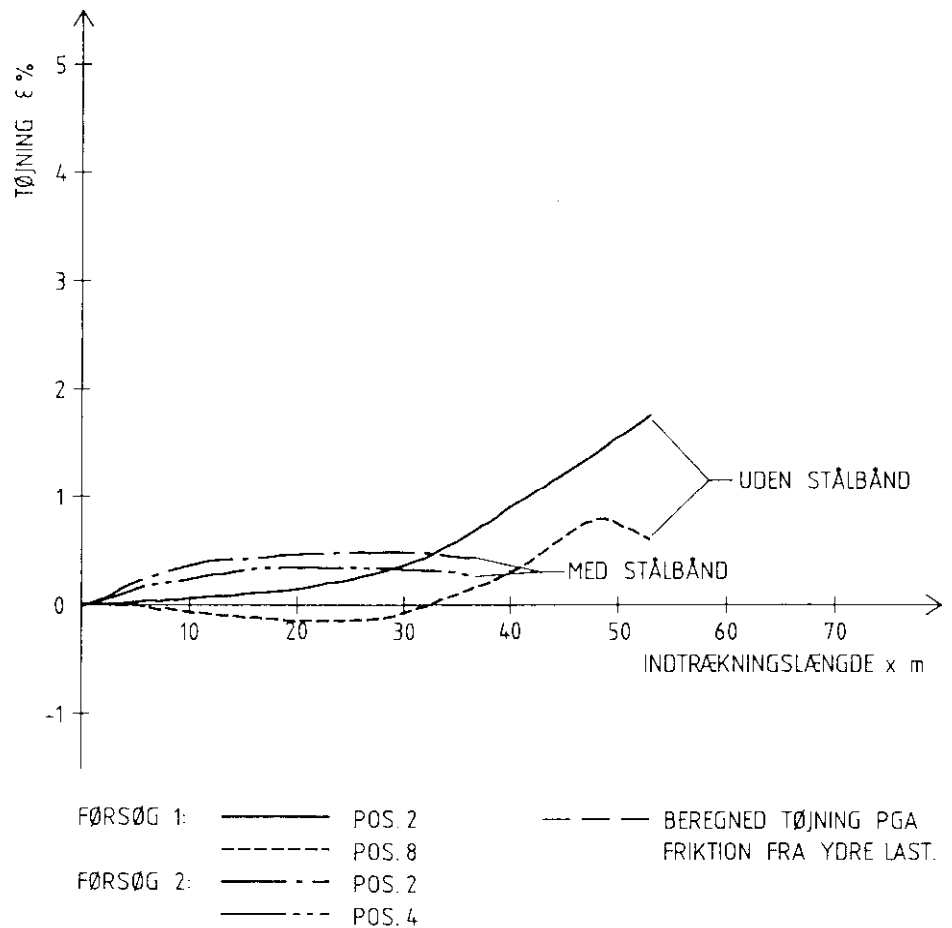
Forsøg 4

Strækning 4: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 250 mm PEH-ledning, PN 6 beskyttet med stålband.

Figur 1.5
Forsøgenes 4 delstrækninger

Ved forsøgene blev der opsamlet måledata. På baggrund af de indsamlede måledata kan de opståede tøjninger (deformationer) optegnes som funktion af den indtrukne rørlængde. I figur 1.6 vises et eksempel, hvor tøjningen i PEH-røret er vist ved forsøg med og uden stålband.

Det fremgår tydeligt, at tøjningerne i PEH-røret er størst uden stålband, og at de stiger kraftigt med indtrækningslængden. Med stålband er tøjningerne i PEH-røret stort set konstante. Trækkræfterne optages således hovedsageligt af stålbandene.



Figur 1.6
Målte tøjninger i PEH-rørets bagende. Positionsnumrene refererer til figur 1.4.

Praktisk anvendelse

På grundlag af den opstillede teori og de resultater, der blev opnået ved forsøgene, angiver rapporten et forslag til dimensionering af PEH-røret, når det installeres ved rørsprængning.

Det skal understreges, at retningslinierne alene er fastsat ud fra de aksielle påvirkninger under installationen. Valg af rørklasse er også afhængig af påvirkningerne i tangentiell retning og belastningerne efter længere tid

fra jord og trafik. En bedømmelse af disse forhold kan foretages jævnfør /1/.

Forslaget har generel karakter og gælder således ikke kun for Renoformsystemet. Forslaget består af et formelsæt og et sæt diagrammer. Et eksempel på et sådant diagram er vist på figur 1.7.

Diagrammerne viser, hvilken trykklasse man bør vælge ved en rørsprængning, når jordbundsforholdene, jorrdækningen og indtrækningslængden er kendt.

Diagrammerne er optegnet for rørsprængning både med og uden stålband.

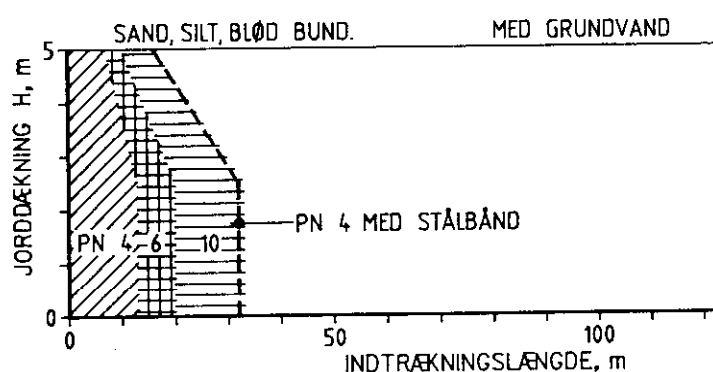
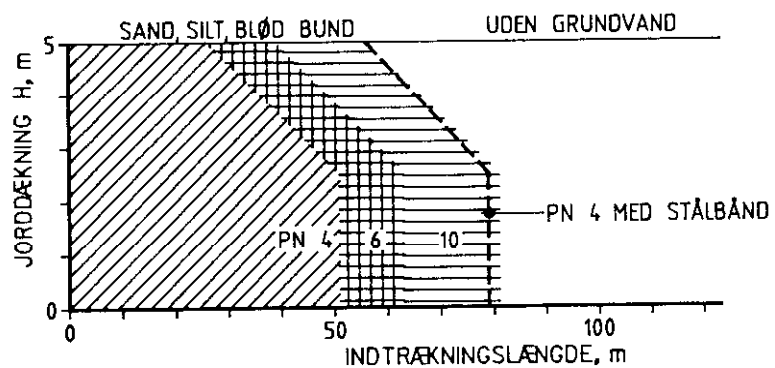
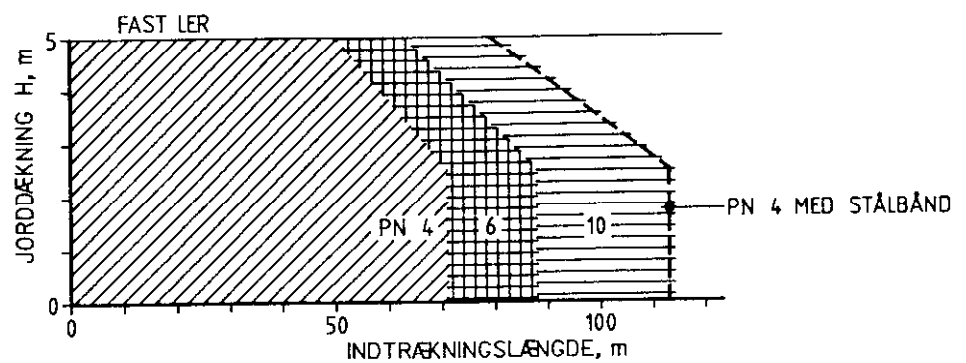
Diagrammerne og beregningsmetoden gælder for "normale" ledninger. Det vil sige ledninger uden store sætninger, vinkeldrejninger eller forskydninger.

Endelig skal der gøres opmærksom på, at modellen kun er verificeret gennem ganske få praktiske forsøg. Hvis der de kommende år er indhentet flere erfaringer og større viden vedrørende de enkelte parametre i modellen, kan dimensioneringsdiagrammerne forbedres, og anvendelsesområdet udvides.

Eksempel:

Jordækning: 4 m
Jordbund: Fast ler uden grundvand
Indtrækningslængde: 100 m
Dimension af det nye rør: $\varnothing$ 250 mm

Her viser diagrammerne, at man uden stålband bør vælge et PN 10 rør. Med stålband er et PN 4 rør tilstrækkeligt.



Figur 1.7

Diagram til valg af rørklasse for PEH-røret med hensyn til belastningen under installation $D_y = 250$ mm. For de tre trykklasse angives tilladelig indtrækningslængde ved forskellige lægningsdybder.

Den stiplede linie viser indtrækningslængderne for PN4-rør beskyttet med stålband.

2. Indledning

Mange kommuner er i øjeblikket i gang med at sanere deres kloaksystemer. I bymidter og under stærk trafikerede gader vælger man i stor udstrækning opgravningsfri renoveringsmetoder, så handlende og trafik forstyrres mindst muligt.

En af de senest udviklede renoveringsmetoder er rørsprængning, hvor man ved hjælp af fx en trykluftdreven hammer sprænger det gamle rør og trækker et nyt plastrør ind i den gamle ledning. Hans Jørgensen & Søn A/S har udviklet et system, Renoform, hvor det nye rør under vanskelige forhold kan beskyttes af en kappe af stålbånd rundt om røret.

Under arbejdet med Renoform har man erfaret, at der under installationen af det nye rør kan være tale om meget forskelligartede belastninger på det nye rør. Belastningerne kan i nogle tilfælde være så voldsomme, at levetiden på den nye ledning nedsættes kraftigt.

Der findes i dag ikke en oversigt over, hvilke belastninger en ledning kan blive påført under en rørsprængning. Der findes heller ikke nogen beregningsmetode til dimensionering af indførringsrøret under installation. Endelig findes der ikke nogle metoder, der forklarer, hvorledes stålbåndene og indførringsrøret arbejder sammen. Det hidtidige arbejde med rørsprængning er gennemført på et empirisk grundlag.

Formålet med dette projekt er:

- * at udvikle en beregningsmetode til beregning af påvirkninger på plastrøret under installation (med og uden stålbånd).
- * at angive kontrolmetoder til sikring af kvaliteten under arbejdets udførelse.

Beregningsmetoder til beregning af ledningen efter installationen findes i "Renovering af afløbsledninger, retningslinier for valg, dimensionering og udførelse. /1/.

2.1 Projektet

Projektet er gennemført på den måde, at der

først er opstillet en teoretisk model for de påvirkninger, som plastrørene udsættes for under installation (kapitel 5). I modellen beskrives kræfterne på indføringsrøret ved sprængningshovedet. Kræfterne, der påvirker indføringsrøret, beskrives både ved installation med og uden stålbånd.

Derefter er der gennemført målinger på plastrørene under rørsprængningen. Ved hjælp af strain gauge, der er limet fast på rørvæggen, er tøjningsværdierne i plastmaterialet målt under installationen. Måleudstyret og metoden er udviklet af Afdelingen for Materialeforskning på Risø (kapitel 4).

I kapitel 6 er den teoretiske model blevet afprøvet ved sammenligning med de gennemførte forsøg. Den praktiske funktion af stålbåndene er beskrevet, og endelig er der opstillet et forslag til praktisk dimensioneringsmetode for PEH-røret under installation.

I kapitel 7 er de enkelte elementer i rørsprængningsprocessen gennemgået med henblik på kvalitetsstyring af arbejdets udførelse.

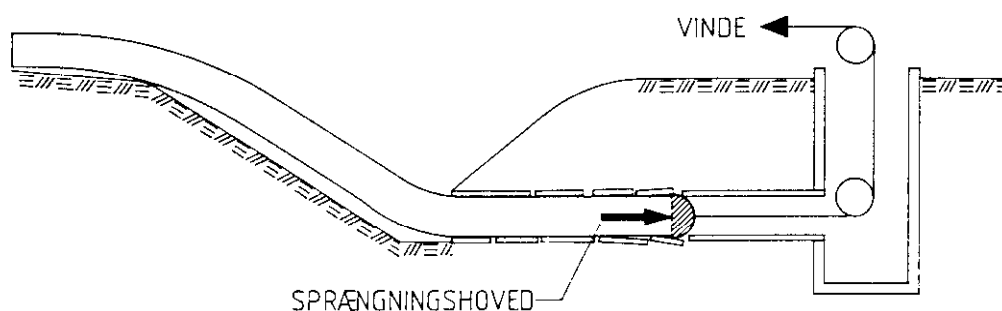
3. Beskrivelse af rørsprængningssystemer

3.1 Metodebeskrivelse

Som alternativ til traditionel omlægning (opgravning efterfulgt af lægning af ny ledning) er der udviklet en metode, ved hvilken den gamle ledning knuses. Stumperne presses ud i jorden, og en ny ledning trækkes og/eller skubbes ind i "hulrummet".

Rørsprængning

Arbejdet udføres på den måde, at en jordraket (slaghammer) med påmonteret sprængningshoved trækkes igennem den eksisterende ledning ved hjælp af et hydraulisk spil. Den nye ledning har enten samme dimension som den gamle, eller den er større. Den er sat fast bag på sprængningshovedet og trækkes ind samtidig med, at knusningen foregår (figur 3.1). Den nye ledning er af PEH.



Figur 3.1

Principskitse af rørsprængning. Sprængningshovedet sprænger det eksisterende rør, og et nyt rør trækkes ind.

Arbejdet kan udføres fra en arbejdsgrube mellem to brønde, hvor en delstrækning af den eksisterende ledning fjernes (figur 3.2).



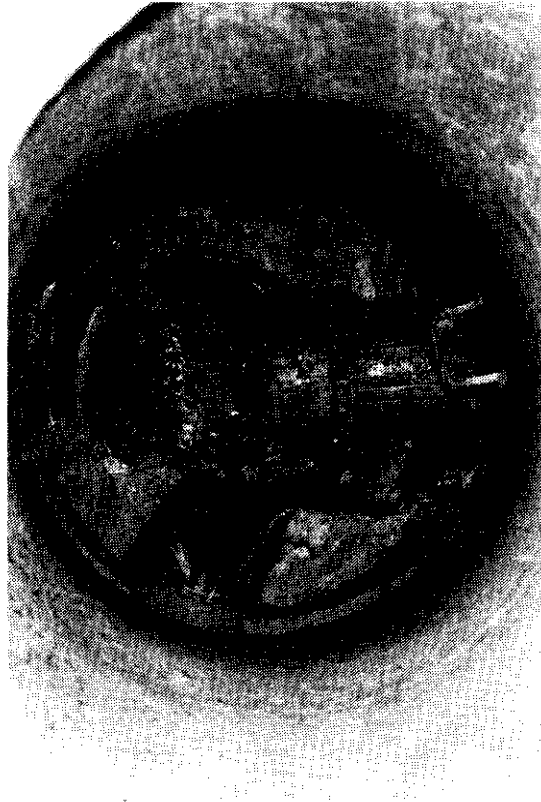
Figur 3.2
Indføringen kan ske gennem arbejdsgrube



Figur 3.3
Indføring af det nye rør kan ske gennem en arbejdsgrube og et hul, der er boret ned til ledningssystemet.

Arbejdet kan også udføres fra en arbejdsgrube i nærheden af en nedgangsbrønd. I dette tilfælde bores den nye ledning ned til bundløb i brønden (figur 3.3). Arbejdet afsluttes som regel i en nedgangsbrønd (modtagebrønden).

Når knusningen er afsluttet, afmonteres sprængningshovedet i modtagebrønden (figur 3.4), og raketten trækkes tilbage gennem den nye ledning til arbejdsgruben.



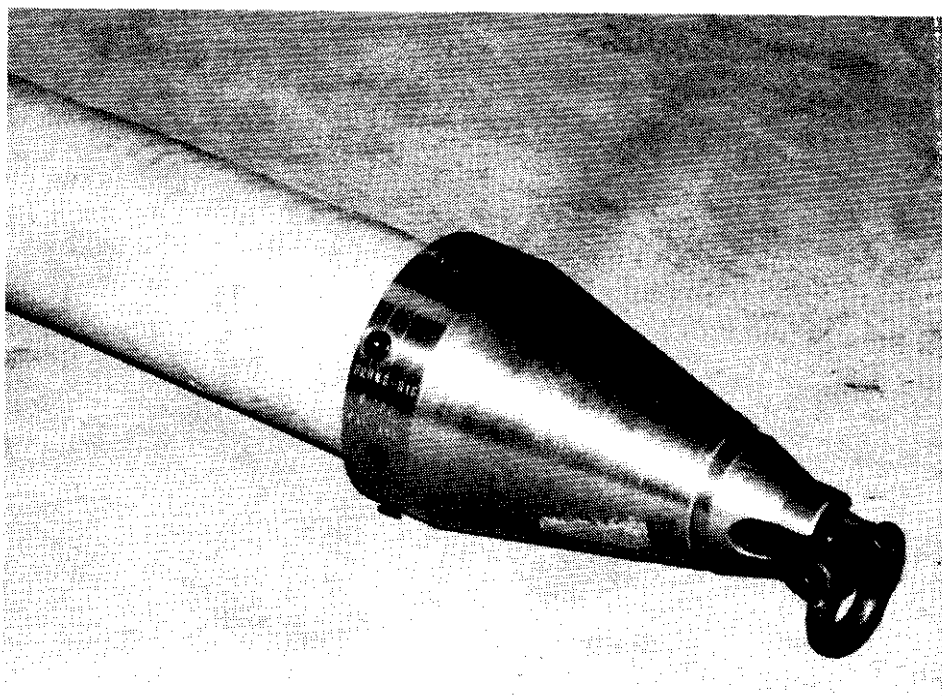
Figur 3.4

Når sprængningen er færdig, afmonteres sprængningshovedet, og raketten trækkes tilbage gennem den nye ledning.

3.2 Udstyr til rørsprængning, generelt

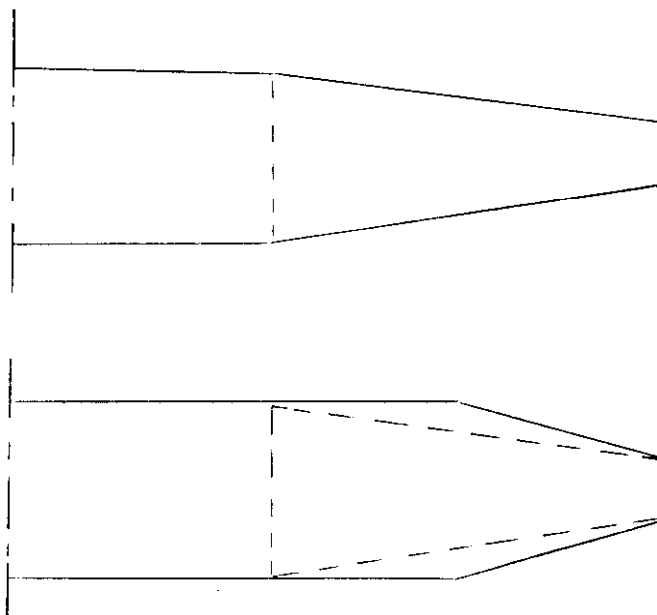
Raketten, der anvendes ved rørsprængningen, aktiveres enten hydraulisk eller ved hjælp af trykluft.

Knusningen foregår enten, når raketten med påmonteret sprængningshoved slår små korte slag i fremadgående retning (figur 3.5) eller ved, at raketten føres frem i korte ryk - udvider sig og knuser røret, trækker sig sammen, og føres videre frem (figur 3.6).



Figur 3.5

Sprængningshoved, hvor knusningen foregår dynamisk ved slag med slaghammer inde i sprængningshovedet.



Figur 3.6

Statisk rørsprængning, hvor sprængningshovedet kan udvide sig og sprænge røret.

Under indføringen af det nye plastrør påvirkes dette af forskellige kræfter: Trækket fra wiren, overflademodstand fra jorden, dynamiske kræfter fra sprængningshoved og trykkræfter, hvis det yderligere skubbes ind.

3.3 Overbelastning

Under rørsprængningen udvider man den gamle ledning, så hullet er lidt større end den nye ledning, der trækkes ind. I stive jordarter er der derfor en spalte mellem indføringsrøret og den gamle ledning. Spalten vil forsvinde efter en tid.

Jordbund

I elastiske jordarter (silt, løs ler eller blød bund) vil der ikke være nogen spalte mellem indføringsrøret og den knuste ledning, idet jorden med det samme fjedrer tilbage efter udvidelsen. Når jorden fjedrer tilbage, bliver overfladekræfterne på røret større, og der skal større kræfter til at trække røret frem.

Når kræfterne bliver for store, risikerer man, at røret lige bag sprængningshovedet overbelastes og eventuelt rives over.

Overbelastning

Risiko for overbelastning af røret er til stede ved:

- * Dybtliggende ledninger
- * Lange ledningsstrækninger
- * Sand og siltagtige jordarter
- * Høj grundvandsstand

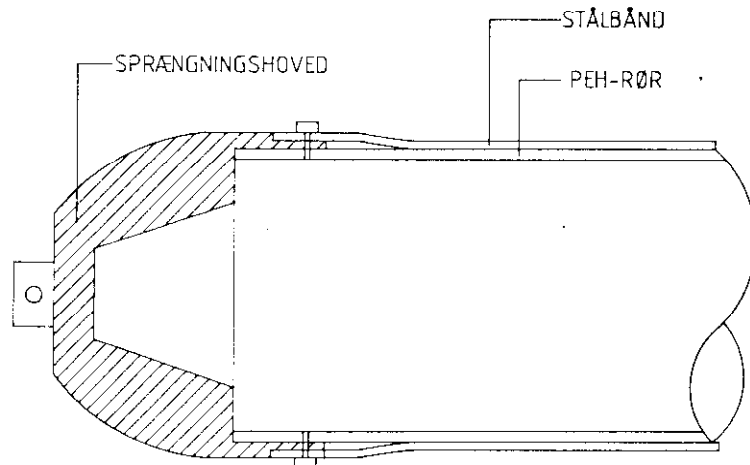
For at mindske overflademodstanden på rørene, kan hulrummet injiceres med betonite under rørsprængning. Betonite "smører" og nedsætter dermed overflademodstanden.

Overflademodstanden kan også nedsættes via en kappe af stålbånd rundt om røret.

3.4 Renoform

Renoform blev udviklet i 1984 - 85 af Hans Jørgensen & Søn i samarbejde med Odense Kommune.

Renoformsystemet består af et sprængningshoved, hvori der er indbygget en pneumatisk hammer (figur 3.7). En wire til et trækspil er fastgjort til sprængningshovedet.

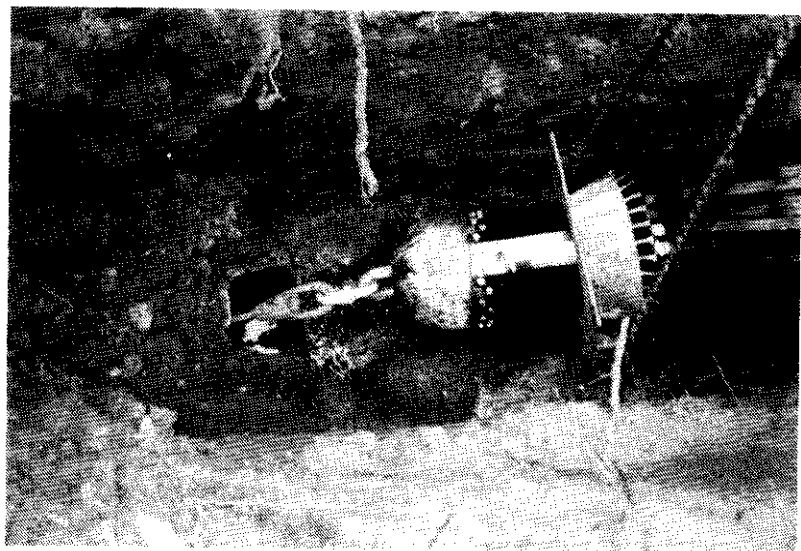


Figur 3.7
Sprængningshovedet med plastrør og stålband fastgjort med bolte.

Med Renoformsystemet kan renoveringen udføres med lange sammensvejste rør eller med et system af korte rør.

Beskyttelse

I Renoformsystemet er det muligt at beskytte den nye ledning med en kappe af stålband, der monteres på sprængningshovedet (figur 3.8).



Figur 3.8
Sprængningshovedet med stålbandene fastgjort.

Formålet med stålbandene er dels at beskytte rørene mod ridser i overfladen, dels at opnå, at overflademodstanden fra jorden overføres til stålbandene, uden at rørene overbelastes.

Hvornår vælges stålband?

Stålbandene anvendes altid, når ledningsdimensionen skal øges ved rørsprængningen. Desuden anvendes de ved en kombination af dårlige jordbundsforhold, høj grundvandsstand, lange strækninger og stor lægningsdybde. Valget er dikteret af praktiske erfaringer, som siger, at stålband er nødvendige/ønskelige ved 30% af rørsprængningerne.

Anvendelse af stålbandene giver en større sikkerhed mod overbelastning af rørmaterialet. Renoform har indbygget endnu en sikkerhed mod overbelastning af rørmaterialet. Sikringen ligger i den måde, PEH-røret er fastgjort til sprængningshovedet på nemlig ved hjælp af bolte. Sikringen fungerer på den måde, at når påvirkningerne af rørmaterialet nærmer sig det maksimalt tilladelige, brydes PEH-materialet ved boltene og frigører sprængningshovedet fra røret, og rørsprængningen ophører.

4. Forsøg og målinger i praksis

De praktiske forsøg og målinger blev udført på Forskningscenter RISØ, hvor kloakledninger i nogen tid etapevis er blevet renoveret. RISØ's afdeling for materialeforskning har udviklet den anvendte målemetode og derefter udført målinger og efterfølgende databehandling (litteratur /2/)

4.1 Måleprincip

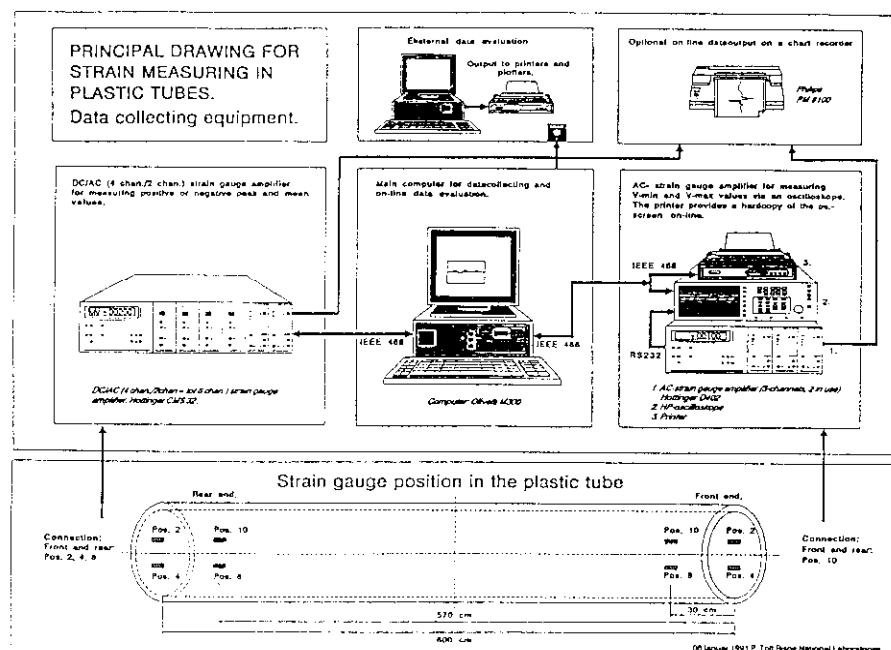
Måleprincippet går ud på ved hjælp af strain gauge at måle, hvor meget og hvor hurtigt PEH-røret deformeres, når det installeres ved rørsprængningsmetoden. Strain gauge har den egenskab, at de på kendt måde ændrer elektriske data, når de udsættes for deformation. Strain gauge, der er limet til PEH-røret, vil deformeres på samme måde som røret.

I den udviklede målemetode indgår strain gauges, der netop er egnede til måling af deformation/tøjninger, i den størrelsesorden og frekvens, der kan forventes ved de praktiske forsøg.

De anvendte strain gauge er forbundet elektrisk til strain gauge forstærkere, der måler de maksimale deformationsvariationer og -midleværdier. De målte værdier opsamles og behandles på computer. I figur 4.1 er målesystemet vist i et princip-diagram.

Måleudstyr

Det udviklede måleudstyr består af strain gauges limet til indersiden af et 6 m langt rør i dimension, som den ledning der skal anvendes på den pågældende strækning. Der anvendes 4 strain gauges i hver rørende, som vist på figur 4.1. Strain gauges forbliver i røret, når forsøget er afsluttet, men de sidder glat med rørvæggen og vil ikke nedsætte rørets transportevne. Det 6 m lange målerør spejlsvejses til den PEH-ledning, der skal anvendes. Strain gauges er med et kabel med 3 ledere pr. gauge forbundet til en computer med opsamling og online databehandling via et forstærkersystem. Kablet fra strain gauges til forstærker/computer er trukket inde i PEH-røret. Forstærker, computer m.v. er anbragt i en bil, som placeres således, at kabellængden bliver så kort som muligt.



Figur 4.1

Princip-diagram for måleudstyr og skitse af strain gauge placering i målerøret.

Målinger

Ved hjælp af strain-gauges og det viste system er det muligt at måle spændingsfaldet over hver enkelt strain-gauge. Computeren opsamler disse spændinger, og det er derefter muligt ud fra kendskab til sammenhængen mellem spænding og gaugens tøjning at beregne denne i måleøjeblikket. Da gaugen er limet fast til PEH-røret, vil PEH-rørets tøjning i måleøjeblikket være lig med strain-gaugens. Risø har udviklet det nødvendige programmet til opsamling, sortering og behandling af data. Indføringen pr. 5 m PEH-rør og træk i indføringen er målt ved hvert forsøg.

Ved alle målinger blev indsamlet data, der efter edb-behandling kunne udskrives som vist på figur 4.6 - 4.8, der er eksempler på måledata fra strain gauge i rørets bagende. Placeringen og positionsnumre på strain gauge fremgår af figur 4.1.

Behandling af måledata

Det er muligt ved hjælp af datasystemet at få udskrevet tøjningsværdier for gauges som funktion af tiden. Endvidere kan beregnes middel-

værdier af flere tøjningsværdier. Ved hjælp af de manuelt udførte målinger af indføringstiden pr. 5 m rør er det muligt at korrigere tid og indførte meter rør.

4.2 Forsøgsstrækninger

Alle forsøg og målinger blev foretaget ved fornyelse af ledninger i markarealer på Forskningscenter RISØ. Kloakledningerne de pågældende steder er ø 250 mm glaserede lerrør, som skulle renoveres på grund af dårlig tilstand, der bl.a. medførte store utætheder.

De strækninger, der skulle anvendes ved forsøgene, blev valgt således, at der til rådighed for forsøg og måling blev i alt 2 x 2 ledningsstræk, nemlig:

Strækning 1: Fra brønd nr. S 136 til S 134
Strækning 2: Fra brønd nr. S 136 til S 138
Se figur 4.2

Strækning 3: Fra brønd nr. S 954 til S 952
Strækning 4: Fra brønd nr. S 951 til S 921
Se figur 4.3

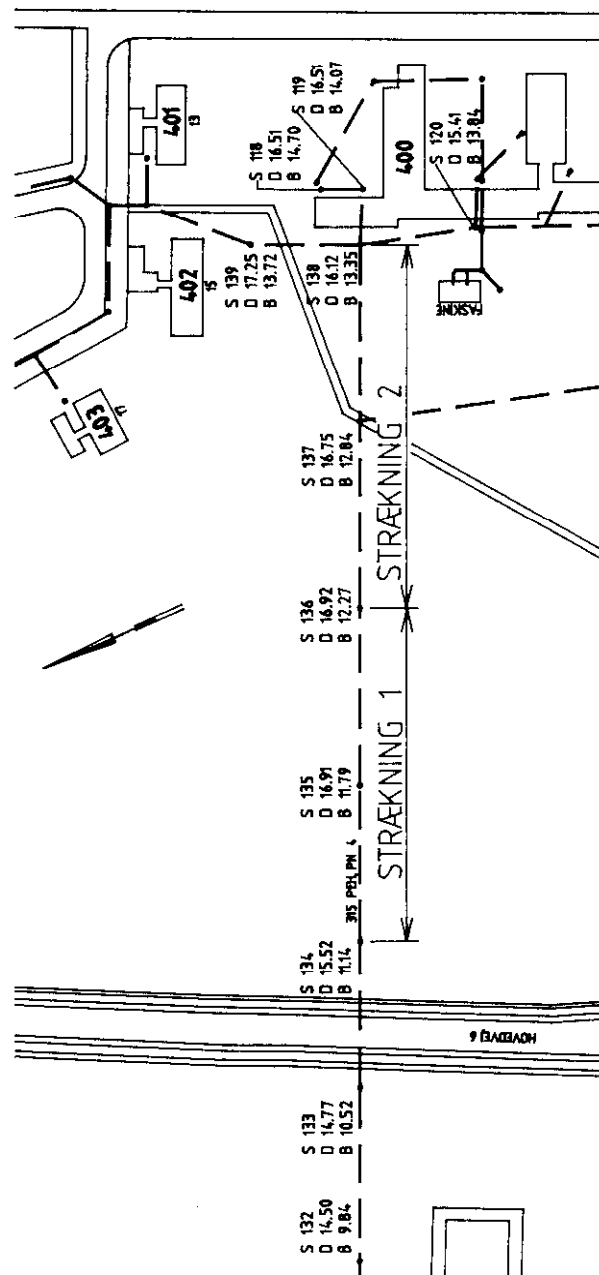
Strækningerne mellem brøndene er vist i længdeprofil på figur 4.4 og 4.5. Ved forsøgene opdeltes de pågældende kloakledninger således, at der fremkom 4 ledningsstrækninger til følgende forsøg:

Forsøg 1
Strækning 1: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 315 mm PEH-ledning, PN 4 uden stålband.

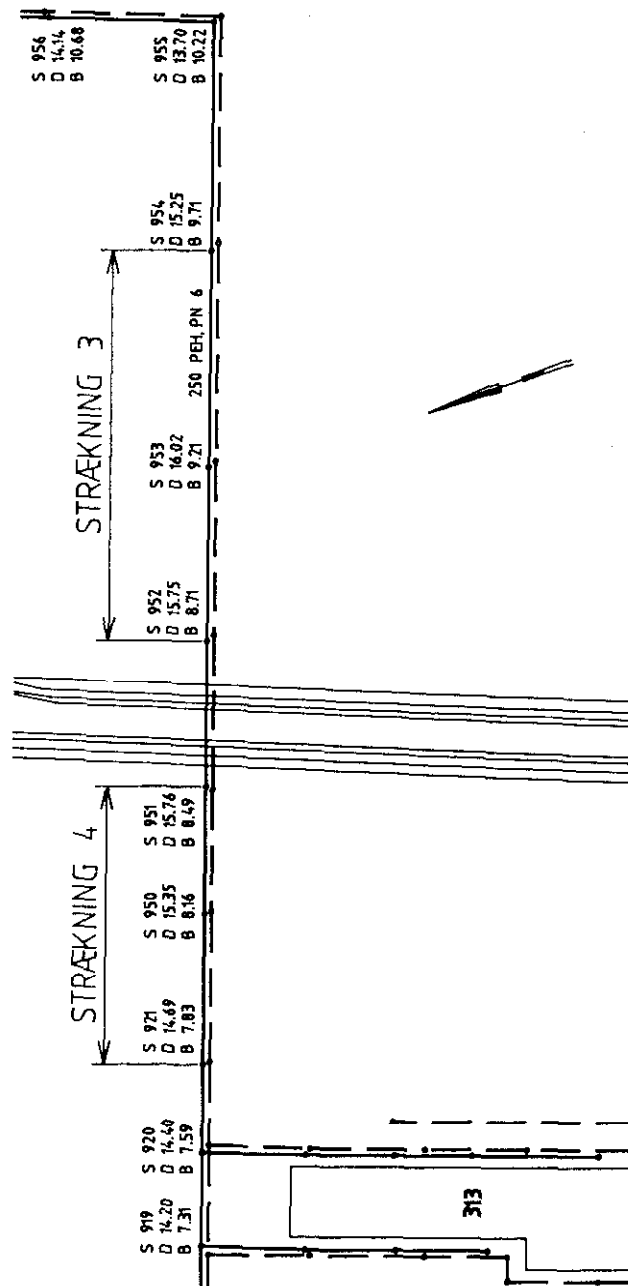
Forsøg 2
Strækning 2: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 315 mm PEH-ledning, PN 4 beskyttet med stålband.

Forsøg 3
Strækning 3: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 250 mm PEH-ledning PN 6 uden stålband.

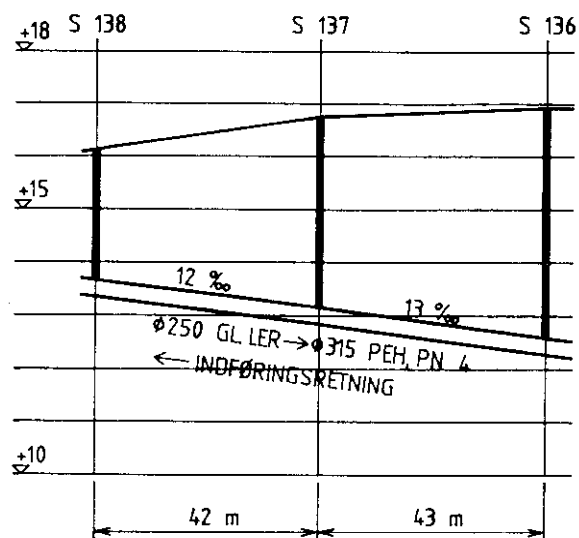
Forsøg 4
Strækning 4: Sprængning af ø 250 mm glaseret lerrør og indføring af ø 250 mm PEH-ledning, PN 6 beskyttet med stålband.



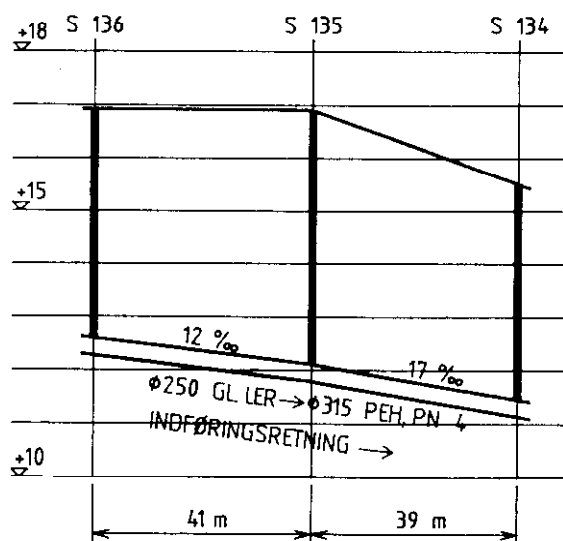
Figur 4.2
 Ledningsstrækning 1 og 2
 ø 250 mm glaseret ler til ø 315 mm PEH, PN 4



Figur 4.3
 Ledningsstrækning 3 og 4
 Ø 250 mm glaseret ler til Ø 250 mm PEH, PN 6

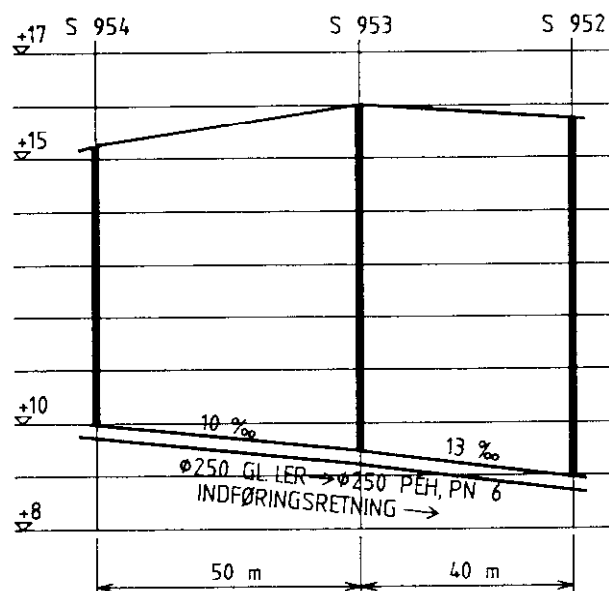


STRÆKNING 1

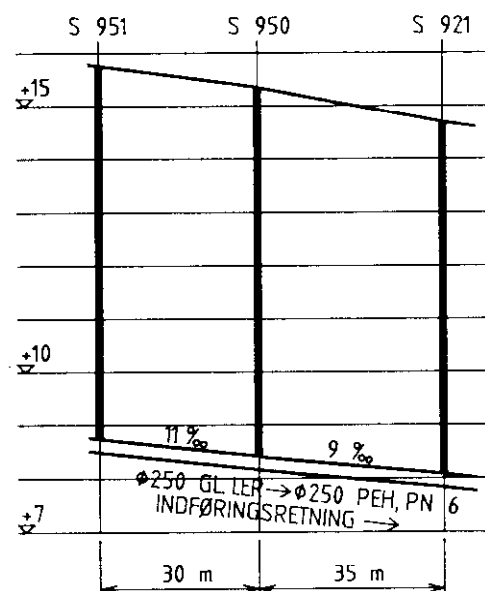


STRÆKNING 2

Figur 4.4
Lægningsdybder for strækning 1 og 2



STRÆKNING 3



STRÆKNING 4

Figur 4.5
Lægningsdybder for strækning 3 og 4

Formålet med opdelingen var at kunne udføre forsøg under ensartede ydre betingelser (jordsbundsforhold, ledningsdybde m.v.) med PEH-ledninger uden og med stålband. Desuden opnås, at der kan udføres forsøg, hvor der indføres PEH-ledning i større dimension end den gamle ledning.

Jordbunden langs samtlige forsøgsstrækninger består af fast moræner.

Observationer foretaget i de respektive arbejdsgruber viser, at omkringfyld og efterfyldning i rørgraven er udført med opgravningsmaterialerne, d.v.s moræner. Jordarterne omkring samtlige ledninger er altså udpræget plastiske.

Forsøgene var planlagt gennemført indpasset i entreprenørens tidsplan. Dette viste sig desværre at være for optimistisk, idet montage af måleudstyr tog længere tid end forudset.

Forsøg 1 blev gennemført den 25/9 1990, og der blev indsamlet rimeligt pålidelige måledata (ø 315 mm uden stålband).

Forsøg 2 blev gennemført den 8/10 1990, og der blev indsamlet pålidelige måledata (ø 315 mm med stålband).

Forsøg 3 blev gennemført den 14/11 1990, og der blev indsamlet pålidelige måledata (ø 250 mm uden stålband).

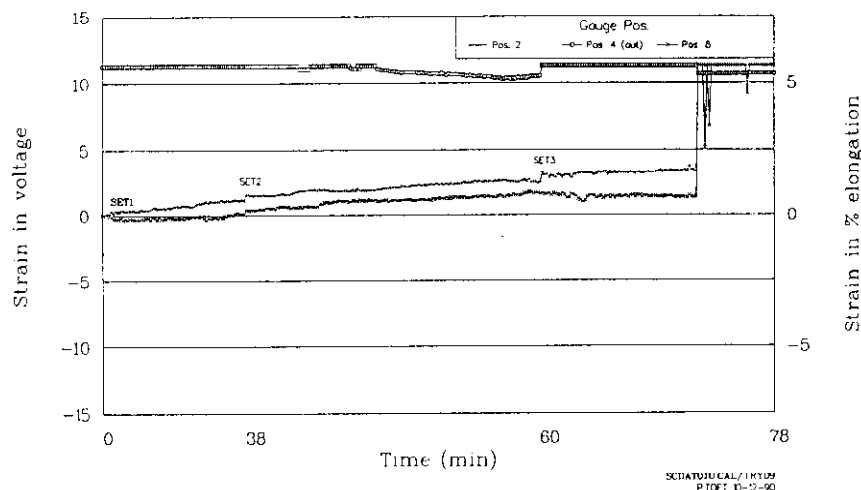
Forsøg 4 blev gennemført den 28/11 1990. Målingerne blev afbrudt umiddelbart efter rørsprængningens begyndelse på grund af kabelbrud. Måledata fra forsøget er ikke anvendt i den teoretiske bearbejdning. (ø 250 mm med stålband).

4.3 Måleresultater

Foruden strain gauge målingerne er der blevet gennemført følgende målinger:

PEAK VALUES MEASURED IN THE REAR END OF THE TUBE

Zero adjust.



Figur 4.6

Eksempler på måledata fra strain gauge i rørets bagende i forsøg 1. På figuren er afbildet tøjninger i rørvæggen som funktion af den tid, der er forløbet fra målingens start.

Strain gauge i position 4 er ude af funktion fra forsøgets start. Pludselige ændringer skyldes forstyrrelser og interferens.

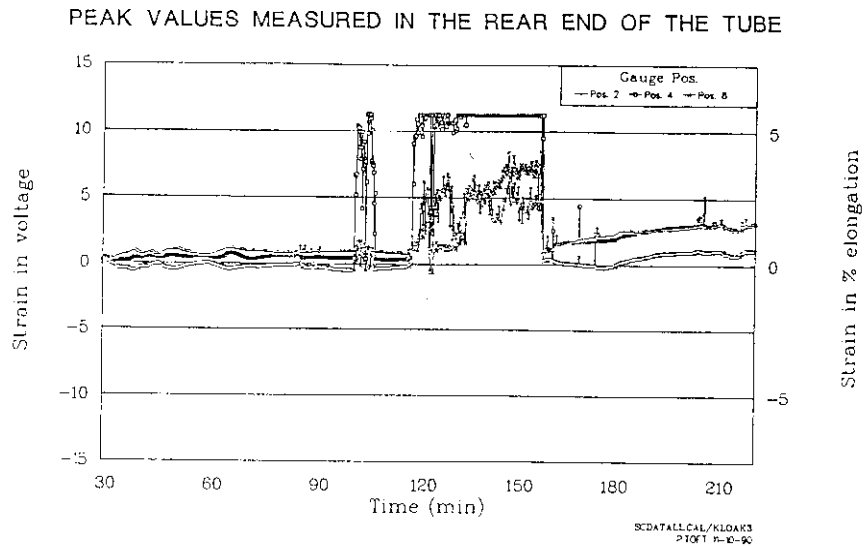
Hastighed

Registrering af tidsforløbet sammenholdt med, hvor langt PEH-røret er fremført ved rørsprængningen, er sket manuelt efter observation af stopur og meterafmærkning på PEH-røret.

Trækkraft

Samtidig med denne registrering, er registreret data vedrørende trækkraft i trækwiren og observerede hændelser under processen.

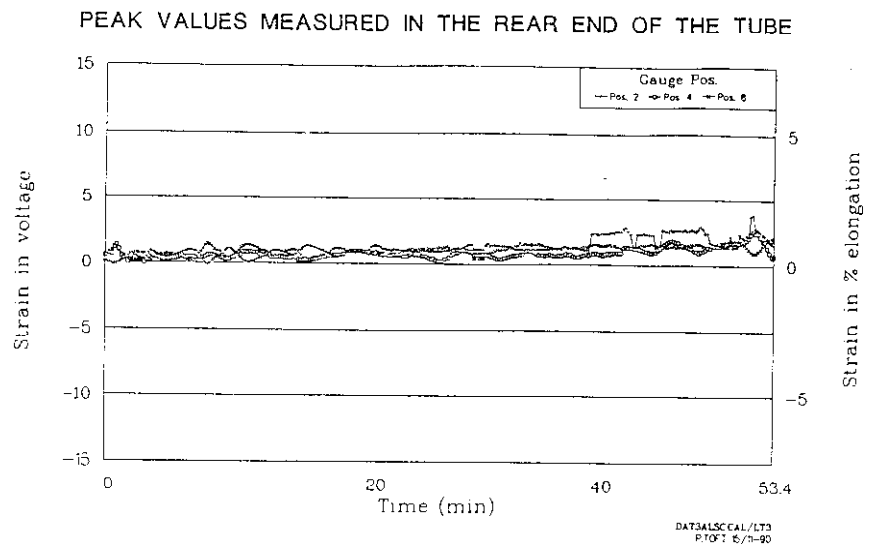
På figur 4.9, 4.10 og 4.11 er disse registreringer vist. De edb-registrerede måledata og disse registreringer er anvendt ved den teoretiske behandling i kapitel 5.



Figur 4.7

Eksempler på måledata fra strain gauge i rørets bagende i forsøg 2. På figuren er afbildet tøjninger i rørvæggen som funktion af den tid, der er forløbet fra målingens start.

De meget store spændinger, der fremkommer fra 90 min til 150 min skyldes elektriske fejl. Måleværdierne er ikke anvendt i kapitel 5.

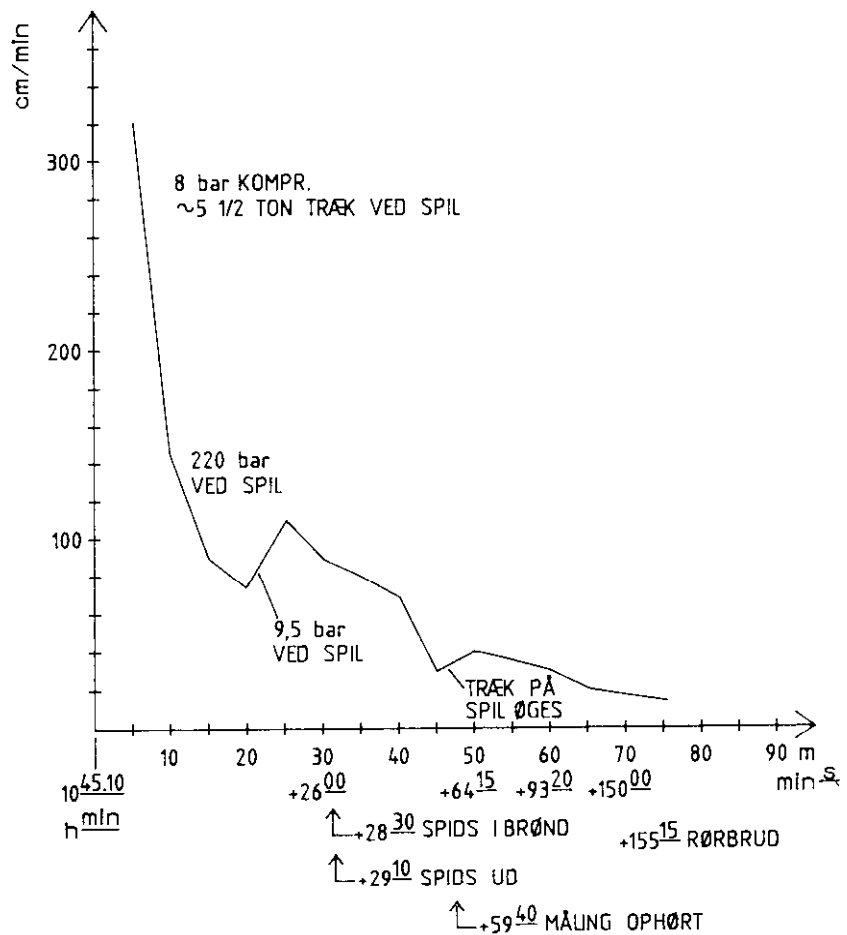


Figur. 4.8

Eksempler på måledata fra strain gauge i rørets bagende i forsøg 3. På figuren er afbildet tøjninger i rørvæggen som funktion af den tid, der er forløbet fra målingens start.

Forsøg 1 - d. 25.09.1990

ø 250 mm - ø 315 mm uden stålband
ca. 80 m, PN 4



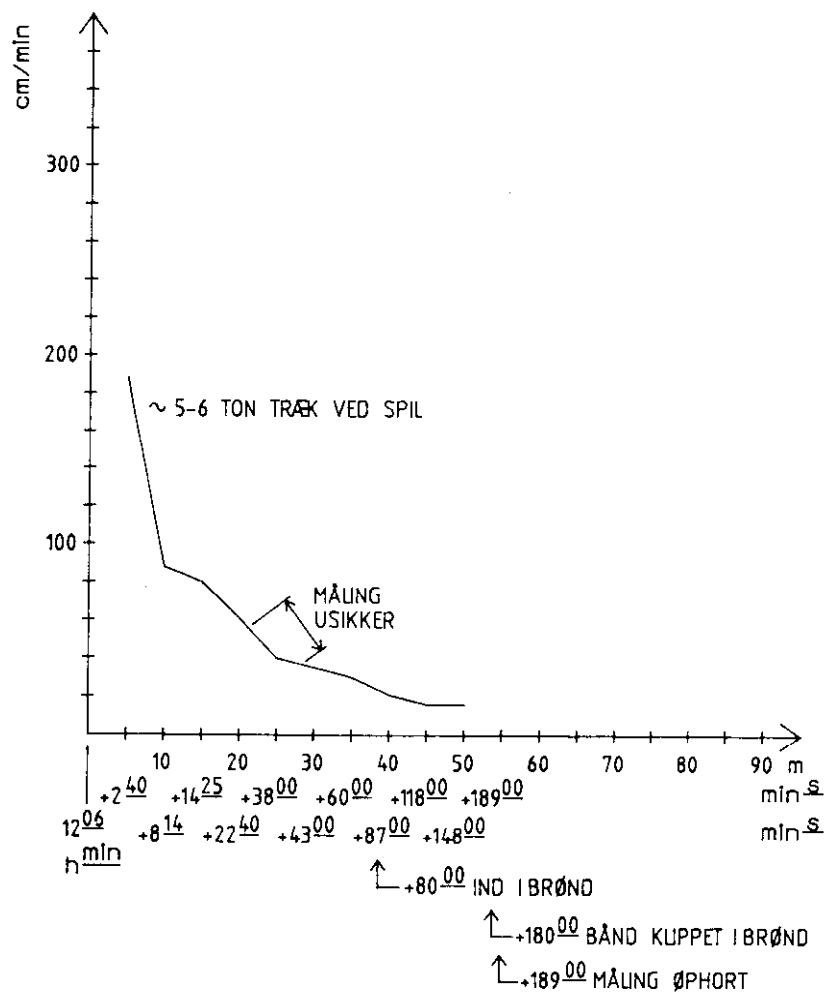
Figur 4.9

Indføringshastighed for PEH-røret i forsøg 1.

Hastigheden er beregnet som middelhastigheden
for indføring af 5 m rørlængde.

Forsøg 2 - d. 8.10.1990

Ø 250 mm - Ø 315 mm med stålband,
ca. 50 m, PN 4.



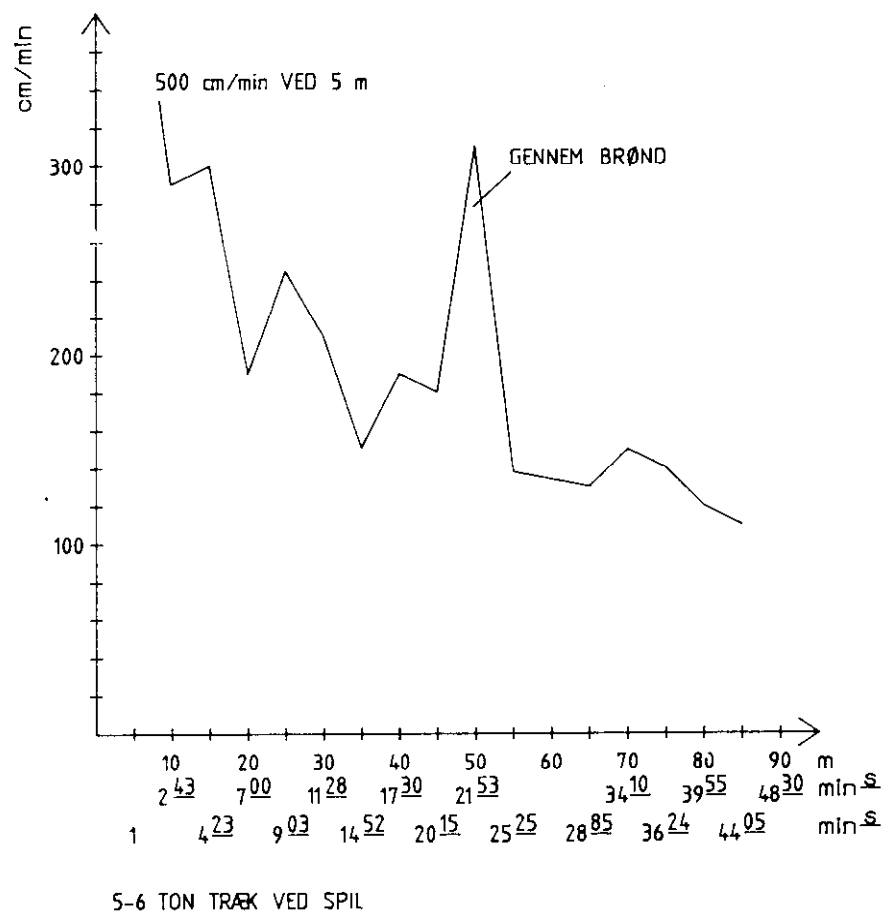
Figur 4.10

Indføringshastighed for PEH-røret i forsøg 2.

Hastigheden er beregnet som middelhastigheden
for indføring af 5 m rørlængde.

Forsøg 3 - d. 14.11.1990

ø 250 mm - ø 250 mm uden stålband,
ca. 90 m, PN 6



Figur 4.11

Indføringshastighed for PEH-røret i forsøg 3.

Hastigheden er beregnet som middelhastigheden for indføring af 5 m rørlængde.

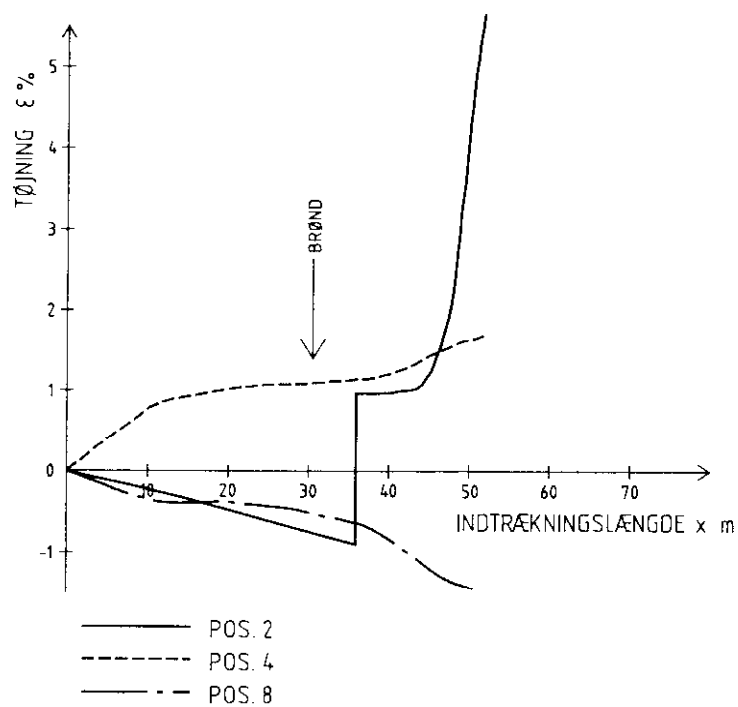
Anvendelse af
måledata

De registrerede måledata blev justerede for forstyrrelser og derefter bearbejdet således, at PEH-rørets tøjning, ϵ , kunne afbildes som funktion af meter indført PEH-rør ved rørsprængningen. På figur 4.12, 4.13 og 4.14 er denne afbildning vist.

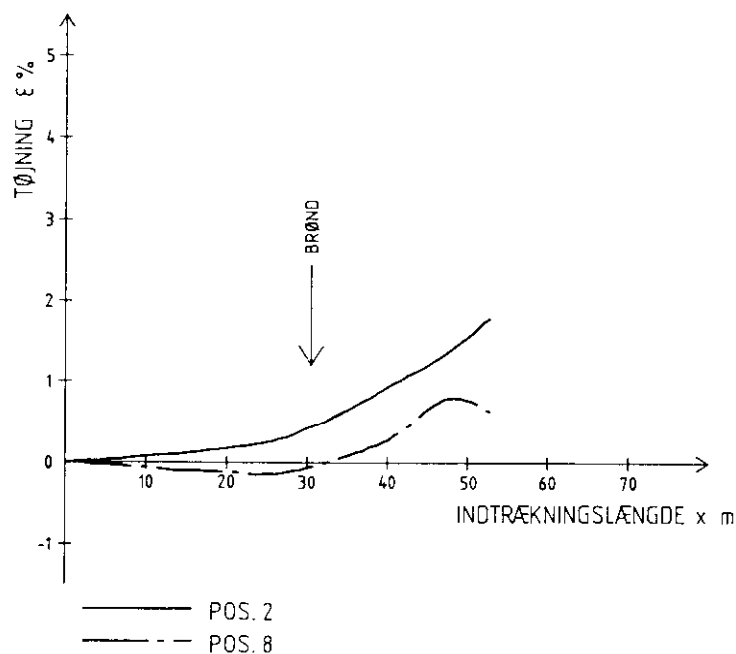
STRÆKNING 1

90-09-25
PEH $\phi 315$, PN4
UDEN STÅLBÅND

FORENDE



BAGENDE



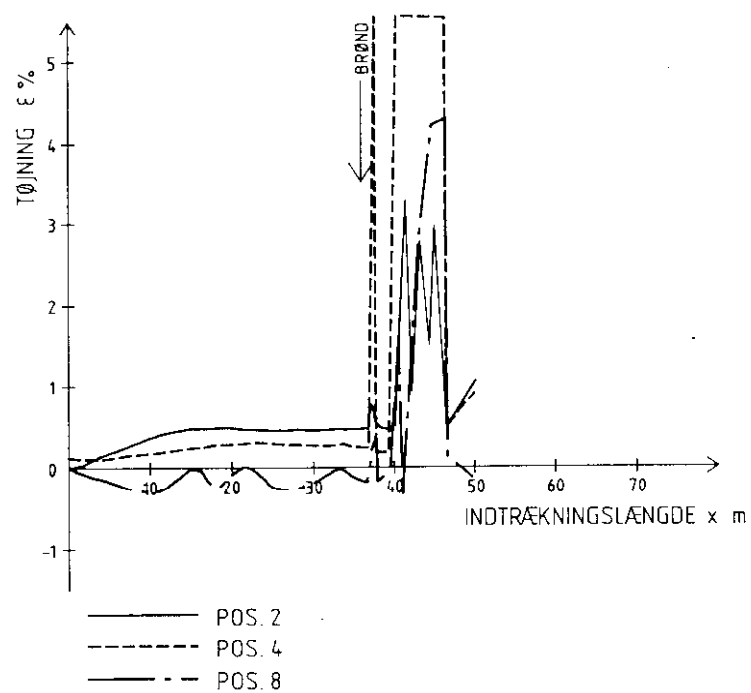
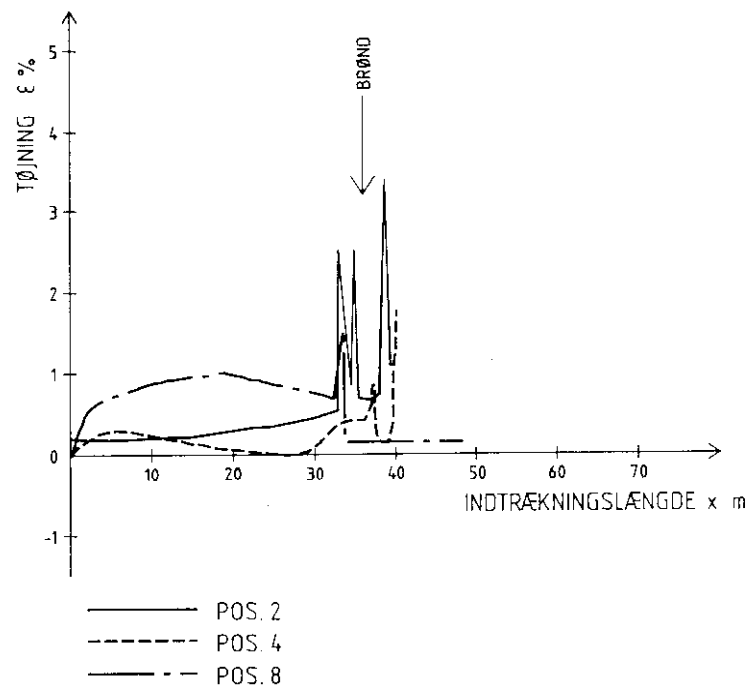
Figur 4.12
Målte tøjninger ved forsøg 1.

STRÆKNING 2

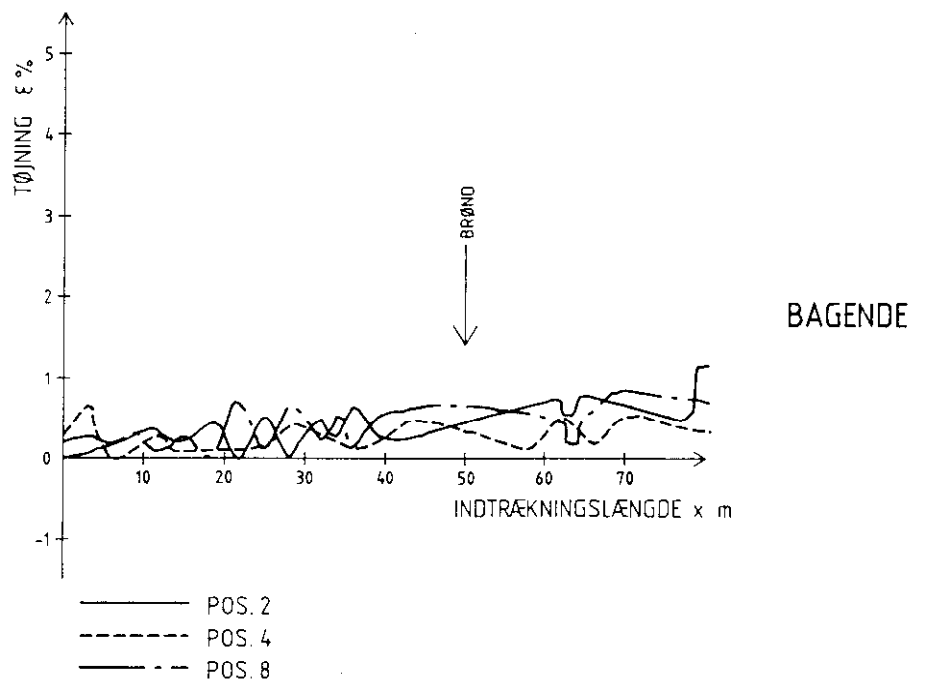
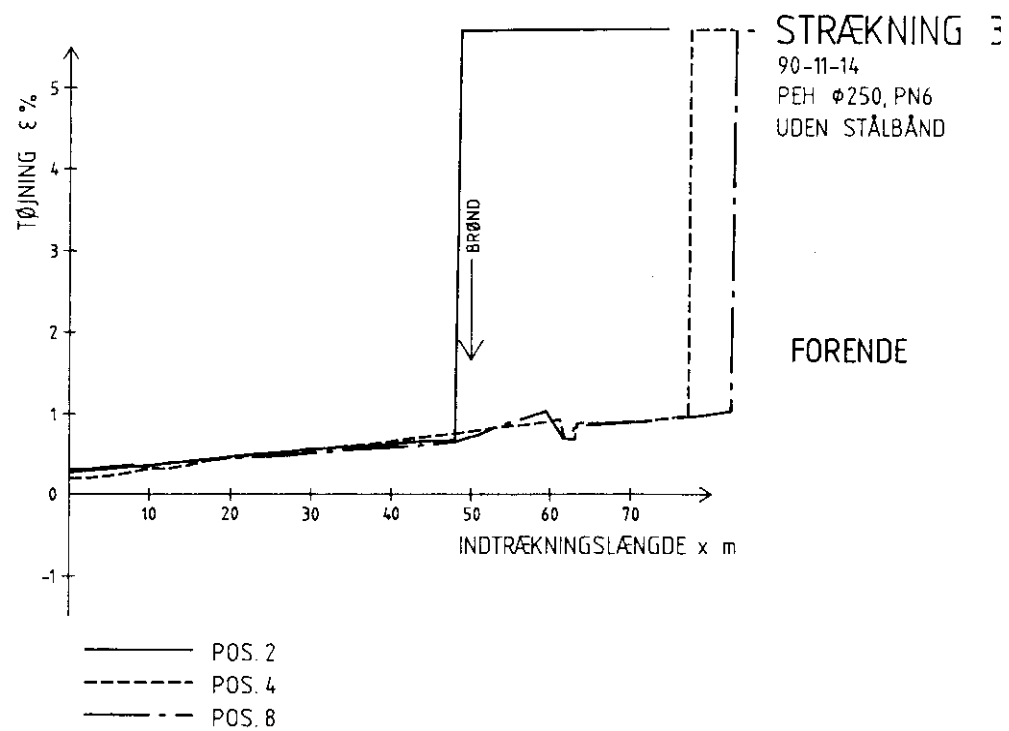
90-10-08

PEH $\phi 315$, PN4

MED STÅLBÅND



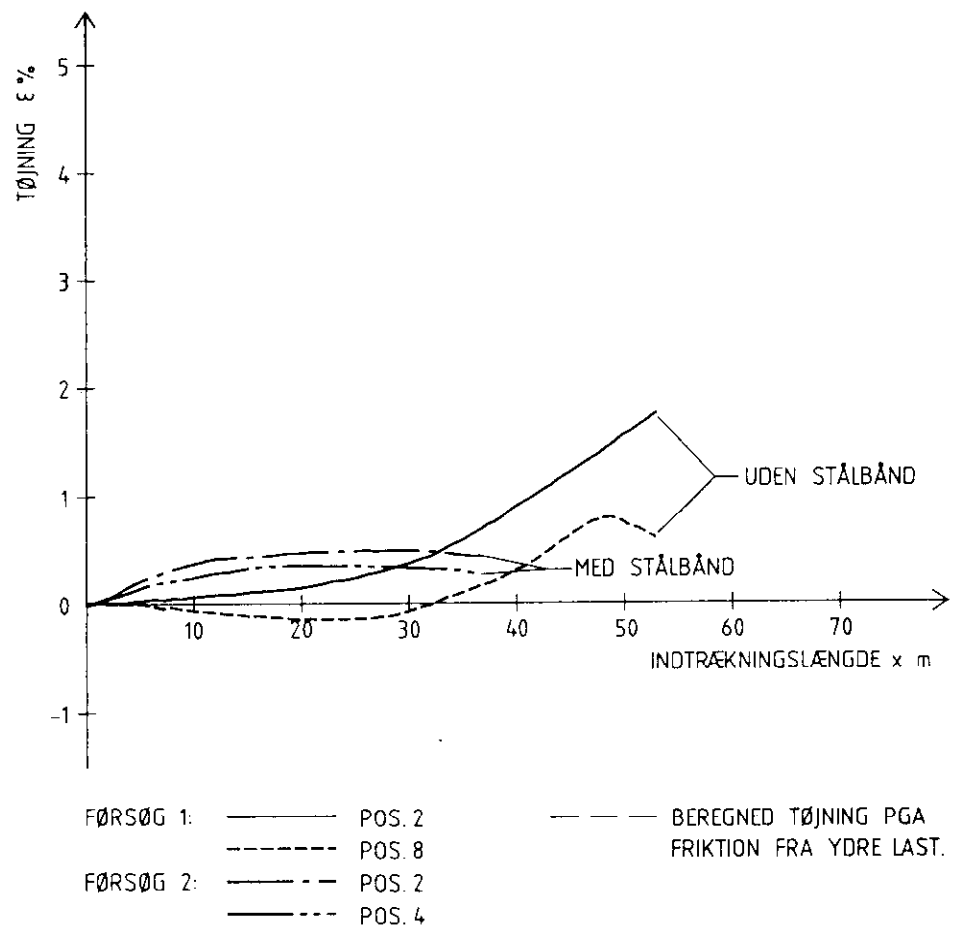
Figur 4.13
Målte tøjninger ved forsøg 2.



Figur 4.14
Målte tøjninger ved forsøg 3.

I figur 4.15 er foretaget en sammenlignende afbildning, der viser tøjningerne, ϵ , som funktion af meter indført PEH-rør med og uden stålband i forsøg 1 og 2, hvor $\varnothing$ 250 mm glaseret lerrør blev sprængt, og $\varnothing$ 315 mm PEH-rør, PN 4 blev indført.

I kapitel 5 og 6 er måleresultaterne yderligere bearbejdet og kommenteret.



Figur 4.15
Målte tøjninger i PEH-rørets bageste ende som funktion af meter indført rør med og uden stålband.

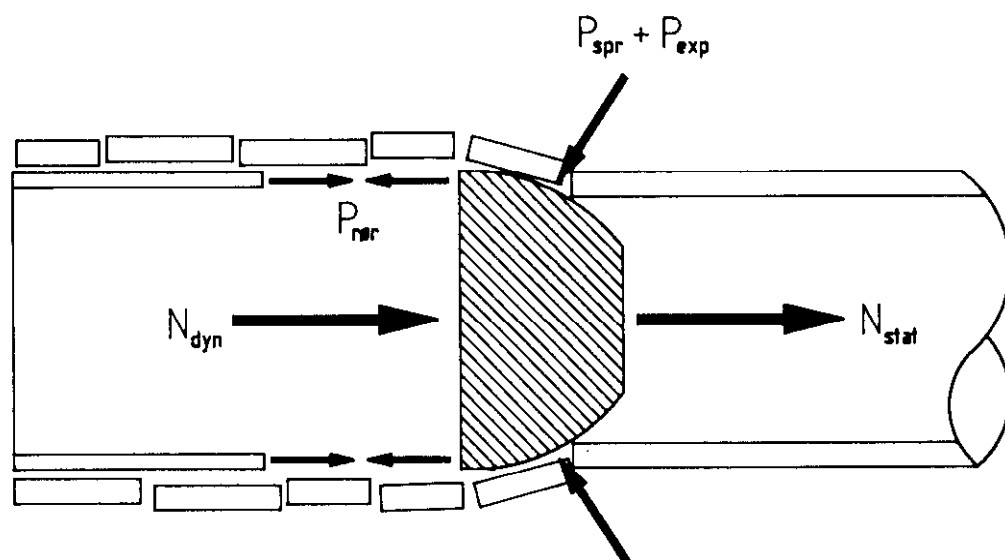
5. Teoretisk baggrund

5.1 Indledning

I dette kapitel gennemgås de forskellige påvirkninger, som indføringsrør og sprængningshoved udsættes for under en rørsprængning, og der opstilles en teoretisk model for beregning af de maksimale trækkræfter i indføringsrøret.

5.2 Kræfter ved sprængningshovedet

Rørsprængningen og indtrækningen af plastrøret sker dels med en næsten konstant kraft gennem wiren fra trækspillet dels med en overlejet dynamisk kraft fra jordreketten. Når sprængningshovedets diameter er større end det eksisterende rørs indvendige diameter, skal kræfterne være så store, at de kan sprænge og udvide røret. For selve sprængningen af røret har den dynamiske kraft fra jordreketten (stødkraften) større betydning end den statiske trækraft fra wiren. Kræfterne på sprængningshovedet er illustreret i figur 5.1



Figur 5.1

Kræfter, der virker på sprængningshovedet ved sprængning og ekspansion af det eksisterende rør.

Da sprængningshovedet ligger tæt an til den eksisterendes ledning, skønnes størstedelen af

sprængningshovedets dynamiske energi at blive brugt til arbejdet med at sprænge og ekspandere det eksisterende rør, og kun en mindre del af energien overføres til plastrøret.

Sprængkraften

Sprængkraftens størrelse P_{spr} afhænger af kvalitet og rørtype på den eksisterende ledning samt af sprængningshovedets udformning. Denne kraft kan normalt ikke beregnes; men må bestemmes eksperimentelt for hvert enkelt udstyr.

Ekspansionskraften

Ekspansionskraftens størrelse P_{exp} afhænger af tætheden i omkringfyldningen. Ved beregning efter en metode, som er angivet i /3/, fås en fornemmelse af kraftens størrelse.

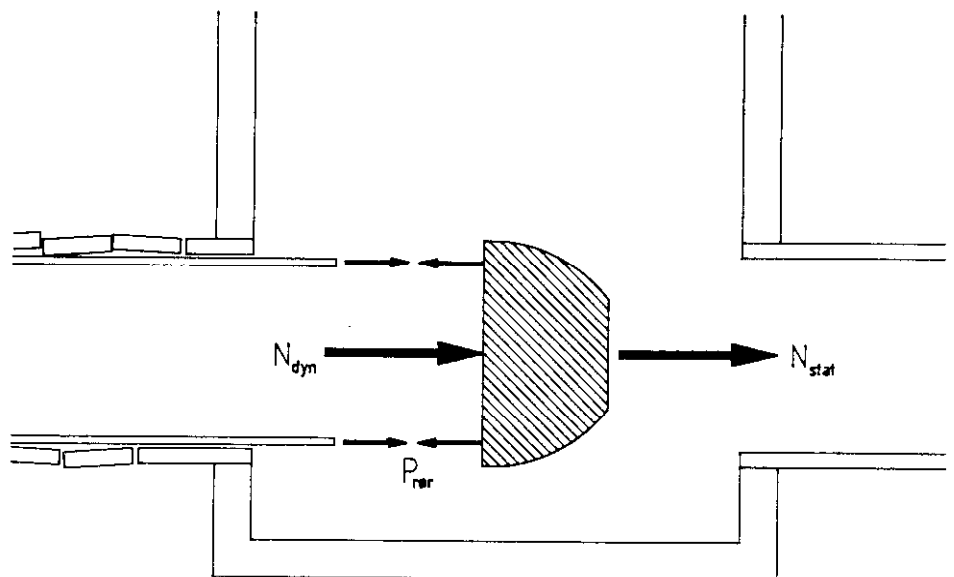
Dynamisk kraft

Størrelsen af den dynamiske kraft N_{dyn} afhænger blandt andet af slaghammerens egenskaber samt systemets fjedervirkning. Den største dynamiske kraft fås, når sprængningshovedet ligger helt an mod den eksisterende ledning i slagøjeblikket.

Statisk kraft

Den statiske kraft N_{stat} svarer til trækket i trækwiren fratrasket friktionstab i wireblokken.

Når sprængningshovedet er frit fx ved passage af en brønd, overføres hele den dynamiske energi til plastrøret, og hele den dynamiske kraft lægges til den statiske. Denne situation giver det farligste belastningstilfælde for røret, se figur 5.2. Da belastningen er meget kortvarig, vil denne belastningssituation normalt ikke være farligt for rørmaterialet.



Figur 5.2
Kræfter ved passage af en brønd.

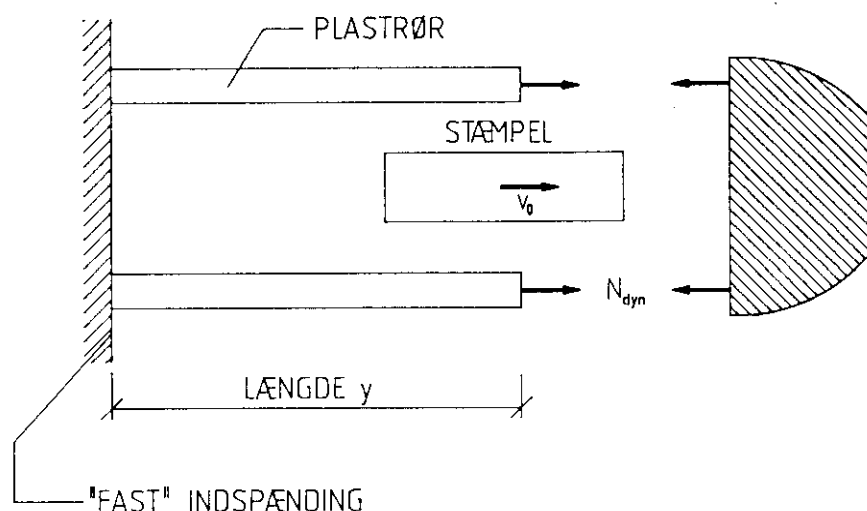
Maksimal
kraft

Ved sprængningshovedet fås følgende maksimale
kraft i røret:

$$P_{\text{rør}} = N_{\text{stat}} + N_{\text{dyn}} \quad (1)$$

Den statiske last N_{stat} er tilnærmelsesvis konstant, hvis fjedervirkningen i wiren er konstant. Jo kortere wiren er, jo mindre er fjedervirkningen imidlertid. Dette betyder, at N_{stat} mindskes, jo længere ind det nye plastrør kommer, samtidig med at den dynamiske kraft øges. Her antages dog, at N_{stat} er konstant.

Ved beregning af størrelsen af den dynamiske kraft N_{dyn} kan modellen i figur 5.3 anvendes.



Figur 5.3

Model til beregning af dynamisk kraft ved passage af en brønd.

Den faste indspænding af røret er i virkeligheden meget diffus og afhænger af friktionskræfterne, der virker på rørvæggen.

Beregningsmodellen vist i figur 5.3 er således meget forenklet.

På grund af plastrørets lille stivhed sammenlignet med ståldetaljerne (sprængningshoved og stempel) kan disse betragtes som et stift legeme.

Den dynamiske beregning følger metoden, som er angivet i /4/.

Initialkraften

Initialkraften i plastrøret lige bag sprængningshovedet, når stemplet slår mod sprængningshovedet, beregnes efter følgende formel:

$$N_0 = A \cdot v_0 \cdot \sqrt{E \cdot \rho} \quad (2)$$

Hvor:

N_0 = Initialkraften i plastrøret lige bag sprængningshovedet

A = Rørmaterialets areal

v_0 = Stemplets anslagshastighed

E = Rørets E-modul

ρ = Rørmaterialets densitet

Kontakttiden mellem stempel og sprængningshoved er proportional med forholdet mellem rørets vægt og stemplets vægt:

$$\alpha = \frac{y \cdot \rho \cdot A}{M} \quad (3)$$

Hvor:

M = Stemplets vægt

y = Afstand fra sprængningshovedet til den faste indspænding.

Den første trækbølge bevæger sig gennem plastrøret, reflekteres i den faste indspænding og vender tilbage til sprængningshovedet, hvor den reflekteres på ny. Afhængig af afstanden, y til indspændingspunktet kommer et antal vandrende bølger til at overlejlre hinanden. Den maksimale dynamiske kraft lige bag sprængningshovedet kan beregnes efter følgende formel:

$$N_{\text{dyn}} = 0,5 \cdot N_0 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\right) \quad (4)$$

Med denne beregningsmodel bliver den maksimale kraft dobbelt så stor ved den fast indspændte del af røret, som den ovenfor angivne ved sprængningshovedet. I praksis sker der dog en gradvis dæmpning af kraften i røret ved rørets gradvise overgang til fast indspænding.

5.3 Kræfter på indføringsrøret.

De kræfter, der virker på indføringsrøret under installation, er vist i figur 5.4. I virkeligheden varierer fordelingen af friktionskræfterne langs ledningen, men her antages de at være jævnt fordelte.

Følgende sammenhæng kan stilles op:

$$P = F_{e1} \cdot (L - x) + (F_{e2} + F_f) \cdot x \quad (5)$$

hvor:

$$F_{e1} = G \cdot \mu_1$$

$$F_{e2} = G \cdot \mu_2$$

$$F_f = 2 \cdot Q \cdot \mu_2 \quad (\text{Der ses bort fra horisontaltrykket})$$

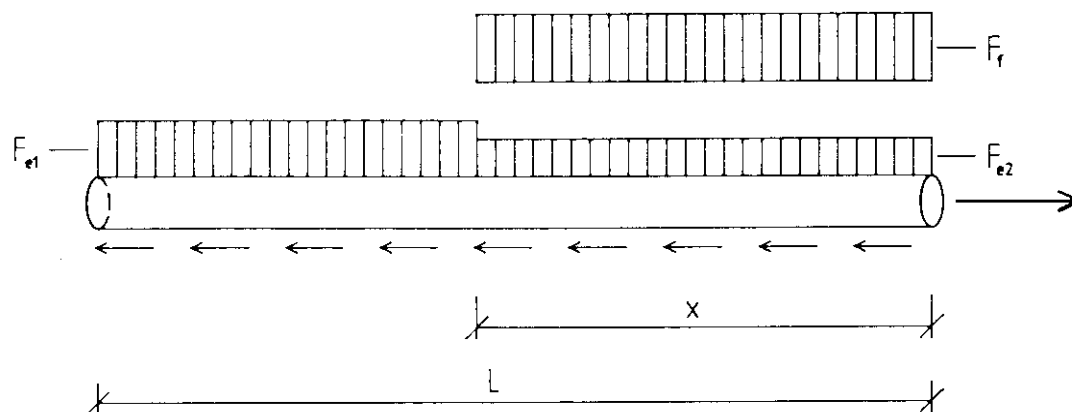
$$P = \text{Kraft lige bag sprængningshovedet}$$

$$G = \text{Egenvægt af indføringsrøret pr. meter}$$

$$Q = \text{Ydre belastning på indføringsrøret pr. meter}$$

$$\mu_1 = \text{Friktionskoefficient mellem PEH-røret og jord.}$$

$$\mu_2 = \text{Friktionskoefficient mellem indføringsrøret og den eksisterende ledning.}$$



x = INDTRÆKNINGSLÆNGDE

L = LÆNGDE AF INDFØRINGSRØRET

Figur 5.4:

Skematisk kraftfordeling på indføringsrøret.

Friktions-
koefficienten μ_1

Friktionskoefficienten μ_1 mellem jord og PEH-rør er blandt andet vurderet i forbindelse med fjernvarmeledninger. Jævnfør svenske undersøgelser varierer værdien af friktionskoefficienten mellem 0,15 og 0,5. I disse værdier indgår også en vis påvirkning fra ledningens retlinethed.

Friktions-
koefficienten μ_2

Friktionskoefficienten μ_2 mellem PEH-rør og den eksisterende ledning afhænger af ledningsmaterialet og beskaffenheden af den indvendige overflade på den eksisterende ledning. I praksis varierer de forventede værdier af μ_2 meget. Når der tages hensyn til den normale retlinethed for afløbssystemer (der normalt ikke er så retlinede som fjernvarmeledninger), vurderes det, at μ_2 vil ligge i intervallet 0,5 - 1,0.

Hvis PEH-røret omgives af en kappe med stålbånd, vil dette medføre en vis reduktion af friktionskoefficienten μ_2 .

Uden stålbånd

Uden stålbånd virker kraften P direkte på PEH-røret, og maksimal spænding og tøjning beregnes efter følgende formler:

$$\sigma = P / \pi \cdot D_m \cdot s \quad (6)$$

$$\epsilon = P / \pi \cdot D_m \cdot s \cdot E \quad (7)$$

Hvor:

σ = Spændingen i PEH-røret

ϵ = Tøjningen i PEH-røret

s = Rørets godstykkelse

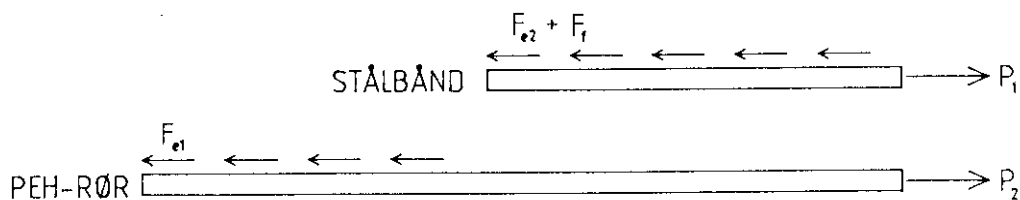
D_m = Rørets middeldiameter

E = E-modul for PEH-røret

Med stålbånd

Med stålbånd fordeles kraften mellem PEH-rør og stålbånd i forhold til den modstand, de giver ved en tvungen forskydning. Normalt er stålbåndene væsentligt stivere end PEH-røret. Eksempelvis er udvendige stålbånd med en tykkelse på 0,8 mm mere end 100 gange stivere ved trækbelastninger end et PEH-rør DN 315 • 12,1 med E-modul 1000 MPa.

Dette betyder, at stålbandene belastes med størstedelen af den kraft, som genereres ved sprængningshovedet, og den største belastning på PEH-røret kommer lige, når rørsprængningen starter. Kraftfordelingen er vist i figur 5.5.



Figur 5.5
Fordeling af friktionskræfterne på indføringsrør med stålband

Ved alternativet med stålband opstår følgende spændinger:

PEH-røret

PEH-røret

$$\sigma = F_{e1} / \pi \cdot D_m \cdot s \quad (8)$$

$$\varepsilon = F_{e1} / \pi \cdot D_m \cdot s \cdot E \quad (9)$$

Stålband

Stålband

$$\sigma = (F_{e2} + F_f) / \pi \cdot D_y \cdot t \quad (10)$$

$$\varepsilon = (F_{e2} + F_f) / \pi \cdot D_y \cdot t \cdot E_s \quad (11)$$

Hvor:

D_y = Rørets udvendige diameter

E_s = Stålbandenes elasticitetsmodul

t = Stålbandenes tykkelse

Friktions-
kraften

I starten af indtrækningen er belastningen af stålbandene større end det, der modsvares af

friktionen mod det eksisterende rør. Dette skyldes, at der også opstår friktionskræfter mod PEH-røret på grund af dettes tøjning. Som indtrækningen skrider frem, øges de ydre friktionskræfter, og de indre aftager. Den maksimale kraft i stålbandene opstår ved slutningen af indtrækningen, og da er den indre friktion mod PEH-røret minimal i sammenligning med de ydre friktionskræfter.

Størrelsen af friktionskræfterne mod indfø-ringsrøret afhænger blandt andet af følgende faktorer:

- * Måden det sprængte rør og den omgivende jord fjedrer tilbage på.
- * Den eksisterende lednings retlinethed
- * Størrelsen af friktionskoefficienten mellem indfø-ringsrøret og den eksisterende ledning, mod den omgivende jord i indfø-ringsgraven og mod overfladen, som indfø-ringsrøret trækkes henover.

Plastisk jord

Den ydre last Q på indfø-ringsrøret kan variere mellem meget vide grænser. I stabil jord (eksempelvis meget stiv moræneler) kan der over en anseelig længde forblive en luftspalte mellem det sprængte rør og indfø-ringsrøret under installationen. Sådanne jordarter kan i denne sammenhæng betragtes som "plastiske" jordarter. De eneste ydre belastninger på indfø-ringsrøret - ud over understøtningstrykket på grund af rørets egenvægt - opstår ved de punkter, hvor foringen ligger an mod resterne af den gamle ledning blandt andet på grund af manglende retlinethed (vinkeldrejninger) i den sprængte ledning.

Elastisk jord

I ustabil jord (fx sand eller silt) sker der en tilbagefjedring, som efter kort tid giver en mere eller mindre fuldstændig kontakt mellem resterne af den gamle ledning og indfø-ringsrøret. Sådanne jordarter kan i denne sammenhæng betragtes som "elastiske" jordarter, og belastningerne på PEH-røret kan blive meget store.

Ydre last

Den ydre lodrette belastning på røret kan generelt beskrives som:

$$Q = \beta \cdot (\gamma H + q_{tr}) \cdot D_y \quad (12)$$

Hvor:

β = Tilbagefjedringskoefficienten for jord

γ = Jorddækningens densitet

H = Jorddækningens højde

q_{tr} = Jordtryk stammende fra trafiklast
/1/

Tilbagefjedrings-
koefficienten β

Størrelsen af tilbagefjedringskoefficienten afhænger først og fremmest af jordart og grundvand. I en kohæsionsjord fx ler eller leret moræne er tilbagefjedringen lille, og belastningen på indføringsrøret under installation er ikke stor.

I en friktionsjord fx sand eller grus bliver tilbagefjedringen større, specielt under grundvandsspejlet. Belastningerne på indføringsrøret bliver da større.

Den maksimale belastning på indføringsrøret opstår først efter lang tid (altså efter installation). Eksempler på størrelsen af belastningen er givet i /1/.

Tilbagefjedringskoefficienten β kan variere i intervallet 0 - 1,0. Størrelsen er vanskelig at fastsætte teoretisk og bør derfor bestemmes gennem feltmålinger på ledninger.

6. Praktisk beregningsmetode

6.1 Forsøgsresultater

Ved forsøgene, som er beskrevet i kapitel 4, blev der gennemført tøjningsmålinger på plastrøret ved hjælp af strain gauges.

Disse var placeret i to snit - det første 0,30 meter bag fastgørelsen til sprængningshovedet, det bageste 5,70 meter bag sprængningshovedet. Resultaterne af målingerne er vist i figur 4.12, 4.13 og 4.14 i kapitel 4.

Målingerne

Det fremgår af målingerne, at variationen i måleresultaterne har været størst i det første snit. Dette kan skyldes, at en uundgåelig ujævnhed i kraftoverførslen ved fastgørelsen har ført til måleresultater, der er svære at tolke. De bageste målesnit ser ud til at give mere troværdige måleresultater, og det er derfor primært disse, der anvendes i det videre arbejde.

I figur 4.15 vises de målte tøjninger ved forsøg 1 og 2 som funktion af indtrækningslængden. Forsøg 1 er udført uden stålband og forsøg 2 med stålband.

Det fremgår tydeligt, at tøjningerne i PEH-røret er størst uden stålband, og at de stiger kraftigt med indtrækningslængden. Med stålband er tøjningerne i PEH-røret stort set konstante. Trækkræfterne optages således hovedsageligt af stålbandene.

De tøjninger, der blev målt ved forsøg 1 og 2, kan nu sammenlignes med de teoretiske beregnede, se figur 6.1.

Tøjningerne på grund af rørets egenvægt er beregnet ud fra følgende forudsætninger:

Friktionskoefficienten μ_1 sættes til 0,5, rørets E-modul ved ca. 1 times belastning er 500 MPa = 500.000 kN/m², indføringsrørets egenvægt er 11,6 kg/m = 0,116 kN/m, og rørets længde er 80 m. Beregningerne foretages efter formel 5 og 7 i kapitel 5.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{80 \cdot 0,5 \cdot 0,116}{\pi \cdot 0,303 \cdot 0,0121 \cdot 500.000} \\ &= 0,07 \, \%\end{aligned}$$

På grund af udvendig belastning (tilbagefjedring) fra det sprængte rør opstår der friktionskræfter, der giver følgende tøjninger i indføringsrøret beregnet efter formel 12 og 7 i kapitel 5.

$$\varepsilon = \frac{x \cdot \beta \cdot \mu_2 \cdot \gamma \cdot H \cdot D_y}{\pi \cdot D_m \cdot s \cdot E}$$

$$\varepsilon = \frac{x \cdot \beta \cdot 1,0 \cdot 18 \cdot 5 \cdot 0,315}{\pi \cdot 0,303 \cdot 0,0121 \cdot 1000000}$$

$$= 0,25 \cdot x \cdot \beta \%$$

I beregningerne er det forudsat, at ledningen har en jorddækning på 5 m med densitet $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, friktionskoefficienten μ_2 er 1,0, rørets E-modul er $1000 \text{ MPa} = 1000000 \text{ kN/m}^2$. Denne værdi er fastsat ud fra en vurdering af, at en del af den maksimale trækraft er af dynamisk natur.

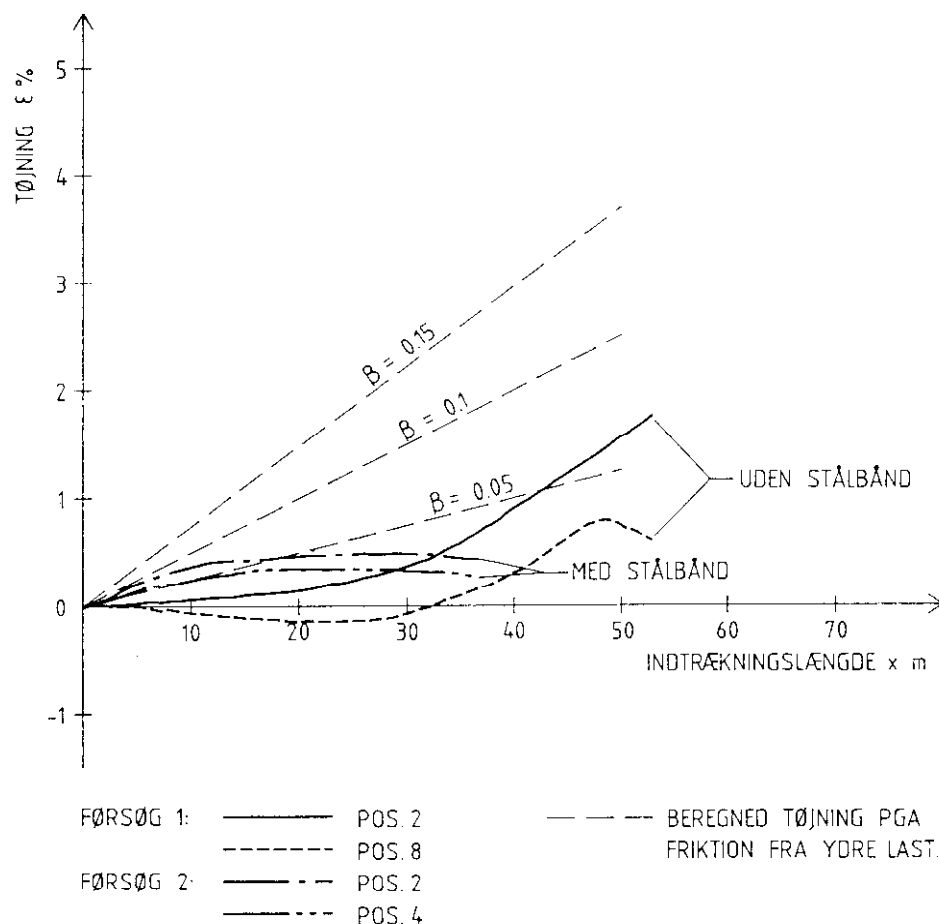
Med en indtrækningslængde på 80 meter og med $\beta = 0,05$ bliver den beregnede maksimaltøjning ca. 2%. Tøjningen på grund af egenvægten bliver ca. 0,07%. Denne værdi kan lades ude af betragtning i sammenligning med tøjningen fra friktionskræfterne langs ledningen.

I figur 6.1 er de teoretiske kurver for tøjningen forårsaget af friktionskræfterne fra udvendig belastning optegnet. Der er vist kurver for forskellige værdier af tilbagefjedringskoefficienten β .

Ser man på formen af de opmålte tøjningskurver i figur 6.1, ses det, at tilbagefjedringskoefficienten β har varieret under installationen. Friktionskoefficienten har muligvis også varieret.

For at simplificere beregningerne og på grund af manglende forsøgsresultater antages det dog, at friktionskoefficienten har været konstant. Størrelsen af friktionskoefficienten repræsenterer da en middelværdi langs den indtrukne ledning, og inkluderer også effekten af manglende retlinethed hos den eksisterende ledning.

Med disse forudsætninger ses det, at tilbagefjedringskoefficienten β varierer fra en værdi på 0,02 ved installationens start til en værdi på 0,15 efter 50 - 60 meters indtrækning.



Figur 6.1
Målte tøjninger i PEH-røret med og uden stål-
bånd.

Uden stålband

Den største kraft på indføringsrøret opstår netop, når sprængningshovedet kommer ud i den sidste brønd. Ved lange indføringslængder bevæger indføringsrøret sig meget langsomt, og den dynamiske kraft på røret er stor. Ved forsøg 1, det vil sige uden stålband, kan den maksimale dynamiske kraft beregnes efter formlerne 2, 3 og 4 i kapitel 5.

$$N_O = A \cdot v_O \cdot \sqrt{E \cdot \rho}$$

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot D_m \cdot s = \pi \cdot 0,303 \cdot 0,0121 \\ &= 0,0115 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_O &= 0,0115 \cdot 4,5 \sqrt{1000 \cdot 10^6 \cdot 940} \\ &= 50,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{y \cdot \rho \cdot A}{M} = \frac{y \cdot 940 \cdot 0,0115}{190}$$

$$= 0,057 \cdot y$$

$$N_{\text{dyn}} = 0,5 \cdot N_o \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\alpha}}\right)$$

$$= 0,5 \cdot 50,2 \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{0,057 \cdot y}}\right)$$

Ved beregningerne er det forudsat, at anslags-hastigheden $v_o = 4,5$ m/s og stempelvægten $M = 190$ kg svarende til den jordraket (Essig type IP 240), som blev anvendt ved forsøg 1.

For forskellige værdier af længden y fås følgende dynamiske kræfter:

y (meter)	N_{dyn} kN
0,5	174
1,0	130
5,0	72
10,0	58
50,0	40
80,0	37

Sammen med den statiske wirekraft på ca. 50 kN viser disse beregninger, at den maksimale kraft på røret kan variere inden for intervallet 90 - 224 kN ved sprængningshovedet. Denne kraft opvejes af friktionskraften på indfø-ringsrøret. Denne kraft beregnes efter formel 5 og 12 i kapitel 5, når de øvrige forudsæt-ninger er som ovennævnte, og der ses bort fra rørets egenvægt.

$$P = 2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot H \cdot D_y \cdot \mu_2 \cdot x =$$

$$P = \beta \cdot 18 \cdot 5 \cdot 0,315 \cdot 1,0 \cdot 80$$

$$= \beta \cdot 4536 \text{ kN}$$

Skal der være ligevægt i kræfterne, kræves der, at tilbagefjedringskoefficienten i gen-nemsnit har værdien 0,05. Dette svarer til den værdi, som analysen af tøjningsmålingerne an-tydte som en middelværdi langs ledningen.

Med stålband

Den dynamiske kraft bliver større med stålband end uden. For stålband med tykkelsen 0,8 mm fås følgende dynamiske kræfter ved forskellige afstande y mellem sprængningshovedet og snittet med den faste indspænding.

y (meter)	N dyn	kN
0,5	635	
1,0	470	
5,0	250	
10,0	197	
50,0	127	
80,0	116	

Disse beregninger viser tydeligt effekten af stålbandene på kræfterne på indføringsrøret. Jordraketten bliver betydeligt mere effektiv med stålband end uden. Med stålbandene ligger den maksimale fremadrettede kraft sammen med wirekraften på 50 kN i intervallet 166 - 685 kN, hvilket er ca. 3 gange højere end uden stålband. Ved så store friktionskræfter bliver spændingen i stålbandene meget stor, og det er dette, der i praksis sætter den øvre grænse for den maksimale fremadrettede kraft.

De anvendte stålband har jævnfør entreprenøren en teoretisk trækstyrke på 20 kN. Denne reduceres i praksis til en værdi på 10 kN/bånd på grund af bolthullerne ved fastgørelsen til sprængningshovedet. Båndbredden er 31,4 mm, hvilket medfører, at der skal anvendes 30 bånd til et rør med dimensionen $\varnothing$ 315 mm. Den totale brudlast for stålbandene ved forsøg 1 og 2 var således 300 kN, en værdi, som ligger inden for det aktuelle interval for kraften, men som også antyder, at hele den potentielle kraftressource i udstyret ikke kan udnyttes.

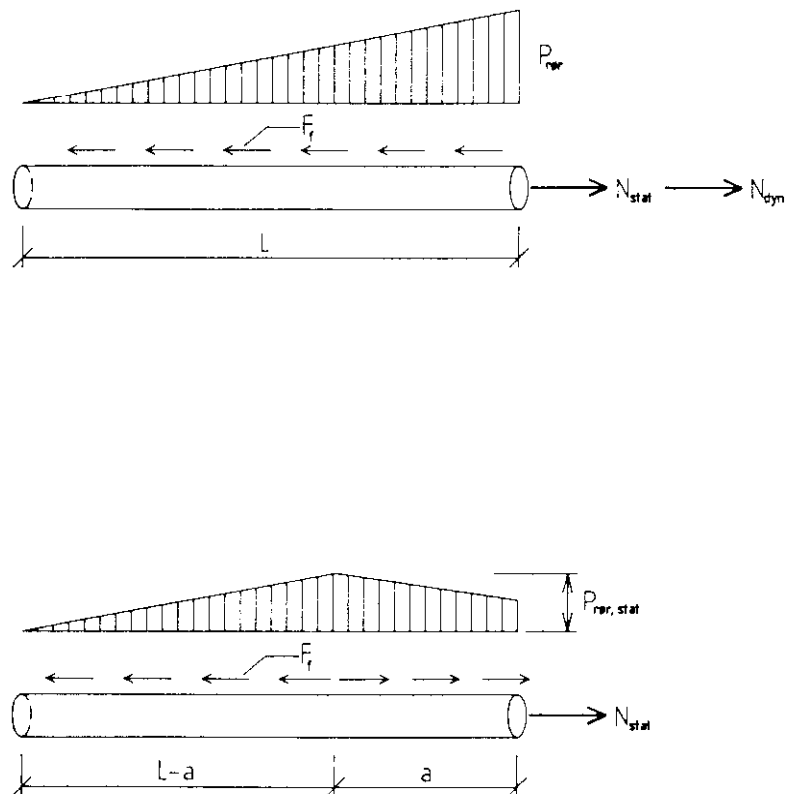
I praksis vil nogle bånd tage en større del af lasten end andre. Hvis det var således, at båndene lå pænt udstrakt langs røret, ville båndene i siderne få betydelig mindre belastning end båndene i top og bund. I praksis sker der en vis rotation af sprængningshovedet under indtrækningen. Dette bevirker, at den totale kraft formentlig er jævnt fordelt på samtlige bånd.

Ved forsøg 3 var den indvendige diameter på det eksisterende rør $\varnothing$ 250 mm og den udvendige diameter på indføringsrøret var ligeledes $\varnothing$ 250 mm. Trækhovedets ydre diameter var 290 mm. På baggrund af de målte tøjninger i rørvæggen kan tilbagefjedringskoefficienten β beregnes til 0,02 - altså en værdi, som er væsentlig lavere end i forsøg 1. Da jordbundsforholdene

var de samme ved begge forsøg, skyldes den lavere værdi sandsynligvis, at ekspansionen i forsøg 3 var væsentlig mindre end i forsøg 1.

Tilbagefjed- ringsstrækning

Som det er beskrevet i afsnit 5.2 påvirkes PEH-røret under indføringen af en statisk trækraft fra wiren og af dynamiske stødkræfter fra sprængningshovedet. Når kraften på røret er maksimal, bevæger røret sig fremad i den eksisterende ledning. Friktionskræfterne er i dette øjeblik fuldt udviklede langs hele PEH-røret og har samme retning overalt. Mellem stødene fra sprængningshovedet fjedrer rørenden ved sprængningshovedet lidt tilbage, og på en vis strækning vendes friktionskræfterne og virker i modsat retning. Kraftpåvirkningen langs PEH-røret er vist i figur 6.2



Figur 6.2

Kraftpåvirkningen langs PEH-røret - dels under et dynamisk stød i sprængningshovedet, dels lige efter.

Den strækning, langs hvilken tilbagefjedringen sker, her kaldet tilbagefjedringsstrækningen a , kan beregnes ud fra nogle simple ligevægtsbetragtninger ved hjælp af følgende formel:

$$a = \frac{F_f \cdot L - N_{\text{stat}}}{2 \cdot F_f} \quad (13)$$

Betegnelserne er angivet i afsnit 5.3.

Den maksimale kraft på røret virker kun i den ganske korte tid, hvor et stød fra sprængningshovedet virker på røret. Mellem stødene synker kraften på røret til et væsentligt lavere niveau. Længden af strækning a , beregnet efter formel 13, kan betragtes som en meget konservativ værdi. (Det er antaget, at friktionskræfterne er fuldt udviklede langs hele tilbagefjedringsstrækningen). Derfor kan størrelsen af kraften på røret mellem stødene på den sikre side beregnes efter følgende formel:

$$P_{\text{rør,stat}} = \frac{L - a}{L} \cdot P_{\text{rør}} \quad (14)$$

Hvor:

$P_{\text{rør,stat}}$ = Kraften på røret alene fra den statiske trækraft (wirekraften)

$P_{\text{rør}}$ = Maksimal kraft på røret ved samtidig påvirkning fra statisk kraft og dynamisk stødkraft fra sprængningshovedet.

L = PEH-rørets længde

a = Tilbagefjedringsstrækningen efter formel 13.

Eksempel

Eksempel:

PEH-rør Ø 315 mm
 Jorddækning $H = 5$ meter
 Rørlængde $L = 80$ meter
 Jordens densitet $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
 Friktionskoefficient $\mu_2 = 1,0$
 Tilbagefjedringskoefficient $\beta = 0,1$
 Wirekraft $N_{\text{stat}} = 50 \text{ kN}$

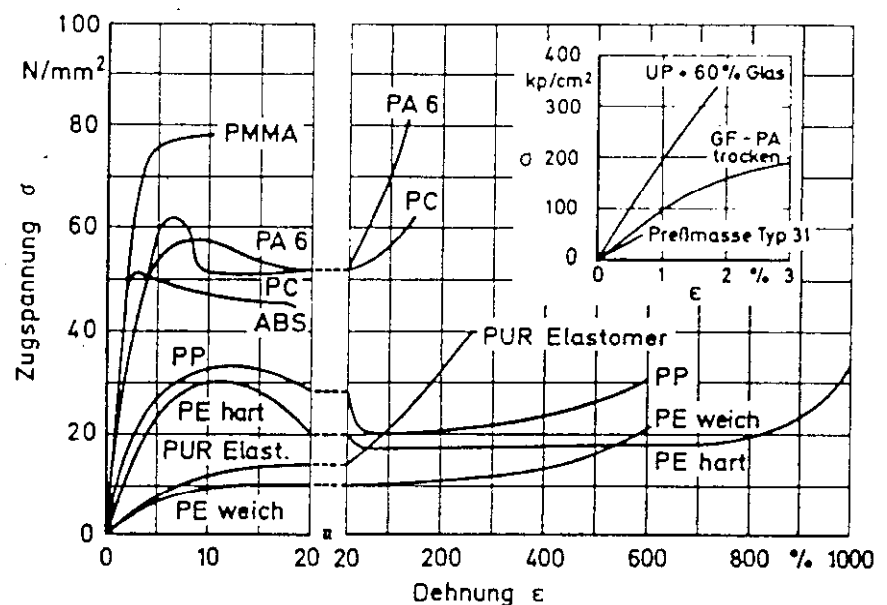
Tilbagefjædringsstrækningen a kan nu efter formel 13 beregnes til $a = 31$ meter.

I dette eksempel bliver den resulterende statiske kraft på røret således ca. 60% af den maksimale kraft på røret.

6.2 PEH-rørets styrke

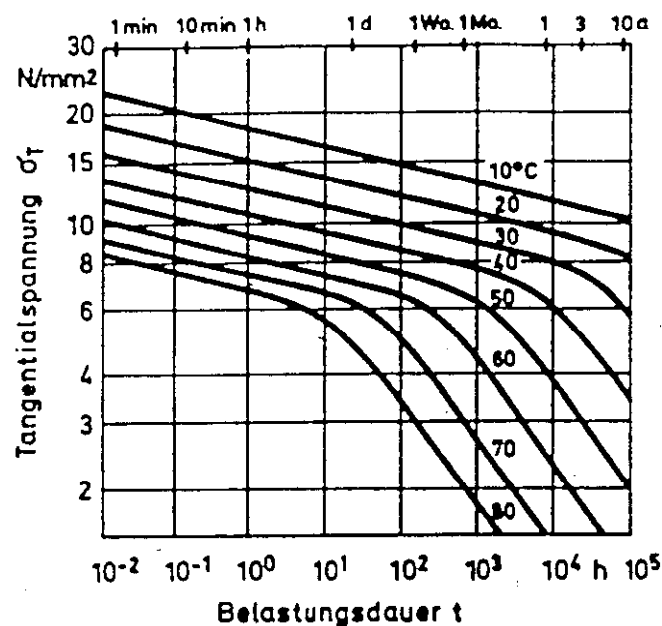
PEH-rørets styrke afhænger som for de fleste plastrørs vedkommende af belastningsforholdene fx belastningstid og temperatur.

Almindelige trækforsøg med trækstave viser, at deformationsevnen hos PEH ved korttidsforsøg er meget stor. I figur 6.3 er vist eksempler fra trækforsøg udført på trækstave af forskelligt plastmateriale jævnfør /5/. Det fremgår, at deformationsevnen hos PEH er meget stor ved ren trækbelastning, og at trækstyrken for det PEH-materiale, der indgik i prøven, var 30 MPa.



Figur 6.3
Spændings-tøjningskurver ved trækforsøg med stave af forskellige typer plast efter /5/.

Hvis et plastmateriale udsættes for konstant trækpåvirkning, sker der brud efter en vis tid. Hvor lang tid der går, afhænger af spændingens størrelse, temperaturen samt omgivelserne. For PEH-rør udsat for indvendigt overtryk gælder de tids-brudspændingskurver, der er vist i figur 6.4 jævnfør /5/.



Figur 6.4

Tid-brudspændingskurver for PEH-rør udsat for indvendigt vandtryk jævnfør /5/.

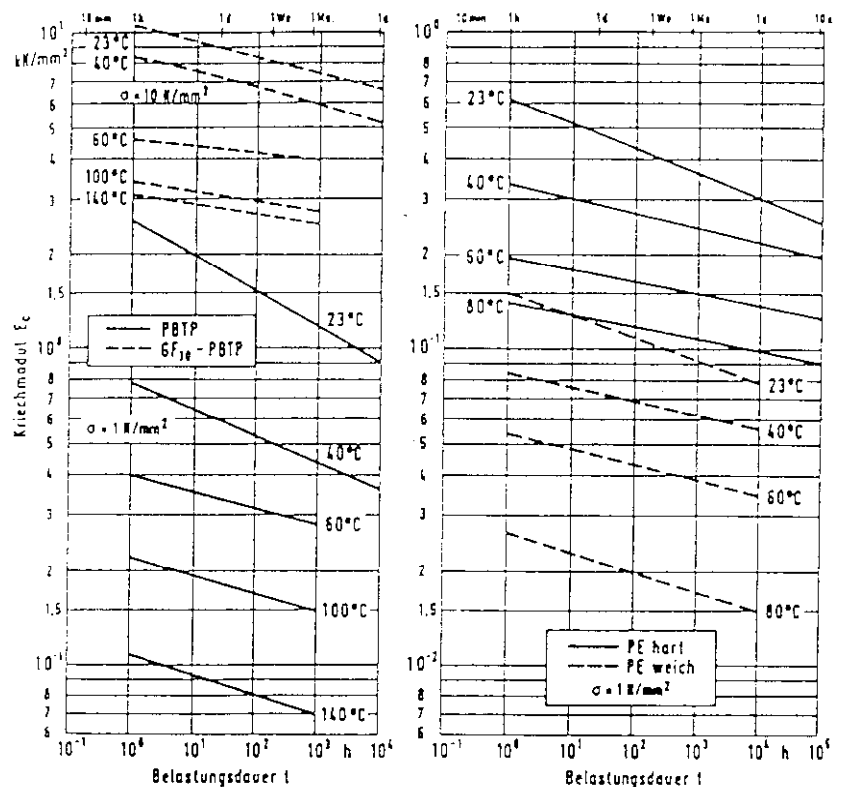
Ved konstant træk sker der således brud efter en vis tid ved en belastning, som er mindre end brudspændningen ved korttidsbelastningen.

Ved konstant belastning øges tøjningen med tiden på grund af krypning. Forholdet mellem spænding og tøjning bliver således mindre med tiden. Dette forhold kaldes krypemodul (svarende til elasticitetsmodul for elastiske materialer). Krypemodulets størrelse afhænger af spændingens størrelse og af temperaturen. I figur 6.5 er vist eksempler på krypemodulet ved forskellige temperaturer jævnfør /5/.

Ved meget korte belastningstider, fx ved stødbelastninger, bliver krypemodulet for PEH højt (af størrelsesordenen 1000 MPa).

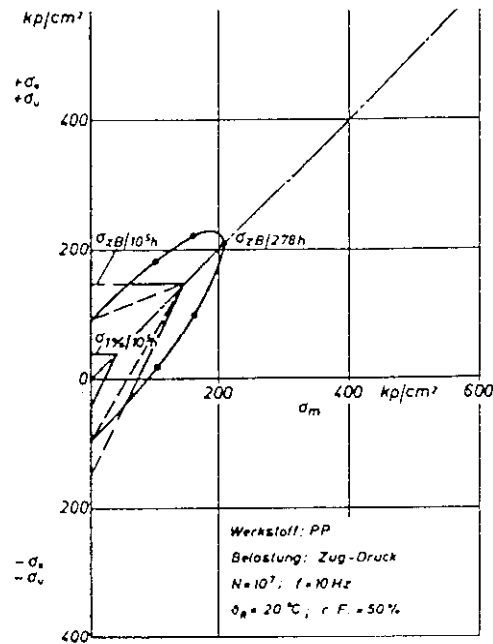
PEH-materialets evne til at klare dynamisk belastning er god. Således viser resultaterne fra traditionelle udmattelsesforsøg jævnfør /6/, at for delkrystallinske plaster, fx PEH og PP, er en dynamisk (vekslende) påvirkning, som overlejres af en konstant langtidspåvirkning af relativ lille betydning for rørets langtidstyrke. Som eksempel vises i /6/ resultater fra forsøg med dynamisk belastning af polypropylen PP (figur 6.6).

Også i /5/ gøres der rede for resultater af forsøg med skiftende belastning på forskellige plastmaterialer. I figur 6.7 vises udmattelsestyrken ved skiftende bøjningsbelastninger, som påføres i form af skiftende tryk og træk-tøjninger med konstant størrelse. De givne styrkeverdier viser spændingen ved det første belastningsskift. På grund af relaxsation, mindskes materialepåvirkningen ved de efterfølgende belastningsskift.



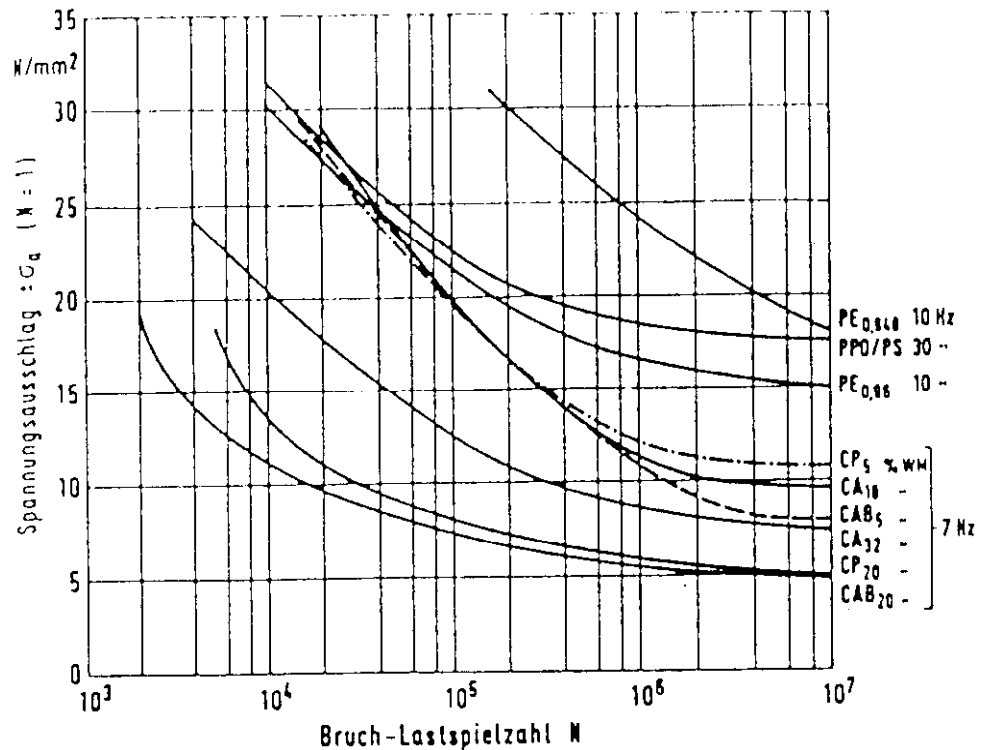
Figur 6.5

Krypemodulet for PEH ved forskellige temperaturer jævnfør /5/ ved spændingen 1 MPa.



Figur 6.6

Forsøg med en dynamisk belastning $\pm \sigma_u$, som overlejrer den konstante påvirkning σ_m . Materiale PP. Antal belastningsskift 10^7 , frekvens 10 Hz. Kurverne angiver styrkeværdier for en defineret brudgrænsetilstand.



Figur 6.7

Udmattelseskurver (Wöhlerkurver) for forskellige plastmaterialer med skiftende bøjningsbelastning ved konstant tøjning /5/.

Tilladelig
spænding

Den tilladelige trækraft i røret kan beregnes
som:

$$P_{\text{rør}} \leq \sigma_d \cdot A \quad (15)$$

hvor:

σ_d = Tilladelig trækspænding

A = Rørmaterialets areal

$$= \pi \cdot s \cdot (D_y - s)$$

s = Rørets godstykkelse

Den tilladelige trækspænding bestemmes under hensyntagen til såvel den maksimale, dynamiske spænding under indtrækningen som den maksimale blivende statiske trækspænding axials i røret.

Nogle rørfabrikanter angiver, at den statiske spænding ikke må medføre større tøjninger end 2%. Et normalt rørsprængningsforløb svarer til et krypemodul på ca. 500 MPa, som ved en tøjning på 2% vil svare til en spænding på ca. 10 MPa. Efter afslutningen af rørsprængningen forbliver denne tøjning i rørvæggen. Den er dog konstant med tiden, hvilket medfører, at den aksielle spænding mindskes med tiden på grund af relaksation. Den forholdsvis høje axialspænding 10 MPa bør derfor kunne tillades også som blivende spænding umiddelbart efter endt rørsprængning.

Den maksimale, statiske spænding opstår ikke lige bag sprængningshovedet; men relativt langt fra dette. Den maksimale trækspænding opstår dog tæt ved sprængningshovedet, men er kortvarig og af dynamisk karakter.

Den maksimalt tilladelige dynamiske trækpåvirkning kan vurderes ud fra udmattelsesforsøg.

Disse overvejelser sammen med resultater hentet fra litteraturen medfører, at en tilladelig maksimal dynamisk spænding af størrelsesorden 15 MPa vil kunne tillades på et "godt" PEH-rør. Jævnfør udmattelseskurverne i figur 6.8 varierer udmattelsesstyrken mellem 22 og mere end 30 MPa for de afprøvede PE-kvaliteter ved 10^5 belastningsskift (svarende til ca. 10 timers rørsprængning med 200 slag/minut).

Denne lave værdi burde dog kunne accepteres,

da udmattelsesforsøgene er udført med skiftende træk- og trykspænding. Under rørsprængningen sker spændingsvariationerne mellem to forskellige niveauer af trækspændinger, og trykspændinger forekommer ikke.

Den dynamiske træktøjning bliver ved spændingen 15 MPa ca. 1,5% og er altså lavere end den tilladelige statiske træktøjning.

Som det fremgår af kapitel 5.1 bliver den maksimale, statiske påvirkning af størrelsesorden 50 - 60% af den dynamiske. De foreslåede tilladelige spændinger på 10 og 15 MPa svarer til driftsforholdene. Dimensioneringen kan derfor foretages på grundlag af de dynamiske spændinger tæt på sprængningshovedet. Derved opfyldes også kravene til den statiske spænding længere bagud i røret.

6.3 Forslag til dimensioneringsmetode for PEH-røret

De gennemførte feltundersøgelser udgør ikke et tilstrækkeligt godt grundlag til at udforme generelle retningslinier for dimensioneringen af PEH-røret med hensyn til aksialkræfter under installation.

Aksielle på-
virkninger

De praktiske erfaringer, som er gjort gennem årene hos Hans Jørgensen & Søn, kan dog sammen med forsøgsresultaterne danne grundlag for disse foreløbige retningslinier for valg af rørklasse for PEH-røret. Det skal understreges, at retningslinierne alene er fastsat ud fra de aksielle påvirkninger under installationen. Valg af rørklasse er også afhængig af påvirkningerne i tangentiel retning og belastningerne efter længere tid fra jord og trafik. En bedømmelse af disse forhold kan foretages jævnfør /1/.

De aksielle kræfter på PEH-røret beskrives i formel 5 i kapitel 5. Friktionskræfterne F_{e1} og F_{e2} fra rørets egenvægt er små sammenlignet med friktionskræfterne F_f stammende fra den ydre belastning og ledningens retlinethed. Der kan derfor normalt ses bort fra dem. Aksialkraften i røret kan derefter beregnes efter formelen:

$$P = x \cdot F_f = x \cdot 2 \cdot \mu_2 \cdot Q \quad (16)$$

Ved store lægningsdybder er påvirkningen fra trafiklast lille i sammenligningen med jordlasten. Desuden er trafiklasten kortvarig og ikke konstant under installationen. Ved en grov dimensionering kan man derfor se bort fra trafikbelastningen. Lasten Q på røret kan efter ligning 12 i kapitel 5 beregnes som:

$$Q = \beta \cdot D_Y \cdot \gamma \cdot H \quad (17)$$

som indsat i formel 16 giver:

$$P = 2 \cdot \beta \cdot \mu_2 \cdot D_Y \cdot \gamma \cdot H \cdot x \quad (18)$$

Den aksielle kraft i røret P må ikke være større end den tilladelige:

$$P_{\text{til}} = \pi \cdot D_m \cdot s \cdot \sigma_d \cdot \frac{D_m - n \cdot d}{D_m} \quad (19)$$

hvor:

n = Antal fastgørelsesbolte ved sprængningshovedet. (Se figur 3.7)

d = Bolthullernes diameter

D_m = Rørets middeldiameter ($D_Y - s$)

s = Rørets godstykkelse

σ_d = Tilladelig aksialspænding for PEH-røret

Sættes ligning 18 lig med ligning 19, fås følgende udtryk for den maksimalt tilladelige indtrækningslængde:

$$x_{\text{til}} = \frac{\pi \cdot D_m \cdot \sigma_d}{2 \cdot \beta \cdot \mu_2 \cdot \gamma \cdot H \cdot D_Y} \cdot \left(\frac{s}{D_m} \right) \cdot \frac{D_m - n \cdot d}{D_m} \quad (20)$$

Hvis fastgørelsen af PEH-røret til sprængningshovedet sker ved svejsning til et overgangsstykke, bliver $n = 0$.

Den tilladelige belastning af PEH-røret kan

vælges høj, hvis en stor del af den maksimale påvirkning er dynamisk, fx hvis fremdriften hovedsagelig skyldes den luftdrevne slaghammer. Som det er angivet i kapitel 6.2 kan den tilladelige trækspænding da sættes til 15 MPa.

Hvis fremdriften hovedsagelig sker ved et statisk træk, bør der vælges en lavere værdi af σ_d , og værdien skal tilpasses den aktuelle installationstid.

Tilbagefjedringskoefficienten β varierer med jordarten, indtrækningslængden og ekspansionsgraden. Grundlaget for at bedømme de enkelte parametres indvirkning på β er meget begrænset, da de gennemførte forsøg alene omfatter rør i fast morænelær.

De forslag, der i tabel 6.1 er givet for β , er derfor meget foreløbige. De forudsætter også, at det eksisterende rør ekspanderes til mindst $1.1 \cdot D_y$, hvor D_y er PEH-rørets udvendige diameter.

Tilbagefjedringskoefficienten β

	$D_y/D_o < 1,1$			$D_y/D_o \geq 1,1$		
Indtrækningslængde	≤ 50	100	150m	≤ 50	100	150m
Fast ler og lign.	0,025	0,05	0,075	0,05	0,10	0,15
Sand, silt og blød bund.	0,050	0,10	0,15	0,10	0,20	0,30
Sand, silt og blød bund under grundvandsspejl.	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60

Tabel 6.1

Foreløbigt forslag til dimensioneringværdier for tilbagefjedringskoefficienten β .

D_o = Eksisterende rørs indvendige diameter

D_y = PEH-rørets udvendige diameter

β -værdierne kan fås ved retlinet interpolation mellem de angivne indtrækningslængder.

I figur 6.8 og 6.9 er vist diagrammer til bestemmelse af rørklasse for rørdimensionerne $D_y = 250$ og $D_y = 315$ mm. Fastgørelsen til sprængningshovedet er ved disse eksempler sket gennem svejsning til et overgangsstykke.

Indtrækningslængder, der er større end de, der er gældende for jorddækningen 2,5 m, bør ikke tillades på grund af de friktionskræfter, som er uafhængige af jorddækningen, fx. friktionskraften på grund af manglende retlinethed. Disse er indregnede i den valgte friktionskoefficient.

Beregningsmetoden og diagrammerne gælder for "normale" ledninger. Det vil sige, ledninger uden store sætninger, store vinkeldrejninger eller store forskydninger. Desuden må der ikke være skader, der forhindrer indtrækning og ekspansion.

Hvis det er nødvendigt med større indtrækningslængder end de, der er angivet i ovenstående retningslinier, kan indtrækningen ske ved hjælp af udvendige stålband. Disse skal så dimensioneres efter ligning 18. Den tilladelige kraft kan beregnes efter følgende formel:

$$P_{\text{til}} = n \cdot S_{\text{til}} \quad (21)$$

hvor:

S_{til} = Tilladelig trækraft i stålbandene under hensyntagen til bolthullerne ved sprængningshovedet.

n = Antal stålband

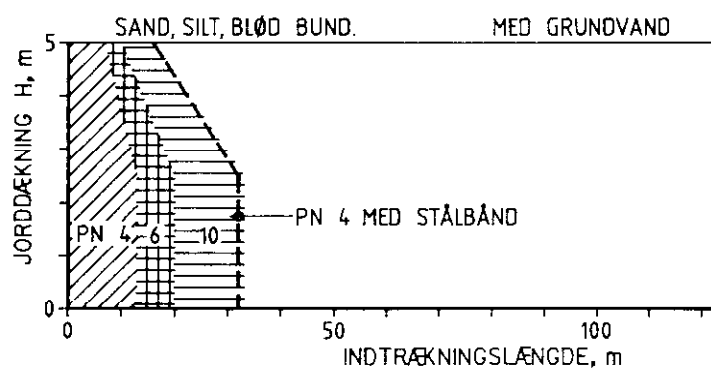
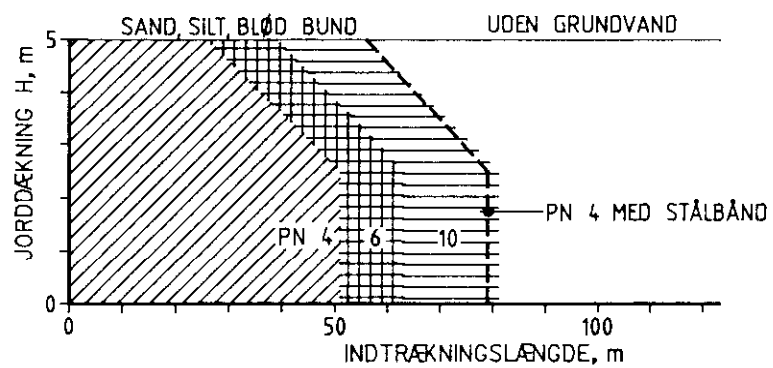
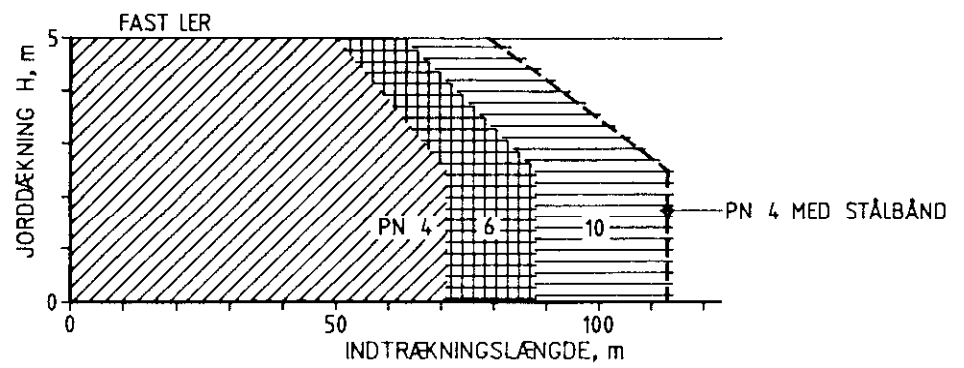
Ved beregning af indtrækningslængden med stålband er det rimeligt at antage, at friktionen mod det eksisterende rør reduceres noget. Det foreslås derfor, at en sådan beregning udføres med friktionskoefficienten $\mu_2 = 0,7$.

For at illustrere effekten af stålbandene i Hans Jørgensen & Sønns metode er der i figur 6.8 og figur 6.9 vist de beregnede indtrækningslængder for rør beskyttet med stålband. Stålbandene er i dette tilfælde 0,8 mm tykke stålband med en bredde på 31,4 mm. Stålets trækstyrke er 800 MPa. Med et fradrag for bolthullerne på 13 mm og med en sikkerhedskoefficient på 1,5 fås en tilladt kraft på 8 kN/bånd

Båndene har en stivhed, der er væsentlig højere end PEH-røret. derfor overføres stort set hele den aksielle trækraft ved sprængningshovedet til båndene. For at sikre sig mod overbelastning fra de aksielle kræfter under indtrækningen er det således ikke nødvendigt at anvende stivere rør end PN4, når der anvendes stålbånd. Derimod kan belastninger fra jord- og trafiklast efter installationen medføre, at det er nødvendigt at anvende en højere rørklasse end PN4. Stålbåndene øger nemlig ikke rørets bæreevne efter installation.

Indtrækningslængden med stålbånd bliver ikke større med større dimensioner. Dette skyldes, at det er den samme type stålbånd, der bruges ved alle dimensioner. Det større antal stålbånd modsvarer af en større friktionskraft således, at indtrækningslængden ikke øges. For at få en større indtrækningslængde må stålbåndenes tykkelse øges.

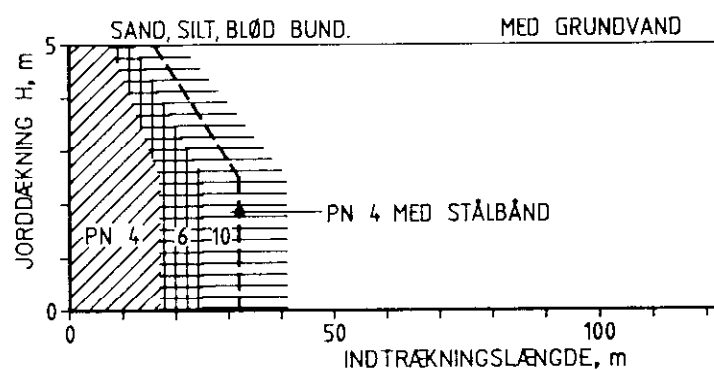
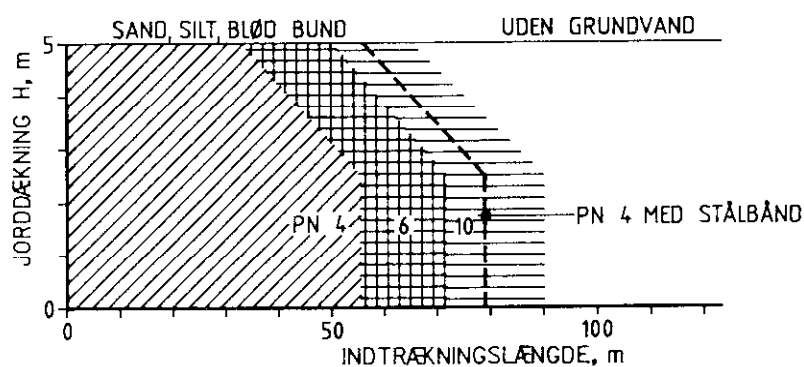
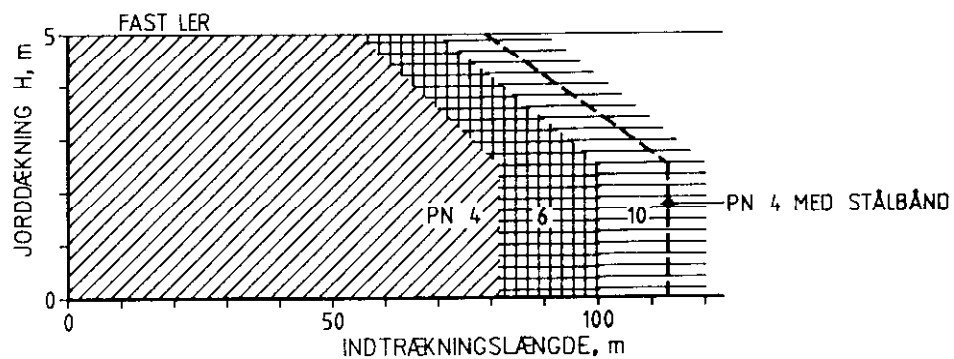
En større indtrækningslængde kan opnås, hvis man mindsker friktionen mellem PEH-røret og det eksisterende rør. Friktionen kan mindskes ved at smøre/injicere med betoniteslam.



Figur 6.8

Diagram til valg af rørklasse for PEH-røret med hensyn til belastningen under installation $D_y = 250$ mm. Fastgørelse til sprængningshovedet ved svejsning.

Den stiplede linie viser indtrækningslængderne for PN 4-rør beskyttet med stålband.



Figur 6.9

Diagram for valg af rørklasse for PEH-røret med hensyn til belastning under installation. $D_y = 315$ mm. Fastgørelse til sprængningshoved ved svejsning.

Den stiplede linie viser indtrækningslængderne for PN 4-rør beskyttet med stålband.

7. Kvalitetsstyring under rørsprængningsarbejder

For at sikre en lang levetid på den renoverede ledning er det vigtigt, at hele arbejdsprocessen lige fra forundersøgelser og forarbejder til kontrol af det færdige anlæg planlægges og gennemføres omhyggeligt, samt at man kontrollerer processen på kritiske punkter undervejs.

I det følgende gennemgås kort de enkelte elementer i processen samt forslag til kontroller. Afsnittet er ikke skrevet specielt med henblik på rørsprængning med Renoform, men beskriver rørsprængningsprocessen generelt.

7.1 Jordbundsundersøgelser

Jordbundsundersøgelser er væsentlige i relation til vurdering af, hvor stor overfladebelastningen vil blive under rørsprængningen.

Følgende oplysninger er væsentlige:

- * Jordart
- * Grundvandsspejlets beliggenhed
- * Lægningsdybde
- * Omkringfyldningens tæthed (komprimeringsgrad)

7.2 Forundersøgelser

De nødvendige forundersøgelser før en rørsprængning er:

- * TV-inspektion til lokalisering af stik
- * Lokalisering af andre ledninger og kabler, både parallelle og krydsende

Afstand til andre ledninger

I en svensk undersøgelse med statisk rørsprængningsudstyr /3/ er der anvist følgende afstande (sikkerhedsafstande) til parallelle og krydsende ledninger.

- * Overliggende krydsende ledninger bør i følsomme tilfælde frilægges, hvis afstanden er mindre end 2 meter.

- * Underliggende krydsende ledninger skades ikke.
- * Parallelt-liggende ledninger:
 - Ved en dimensionsforøgelse på 30% er sikkerhedsafstanden 2 x diameteren på det nye rør.
 - Ved større dimensionsforøgelse er sikkerhedsafstanden 3 - 4 x diameteren på det nye rør.

Praktiske erfaringer med dynamisk rørsprængning i Danmark indicerer, at disse afstande kan nedsættes væsentligt.

7.3 Rørmaterialet

Indføringsrør af PEH skal opfylde nedenstående standardkrav.

RØR	STANDARD
PEH	ISO/DIS 8772 NKB skrift nr. 8 1989

Entreprenøren skal oplyse rørtype og stivhedsklasse, som påregnes anvendt, hvis dette ikke fremgår af udbudsmaterialet.

Rørene skal håndteres og opbevares i overensstemmelse med rørfabrikantens anvisninger.

7.4 Samling af rør

Rørene samles med gummiringe eller ved svejsning. Rørfabrikantens forskrifter for samling skal nøje følges.

Rørfabrikanten skal oplyse tilladt trækraft for trækfaste samlinger. Rørfabrikanten skal desuden oplyse tilladt vinkeldrejning, hvor tæthed stadig er til stede.

Svejsesarbejdet må kun udføres af certifikat-

svejsere.

Rørfabrikantens svejseinstruktioner skal nøje følges.

Svejste samlinger må ikke udsættes for trækspændinger, før der er gået den afkølingstid, som rørleverandøren foreskriver.

Entreprenøren skal oplyse den anvendte samlingsmetode.

Entreprenøren skal oplyse trykkraft ved indføringen, hvor dette anvendes.

7.5 Stiktilslutning

Tilslutning af eksisterende stik foretages efter opgravning med en studs eller et sadelgrenrør. Sammenkobling til stikledning foretages med overgangsstykke således, at tæthed opnås i henhold til DS 437.

7.6 Tilslutning og indføring i brønde

Brøndsider omkring gennemføring og bundløb fjernes, således at rør samt brønd ikke beskadiges, og bundløb ikke hæves.

Brøndsidens retableres med udstøbning med tætningsbånd eller rørgennemføring.

Banketter retableres.

7.7 Indføring

Indføring udføres fra eksisterende nedgangsbrønde på ledningen eller fra udførte udgravninger til ledningen.

Bøjningsradius

Udgravningen for indføring skal udføres med sådanne mål, at mindste bøjningsradius ved indtrækning ikke bliver mindre end anført i rørfabrikantens anvisninger.

For PEH-rør trykklasse 4 - 10 PN er den tilladte bøjningsradius $\geq 30 \times$ rørets ydre diameter.

Længden af graven, hvorfra PEH-røret skal trækkes ind i den eksisterende rørledning, kan beregnes som funktion af lægningsdybde og tilladte bøjningsradius, som angivet på figur 7.1.

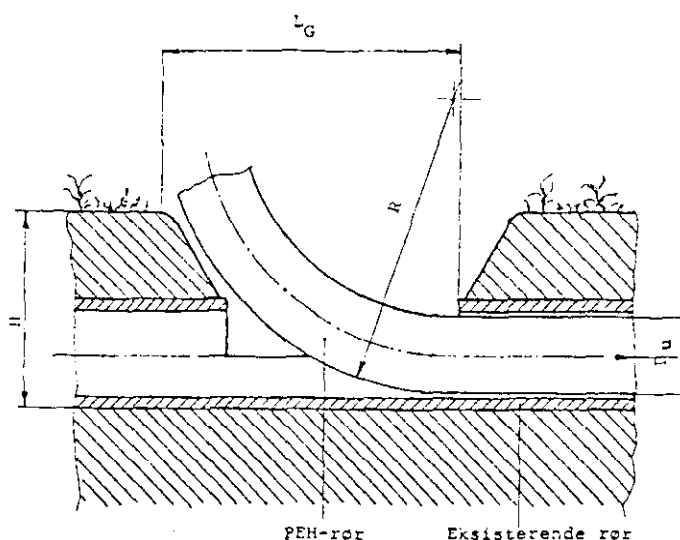
L_G	$\geq \sqrt{H(2R-H)}$	[mm]
-------	-----------------------	------

for $R \geq 50 \times D_u$ fås

L_G	$\geq \sqrt{H(100D_u-H)}$	[mm]
-------	---------------------------	------

i praksis er

L_G	$\approx 10\sqrt{H \times D_u}$	tilstrækkelig
-------	---------------------------------	---------------



Figur 7.1

Beregning af ledningsgravens nødvendige længde i afhængighed af lægningsdybde og tilladelig bøjningsradius.

7.8 Beskadigelse af overfladen

Under indtrækningen af PEH-røret i det gamle rør kan en vis beskadigelse - ridser m.m. - på PEH-rørets udvendige overflade ikke undgås. Det anbefales derfor at anvende PEH-rør med en min. vægtykkelse på 5 mm.

Såfremt formstykker - grenrør, bøjninger m.m. - skal svejses ind på PEH-ledningen, anbefales en min. vægtykkelse på 8 mm.

7.9 Belastning af indførsrøret under rørsprængning

Under indføringen må spændingerne i rørvæggen ikke overstige de tilladelige værdier for rør-materialet. Ligeledes må forlængelsen af PEH-

røret ikke under indføringen overstige 2% ved statisk last eller trækspændingen 15 MPa ved dynamisk last.

Disse krav er overordentligt vanskelige at kontrollere i praksis.

Trækket og påvirkningerne af det nye rør er størst lige bag sprængningshovedet, og ved vanskelige forhold risikerer man en overbelastning af materialet her.

I det følgende angives de metoder, der i dag anvendes til at nedsætte overfladebelastningen under rørsprængningen.

- * Injicering med betonite
- * Beskyttelse af PEH-røret med stål-bånd. Stålbåndene har en stor stivhed og overtager 99% af belastningen tæt på sprænghovedet.

Beskyttelse af rørmaterialet

Når rørmaterialet overbelastes, nedsættes levetiden på den renoverede ledning. Følgende metoder kan anvendes til at sikre den renoverede ledning mod overbelastning under installation.

- * Fastgørelse af PE-røret til sprængningshovedet ved hjælp af et antal bolte. Samlingen skal dimensioneres således, at ringtværsnittet gennem bolthullerne ødelægges, inden materialet i rørvæggen andre steder overbelastes.
- * Påsvejsning af et PE-rør i lav trykklasse lige bag sprængningshovedet. Da påvirkningerne er størst lige bag sprængningshovedet, vil der ske brud i dette rørstykke, inden resten af ledningen overbelastes. Beregninger skal foretages.
- * Påsvejsning af et PE-rør i højere trykklasse lige bag ved sprængningshovedet. Dette rørstykke kan optage de store belastninger uden at overbelastes. Beregninger skal foretages.
- * Belastningen lige bag sprængningshovedet kan nedsættes ved, at en speciel maskine skubber ledningen ind i indføringsgruben samtidig med, at trækspillet trækker sprængningshovedet frem.

7.10 Længdeforøgelse

Trækket og påvirkningen af det nye rør er størst lige bag sprænghovedet. En tilladelig længdeforøgelse kan altså være overholdt (2%), mens dele af røret er blevet overbelastet.

Når røret forlænges, indbygges der store kræfter. Hvis det ikke fastholdes (indspændes), trækker det sig sammen som en elastik, og grenrør m.v. forskubber sig. Hvis røret indspændes, udligner kræfterne sig med tiden (relaksation).

Måling af længdeudvidelsen kan fx ske ved hjælp af mærker på rørene. Mærkerne skal opmåles i brønde bestemte steder.

7.11 Kortrørsforing

Ved indføring af kortrør med trækfaste samlinger må kraften i ledningen ikke overstige den tilladte trækraft i samlingerne, som rørfabrikanten har oplyst.

Hvis indføringskraften påføres på indføringsrørenes bageste ende, må kraften ikke overstige den tilladte aksiale trykkraft i røret, som rørfabrikanten har oplyst.

7.12 Tilfyldning af udgravning

For de dele af den renoverede ledning, som er lagt i udgravning, skal lægningsbestemmelserne i DS 430: Dansk Ingeniørforenings "Norm for lægning af fleksible ledninger af plast i jord" følges.

7.13 Kontrol

Nedenstående kontrolarbejder bør altid foreskrives:

- * TV-inspektion af den renoverede ledning
- * Tæthedsprøvning af den renoverede ledning i henhold til DS 455.

Andre
kontroller

Afhængig af renoveringsarbejdets art og omfang kan eventuel yderligere kontrol være nødven-

dig. Nedenstående kontrolarbejder kan være aktuelle:

- * Kontrol af rørkvalitet (styrke og stivhed).
- * Kontrol af samlinger (trækstyrke, tæthed, vinkeldrejning).
- * Kontrol af tæthed ved tilslutninger af stik og brønde.
- * Deformationsmåling
- * Kontrol af træk- og trykkræfter ved indføringen.
- * Kontrol af tøjningen i røret under installation ved hjælp af strain gauges.
- * Kontrol af længdeforandringen på indføringsrøret.
- * Kontrol af nærliggende ledninger og andre konstruktioner i jord før, under og efter rørsprængningen og foringen.
- * Kontrol af eventuelle skader på belægninger
- * Kontrol af længdeprofilet på den forede ledning.

Udførelse og omfang af kontrolarbejdet bør foreskrives separat for hvert enkelt renoveringsarbejde.

Den målemetode, som er anvendt i dette projekt, kan anvendes til kontrol af tøjningen i røret under installation i særligt kritiske tilfælde. Da metoden er meget kostbar, vil dette kun være realistisk i meget få tilfælde.

8. Litteratur

- /1/ Renovering af afløbsledninger. Retningslinier for valg, dimensionering og udførelse.
Dansk Teknologisk Institut 1989

- /2/ Tøjningsmålinger på PEH-rør.
Risø, Afdelingen for Materialeforskning.
Projekt nr. 020 5400 - 1991

- /3/ Molin, Jan 1990: Ledningsrenovering gennem rørsprækning. Utredning angående envirkning på næraliggende ledninger, dimensionering av infodringsrørets och riktlinjer för användingsanvisningar. Statens Råd för byggnadsforskning.

- /4/ Timoshenko-Godier, 1951. Theori of Elasticity.
Second edition Mohran-Hill, New York 1951.

- /5/ Oberback, Karl 1975: Kunststoff-Kennwerte für Konstrukteure.
Carl Hansen Verlag 1975

- /6/ Taprogge, Raunar 1971: Kunstruieren mit Kunststoffen.
VDI Taschenbücher T21, Düsseldorf

REGISTRERINGSBLAD

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, 22

Udgivelsesår: 1991

Titel:

Renovering af afløbssystemer

Undertitel:

Belastning af PEH-rør ved dynamisk rørsprængning

Forfatter(e) :

Molin, Jan; Nislev, Bo; Faldager; Anthonisen, Ulla; Nielsen, Viggo; Sparwath, Kurt

Udførende institution(er) :

Vandrensningsrådet (spons); Industri- og Handelsstyrelsen (spons); Sveriges Plastförbund (spons); Hans Jørgensen & Søn A/S (spons); Dansk Teknologisk Institut. Rørcenteret

Resumé:

Afløbssystemerne i Danmark er i så dårlig stand, at omfattende fornyelser skal iværksættes straks. Fornyelse sker traditionelt ved, at ledningerne erstattes med nye ved opgravning. I byområder, i trafikerede gader og på steder med mange ledninger og kabler er opgravning ofte dyr og meget generende for handel og trafik. I stedet kan anvendes opgravningsfri metoder, hvor generne begrænses eller helt kan undgås. Rapporten beskriver resultaterne af et projekt vedr. rørsprængningsmetoden Renoform.

Emneord:

afløb; kloaksystemer; rørledninger; renovering; modelberegninger; kvalitetskontrol

ISBN: 87-503-

ISSN:

Pris (inkl. moms): 85 kr.

Format: A4

Sideantal: 88

Md./år for redaktionens afslutning: maj 1991

Oplag: 250

Andre oplysninger:

Tryk: Scantryk, København

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen

- Nr. 1: Proces- og funktionsgarantier samt rådgiveransvar
- Nr. 2: Fagligt indhold af renseanlæggets driftsdatabase
- Nr. 3: Datagrundlag for dimensionering af renseanlæg
- Nr. 4: Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb
- Nr. 5: Lavteknologisk spildevandsrensning i danske landsbyer
- Nr. 6: Kvalitetsstyring af afløbsprojekter
- Nr. 7: Rodzoneforsøgsanlæg
- Nr. 8: Spildevandsrensning i rodzoneanlæg
- Nr. 9: Kompostering af spildevandsslam med andet organisk affald
- Nr. 10: Fjernelse af tungmetaller fra spildevandsslam
- Nr. 11: Udledning af industrispildevand til renseanlæg
- Nr. 12: Effektivisering af olieudskillere
- Nr. 13: Udarbejdelse af fornyelsesplaner for afløbssystemer
- Nr. 14: Energi til renseanlæg
- Nr. 15: Økonomi ved rensning af industrispildevand i renseanlæg
- Nr. 16: Septiktanke
- Nr. 17: Fjernelse af kvælstof fra rejeftvand
- Nr. 18: Integreret styring af afløbssystem og renseanlæg i Tårnby
- Nr. 19: Optimering af slamafvanding på kommunale renseanlæg
- Nr. 20: Spildevandskontrol i Europa
- Nr. 21: Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra renseanlæg
- Nr. 22: Renovering af afløbssystemer

Renovering af afløbssystemer

Afløbssystemerne i Danmark er i så dårlig stand, at omfattende fornyelser skal iværksættes straks. Fornyelse sker traditionelt ved, at ledningerne erstattes med nye ved opgravning. I byområder, i trafikerede gader og på steder med mange ledninger og kabler er opgravning ofte dyr og meget generende for handel og trafik. I stedet kan anvendes opgravningsfri metoder, hvor generne begrænses eller helt kan undgås. Rapporten beskriver resultaterne af et projekt vedr. rørsprængningsmetoden Renoform.



Pris kr. 85,- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-9379-0

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf 31 57 83 10