

Dimensjonering av nedgravde fleksible plastrør for ytre belastning



Norges byggforskningsinstitutt
1976

særtrykk 247

Med dagens priser, prosjekteringsprinsipper og utførelsesmetoder er utleggene til vann- og avløpsledninger frem til år 2000 anslått til ca. 10–15 milliarder kroner for hele landet. Det er imidlertid mulig å spare en betydelig del av kostnadene ved å heve kunnskapsnivået. Eksempler er grunne ledninger og bedre kumløsninger.

Et sentralt problem er hvilken ytre belastning et nedgravd rør får og hvilke laster røret kan oppta ved den utførte gjenfylling. Generelt vet vi for lite om dette, og spesielt vet vi for lite om fleksible plastrør hvor bæreevnen er sterkt avhengig av materialer og utførelse i omfyllingen. Artikkelen forsøker å gi en oversikt over problemet.

Innledning:

Det er ikke lenger nødvendig å grave til "frostfri dybde" – ledningene kan frostsikres. Men dette betyr at trafikklaster får en langt større betydning enn tidligere, og skal man følge de nordiske rekommendasjoner (se tab. 2) er sjelden grunne ledninger under veier mulig. NBI har i den senere tid arbeidet med disse problemene, og det er blant annet utført en omfattende litteraturstudie og et større forsøk med nedgravde plastrør, se /9/, /10/ og /11/. Belastningsforsøket vil bli omtalt i en senere artikkel.

Belastning og bæreevne

Nedgravde fleksible plastrør til vann- og avløpsledninger representerer et meget komplekst fasthetsproblem. Både belastningen på røret og rørets bæreevne er avhengig av styrke og stivhet til røret og materialene rundt røret. Alt som påvirker rørgrøftens fasthet og stabilitet, påvirker rørets bæreevne. Omfyllingens materialer og utførelse er derfor meget viktig.

Rørmaterialer

Plastmaterialer skiller seg fra velkjente bygningsmaterialer gjennom sine viskoelastiske egenskaper.

Det vil si at forholdet mellom spenning og deformasjon ikke er rettlinjet og samtidig avhengig av tid og temperatur, se /5/.

Det finnes en rekke forskjellige plastmaterialer. Mest brukt er termoplastene polyvinylklorid (PVC) og polyetylen (PEH, PEL). I den senere tid er også glassfiberarmert polyester (GAP) en del brukt.

Fordelen ved bruk av plastrør er:

- Mindre ujevnheter og setningsvaria-

sjoner i rørenes lengderetning har forholdsvis liten innvirkning (PEL gunstig)

- Meget tette skjøter kan oppnås
- Stor motstand mot korrosjon og kjemikalier (ikke alle – plastrøret bør vurderes i hvert tilfelle – PVC gunstig)
- Innsiden er glatt
- Lav vekt (gunstig for transport)
- Lav varmeledningsevne og masse (gunstig ved bruk av varmekabel i frostpåkjente ledninger)
- Rørbelastningen er mindre enn for stive rør

Ulempen ved bruk av plastrør er:

- Liten mekanisk styrke (sterkt avtagende med tiden)
- Fastheten avtar med stigende temperatur
- Liten styrke mot utvendig påkjenning (forsiktighet ved transport og montasje nødvendig)
- Rørene kan bli sprø i kulde (PVC ugunstig)
- Slitasje innvendig (rørveggen er tynn)

Grøftmaterialer og utførelse.

Bunnbredden skal være min. 0,6 m for ett rør stigende med større diameter, se /1/ og /3/, og min. 5 D når massene i omfyllingen skal gi full sidestøtte nede bløte grøftesider, se /4/ og /6/. For grunne ledninger er smalere grøfter mulig, se /11/. Omfyllingen skal være min. 0,3 m over røret ved trafikklaster og minst opp til toppen av røret uten trafikklaster, etter /4/.

I Finland skal høyden være min. 0,15 m over røret ved alle typer belastning, unntatt under betongplater, se fig. 3.

Frostisolerte ledninger skaper nye

Tabell 1. Standardiserte avløpsrør i plast (fleksible rør). Forholdet mellom veggtykkelse og utvendig diameter bestemmer førklassen og er angitt for noen vanlige plastmaterialer.

Rør klasse	Plastmateriale:		
	PVC	PEH	PEL
L	0,02	0,03	
T	0,03	0,04	0,06

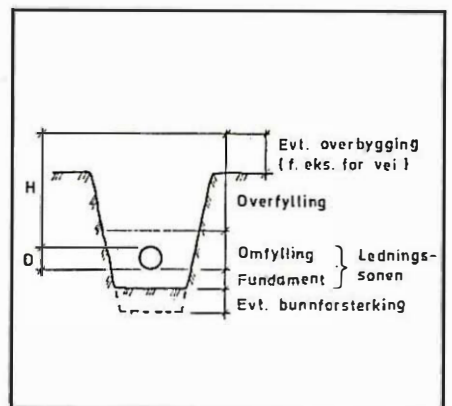


Fig. 1. Vanlig inndeling av grøftesonen.

H = Overfyllingshøyde
D = Rørets diameter

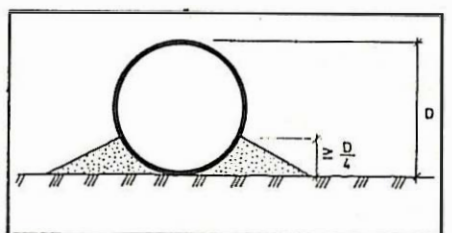


Fig. 2. Den viktigste delen av komprimeringsarbeidet er underpakkingen av massene til høyde $\geq D/4$.

grøftetyper, se /8/. Hvordan isolasjonen påvirker bæreevnen er usikkert. Ingen forsøk er utført.

Undersøkelsene som er grunnlaget for tab. 2, har, bortsett fra de engelske (singel), hatt sand eller grus i omfyllingen. Det er også utført få forsøk med mindre rørdiameter enn 200 mm. De nordiske rekommendasjoner er sannsynligvis alt for strenge når materialer og utførelse er førsteklasses og røret er lite. Nyere forsøk har vist at for rør med ytre diameter 110 mm er overfyllingshøyde 0,8 m godt mulig under sterkt trafikerte veier, se /11/.

Tabell 2. Sammenstilling av minste tillatte overfyllingshøyder i m ved trafikkklaster.

	Sterkt trafikkerte gater og hovedveier Rørklasse T	Mindre trafikkerte gater og hovedveier Rørklasse T	Parkeringsplasser Rørklasse L	Aldri trafikk-last Rørklasse L
Norden ¹	1,5	1,0	0,6	0,3
England ²	1,2			
Finland ³	1,0			
Tyskland ⁴	0,8 el. D			

¹ Etter nordiske rekommandasjoner

² Etter undersøkelser av Building Research Station

³ Etter undersøkelser av Jämskäläinen

⁴ Etter undersøkelser av Hoechst A/S

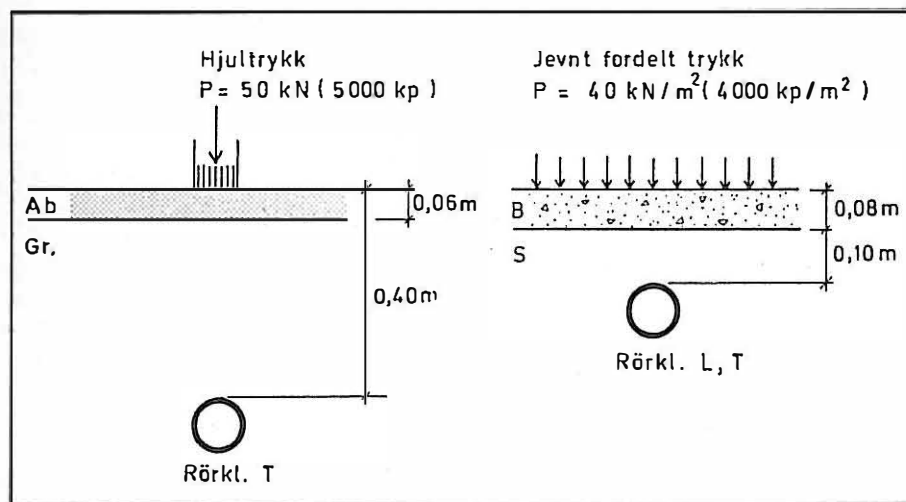


Fig. 3. Tillatt overfyllingshøyde for nedgravde PVC-rør under plate, etter /7/.

Ab = Asfaltbetong

Gr = Godt komprimert grus,

$E_s = 2,5 \text{ MN/m}^2$ (25 kp/cm²)

B = Betong

S = Middels kompr. sand,

$E_s = 1,0 \text{ MN/m}^2$ (10 kp/cm²)

Et viktig problem ved bruk av fleksible rør er variasjonen i sidestøtten i omfyllingen p.g.a. komprimering, grunnvann og frost. Kontroll av komprimeringen rundt rørene er dessuten vanskelig, og vibrering med maskiner krever plass og gir lett forskyvning eller løfting av plastrør. Erfaring og forsøk viser at finstoffer i omfyllingen er dårlig egnet. Sand og grus kan brukes, men kvaliteten er sterkt

/11/, og klima.

Naturlig singel 4,7 – 9,4 mm ("pea gravel", som brukes i England) og 8 – 19 mm (norsk forekomst undersøkt av NBI) er nærmest idélle materialer og kan brukes uten komprimering. Underpakking som vist på fig. 2 bør dog gjøres.

Pukk 5 – 8 mm og 8 – 12 mm av god bergart kan brukes istedenfor singel, men komprimeringsbehovet må vurderes.

Building Research Station i England (nå Building Research Establishment) som har undersøkt behovet for komprimering av omfylling, benytter et komprimeringstall ("compaction fraction"):

$$K = \frac{g_k - g_u}{g_k} \quad (1)$$

g_k = romvekten av komprimert masse

g_u = romvekten av ukomprimert masse

Når $K \leq 0,1$ er massene egnet som sidestøtte med liten til ingen komprimering.

Tabell 3. Komprimeringstallet for noen jordmasser

Materialer	Kornstørrelse mm	K
Sand (norsk)	0,149–9,51	0,18
Singel (engelsk "pea gravel")	4,7–9,4	0,1
Singel (norsk)	9–19	0,08
Pukk (norsk)	5–8	0,08

Komprimeringen var vibrering med last.

Dimensjoneringsprinsipper

Et fleksibelt plastrør i jord dimensjoneres for ytre belastning etter følgende hovedpunkter:

- Begrensning av den vertikale deformasjon
- tøyningen i rørvæggen ikke overskrider den tillatte (bestemmer min. overfyllingshøyde eller maks. trafikklast), se /6/, /9/ og /10/.
- Røret skal ha tilstrekkelig sikkerhet mot lokal utknekkning av rørvæggen (bestemmer maks. overfyllingshøyde eller min. veggtykkelse), se /6/ og /10/.
- Rørdeformasjonen må ikke bli større enn det funksjonskravet tilsier (vannmengde, tette skjøter).

Med god sidestøtte vil selv en sterk økning av veggtykkelsen ikke redusere vertikaldeformasjonen, så lenge deformasjonen er liten. Derimot vil tøyningen i rørvæggen (ved samme deformasjon) stige når veggtykkelsen øker.

Tynne rørvægger er fra dette synspunkt gunstig.

Ved små deformasjoner av plastrør med dårlig sidestøtte har rørets egen styrke betydning, og veggtykkelsen bør derfor ikke være under en viss grense.

For at rørene skal kunne brukes i

praksis, må det tas hensyn til følgende (kravene oppfylles normalt for de standardiserte rør):

- Rørene må ha styrke og stivhet for normal håndtering og transport
- Rørbelastningen p.g.a. komprimering for veier kan bli større enn trafikklastene (spesielt tynne rør ugunstig).

Dimensjonering i praksis

Nedgravde plastrør dimensjoneres normalt ikke i vanlig forstand i praksis, men projeksteres på følgende måte:

- Standardiserte plastrør brukes fortrinnsvis.
- Det settes krav til grøftedimensjoner, gjenfyllingsmaterialer og utførelse, se /1/, /2/, /3/ og /4/.
- Det settes krav til overfyllingshøyden og komprimering, avhengig av laster på overflaten og antall rør i høyden, se tab. 2, /2/, /3/ og /4/.
- Er sammentrykningen av rørdiametere mindre eller lik den tillatte etter ferdig gjenfylling, før overflaten blir belastet – se /2/, /9/, /10/ og /11/, regner man med at deformasjonen ikke blir større i et rørs normale levetid enn det som kan aksepteres. Blir arbeidene utført som foreskrevet etter någjeldende retningslinjer, skal sammentrykningen av røret bli mindre enn kravet.

Man vet i dag ikke med rimelig nøyaktighet hvilke laster et rør kan oppta forskjellig utførelse av grøften.

Skal man følge dagens krav til utførelse, betyr det at man svært ofte bygger alt for dyrt.

Ønsker man å vite hva et nedgravd plastrør med bestemte jordmaterialer og utførelse virkelig tåler av ytre belastning (spesielt aktuelt i anleggsperioden) må dette enten prøves eller beregnes. En nøyaktig beregning er i dag ikke mulig.

Ytre belastning

Kraftoverføring i jorden

I smale grøfter kan noe av jorden over røret henge seg på grøfteveggen. Dette er imidlertid avhengig av flere forhold, og da smale grøfter sjelden forekommer, har det vært vanlig i Norden å regne med en uendelig bred grøft (fyllingsteori).

P.g.a. at et fleksibelt rør lettere deformeres enn fast jord, kan noe av trykket over røret gå over på jorden på siden av røret. Reduksjonen av rørbelastningen er avhengig av fasthet og stivhet i jorden over røret og overfyllingshøyde i forhold til rørdiameter samt deformasjon og styrke av røret.

For å være på den sikre siden regner man at røret har samme stivhet som jorden.

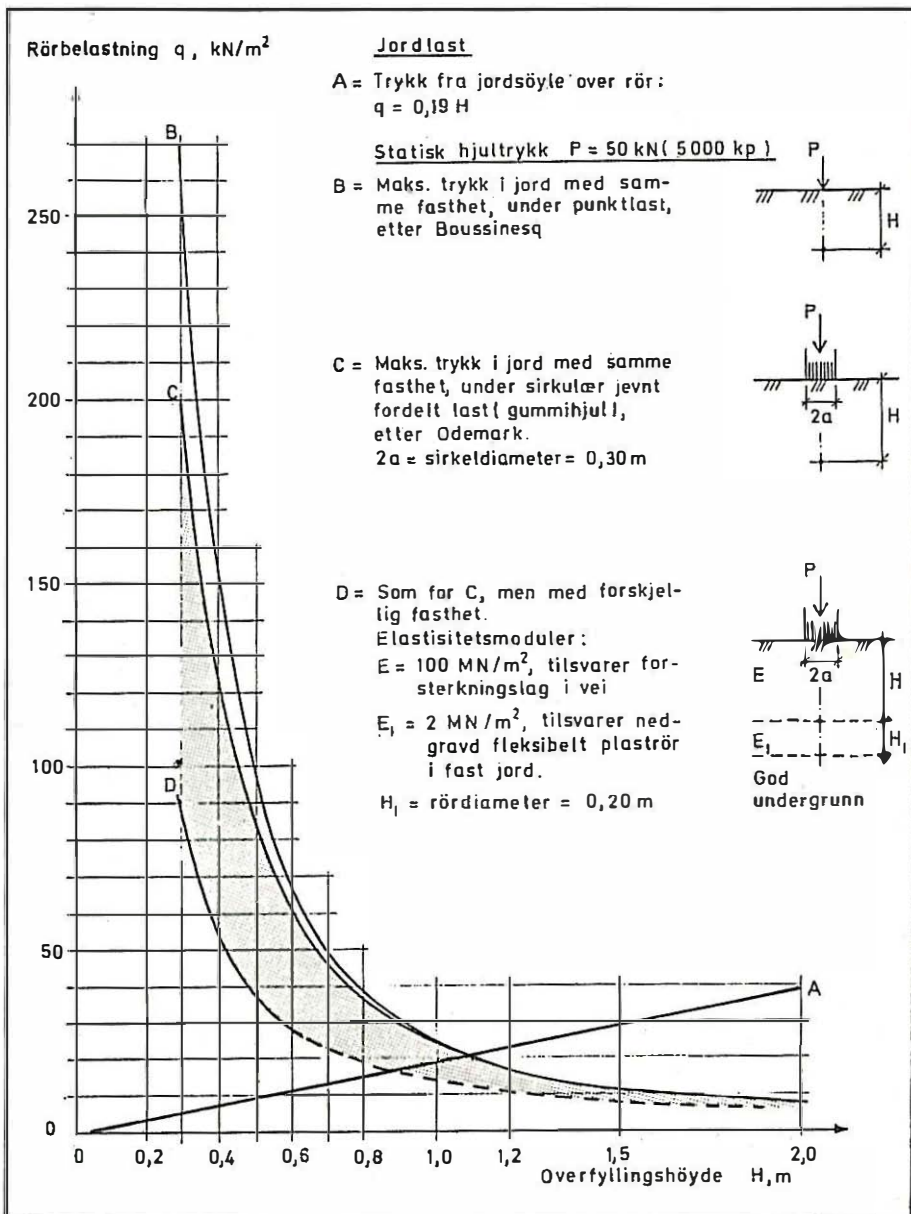
Undersøkelser av Høchst A/S i Tyskland viste at rørbelastningen kan bli meget mindre enn når man regner at rør og jord har samme stivhet, se /10/. De samme undersøkelser viste imidlertid at med sand i omfyllingen kan rørbelastningen med tiden bli nesten like stor som når man regner at rør og jord har samme stivhet.

Det er sannsynlig at singel og pukk kan gi mindre langtidsdeformasjoner enn sand, men dette bør undersøkes nærmere.

Forsøk utført av NBI viste at løst utlagt singel gir avtagende deformasjonsøkninger i fleksible plastrør når lasten øker, se /11/. Dette tyder på at en del av hjullasten ikke treffer røret og/eller at jordtrykket jevner seg ut rundt røret. I veier hvor det er strenge krav til bæreevne og forsterkningslag, vil et hjultrykk forårsake mindre trykk på bløtere underlag enn om alle lag hadde samme stivhet (Odemarks ekvivalentmetode).

Dimensjonerende hjullaster

For rør med middels til liten overfyllingshøyde får trafikklastene stor betydning, og det er helt klart at valg av hjullaster er meget viktig, se fig. 4.



Figur 4. Rørbelastning etter fyllingsteorien. Rørbelastningen på plast-avløpsrør under en vei er sannsynligvis i det skraverte felt, for et hjultrykk lik 50 kN.

Ved dimensjonering av nye veier benyttes i Norge 100 kN som maksimal aksellast, tilsvarende 50 kN i hjullast. Dimensjoneringen er delvis empirisk, slik at virkningen fra dynamiske støtpåkjenninger er innebygget i de resulterende overbyggingstykkelser i veien. At en vei dimensjoneres for en viss aksellast betyr ikke at veien ikke kan tåle vesentlig høyere laster. Veiens forutsatte levealder vil imidlertid kunne reduseres sterkt når den overbelastes.

Som ekstraordinær hjullast på veier regner Veglaboratoriet med at 80 - 90 kN representerer en øvre grense. Støttilletget er da inkludert. For ledninger under offentlige veier forlanges imidler-

tid at disse skal tåle en hjullast på 130 kN inkludert støttilegg. Statens Vægerverk i Sverige støtter dette syn.

Bakgrunnen for denne høye lasten er det pågående nordiske arbeidet med trafikklastbestemmelser for broer. Men sammenbrudd av en bro og av en ledning har helt ulike skadefølger. Det synes også urimelig at nedgravde rør skal tåle vesentlig større hjullaster enn det veien tåler. En arbeidsgruppe innenfor undersøkelsesprosjektet PRA 4.9. (Prosjekt rensing avløpsvann) vil arbeide med dette problem i 1976.

Beregning av rørbelastningen

Rørbelastningen fra jorden settes lik jordsøylen over røret (rør og jord samme stivhet):

$$q = 0,19 H \quad (2)$$

H = overfyllingshøyde i m.

q = rørbelastning i kN/m²

Rørbelastningen fra et hjultrykk beregnes etter Boussinesq (rør og jord samme stivhet):

$$q = \frac{3P}{2\pi H^2} = \frac{0,48P}{H^2} \quad (3)$$

P = hjultrykk i kN

H = overfyllingshøyde i m.

q = rørbelastning i kN/m²

Ved små overfyllingshøyder blir verdiene etter (3) for store fordi man ikke tar hensyn til lastflaten, se fig. 4 – kurve B.

Lastflaten til et gummihjul (tvillinghjul) kan regnes som en sirkulær flate. Med utgangspunkt i ringtrykket (maksimalt 700 kN/m² for trafikklast) og at flatetrykket er jevnt fordelt, kan lastflatens radius beregnes. Rørbelastningen fra en sirkulær jevnt fordelt last kan beregnes etter Odemark (rør og jord samme stivhet):

$$q = \frac{P}{\pi a^2} \left[1 - \left(1 + \left(\frac{a}{H} \right)^2 \right)^{-1,5} \right] \quad (4)$$

P = hjultrykk i kN

H = overfyllingshøyde i m

a = radius i lastflaten

q = rørbelastning i kN/m²

Rørbelastningen etter (4) er angitt i fig. 4 – kurve C. Rørbelastningen fra trafikklast blir imidlertid mindre enn etter (4) når jorden over røret består av lag med forskjellig stivhet (er ofte tilfellet under veier). Rørbelastningen kan i dette tilfellet beregnes etter (4) ved å benytte H_e (ekvivalent overfyllingshøyde) istedenfor H. Ved å erstatte røret med et jordlag med samme tykkelse og stivhet som et nedgravd rør har, kan man med (4) og H = H₂ beregne hvilken rørbelastning dette tilsvarer. Kurve D i fig. 4 viser en slik beregning. Om man i virkeligheten får en slik redusert rørbelastning er avhengig av flere forhold og må undersøkes nærmere. Muligheten for den angitte reduksjon er størst når lasten har kort varighet.

Antagelig bør overfyllingshøyden minst være lik rørdiameteren for store rør, og minst 0,30 m for små rør og små hjullaster.

I praksis er rørbelastningen fra ett hjultrykk (50 kN) på en vei sannsynligvis i det skraverte felt i fig. 4.

I dybder over 1 m. får flere hjul betydning for rørbelastningen, se /6/ eller /10/.

Ved mindre overfyllingshøyder enn rørdiameteren og/eller stor rørd deformasjon, kan det oppstå brudd i jorden over røret. Man bør da regne med rørbelastning lik lastflatens trykk.

De største rørbelastninger kan oppstå i anleggsperioden, ved bruk av tungt utstyr. Dette må kontrolleres.

Dynamisk trafikklast

Den dynamiske innvirkning vet vi lite om, og foreløpig er det stort sett erfaringsdata vi støtter oss til.

I Norge tar man hensyn til støtvirkningen ved å multiplisere den statiske last med min. $\phi = 1,25$ for alle dybder (støttilletget er imidlertid inkludert i dimensjoneringen av veier i Norge).

Ved små ujevnheter i veidekket og lav hastighet går ϕ mot 1. Ved uforutsiktlig kjøring i anleggstiden kan ϕ bli stor.

Sannsynligvis er støttilletget for plastrør i virkeligheten mindre p.g.a. den dempende effekt et mykt rør har. Dette regner man ikke med.

På grunn av trafikklastens hastighet og hastighetsendring, oppstår det horisontale støtbølger i jorden. Støtbølgene påvirker massene rundt røret og derved sidestøtten i omfyllingen. Man vet svært lite om dette. Molin angir at sidestøtten i sand (sekantmodulen E'_s) redusert til halvparten eller tredjedelen, se /6/.

Sannsynligvis blir sidestøtten i singel vesentlig mindre redusert av dynamiske trafikklasten enn sandige masser fordi vibrering nesten ikke påvirker komprimeringsgraden, se /10/ og /11/.

I Jääskeläinen's forsøk under en motorvei i Finland fikk man i løpet av 3 år en økning av vertikaldeformasjonen på ca. 70 % for rør med overfyllingshøyde 0,6 og 0,9, se /10/. Deformasjonen i begynnelsen var 0,4 – 3,4 % av diameteren. I omfyllingen var det benyttet en sandig grus med kornstørrelse ca. 0,60 – 20 mm. Hvor lenge deformasjonene vil øke er usikkert.

Deformasjon av rørets tverrsnitt

Deformasjonsforløp

Fig. 5 viser skjematisk deformasjonen av tverrsnittet av et fleksibelt plastrør i faste friksjonsmasser.

Kurvene fremstiller:

- Ubelastet sirkulært rørtverrsnitt.
- Svakt deformert tverrsnitt. Vertikal- og horisontaldeformasjonen er forholdsvis lik, se /11/. Rørveggen har hovedsakelig trykkspenninger og økningen av deformasjonen med tiden p.g.a. krypning i plastmaterialet

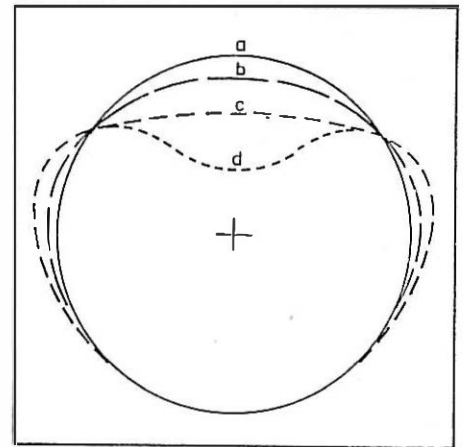


Fig. 5. Skjematisk fremstilling av deformasjonsforløpet.

er neglisjerbar. Kun store vertikallaster kan øke sammentrykningen.

- Svakt deformert tverrsnitt. Vertikal- og horisontaldeformasjonen er helt ulik, se /11/.

Rørveggen har strekkspenninger og økningen av deformasjonen med tiden p.g.a. krypning i plasten kan bli stor.

Røret bærer selv vertikallasten nesten uavhengig av sidestøtte (sidestøtten har imidlertid gitt røret en form som gjør det langt sterkere enn et fritt rør). Rørets egen bæreevne synker imidlertid raskt jo større diameteren er. Kun en liten økning av lasten resulterer i kurve d.

- Meget sterkt deformert tverrsnitt, se /11/.

Beregning av deformasjonen

Vertikaldeformasjonen av røret i friksjonsmasser kan beregnes med Spanglers formel (også kalt Iowa-formelen), som er videreutviklet av Molin /6/ til:

$$\delta_v = \frac{0,083 q D}{E'_s (S + 0,122)} \quad (5)$$

I faste friksjonsmasser blir S meget liten, og (5) kan forenkles til:

$$\delta_v = 0,7 \frac{q}{E_s} \quad (6)$$

I løse friksjonsmasser får S betydning, se /10/.

q = totalt vertikalt trykk mot rørets overkant (rørbelastning)

E'_s = jordstivheten i horisontalretningen = omfyllingens sekantmodul

$$S = \text{stivhetsfaktor} = \frac{\text{Rørstivheten}}{\text{Jordstivheten}} =$$

$$\frac{EJ}{r^3} = \frac{2E}{3E'_s} \left(\frac{s}{D}\right)^3$$

- E = rørets krypmodul (tilsynelatende elastisitetmodul)
 J = $s^3/12$ = rørets treghetsmoment
 s = rørets veggtykkelse
 r = $D/2$, D = rørets middeldiameter

Man vet forholdsvis lite om sekantmodulen E'_s som bare tilnærmet kan bestemmes i laboratoriet med et sylinderapparat eller et ødometer. Orienterende verdier for E'_s er angitt i tabell 4. Nærmere angivelse av E'_s , se /6/, /10/ og /11/.

Formel (5) og (6) er en beregning av horisontaldeforrasjonen, som man antar er lik vertikaldeforrasjonen. Deformasjonen i de to retningene er dog ikke lik, se /11/.

Imidlertid anbefales verdiene for E'_s lave (tab. 4) og rørbelastningen stor, slik at de beregnede verdier er på den sikre siden så lenge deformasjonene er små, se /11/.

Tabell 4. Orienterende verdier for sekantmodulen E'_s i MN/m² (kp/cm²) i sand og sandig grus når grunnvannstanden er under røret.

Komprimering:			
God	Middels	Dårlig	Ingen
≥ 1,5 (15)	1,0 (10)	0,5 (5)	≤ 0,3 (3)

Utviklingsmuligheter

Nedgravde plastrør må i fremtiden dimensjoneres med en rimelig sikkerhet for realistiske laster. At lastene på konstruksjonsdeler som virker sammen fordeler seg etter stivheten, bør utnyttes. Jordmassene rundt røret bør kunne bære en del av lasten og samtidig være lite påvirkelig av komprimering, grunnvann, frost og dynamiske laster.

Naturlig singel med egnet kornstørrelse og form har egenskaper som kommer nær opp til det idéelle og kan brukes uten komprimering. Fin pukk er i vårt land mest aktuelt og sannsynligvis meget godt egnet, men komprimeringsbehovet må vurderes.

De jordmaterialer som her er anbefalt gir teknisk de beste løsninger. Tilsynelatende er dette en kostbar løsning. Ved å bruke jordmaterialer som trenger liten til ingen komprimering kan imidlertid arbeidet forenkles og grøftebredden reduseres. Mengden av slike velegnede materialer i omfyllingen bør kunne bli forholdsvis liten, fordi den nødvendige høyden for å kunne gi røret sidestøtte er vesentlig mindre enn dagens krav til omfyllingens høyde.

Litteratur

- /1/ NKF Norm nr. 10. Typetegninger for vann og avløp
 /2/ NS 3420 Beskrivelsestekster for bygg og anlegg
 /3/ Mark AMA 72. Allmän material- och arbetsbeskrivning för markarbeten
 /4/ VAV M15 Avloppsror av PVC, PEH, PEL for sjalvfallsledningar i mark.

Svenska vatten- och avloppsverksforeningen 1972

/5/ Janson, L.E.: Plastror i VA-tekniken. Handbok. Granges Essem Plast.

/6/ Molin, J.: Dimensjoneringsprinsipper for plastror i jord. Berakning av laster, deformationer och troyningar.

VAV P16 Svenska vatten- och avloppsverksforeningen 1971

/7/ MTS-PVC.

PVC-markavløpsror, fabrikknormer, Finland 1971

/8/ Gundersen, P.: Frostsikring av vann- og avløpsledninger. Bygg nr. 9, 1978

/9/ Jonsson, E.: Ytre belastning på nedgravde ror med liten overfyllingshøyde (betong- og plastror). En rettledning. Intern arbeidsrapport. Norges byggforskningsinstitutt 1975

/10/ Jonsson, E.: Dimensjonering av nedgravde plastror for ytre belastning. En litteraturstudie. Intern arbeidsrapport. Norges byggforskningsinstitutt 1975.

/11/ Jonsson, E.: Prøvebelastning av nedgravde plastror. Intern arbeidsrapport. Norges byggforskningsinst. 1975