



## 2. Projektering

For at opnå 100 års levetid for et ledningsanlæg er det ikke tilstrækkeligt alene med rørprodukter af en høj kvalitet. Kæden er aldrig stærkere end det svageste led, hvorfor der kræves høj kvalitet i alle leddene:

- Forundersøgelse
- Projektering
- Anvendte rørprodukter
- Installation
- Tilsyn og kontrol
- Drift

I dette kapitel om projektering gives der vejledning vedrørende planlægning/forundersøgelse, projektering og tilsyn. Vedrørende projektering omfatter vejledningen især hydrauliske og statiske beregninger.

De anvendte rørprodukters kvalitet er allerede omtalt i kapitel 1, medens vejledning om lagring, transport og installation af produkterne følger i kapitel 3. I kapitel 4 beskrives nogle vigtige forhold omkring driften af plastledninger til vand og afløb. Genanvendelse af plastprodukter er allerede omtalt i kapitel 1.

## 2.1 Forundersøgelse

### Tryk/afløb

Forundersøgelser skal forud for projekteringen især sikre, at der foreligger:

- Funktionskrav til etablering af ledningsanlægget.
- En vurdering af de aktuelle anlægsforhold.
- En analyse af omgivelsernes påvirkninger af ledningsanlægget.
- Myndighedskrav til ledningsanlægget.
- Ledningsanlæggets eventuelle påvirkning af omgivelserne i forbindelse med etablering og drift.
- Klarlægning af eventuelle krav til koordinering med andre ledningsanlæg.

Funktionskravene kan opdeles i krav til:

- Kapacitet og selvrensning (hydrauliske påvirkninger)
- Styrke (statiske/mekaniske påvirkninger)
- Tæthed (miljøpåvirkninger)
- Resistens (kemiske/termiske påvirkninger)



Disse emner behandles efterfølgende i afsnit 2.2 om projektering, mens den daglige funktion behandles i kapitel 4 om ledningsdrift.

Af disse funktionskrav følger, at der skal fremskaffes oplysninger om:

- vandmængder inkl. variationer over år og døgn
- stof- og forureningsindhold i vandet (af hen-

syn til selvrensning og resistens af materialer til rør og samlinger)

- temperaturforhold i vandet (transportatet)
- mulige tracéer og lægningsdybder
- jordbunds- og grundvandsforhold
- eksisterende og planlagte veje, inkl. trafikintensitet og vejes opbygning
- omfang af nærliggende bygninger, ledninger, kabler, master, træer, hegn, vandløb, fortidsminder mv.
- eventuelle skærpede krav til tæthed, fx pga. andre nærliggende ledninger, vandindvindning, forurening mv.
- eventuel stillingtagen til brug af certificerede svejsere ved lægning af PE-rør
- eventuelle forureninger som har betydning for materialevalg

Der skal ved forundersøgelsen sikres tilstrækkelige data til fastlæggelse af dimensioner og fald, beregning af rør for de aktuelle belastninger, samt endeligt valg af materialer (rør, samlinger mv.).

De forventede vand- og stofbelastninger er specielt vigtige, hvor der er virksomheder/industrier, og hvor udbygningen af området sker langsomt, idet selvrensningen her kan være for lille i de første år. Ved vandforsyning kan opholdstiden i ledninger blive stor i de første år.

Jord- og grundvandsforhold skal altid klarlægges tilpasset områdets geologi, og især hvor der kan forventes områder med blød bund, fyld, højt grundvandsspejl og forureninger. Desuden specielt hvor der skal placeres større ledninger og bygværker, og hvor der er risiko for revner eller andre skader på bygninger ved gravearbejder, jf. **DS 415**. Vigtigt er endvidere sikring mod opdrift under udførelsen, drænledninger i området og mulighederne for genanvendelse af jord fra opgravning.

Afklaring af eventuel jordforurening er vigtig af hensyn til bortskaffelse af jorden og af hensyn til materialevalg, herunder specielt vandledninger, idet bl.a. olie- og benzinprodukter kan trænge gennem PE og i nogen grad PVC-U. Derfor anbefaler **DS 475** også, at der ikke må anvendes plastrør, hvor der fx er benzinoplag eller -salg. Ligeledes anbefales det, at der i forurenede jord generelt anvendes andre typer af materialer til drikkevandsforsyning. Jf. endvidere afsnit 2.2.8 om Resistens.

## 2.2 Projektering

### Tryk/afløb

Ledningsanlæg skal altid udføres efter et tilstrækkeligt detaljeret projektmateriale med ledningsplaner, detailtegninger og beskrivelser svarende til behovene under de aktuelle forhold:

- dimensioner, fald og dybder
- brønde og bygværkers placering
- placering i forhold til eksisterende ledningsanlæg og bygværker

Udarbejdelse af udbudsmateriale, se kapitel 1 Produkter, afsnit 1.2 Generelt om anvendelse af tekniske specifikationer – EU's udbudsregler.

Ved vanskelige jordbunds- og anlægsforhold kan det være nødvendigt med detailtegninger.

Valg af projektklasse, sikkerhedsklasse samt kontrolniveau skal ske i overensstemmelse med **DS 475**. Desuden henvises til **DS 475** omkring generelle krav til etablering af ledningsanlæg i jord.

Korrekt lægning, komprimering og reetablering ved ledningsanlægget skal tilpasses de aktuelle geotekniske forhold for såvel den jord, der skal graves i, som de tilførte materialer, jf. videre i kapitel 3, Installation. Desuden skal den statiske dimensionering af rørene, jf. efterfølgende, tilpasses de aktuelle geotekniske forhold.

Ved projekteringen skal det sikres, at den hydrauliske funktion bliver optimal ved valg og sammenbygning af komponenter, samt ved dimensioneringen for kapacitet og for selvrensning (afløbsledninger).

Projekteringen af ledningsanlæg bør endvidere ske miljørigtigt, således at anlægget i videst muligt omfang bevarer eller forbedrer det eksisterende miljø og i det hele taget udsætter miljøet for færrest mulige skadelige påvirkninger. Ved miljørigtig projektering skal der derfor tages hensyn til, at miljøpåvirkningerne i hele ledningssystemets livscyklus, "fra vugge til grav", bør være mindst mulige.

Ved miljørigtig projektering bør det vurderes, hvorledes der anvendes ressourcer til ledningsanlægget, og hvorledes ledningsanlægget påvirker det omgivende miljø.

Arbejds miljø og sikkerhedsforhold skal nøje vurderes, herunder hvornår der skal udarbejdes sikkerheds- og sundhedsplaner, jf. Arbejdstilsynets regler.

Arbejds miljøet vurderes også i forbindelse med efterfølgende drift af ledningsanlægget.

Ved ledningsanlæg viser det sig, at af alle faserne i livscyklus:

- Råvarefremstilling
- Fremstilling af rørprodukter
- Installation
- Drift og vedligeholdelse
- Genbrug/fornyelse

er det især faserne med installation, drift og vedligeholdelse, som påvirker miljøet. En miljøvurdering udført for Nordisk Plastrørsgruppe i 1997 viser, at ca. 85% af miljøbelastningen, herunder energiforbrug, foregår i disse to faser, "Miljøvurdering af afløbsrør i PVC, PE, PP og beton"/1/.

**Installationsfasen** tager ganske vist kort tid, men her foregår der meget transport til og fra byggepladsen, og der bruges mange maskiner på byggepladsen. Her anvendes der mange energiråstoffer (diesel, benzin mv.). Desuden bruges der råstoffer i form af sand- og grusmaterialer. Biler og maskiner giver desuden emissioner til luften. Endvidere kan der være tale om affald, støj mv. Arbejds miljøet på byggepladsen påvirkes bl.a. af tungt arbejde og støj.

**Driftsfasen** er meget lang, hvorfor det her er vigtigt, at ledningsanlægget er tæt, så der ikke sker ind- eller udsivning. Indsivning giver fx øget energiforbrug ved pumpning og under rensningen af afløbsvandet. Det er desuden vigtigt, at ledningsanlægget fungerer uden løbende at skulle inspiceres og vedligeholdes, fx med jævne mellemrum at skulle spules. Transport med spulekøretøjer bruger mange energiråstoffer og giver emissioner til luften.

Det er selvsagt vigtigt at sikre, at arbejds miljøet bliver bedst muligt ved et ledningsanlæg, hvorfor ledningsanlægget skal projekteres med de bedst mulige adgangs- og arbejdsforhold, hvor der er behov for dette.

Der kan læses mere om miljørigtig projektering i "Miljøvurdering af afløbsrør i PVC, PE, PP og beton"/1/, og i "Håndbog i miljørigtig projektering"/15/ samt mere om nøgletal for miljøpåvirkninger i "Miljøpåvirkninger og økonomiske konsekvenser fra driften af afløbssystemer"/2/.



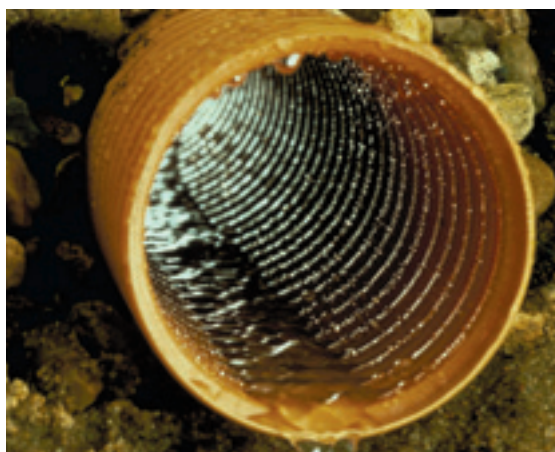
## 2.2.1 Hydrauliske beregninger

### Tryk/afløb

Ved dimensionering af ledningsanlæg skal anlægget sikres den nødvendige hydrauliske kapacitet. Ved afløbsledninger er dimensionering for selvrensning endvidere meget vigtig.

I det følgende beskrives:

- Kapacitet
- Ruheder
- Enkelttab
- Trykstød
- Selvrensning
- Kritisk vandføring
- Minimumsfald



### Kapacitet

For fyldte ledninger anvendes Colebrook-Whites formel for beregning af vandføringen  $Q_f$ :

$$Q_f = -6,95 \cdot \log \left[ \frac{0,74}{d \cdot \sqrt{d} \cdot I \cdot 10^6} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right] \cdot d^2 \cdot \sqrt{d} \cdot I$$

$d$  = ledningens indvendige diameter (m)

$I$  = friktionstab (m/m)

$k$  = ledningsruhed (m)

$Q_f$  = vandføringen i  $m^3/s$

For delvist fyldte ledninger anvendes Brettings formel:

$$\frac{q}{Q_f} = 0,46 - 0,5 \cdot \cos \left( \pi \cdot \frac{y}{d} \right) + 0,04 \cdot \cos \left( 2\pi \cdot \frac{y}{d} \right)$$

$q$  = vandføringen i den delvist fyldte ledning ( $m^3/s$ )

$y$  = vanddybden i den delvist fyldte ledning (m).

Beregninger på grundlag af Colebrook-Whites formel viser, at reduktionen af den fuldtløbende vandføring på grund af deformationer mellem 5 og 10% er 1–3% af  $Q_f$ . Reduktionen af vandføringen i en delvist fyldt ledning på grund af deformationer mellem 5 og 10% er 0–2% ved fyldningsgrader større end 0,5. Ved fyldningsgrader mellem 0 og 0,5 er reduktionen 1–6%.

Der kan læses mere om vandføring i deformerede ledninger i "Hydrauliske forhold ved ovale afløbsledninger"/11/ og i "Afløbsledninger i plast"/12/.

### Ruheder

#### Tryk/afløb

I beregningen af vandføringen for en ledning indgår ruheden. Her skal der skelnes mellem rørruheder og driftsruheder.

#### Tryk

Rørruheden er den ruhed, der kan bestemmes med nye, rene rør og rent vand. For plastledninger er denne ofte 0,01–0,05 mm. Denne ruhed kan anvendes ved de fleste ledninger for vandforsyning med rent vand.

#### Afløb

I afløbsledninger forekommer der efter længere tids drift derimod kun sådanne meget små ruheder i ledninger med store fald eller med store, kontinuerlige vandføringer.

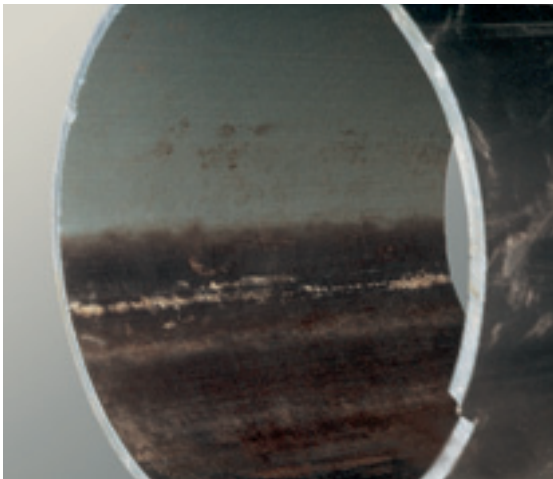
Driftsruheden i en afløbsledning med samlinger og med mindre slimlag mv. efter lang tids drift vil være større.

En gennemgang af litteratur og andre erfaringer med ruheder viser, at for fuldtløbende gravitationsledninger, som er korrekt udført og som er selvrensende, kan der anbefales følgende ruheder ved dimensionering.  $V_{fuld}$  angiver her hastigheden ved fuldtløbende ledning, "Praktisk forekommende ruheder i afløbssystemer"/3/.

Tabel 2.1: Anbefalede driftsruheder ved fuldtløbende afløbsledninger af plast.

Dimensionsgivende ruheder, k		
$V_{fuld} < 1,0$ m/s	$V_{fuld} > 1,0$ m/s	
	Spildevand	Sep. regnvand
1,5 mm	0,6 mm	0,6 mm





Ruhederne kan blive væsentligt større, hvor der permanent er aflejret sand/grus på mere end 2-5% af diameteren, ligesom ruheden kan være større ved små delfyldninger, og hvor hastigheden er meget lav. Ruheden kan i disse tilfælde være op til 5-10 gange så stor.

Fuldskalaforsøg, hvor der cirkuleres spildevand i nye, rene ledninger, viser, at der sker en hurtig opbygning af en biohud. Herefter indstiller der sig en ligevægt, hvor laget vokser ved mindre vandføringer, og ved større vandføringer rives noget af materialet af igen og føres videre.

Fx viser forsøg på Wallingford Hydraulics Research Station, England, med ledninger med 4‰ fald og vandhastigheder omkring 0,7 m/s, hvorledes der efter 3-5 måneder i halvfylde PVC-U-ledninger var en ruhed fra biohuden på 1-3 mm. Ved fuldtløbende ledninger var ruheden 0,5-1 mm.

Ved andre forsøgsserier med vandhastigheder omkring 1,2 m/s var ruheden fra biohuden cirka halvdelen af disse ruheder eller mindre.

Forsøgene på Wallingford Hydraulics Research Station findes i *"Measurements of the hydraulic roughness of slimed sewer pipes"*/9/, som også omfatter afløbsledninger af beton, glaseret ler og af asbestcement. Denne og andre undersøgelser viser, at rørmaterialets overflade har betydning for opbygningen af afsætninger og dermed ruheden.

Trykledninger bør gennemregnes med forskellige ruheder ved dimensioneringen, idet lave ruheder (lav modstand) svarer til pumpernes driftssituation i starten af levetiden, mens de nævnte ruheder i tabel 2.1 (større modstand) først opstår senere.

## Enkelttab

### Tryk/afløb

Enkelttab er lokale energitab i en ledning ved fx bøjninger, grenrør og ved ændring af tværsnit. Samlinger i plastledninger er så jævne, at der ikke er tale om energitab ud over det, der indgår i rørruheden.

Enkelttab beregnes som:

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

$\zeta$  = en koefficient, oftest bestemt ved forsøg i laboratorier  
 $v$  = vandhastigheden (m/s)  
 $g$  = tyngdeaccelerationen (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Ved fuldtløbende ledningssystemer bidrager desuden ledningstabet til det samlede tryktab i ledningen. Ud fra det samlede tryktab kan der beregnes en ledningskarakteristik, hvor  $K$  er en konstant:

$$H = K \cdot Q^2$$

Ledningskarakteristikken er basis for beregning af selve ledningsnettet ved vandforsyningssystemer. Disse beregninger omtales ikke yderligere her, men der henvises til fx *"Vandforsyning"*/4/.

Enkelttabskonstanter i tabel 2.2 er baseret på fuldtløbende ledninger samt turbulent strømning og er vejledende værdier. For yderligere oplysninger henvises til fx *"Vandforsyning"*/4/ og *"Pumpeståbi"*/5/. Erfaringsmæssigt kan alternativt anvendes, at enkelttabene på en ledningsstrækning udgør 2-5% af ledningstabet. Ved større ledningssystemer bør dette kontrolleres ved en egentlig beregning.

### Afløb

Der er ikke medtaget værdier for brønde, idet disse typisk er projektafhængige.



Tabel 2.2: Eksempler på enkelttabskonstanter, "Pumpeståbi"/5/.

Ledningsdel	Karakteristik	$\zeta$	
Tværsnitsøgning	Jævn udvidelse på grader:		
		5	0,2
		10	0,5
		15	0,85
Tværsnitsmindskning	Konisk eller afrundet	0,02 – 0,1	
Bøjning	90 grader	$\zeta_{90} = 0,5$	
	Mindre vinkler $\alpha$	$\zeta = \zeta_{90} \sin \alpha$	
Grenrør	For gennemløbet ved et sammenløb	0,1 – 0,2	

Tabel 2.3: Vejledende trykbølgehastighed i vand/spildevand for plastledninger i jord.

Trykbølgens forplantningshastighed i rørledninger (c)						
SDR	E-modul: Rørtype*	PEM (80) 700	PEH (80) 1050	PE 100 1200	PVC-U 3000	MPa
26	PVC-U PN8/PN10				327	m/s
26	PE 100 PN6,3			210		m/s
21	PVC-U PN10/PN12,5				362	m/s
21	PE 100 PN8			234		m/s
17	PVC-U PN12,5/PN16				399	m/s
17	PE 80 PN6,3	199	243			m/s
17	PE 100 PN10			259		m/s
13,6	PVC-U PN16/PN20				422	m/s
11	PE 80 PN10	246	299			m/s
11	PE 100 PN16			319		m/s

\*Designfaktor for: PVC-U: 2,0/2,5; PE 80: 1,6; PE 100: 1,25

## Trykstød

### Tryk

Trykstød opstår især, når pumper starter og stopper, og når ventiler åbnes og lukkes. Ofte er dette den kraftigste påvirkning på en trykledning.

Påvirkningen ved trykstødet kommer som en trykbølge gennem ledningen. Denne reflekteres frem og tilbage, hvilket sker med en trykbølgehastighed, som er meget større end strømningshastigheden.

Trykbølgehastigheden, c (m/s), er afhængig af rørmateriale, rørets godstykkelse og diameter, vandet samt ledningens muligheder for frit at bevæge sig.

Trykbølgen betyder, at store vandmængder bevæger sig og accelereres i ledningen.

En stor trykbølgehastighed giver derfor store trykstød.

Hvis varigheden af trykbølgen er stor, og hvis trykbølgen forekommer ofte, samt hvis tryksvingningens størrelse (amplitude) er stor i forhold til det almindelige tryk i ledningen, vil trykbølgens dynamiske påvirkning af ledningen gradvist udmatte rørmaterialet.

Normalt vil rør af PVC-U, PE og PP ikke behøve særskilt beregning for trykstød, hvis det maksimalt forekommende tryk er mindre end 1,25 x rørets trykklasse, og antallet af trykstød over en periode på 50 år er mindre end 10<sup>6</sup>.

Vakuumpå rør med gummiringssamlinger bør som udgangspunkt altid undgås. Det anbefales derfor, at der altid anvendes vakuumentiler, hvor der er risiko for, at der opstår vakuum på ledningerne. Mindre vakuumpåstød kan dog accepteres, idet gummiringssamlingerne for disse rørtyper kun testes for vakuum på 0,3 bar.

For PE-rør med svejste samlinger kan der under normale forhold accepteres vakuum på op til 1,0 bar, såfremt der anvendes minimum SDR 11-rør.

For yderligere oplysninger henvises til de enkelte producenters tekniske serviceafdeling. For beregningsmetoder henvises til fx "Pumpeståbi"/5/.

## Selvrensning

### Afløb

Indholdet af affaldsstoffer i spildevand og sand/grus i overfladevand betyder, at der i en afløbsledning



kan ske afsætning og bundfældning, specielt ved små vandføringer, samt ved lunger, og hvor der er ujævnheder.

Dette kan betyde en forøget risiko for forstoppelser og deraf følgende forureninger ved oversvømmelser og aflastninger fra fællessystemer.

Transporten af de mindre dele i spildevandet sker det meste af tiden som suspenderet stof i vandet, medens de større partikler bevæger sig langs rørbunden. Er der hele tiden en vis bevægelse af vandet, sker der ingen afsætning og bundfældning. Sådan er det imidlertid kun i de største ledninger i et afløbssystem. I perioder af døgnet med lille eller ingen vandføring sker der i de fleste ledninger en afsætning/bundfældning. Herefter skal der en vis kraft til at rive materialerne løs og transportere dem videre.

De fleste afløbsledninger er således kun selvrensende på visse tidspunkter af døgnet, med mindre de ligger med et stort fald eller har en større vandføring hele tiden.

Dimensionering for selvrensning sker oftest ved en kritisk forskydningsspænding, fordi det er forskydningspændingen mellem vandet og rørvæggen, som giver anledning til transporten af materialer langs bunden, jf. videre under Minimumsfald. I større ledninger med kontinuert vandføring kan anvendes en minimumshastighed.

Dimensioneres der for at undgå afsætninger og bundfældning, skal de dimensionerende værdier for vandføringen være til stede hele tiden. Dimensioneres der for at rive materialerne løs og transportere dem videre, skal de dimensionerende værdier være opfyldt mindst én gang i døgnet, jf. videre under Kritisk vandføring.

De dimensionerende værdier forudsætter normalt altid, at ledninger er udført korrekt, dvs. især uden lunger og uden fremspring mv. ved samlinger, ved grønrør og stiktilslutninger samt i brønde.

Ved trykafløbsledninger kan dimensionering for selvrensning ske ved at sikre minimumshastigheden på 0,8-1 m/s.

Hvad angår de forskellige regler, som i de sidste årtier er anvendt ved dimensionering for selvrens-

ning, er det desværre sådan, at disse ikke er specielt godt dokumenterede, eller de anvendte talstørrelser i de forskellige regler er baseret på meget forskellige erfaringer. Derfor har dimensionering for selvrensning i mange år ofte været meget usikker og er det fortsat.

Beregninger viser, at reduktionen af forskydningspændingen på grund af deformationer mellem 5 og 10% ved fuldtløbende vandføring er 0,5-1,5%.

Der kan læses mere om forskydningspænding i deformerede ledninger i *"Hydrauliske forhold ved ovale afløbsledninger"/11/* og i *"Afløbsledninger i plast"/12/*.

## Kritisk vandføring

### Afløb

Som kritisk vandføring for selvrensning anvendes i spildevandsledninger ofte den maksimalt forekommende vandføring i døgnet med mindst vandføring ( $Q_{\max,time}$  i  $Q_{\min,døgn}$ ). Ledningen renses på denne måde mindst en gang i døgnet.

For selvrensning i spildevandsledninger er det af betydning, at vandforbruget og dermed vandføringen i afløbsledninger i de senere år er blevet mindre. Hvor der tidligere blev anvendt et vandforbrug i husholdninger på 200 liter pr. person/døgn, er dette i dag mange steder snarere 130-150. Dette har især betydning i de mindre ledningsdimensioner opstrøms i afløbssystemet.

Fra et afløbssystem bygges, til vandforbruget i afløbsoplanet når et niveau, hvor den kritiske vandføring er til stede, kan der gå flere år. I denne periode, som også kan være en periode med ekstra mængder affald i afløbssystemet, kan der ofte være behov for supplerende spuling for at sikre tilstrækkelig rensning af ledningerne.

Der findes ingen faste regler for, med hvilken hyppighed selvrensning skal forekomme i separate regnvandsledninger og i fællesledninger, hvor der er lang tid imellem, at den maksimale vandføring forekommer. Der kan for separate regnvandsledninger anvendes en vandføring, som forekommer en gang pr. måned. Specielt efter lange tørvejrperioder kan der være mange faste aflejringer i fællessystemer.



## Minimumsfald

### Afløb

Beregningen af selvrensning ud fra forskydningspændingen - og dermed ledningens minimumsfald for at sikre selvrensning - sker ved at se på kraften mellem vandstrømmen og de partikler, som ligger på bunden. Under forudsætning af en jævn fordeling af kraften fra vandet langs hele vandstrømmens kontakt med rørvæggen (den våde perimeter) er forskydningspændingen:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot I$$

eller

$$I_{\min} = \frac{\tau_{\text{kritisk}}}{\rho \cdot g \cdot R}$$

Her er  $\tau_{\text{kritisk}}$  den selvrensende eller den kritiske forskydningspænding, som skal til for at transportere bundfældet stof videre eller rive afsætninger løs, jf. efterfølgende.

$\rho$  = vandets massefylde (1.000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = tyngdeaccelerationen (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$R$  er hydraulisk radius ved den selvrensende eller kritiske vandføring, som anvendes ved beregning af minimumsfald. Dette er ikke den samme vandføring, som rørets kapacitet beregnes for, jf. foranstående. Hydraulisk radius beregnes som tværsnitsarealet divideret med den beskyllede omkreds ved den aktuelle vandføring (den våde perimeter).

Den kritiske forskydningspænding kan variere meget afhængig af hvilke stoffer, som findes i afløbsvandet. Især størrelse, vægt samt konsistens betyder noget. Der gælder, at

- jo renere og jo mindre partikler, jo mindre  $\tau_{\text{kritisk}}$  er nødvendig for at sikre selvrensning
- jo mere fedtede/kohæsive og jo større partikler, jo større  $\tau_{\text{kritisk}}$  er nødvendig for at sikre selvrensning.

De oftest anbefalede kritiske forskydningspændinger er ved henholdsvis spildevand og regnvand:

Spildevand: 1,5-3 N/m<sup>2</sup>

Regnvand: 3-4 N/m<sup>2</sup>

Disse værdier gælder for ledningsstrækninger med et jævnt fald. Er der lunke, vil der bundfældes større mængder dér, og den kritiske forskydningspænding for at transportere dette materiale videre skal være større.

Det er også vigtigt at være opmærksom på, at der kan være større krav til kritisk forskydningspænding, når tømninger af især vejbrønde og andre sandfangsbrønde sker sjældent, idet der da ofte skylles sand ud i ledningen fra brøndene. Det samme gælder for manglende tømning af fedtudskillere.

Hvis husholdninger eller virksomheder anvender afløbssystemet til alle former for affald, kan der ligeledes blive tilført mange stoffer, som kan give afsætninger og aflejringer.

Forskellige erfaringer med selvrensning i hovedledninger peger på, at følgende minimumsfald kan anvendes under normale forhold med korrekt udførte ledninger. De største fald anvendes ved de mindste ledningsdimensioner:

160 ≤  $d_i$  ≤ 315 mm: 6-3‰

315 <  $d_i$  < 800 mm: 3-1,5‰

Anvendes mindre fald end de her nævnte, må der forventes at være behov for supplerende spuling, hvis der ikke med jævne mellemrum forekommer store vandføringer i ledningen.

Ved lange og ved kritiske ledningsstrækninger bør der altid foretages en egentlig beregning med kritisk forskydningspænding og kritisk vandføring.

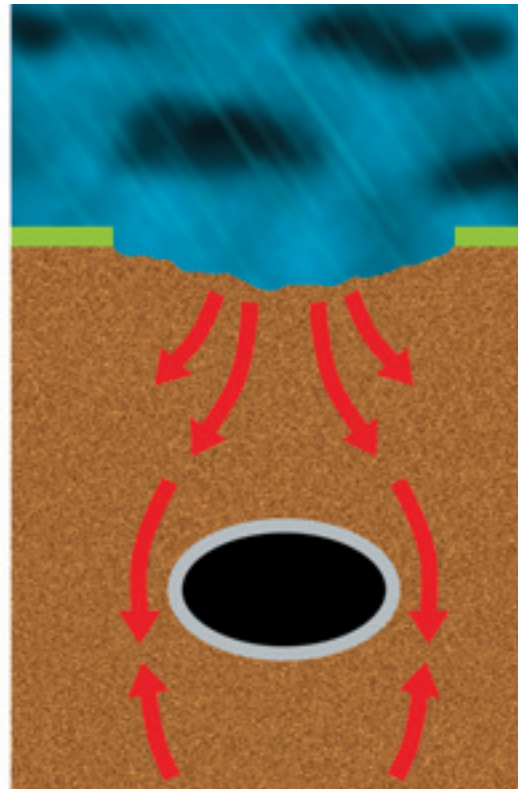
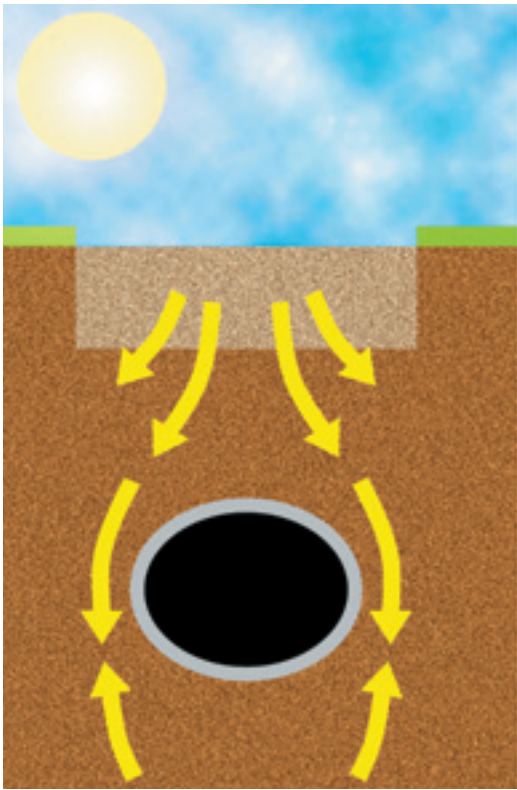
Der kan læses mere om miljøpåvirkninger og økonomi ved spuling i *"Miljøpåvirkninger og økonomiske konsekvenser fra driften af afløbssystemer" / 2/*.

På topstrækninger (første 1-3 brøndstrækninger efter en hovedlednings start) bør anvendes fald på 15-20‰, da vandføringen her ofte er begrænset. Separate spildevandsledninger med lille vandføring bør også lægges med større fald end tabellens anbefalinger.

Vælger man at fastsætte minimumsfald ved at dimensionere sine ledninger med en minimumshastighed, bør denne hastighed ikke være mindre end 0,8-1 m/s ved fuldtløbende ledning.







## 2.2.2 Statiske beregninger

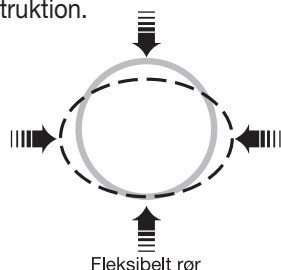
### Tryk/afløb

For et plastrør er den omliggende jords egenskaber og komprimering yderst vigtige faktorer.

Plastrør er fleksible og danner derfor sammen med den omkringliggende jord en samlet konstruktion. Konstruktionens styrke og virkemåde er stærkt afhængig af forholdet mellem jordens styrke, komprimering og rørets ringstivhed.

De fleksible rør har en stor bruddeformation og kan derfor effektivt arbejde sammen med den omkringliggende jord. Derved mindskes belastningen på selve røret samtidig med, at rørets bæreevne forøges gennem det passive jordtryk, som opstår på siden af røret.

En deformation af plastrøret er derfor nødvendig, for at det sammen med jorden kan danne en stærk samlet konstruktion.



Når jorden og røret belastes, sker der en deformation af røret. Herved dannes der ligevægt mellem de laster, der er påført røret, og det passive jordtryk, der dannes på siden af røret ved denne deformation.

Når jordmatrixen efter få år har konsolideret sig, bærer jorden alle de laster, der er påført den. Dette betyder i realiteten, at røret ikke længere belastes. Plastens fleksibilitet, de viskoelastiske egenskaber, er således materialets store styrke, idet de opbyggede spændinger i rørmaterialet gradvis forsvinder. Dette kaldes relaxsation. Resultatet heraf er, at røret igen tilnærmelsesvis opnår sin fulde oprindelige styrke.

Såfremt belastningen med tiden forandres, f.eks. som følge af ændret trafiklast, vil den ovenfor beskrevne stabilitetsproces starte igen og jordmatrixen konsolidere sig påny.

Talrige målinger på nylagte og ældre plastledninger viser, at slutresultatet, der er en stabil tilstand, opstår efter 1-3 år, således at der herefter ikke opstår yderligere deformation af konstruktionen af jord og rør.



Såvel rør som samlinger på plastrør er designet til at udvise stor fleksibilitet og styrke. Dette sikrer, at samlingerne forbliver tætte under den deformation, der opstår ved installation og den efterfølgende konsolidering af jordmatricen.

Plastrørs fleksible og viskoelastiske egenskaber er altså med til at sikre en stærk og tæt ledning med lang levetid.

#### I det følgende beskrives:

- Lægningsforhold UDEN styrke- og deformationsberegning
- Styrke- og deformationsberegning af plastrør i jord
- Almene beregningsprincipper
- Belastninger (jord- og trafiklast)
- Materialeegenskaber
- Deformation
- Buckling

De angivne deformationsprocenter i de følgende afsnit er baseret på erfaringer fra en lang række målinger af plastledninger lagt i marken. De målte deformationsprocenter har vist sig at være mindre end de deformationsprocenter, der vil fremkomme ved styrke- og deformationsberegning af de samme ledninger. Dette forhold understreger den sikkerhed, der er indbygget i den efterfølgende beregningsmetode.

## Lægningsforhold UDEN styrke- og deformationsberegning

Ved mange lægningsforhold er det ikke nødvendigt at gennemføre en styrke- og deformationsberegning. Dette beror på de mange erfaringer og målinger fra et meget stort antal ledninger, som blandt andet er dokumenteret i *"The design of buried thermoplastic pipes"/25/*.

#### De aktuelle forudsætninger er:

- Jorddækning:
  - min. 0,8 m ved trafiklast
  - max. 6,0 m
- De anvendte rør skal opfylde kravene i en af følgende standarder med tilhørende DS SBC (de aktuelle standarder kan dokumenteres af rørproducenterne for de aktuelle rør):

prEN 13476

prEN 12666

DS/EN 1401

DS/EN 1452

DS/EN 1456

DS/EN 1852

DS/EN 12201

DS/EN 13244

- Installationen skal være i en af følgende komprimeringsklasser: Høj eller Normal, svarende til den efterfølgende vejledning og tabel 2.11 og tabel 3.2 samt iøvrigt installeret som beskrevet i kapitel 3 Installation.
- Eventuelle gravekasser skal i forbindelse med komprimeringen løftes i takt med, at omkringfyldningen komprimeres. Såfremt gravekassen ikke løftes som beskrevet ovenfor, kan komprimeringen ikke karakteriseres som Høj eller Normal.
- Den maksimale rørdiameter: 1100 mm
- Jorddækning/rørdiameter: > 2,0
- Jordklassen (jf. tabel 2.11) er 1 (sand eller grus).

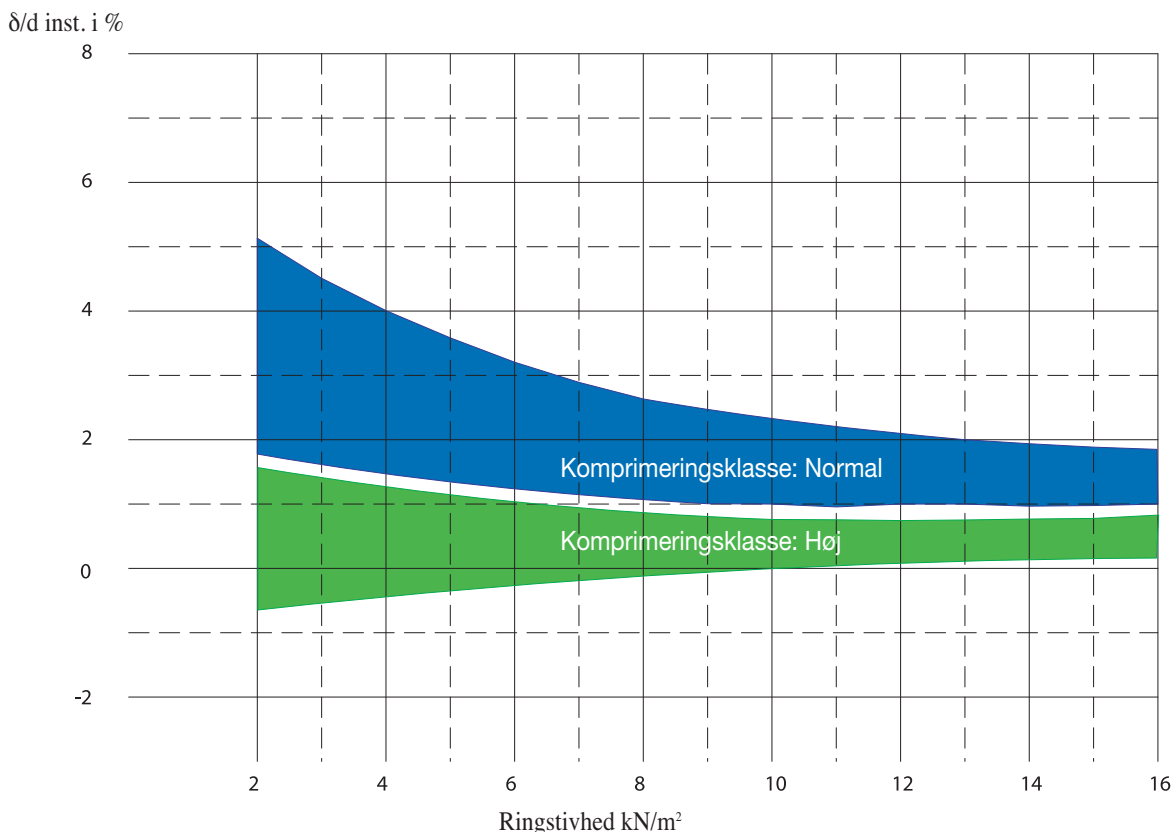
Deformationer større end de acceptable 8% for PVC-U og 9% for PP og PE (jf. afsnit 3.5 Omkringfyldning og tilfyldning) er usandsynlig, såfremt ovenstående retningslinier følges, og for deformationer angivet i figur 2.1 vil de opståede spændinger i rørene ligge langt under grænseværdierne for rørsplændinger og behøves ikke eftervises yderligere.

I figur 2.1 er angivet middeldeformationerne umiddelbart efter installationen ( $\delta/d$  inst.), henholdsvis med den øvre og nedre grænse ved høj og normal komprimeringsklasse, jf. målinger i *"The design of buried thermoplastic pipes"/25/*.

Disse deformationsprocenter indeholder ikke den tilladte produktionsdeformation/- ovalitet, der vil være produktafhængig, jf. efterfølgende. Den angivne deformation er alene udtryk for den deformation, som røret opnår ved installationen.



Figur 2.1: Middeldeformation af rør umiddelbart efter installation.



Kurverne baserer sig på erfaringer fra et meget stort antal målinger på installerede rør i de to komprimeringsklasser.

**Komprimeringsklasse Høj betyder, at**

- røret placeres på et udjævningslag på 5-10 cm afhængig af rørtype.
- udjævningslaget skal afrettes omhyggeligt før placering af røret.
- omkringfyldning komprimeres omhyggeligt i lag af max. 20 cm på siden af røret.
- maskinel komprimering må først ske, når jorddækningen over rørtop er  $\geq 15$  cm.
- de forudsatte Standard Proctor-værdier  $\geq 98\%$

**Komprimeringsklasse Normal betyder, at**

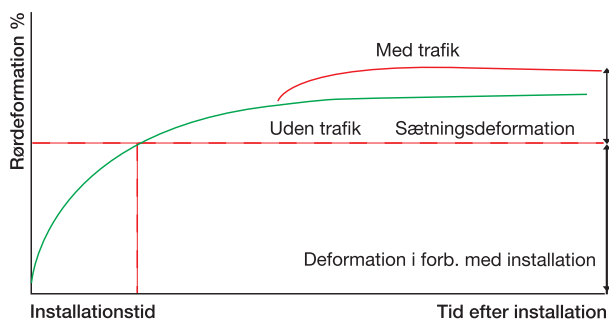
- røret placeres på et udjævningslag på 5-10 cm afhængig af rørtype.
- udjævningslaget skal afrettes omhyggeligt før placering af røret.
- omkringfyldning komprimeres omhyggeligt i lag af max. 40 cm på siden af røret.
- maskinel komprimering må først ske, når jorddækningen over rørtop er  $\geq 15$  cm.
- de forudsatte Standard Proctor-værdier  $\geq 95\%$

Ledningsgraven tilfyldes yderligere med jord af hvilken som helst type, dog afhængig af de krav som overliggende konstruktioner stiller.

Korttidsdeformationen for en plastledning er  $\delta/d$  inst. +  $C_p$ , hvor  $C_p$  er den tilladelige produktionsdeformation/-ovalitet.  $C_p$  vil typisk ligge i området 1-2%. For specifikke værdier for de enkelte rørtyper henvises til den enkelte producent. Jf. figur 2.1 med hensyn til  $\delta/d$  inst.

Over de første 1-3 år efter installationen kan deformationen som nævnt vokse yderligere. Erfaringsmæssigt med ca. 1% i komprimeringsklasse Høj og ca. 2% i komprimeringsklasse Normal. Denne faktor kaldes  $C_f$ . Herefter er langtidsdeformationen:  $\delta/d$  inst. +  $C_p$  +  $C_f$ .

Figur 2.2: Middeldeformation af plastrør.



## Styrke- og deformationsberegning af plastrør i jord

I 1960'erne og 1970'erne blev der gennemført omfattende undersøgelser af nedgravede plastrørs styrke og deformation. Disse undersøgelser blev udført ikke mindst i Norden og blev samordnet i en fællesnordisk evalueringsgruppe, og resultaterne blev præsenteret på en række seminarer i perioden 1968-1980. Rapporter fra det sidste i denne serie af seminarer er refereret i "NUVG 80"/23/.

I 1980'erne blev der i Sverige gennemført yderligere en række undersøgelser, primært bestående af opfølgende undersøgelser af lagte ledninger. Resultatet af disse undersøgelser er præsenteret i en rapport udgivet af Byggeforskningsrådet i Sverige og i indlæg på internationale konferencer om nedgravede ledninger, se Referencer i kapitel 5.

De ovenfor nævnte undersøgelser resulterede i en dimensioneringsmetode for plastrør i jord, som blev anvendt i Sverige, og som er beskrevet i "Anvisningar för projektering och utförande av markförlagda självfallsledning av plast"/24/.

I 1990'erne blev der gennemført en stor undersøgelse som led i et fælleseuropæisk forskningsarbejde kaldet TEPPFA-projektet, "The design of buried thermoplastic pipes"/25/. I dette projekt er der gennemført et stort antal målinger i marken i flere europæiske lande, og der er gennemført omfattende undersøgelser i et særskilt anlagt forsøgsområde i Holland. Resultaterne er blevet sammenlignet med beregningerne jævnfør de dimensioneringsanvisninger, som anvendes i forskellige europæiske lande.

Dette arbejde har resulteret i den konklusion, at den i Sverige anvendte dimensioneringsmetode stemmer godt overens med de resultater, der blev målt på forsøgsledningerne i marken. Dog viser undersøgelserne også, at der bør foretages en vis modificering af de parametre, der indgår i metoderne. Sådanne tilpasninger i beregningsmetoden er nu blevet gennemført og indarbejdet af Jan Molin, JM Geoconsult, i den her følgende beregningsmetode.

I beregningsmetoden er anvendt trafiklast fra veje og jernbaner jf. **DS 437**.

Desuden er den følgende beregningsmetode tilpasset de principper, som er gældende for partialkoefficientmetoden jf. **DS 409** (norm for konstruktioner og last på konstruktioner).

**En statisk beregning baseret på nævnte beregningsmetode kan desuden ses på producenterens hjemmeside.**

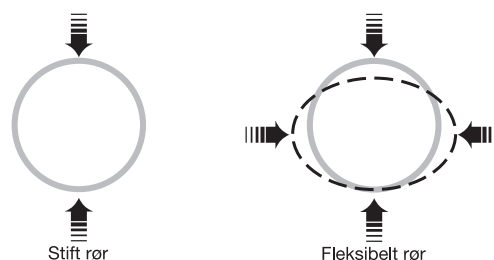
## Almene beregningsprincipper

Et nedgravet rør udsættes for belastning fra jorden, fladest, grundvand og trafik. Det er omgivet af jord, som sammen med røret udgør en konstruktionsenhed. Konstruktionens funktion er stærkt afhængig af forholdet mellem jordens og rørets stivhed. Hvis rørets stivhed er stor i forhold til jordens, kommer røret i stor udstrækning til at bære lasten uden nævneværdigt samspil med jorden. Betonrør er et eksempel på denne type rør, og det er kendetegnende for stive rør, at bruddeformationen er lille.

Et fleksibelt rør har stor bruddeformation og kan således arbejde effektivt sammen med den omgivende jord. Herved mindskes belastningen på røret samtidig med, at rørets bæreevne øges gennem det jordtryk, som opstår mod rørets sider. Set fra en konstruktiv synsvinkel skal et rør således deformeres i jorden, for at et effektivt samspil med den omgivende fyld skal kunne opstå.

Dette forhold er illustreret i figur 2.3. Plastrør og galvaniserede tunneller/vejunderføringer udført i tynde stålprofiler er eksempler på fleksible rørkonstruktioner.

Figur 2.3: Principillustration af et stift respektive fleksibelt rør i jord.



## Partialkoefficientmetoden

**Grænsetilstande** er tilstande, der svarer til grænsen for, at rørledningen netop kan opfylde de stillede projekteringsmæssige krav.

**Anvendelsesgrænsetilstand** svarer til grænsen mellem acceptable og uacceptable tilstande under normal brug. Anvendes blandt andet ved beregning af deformationer på en rørledning.

**Brudgrænsetilstand** svarer til brud på rørledningen som følge af instabilitet (buckling), eller materialebrud. Anvendes ved dimensionering af rør.

**Partialkoefficientmetoden** anvendes ved en sikkerhedsvurdering af en rørledning til at eftervise, at rørledningens regningsmæssige bæreevne er større end dens regningsmæssige belastning.

**Ledningens regningsmæssige bæreevne** bestemmes ud fra den regningsmæssige værdi af materialeparametre (ringstivhed, konsolideringsmodul).

I det følgende anvendes indeks  $k$  for **karakteristisk værdi** og indeks  $d$  for **regningsmæssig værdi** på materialeegenskab.

## Belastninger

For belastning gælder følgende dimensionerende værdi:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k \quad (1)$$

hvor

$F_d$  = dimensionerende belastning

$\gamma_f$  = partialkoefficient for belastning

$F_k$  = karakteristisk eller sædvanlig værdi for belastning

## Materialeegenskaber

For rørmaterialers styrke- og deformationsegenskaber gælder det, at den karakteristiske værdi skal sættes til nedre 5-procentsfraktil, hvor de påvirker bæreevnen. For deformationsegenskaber, som ikke påvirker bæreevnen, vælges 50-procentsfraktilen.

Karakteristiske værdier for en geoteknisk egenskab for omkringfyldningsmateriale og jord bestemmes normalt som deres middelværdi. En karakteristisk værdi for en materialeegenskab kan også bestemmes ved forsigtigt valg ved hjælp af dokumenteret erfaring.

Dimensionerende værdi for en materialeegenskab bestemmes i henhold til følgende:

$$F_d = \frac{F_k}{\gamma_m} \quad (2)$$

hvor

$F_d$  = dimensionerende belastning

$F_k$  = karakteristisk værdi for materialeegenskab

$\gamma_m$  = partialkoefficient, afhængig af materiale

Værdierne af partialkoefficienterne  $\gamma_m$  angives efterfølgende for lastkombination 1.0 og 2.1.

Lastkombination 1.0:

$$\gamma_m = 1.0$$

Lastkombination 2.1:

jf. tabellerne 2.4, 2.5 og 2.6

Tabel 2.4: Lastkombinationer og partialkoefficienter efter **DS 409**.

Lastart	Lastkombination 1.0	Lastkombination 2.1	$\psi$
Permanent			
Tyngde af konstruktionsdel	1,0	1,0	
Tyngde af jord og grundvand G	1,0	1,0	
Variabel last			
Nyttelast (Trafik, fladelast mv) Q	1,0	1,3	1,0 <sup>1)</sup>
Vakuum Q <sub>1</sub>	1,0	1,3	1,0 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Hvor der i tabellen er angivet  $\psi$ , skal det opfattes som  $1,0 \times \psi$ . Dvs. at den sædvanlige last  $\psi \times Q_k$  påføres partialkoefficienten  $\gamma_f = 1,0$ .



Tabel 2.5:  $\gamma_{m-jord}$  = partialkoefficient for jord.

Sikkerhedsklasse	Lav	Normal	Høj
$\gamma_0$ = Sikkerhedsklasse	0,9	1,0	1,1
$\gamma_1$ = Brudtype, sejt uden reserve			1,0
$\gamma_2$ = Variationskoefficient materialeparametre ved anvendelse af 5% fraktil (forudsat variationskoefficient $\geq 0,30$ )			2,06
$\gamma_3$ = Beregningsmodellens nøjagtighed			1,0
$\gamma_4$ = Sikkerhed ved fastsættelse af materialeparametre			1,1
Kontrolklasse	Skærpet	Normal	Lempet
$\gamma_5$ = Kontrol for materialeidentitet og udførelse	0,95	1,0	1,1

$$\gamma_{m-jord} = \gamma_0 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_4 \cdot \gamma_5$$

Tabel 2.6:  $\gamma_{m-rør}$  = partialkoefficient for rørmaterialer.

Sikkerhedsklasse	Lav	Normal	Høj
$\gamma_0$ = Sikkerhedsklasse	0,9	1,0	1,1
$\gamma_1$ = Brudtype, sejt uden reserve			1,0
$\gamma_2$ = Variationskoefficient materialeparametre ved anvendelse af 5% fraktil (forudsat variationskoefficient $\geq 0,15$ )			1,5
$\gamma_3$ = Beregningsmodellens nøjagtighed			1,0
$\gamma_4$ = Sikkerhed ved fastsættelse af materialeparametre			1,0
Kontrolklasse	Normal		
$\gamma_5$ = Kontrol for materialeidentitet og udførelse		1,0	

$$\gamma_{m-rør} = \gamma_0 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_4 \cdot \gamma_5$$

## Jordlast

Den vertikale jordlast på rør i jord beregnes traditionelt efter følgende teori:

For **et stift rør** vil der i forbindelse med konsolidering af jordmatricen ske en sætning i fyldet ved siden af røret. Dette medfører en øget belastning på røret, idet røret kommer til at virke som en indspænding, som således tiltrækker lasterne. Størrelsen af lastens forøgelse afhænger af forholdet mellem rørets og jordens stivhed.

For **et fleksibelt rør** vil der i forbindelse med konsolidering af jordmatricen ske en generel sætning. Herved opstår der friktionskræfter mellem fyldet i rørgraven og rørgravens sider. Dette mindsker belastningen på røret. Jo mere fleksibelt røret er, jo mindre bliver forøgelsen af lasten på røret. Med samme deformation på røret og i fylden ved siden af røret bliver forøgelsen af lasten nul og belastningen på røret lig med tyngden af jordsøjlen over røret.

Karakteristisk jordlast på et rør kan beregnes i henhold til følgende:

$$q_{jk} = C \cdot \gamma \cdot H \quad \text{kN/m}^2 \quad (3)$$

hvor

$q_{jk}$  = karakteristisk vertikal jordlast, kN/m<sup>2</sup>

$C$  = lastfaktor som tager hensyn til stivhedsforholdet mellem rør og jord

$\gamma$  = vægten af jorden over rørtoppen (normal værdi 19 kN/m<sup>3</sup> over grundvandsspejlet og 11 kN/m<sup>3</sup> under grundvandsspejlet)

$H$  = jorddækning over rørtoppen, m

Lastfaktoren  $C$  beregnes i henhold til følgende:

$$C = \frac{5 + 3n}{(1 + n) \cdot (3 + n)} \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{96 S}$$

$$S = \frac{SN}{E'_s}$$

$$SN = \frac{EI}{(1 - \nu^2) \cdot D^3}$$



hvor:

$E'_s$  = omkringfyldningens sekantmodul,  $\text{kN/m}^2$

$SN$  = rørvæggenes stivhed,  $\text{kN/m}^2/\text{m}$

$D$  = rørets middeldiameter,  $\text{m}$

$n$  = Poissons tal for rørmaterialet

For et stift rør kan vertikaltrykket af jordlasten beregnes i henhold til følgende:

$$q_{\text{stk}} = \frac{5}{3} \cdot \gamma \cdot H \quad \text{kN/m}^2 \quad (5)$$

For et meget fleksibelt rør kan lastfaktoren  $C$  blive mindre end 1. Dog bør mindre værdier end 1,0 ikke anvendes ved dimensionering. For et sådant rør får vertikaltrykket af jordlasten således følgende værdi:

$$q_{\text{fk}} = \gamma \cdot H \quad \text{kN/m}^2 \quad (6)$$

Ved bestemmelse af vægten af jorden skal der tages hensyn til farligste niveau for grundvandspejlet. Under grundvandsspejl skal jordens effektive vægt anvendes, normalt  $11 \text{ kN/m}^3$ .

Forekommende grundvand forårsager et middelvandtryk mod røret i henhold til følgende:

$$q_w = 10 \cdot (H - H_w + 0,5 \cdot D_y) \quad \text{kN/m}^2 \quad (7)$$

hvor:

$H$  = jorddækning,  $\text{m}$

$H_w$  = afstand mellem jordoverflade og grundvandspejl,  $\text{m}$

$D_y$  = rørets udvendige diameter,  $\text{m}$

Ved beregning af deformation og påvirkninger på plastrør skal det normalt antages, at grundvandspejlet ligger lavere end røret. Ved beregning af sikkerheden mod buckling bliver den højst mulige grundvandsstand derimod dimensionerende.

## Trafiklast fra veje

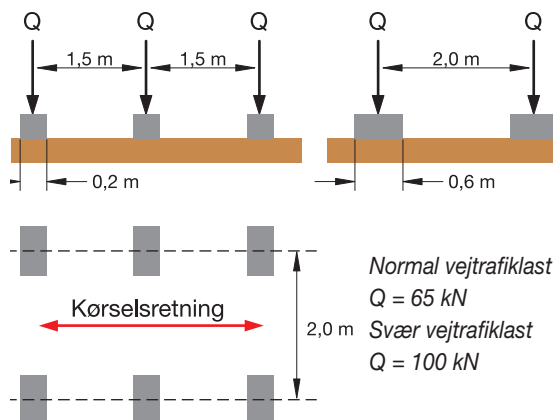
Ifølge **DS 437** er trafiklasten defineret som:

Der regnes med en tre-akslet lastgruppe, hvor hvert akseltryk består af to hjultryk  $Q$  med centerafstand  $2,0 \text{ m}$ , og hvor akselafstanden er  $1,5 \text{ m}$ .

Et hjultryks anlægsflade antages at være et rektangel med siderne  $0,2 \text{ m}$  i kørselsretningen og  $0,6 \text{ m}$  på tværs af denne. Jf. figur 2.4.



Figur 2.4: Lasttype ved vejtrafik.



Beregning af lastfordelingen i jord kan udføres i henhold til Boussinesq's teori. For en punktlast  $P$  på jordoverfladen beregnes vertikalspændingen  $\sigma_t$  i et punkt på dybden  $H$  under jordoverfladen som følger:

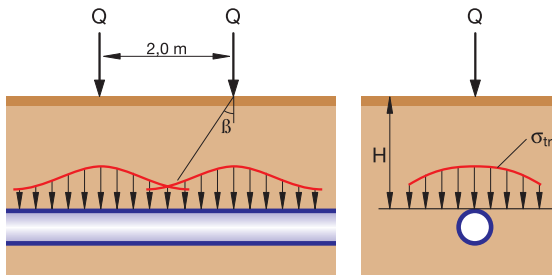
$$\sigma_t = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cos^5 \beta \quad \text{kN/m}^2 \quad (8)$$

hvor:

$\beta$  = vinklen mellem vertikalen og en linje gennem det punkt, for hvilket spændingen beregnes.

Spændingsfordelingen af trafiklast på et rør i jord ses i figur 2.5.

Figur 2.5: Principiel fordeling af vertikalspændingen forårsaget af vejtrafiklast.



Belastningsfladens størrelse, 0,6 x 0,2 m, har en vis betydning for lastfordelingen ved små jorddækninger. Beregningsfejlen bliver dog ikke særskilt stor, hvis hjullasterne betragtes som punktlaster ved beregning jf. formel (8). Denne forenkling giver et sikkert resultat, da den medfører, at det beregnede tryk mod røret bliver noget større end ved en mere eksakt beregning, hvor der også tages hensyn til lasternes fordeling på jordoverfladen.

Spændingerne i jorden fordeles ujævnt over røret, og dimensionerende tryk vælges sædvanligvis som middelspændingen  $q_t$  over horizontalprojektion med længden  $L$  i rørets længderetning.

For stive rør vælges normalt længden  $L = 1,0$  m. For fleksible rør og ved små jorddækninger vurderes dette dog til at give et alt for gunstigt billede, da lastfordelingen er alt for ujævn til, at middelværdidannelsen over længden 1,0 m kan anses for motiveret.

Længden  $L$  foreslås derfor valgt som følger:

$$L = H \text{ for } H < 1,0 \text{ m og} \\ L = 1,0 \text{ m for } H \geq 1,0 \text{ m}$$

hvor

$H$  = jorddækning, m

Rørdiameteren har minimal indflydelse på middeltrykket  $Q_{tm}$  over røret ved stor jorddækning, men dens indflydelse øges ved faldende jorddækninger. I figur 2.6 ses en beregnet middelspænding for normal vejtrafiklast og svær vejtrafiklast for forskellige rørdiameterer. Beregning af middeltryk fra trafik er udført af tekn. dr. Bo S Malmberg, SWECO VBB Malmö. Beregningerne er udført i matematikprogrammet Mathcad.

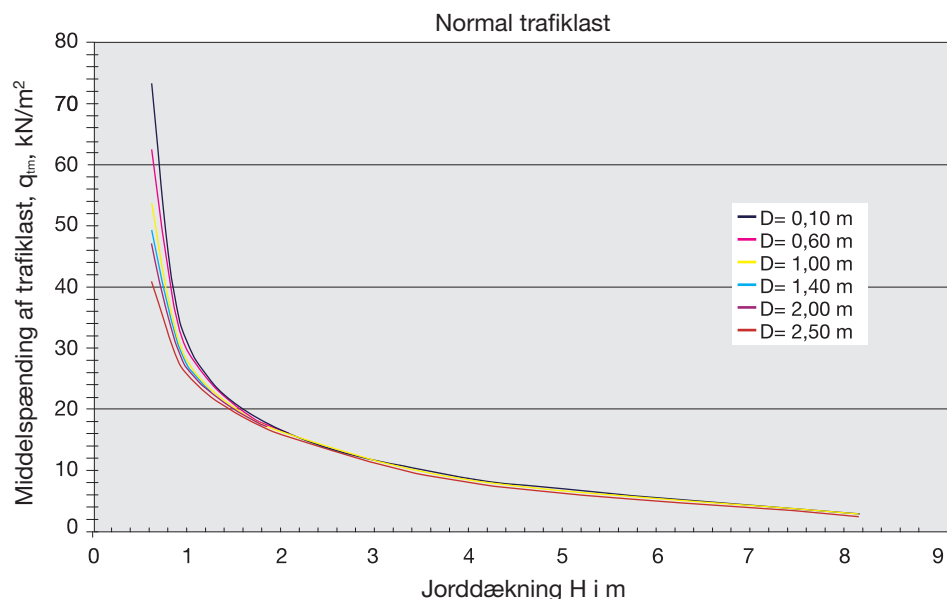
Et stift rør i et sammentrykkeligt medium resulterer i en lastkoncentration over røret, jf. "Plastrør i leriga jordarter"/29/. Denne effekt kan eksempelvis iagttages ved hjælp af lastfaktoren  $C$ , som tager hensyn til stivhedsforholdet mellem rør og jord. Karakteristisk trafiklast på en rørledning i jord kan da beregnes som følger:

$$q_{tk} = C \cdot q_{tm} \text{ kN/m}^2 \quad (9)$$

hvor

$C$  = lastfaktor med hensyntagen til stivhedsforholdet mellem rør og jord ifølge formel (4)

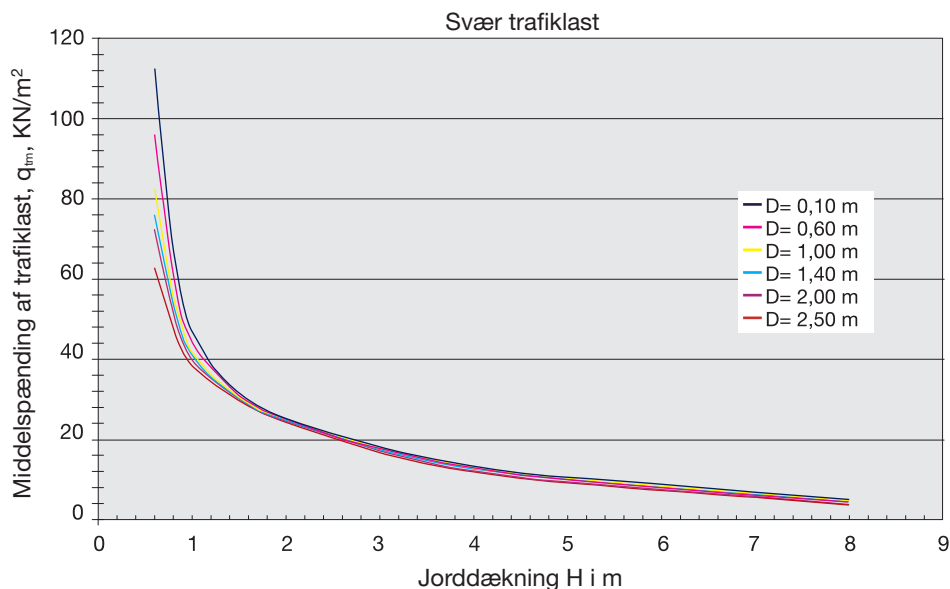
$q_{tm}$  = middelspænding fra trafik,  $\text{kN/m}^2$



Figur 2.6a: Middelspænding/jorddækning på rør i jord forårsaget af normal trafiklast.







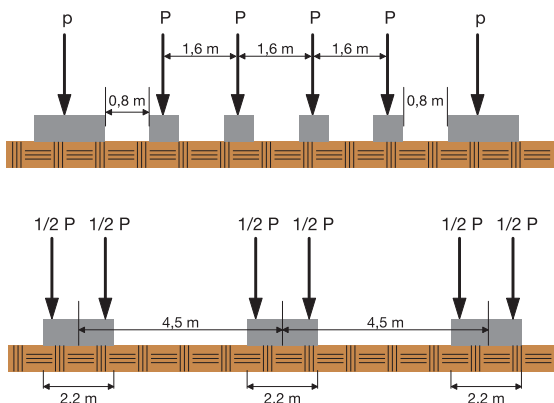
Figur 2.6b: Middelspænding/jorddækning på rør i jord forårsaget af svær trafiklast.

## Trafiklast fra jernbanespor

Ifølge **DS 437** er trafiklasten fra jernbanespor defineret som:

Der regnes normalt med belastningstog i DSB 1974 med en fireakslet lastgruppe med akseltryk  $P$ , og hvor akselafstanden er 1,6 m.

På begge sider af denne lastgruppe findes en ensformig fordelt sribelast  $p$  med en belastningsbredde på 2,2 m.



Figur 2.7: Principiel fordeling af vertikalspændingen forårsaget af toglast.

Ved beregning af last fra to spor skal begge spor regnes belastet med belastningstog. Ved beregning af last fra tre eller flere spor skal der regnes med den største last fra enten to spor, hvert belastet med det fulde belastningstog, eller alle spor, hvert belastet med 75% af det fulde belastningstog.



Beregningen af lastfordelingen i jord udføres i henhold til principperne, som angivet under trafikbelastning fra veje, jf. formel (8).

I figur 2.8 ses en beregnet middelspænding for trafiklast fra jernbanespor for forskellige rørdiameter.

Karakteristisk trafiklast fra jernbanespor beregnes som følger:

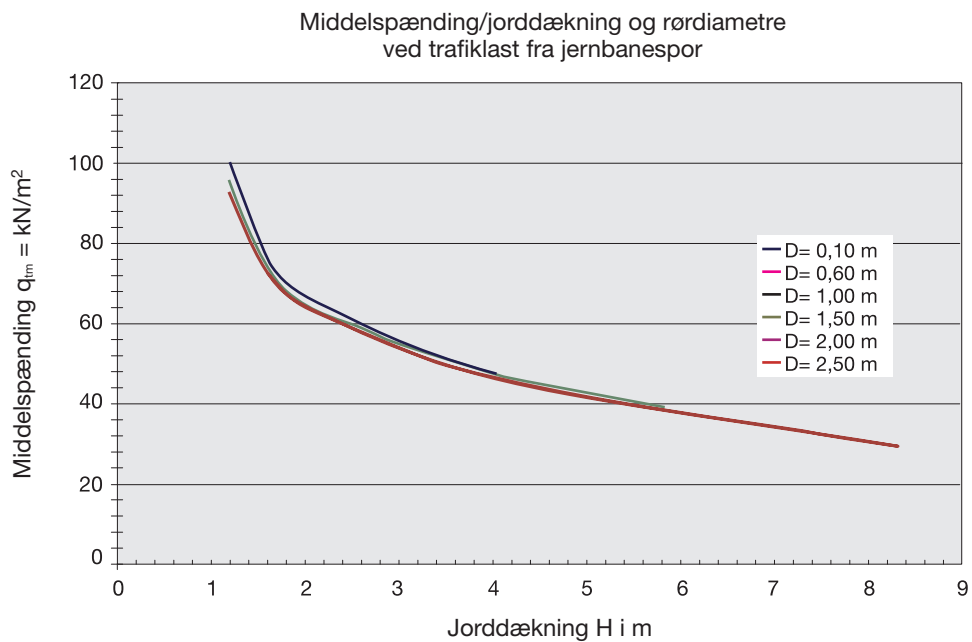
$$q_{ijk} = C \cdot q_{ijm}, \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

hvor

$C$  = lastfaktor med hensyntagen til stivhedsforholdet mellem rør og jord ifølge formel (4)

$q_{ijm}$  = middelspænding for trafikbelastning fra jernbanespor,  $\text{kN/m}^2$ .





Figur: 2.8: Middelspænding på rør i jord forårsaget af trafiklast fra jernbanespor. I de angivne trafiklaster indgår stødtillæg.

## Fladelast

En jævnt fordelt fladelast på jordoverfladen forårsager spændinger i jorden, hvis størrelse bl.a. afhænger af belastningsfladens størrelse.

Er belastningsfladen stor i forhold til jorddækningen, vil spændingen i jorden være omtrent som fladelastens størrelse på jordoverfladen.

Ved iagttagelse af stivhedsforholdet mellem jord og rør, kan den karakteristiske fladelast beregnes som følger:

$$q_{fk} = C \cdot q_{fm}, \text{ kN/m}^2 \quad (11)$$

hvor

C = lastfaktor med hensyntagen til stivhedsforholdet mellem rør og jord ifølge formel (4)

$q_{fm}$  = jævnt fordelt fladelast på jordoverfladen, kN/m<sup>2</sup>

Hvis belastningsfladens størrelse er begrænset, kan spændingerne i jorden beregnes i henhold til Boussinesq's teori. Se formel (8).

En forenklet, og i de fleste tilfælde tilstrækkelig nøjagtig metode, er at forudsætte en trykfordeling gennem jorden på 2:1. Den karakteristiske fladelast, kan da beregnes som følger:

$$q_{fk} = C \cdot q_{fm} \cdot \frac{A \cdot B}{(A+H) \cdot (B+H)}, \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

hvor

A = Belastningsfladens længde, m

B = Belastningsfladens bredde, m

## Deformation

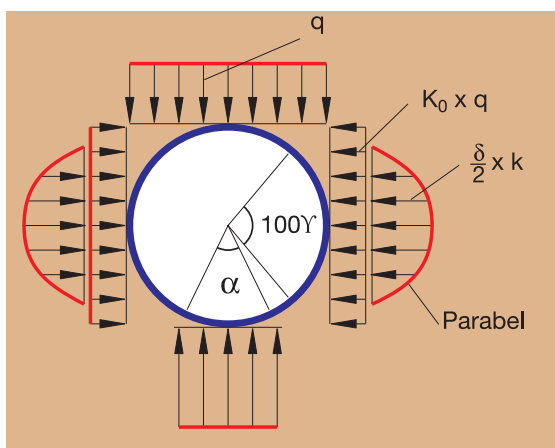
### Deformation hidrørende fra belastning

For et fleksibelt rør er dets evne til at modstå deformation en forudsætning for dets samspil med den omgivende fyld, som er nødvendig for rørets bæreevne i jorden. Rørdeformation forårsaget af jord- og trafiklast er en funktion af lasternes størrelse, rørets stivhed og det omgivende fylds komprimeringsgrad. Følgende principielle forhold er gældende:

$$\text{Rørdeformation} = \frac{\text{Last}}{\text{Rørstivhed} + \text{Jordstivhed}}$$

I figur 2.9 ses den jordtryksfordeling, som ligger til grund for den teoretiske beregning af rørdeformation forårsaget af jord- og trafiklast. Deformationen horisontalt kan i denne sammenhæng sættes om trent lig med deformationen vertikalt. Det horisontale beddingmodul  $k$  er en funktion af jordens  $E$ -modul og bestemmer sammen med deformationen det horisontale jordtryks størrelse. Øvrige størrelser defineres efterfølgende.

Figur 2.9: Jordtryksfordeling rundt om et fleksibelt rør i jord.



Følgende udtryk gælder for rørdeformationer baseret på jordtryksfordelingen i figur 2.9:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_q = q_d \cdot \frac{C \cdot b_1 - 0,083 \cdot K_0}{8 \cdot SN_d + 0,061 \cdot E'_d} \quad (13)$$

hvor

$q_d$  = dimensionerende last,  $\text{kN/m}^2$

$C$  = lastfaktor

$b_1$  = koefficient afhængig af understøtningsvinklen

$b_1 = 0,083$  for  $\alpha = 180^\circ$

$b_1 = 0,096$  for  $\alpha = 90^\circ$

$K_0 = (1 - \sin \varphi_d)$  = hvilejordstrykkoefficient (ofte ca. 0,5 for friktionsjord)

$SN_d$  = dimensionerende ringstivhed for røret,  $\text{kN/m}^2$

$E'_d$  = regningsmæssigt jordmodul,  $\text{kN/m}^2$

$\varphi_d$  = regningsmæssig friktionsvinkel for omkringfyldningen

For beregning af rørets deformation forårsaget af jordlast umiddelbart efter lægning skal sekantmodulet for omgivende jord ved aktuell jorddækning anvendes, medens tangentmodulet anvendes til beregning af deformation forårsaget af trafiklast.

Sædvanligvis bliver omkringfyldningens deformationsegenskaber afgørende for valg af moduler. Ved stor rørdimension og smal rørgrav kan jordlagene i rørgravsvæggene dog have en vis indvirkning på modulernes størrelse. Særskilt undersøgelse af disse forhold kan blive nødvendig ved lægning i meget løs jord, eksempelvis løst ler eller organisk jord.

### Bestemmelse af omkringfyldningens E-moduler

Omkringfyldningens  $E$ -moduler kan bestemmes gennem særskilt geoteknisk undersøgelse af det aktuelle jordmateriales karakteristiske deformationsegenskaber - for eksempel ved kompressionsforsøg i cylinderapparat eller ødometer eller ved anden anvendelig metode. Dimensionerende værdier bestemmes derefter med partialkoefficienter ifølge afsnittene ovenfor om belastninger og materialeegenskaber.

Hvis der ikke udføres særskilt undersøgelse af omkringfyldningens deformationsegenskaber, foreslås det, at dimensionerende værdier i jordens tangentmodul beregnes ved hjælp af resultater fra forskellige forskningsprojekter. Dette omfatter såvel bestemmelse af modulerne gennem kompressionsforsøg i ødometer og cylinderapparat som deformationsmålinger på rør i jord (se for eksempel "The design of buried thermoplastic pipes"/25/, "Rapport angående kompressionsförsök i cylinderapparat med olika kringfyllningsmaterial"/28/ og "Plaströr i leriga jordarter"/29/).



E-modulet for omkringfyldningen kan variere langs røret, og er meget afhængig af kvaliteten af installationen. Det betyder, at deformationerne på eksempelvis et afløbsrør kan variere en del imellem to brønde.

På basis af et stort antal målinger på rør i jorden samt laboratorieforsøg kan E-modulets tangentværdi i friktionsjord beregnes i henhold til følgende empiriske formel:

$$E'_{ik} = a + b \cdot H \quad \text{MN/m}^2 \quad (14)$$

Udtrykket er gældende for lægningsdybder mellem 0,6 og 6 m. For dybder større end 6 m anvendes  $H = 6$  m.

$a$  og  $b$  er empiriske værdier, hvor  $a$  kan betragtes som et "modultal", som har betydning for tangentmodulet ved små lægningsdybder og  $b$  kan betragtes som en "dybdefaktor", som beskriver tilvæksten af tangentmodulet ved øgede lægningsdybder. Se værdierne for parametrene  $a$  og  $b$  i tabel 2.7.

Sekantmodulet for jorden kan beregnes som følger:

$$E'_{sk} = \kappa_s \cdot E'_{ik} \quad \text{MN/m}^2 \quad (15)$$

hvor

$E'_{sk}$  = fyldens sekantmodul

$\kappa_s$  = koefficient iht. tabel 2.7 ved normalt forekommende jorddækninger og vejtrafikklaster.

Beregning af rørd deformation fra jordlast skal altid foretages med lavest forekommende niveau for grundvandsspejl. Normalt antages det, at det kan ligge under rørets niveau.

Ved beregning af rørd deformation fra trafik og ved beregning af buckling er det imidlertid højest forekommende niveau for grundvandsspejl, der bliver dimensionerende, da jordmodulet reduceres ved stigende grundvandsstand. Da grundvandsspejlet ligger over røret, skal de ovenfor angivne moduler multipliceres med en reduktionsfaktor jævnfør følgende:

$$\kappa_w = 0,4 \cdot H_w/H + 0,6 \quad (16)$$

hvor

$\kappa_w$  = reduktionsfaktor ved høj grundvandsstand

$H_w$  = afstand mellem jordoverflade og grundvandsspejl, m

$H$  = jorddækningen, m

I veje og på gader kan det normalt antages, at højeste grundvandsstand er sammenfaldende med drænniveauet for vejkonstruktionen.

Hvis omkringfyldning udføres med ler, kan der forekomme store afvigelser fra den antagne jordtryksfordeling mod røret og dermed også afvigelser fra den foreslåede beregningsmodel. Det angivne udtryk for deformation kan dog anvendes, hvis der anvendes en forsigtigt valgt værdi til modulet. Her foreslås, at  $E'_{ud} = 0,2 \text{ MN/m}^2$  anvendes ved omkringfyldning med løst ler (udrænet forskydningsspænding  $< 50 \text{ kN/m}^2$ ).

Hvis der til omkringfyldningen anvendes fast ler, for eksempel tørskorpeler eller stenfrit lermoræne, skal det før tilfyldning sønderdeles til partikler mindre end ca. 30 mm. Enkelte lerklumper på op til 60 mm kan dog tillades jævnt fordelt i fyldet. Ler skal bearbejdes omhyggeligt til en homogen struktur med egnet komprimeringsredskab og i små lagtykkelser. Denne type omkringfyldning skal udføres efter særskilt anvisning og med skærpet kontrol.

Tabel 2.7: Værdier for parametrene  $a$  og  $b$  ved bestemmelse af dimensionerende værdier for tangentmodulet for omkringfyldning af friktionsjord samt koefficienten for  $\kappa_s$  for bestemmelse af sekantmodulet.

Komprimering	Komprimeringsgrad		a MN/m <sup>2</sup>	b MN/m <sup>2</sup> /m	$\kappa_s$
	Mod. Proctor	Std. Proctor			
Høj komprimering af omkringfyldningen <sup>1)</sup>	> 93%	> 98%	1,4	1,3	0,65
Normal komprimering	≥ 90%	≥ 95%	1,2	1,1	0,65
Moderat komprimering	≥ 85%	≥ 90%	1,0	0,83	0,6
Ingen komprimering	≥ 80%	≥ 85%	0,8	0,55	0,55

<sup>1)</sup> Komprimering udføres efter særskilt specifikation



Erfaringerne med omkringfyldning af fast ler er begrænset, men udførte målinger tyder på, at værdierne i størrelsesordenen 0,5 til 2,0 MN/m<sup>2</sup> kan opnås på jordmodulet  $E'_{td}$  for komprimeret fast ler, forudsat at jordlagene i rørgravsvæggene er faste, og at komprimering sker med egnet vandindhold i materialet.

Værdien for jordmodulet  $E'_{td}$  varierer generelt set med trykforholdene i jorden ved siden af røret. Her er det valgt at beskrive, at modulet varierer lineært med vertikaltrykket i jorden, d.v.s. lineært med jorddækningen jf. formel (14) for flader uden trafiklast. Vertikaltrykket i jorden under overflader med trafik påvirkes imidlertid ikke blot af jordens egenvægt, men også af trafiklasten. Det er derfor rimeligt, at der også tages hensyn til den vertikale trykforøgelse forårsaget af vejtrafiklast ved valg af jordmodul for beregning af den del af deformationen, som forårsages af trafiklast.

Den principielle trykfordeling af trafiklast over røret ses i figur 2.5, og her antages det, at jordmodulet for fylden ved siden af røret påvirkes af trykforholdene i fylden ved siden af røret inden for 1 til 2 rørdiameter fra rørvæggen. Dette kan tilnærmelsesvist gøres ved, at middelspændingen fra vejtrafiklast jf. figur 2.6 multipliceres med en reduktionsfaktor  $\alpha$  som følger:

$$\alpha = \frac{q_2}{q_1}$$

hvor

$q_1$  = vertikaltryk af trafiklast lige over rørtoppen, kN/m<sup>2</sup>

$q_2$  = vertikaltryk af trafiklast på afstanden D fra nærmeste rørvæg, kN/m<sup>2</sup>

Vertikaltrykket beregnes på rørtoppens niveau. Det tillæg  $\Delta H$ , som skal lægges til jorddækning for bestemmelse af  $E'_{td}$  jf. formel (14), beregnes som følger:

$$\Delta H = \frac{\alpha \cdot q_m}{\gamma} \text{ m}$$

I tabel 2.8 vises værdierne for  $\Delta H$  ved nogle forskellige jorddækninger og rørdiameter med 19 kN/m<sup>3</sup> for fyldens vægt.

Tabel 2.8: Tillæg  $\Delta H$  til jorddækningen for bestemmelse af jordmodulet  $E'_{td}$  ved påvirkning af Svær vejtrafiklast (6x100 kN) jf. formel (14).

Jorddækning m	Rørdiameter mm	Tillæg $\Delta H$ m
1,0	100	2,3
	300	1,5
	600	0,5
	1000	0,1
1,5	100	1,6
	300	1,5
	600	1,1
	1000	0,3
2,0	100	1,3
	300	1,2
	600	1,1
	1000	0,4
4,0	100	0,7
	300	0,7
	600	0,6
	1000	0,5
6,0	100	0,4
	300	0,4
	600	0,4
	1000	0,4

Ved beregninger, hvor Normal vejtrafiklast anvendes, skal ovenstående værdier  $\Delta H$  for i tabel 2.8 multipliceres med en reduktionsfaktor på 0,65.

For bestemmelse af  $E'_{td}$  for et rør med udvendig diameter 300 mm og med jorddækning 1,0 m ind sættes for eksempel den ækvivalente jorddækning 1,0 + 1,5 = 2,5 m i formel (14).

### Middeldeformation efter installation

Resultaterne fra et stort antal deformationsmålinger på ledninger i jord viser, at middeldeformationen ikke udelukkende er en funktion af belastning fra jord og trafik, men også i høj grad et resultat af påvirkninger i lægningsfasen. En vis negativ deformation, d.v.s. en forlængelse af den vertikale diameter, indtræffer ofte sammen med udførelsen og komprimeringen af omkringfyldningen ved siden af røret. Denne deformation er gunstig og bidrager til en lavere slutdeformation hos røret.

En ugunstig forøgelse af den beregnede deformation kan opstå ved for eksempel komprimering med tungt komprimeringsredskab tæt på rørtoppen eller ved uhensigtsmæssigt tilfyldningsarbejde. Endvidere kan placering af ledningen på en hylde udgraven i en fast rørgravsvæg medføre, at der opstår til lægslaster på grund af ujævne sætninger i fyldet



ved siden af røret. Disse sætninger kan medføre et ikke-beregnet deformationstillæg hos røret. Effekten af disse og lignende hændelser kan der tages hensyn til ved den såkaldte installationsfaktor som følger, så **middeldeformationen** er:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_m = \left(\frac{\delta}{D}\right)_q + I_f$$

hvor

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_q = \text{deformation fra last jf. formel (13)}$$

$I_f$  = installationsfaktor

Efter analyse af et stort antal målinger på ledninger i jord foreslås følgende dimensionerende værdier for installationsfaktoren  $I_f$ , jf. tabel 2.9 for ledninger med omkringfyldning af friktionsjord.

Tabel 2.9: Dimensionerende værdier på installationsfaktoren ved omkringfyldning med friktionsjord.

Lægningsudførelse	Installationsfaktor $I_f$ , %
Ledningen lægges på hylde i rørgravsvæg i fast jord	1,0
Normal komprimering	1,0
Ingen komprimering	3,0

Ved specielt ugunstige forhold viser analyser af de målinger, som beskrives i "The design of buried thermoplastic pipes"/25/, at der kan forekomme større værdier på installationsfaktoren end de ovenfor angivne. Det har for eksempel været tilfældet ved lægning i landbrugsjord, hvor komprimering af tilfyldningen i ledningsgraven sker gennem overkørsel på langs med tung traktor ved lille jorddækning. Uden komprimering af omkringfyldningsmaterialet har der været målt værdier på op til 5,0% for installationsfaktoren  $I_f$ .

For omkringfyldning med løst ler har der været målt værdier mellem 2% og 5% for installationsfaktoren  $I_f$ , og værdierne er stærkt afhængige af arbejdets udførelse.

## Maksimal deformation efter installation

Deformationsmålinger på ledninger i jord viser normalt, at deformation langs ledningen varierer på en tilsyneladende tilfældig måde. Denne variation beror først og fremmest på variationer i udførelsen af tilfyldningen og komprimeringen samt variationer i udjævningslagets jævnhed langs ledningen. For at beregne den maksimale deformation for en ledning, skal middeldeformationen påføres et tillæg. Dette tillæg, som af naturen er uafhængigt af belastningens størrelse, benævnes her beddingfaktor, og ved hjælp af analyse af et stort antal praktiske målinger foreslås følgende dimensionerende værdier for denne beddingfaktor  $B_f$ , jf. tabel 2.10.

Tabel 2.10: Dimensionerende værdier for beddingfaktor ved forskellige lægningsforhold.

Lægningsudførelse	Beddingfaktor %	
	Rørstivhed SN ca. 4 kN/m <sup>2</sup>	Rørstivhed SN ≥ 8 kN/m <sup>2</sup>
<b>Høj komprimeringsgrad</b>		
Jævnt afrettet og overfladeløst udjævningslag	1	1
Normalt udjævningslag	2	1,5
<b>Normal komprimeringsgrad</b>		
Jævnt afrettet og overfladeløst udjævningslag	1,5	1
Normalt udjævningslag	3	2
<b>Ingen komprimering</b>		
Jævnt afrettet og overfladeløst udjævningslag	2,5	2
Normalt udjævningslag	5	3,5

For omkringfyldning med ler kan beddingfaktoren variere mellem 3 og 6%, hvor de højere værdier gælder for ujævne udjævningslag og tilfyldning med ler med ujævn fasthed.

**Den maksimale deformation** for en rørledning kan nu beregnes, som følger:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_m = \left(\frac{\delta}{D}\right)_q + I_f + B_f \quad (17)$$

De angivne værdier for  $B_f$  gælder for relativt fleksible rør, d.v.s. rør med stivhed i intervallet ca. 4 til 8 kN/m<sup>2</sup>. Ved øget stivhed for røret sker der i større omfang en udjævning af lokale ujævnheder i



udjævningslaget og omkringfyldningen, hvilket reducerer beddingfaktoren  $B_f$ . Omvendt gælder også, at mere fleksible rør kan medføre højere værdier for beddingfaktoren.

### Langtidsdeformation

Rørdeformationen for et fleksibelt rør øges normalt med tiden, hvilket afhænger af flere faktorer. Således tager det en vis tid, inden maksimal jordlast udvikles, hvilket sker i takt med, at en vis omlejring af omkringfylden finder sted. Indvirkningen af trafiklast og grundvandsbevægelser fremskynder i høj grad denne proces.

Samstemmende resultat af målinger af rørledninger i jord viser, at trafiklastens indvirkning på rørdeformationerne reduceres med tiden. Dette gælder såvel deformationer ved belastning som oprindelige deformationer uden belastning af trafik. Deformationsstigningen ophører normalt efter 1-3 år, hvor omkringfylden stabiliseres til slutniveau. Tidsrummet, indtil en stabil tilstand opnås, varierer bl.a. med trafikintensiteten. Jo mere intensiv trafik, desto kortere bliver dette tidsrum.

Beregning af langtidsdeformationen kan foretages på flere måder. Det kan enten ske ved, at der direkte lægges et tillæg på korttidsdeformationen, eller at den del af deformationen, som forårsages af belastning, regnes ud ved multiplikation med en forstørrelsesfaktor. I begge tilfælde skal der tages hensyn til den oprindelige komprimeringsgrad for omkringfylden. Dette sker automatisk, hvis deformationen forårsaget af belastning lægges til grund for beregning af langtidsdeformationen, hvorfor denne metode foreslås anvendt. Installationsfaktoren  $I_f$  og beddingfaktoren  $B_f$  bedømmes til at være uafhængig af tiden.

Følgende udtryk fås for maksimaldeformationens langtidsværdi:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{ML} = \left(\frac{\delta}{D}\right)_{ql} + I_f + B_f \quad (18)$$

hvor

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{ql} = \text{langtidsdeformation forårsaget af jord- og trafiklast}$$

Jævnfør udførte praktiske målinger kan langtidsdeformationen forårsaget af jord- og trafiklast beregnes som følger:

$$\left(\frac{\delta}{D}\right)_{ql} = (1,5 \text{ à } 2) \cdot \left(\frac{\delta}{D}\right)_q \quad (19)$$

Ifølge ”*Plastic pipes for water supply and sewage disposal*”/30/, kan ringstivhedens korttidsværdi anvendes til beregning af langtidsdeformationen ved omkringfyldning med friktionsjord. Grunden til dette er, at deformationsøgningen for en stor del sker som en akkumulering af resterende deformationer efter trafiklast, hvilke af naturen er kortvarige. Kun i meget løs jord eller ved omkringfyldning med løst ler skal der tages hensyn til rørmaterialets krybning, og ringstivhedens langtidsværdi skal anvendes ved beregning af langtidsdeformationen. Ringstivhedens langtidsværdi kan beregnes ved multiplikation af korttidsværdien med faktor 0,25 for PE og PP samt med 0,4 for PVC-U.

### Tilladelig deformation

Bestemmelse af tilladelig værdi for rørdeformationer skal udføres under hensyntagen til tilladte tøjninger og spændinger i rørvæggen, risiko for kollaps samt risikoen for utætte samlinger og reduceret hydraulisk kapacitet i ledningen.

Omfattende undersøgelser i 1970- og 1980'erne resulterede i konklusionen, at tøjning i rørvæggen ikke bliver begrænsende for deformationer for glatte afløbsrør af PVC-U, PE og PP, der opfylder gældende normer.

Med hensyn til risikoen for utætte samlinger og nedsat funktion i øvrigt bør den tilladelige deformation efter lang tid ikke overstige 15%, jf. tidligere i afsnit 2.1 Forundersøgelser.

Deformationen efter lægning og tilfyldning er et godt mål for lægningsarbejdets kvalitet. For at sikre en god udførelse begrænses den maksimalt tilladte korttidsdeformation ofte til lavere værdier, end det som var begrundet ud fra alene et funktions- og styrkemæssigt synspunkt.



## Buckling

Ved højt udvendigt tryk kan røret kollapse ved buckling. For et rør i luft eller vand kan bucklingstrykket beregnes, som følger:

$$q_b = 24 \cdot SN \quad (20)$$

hvor

SN = rørets ringstivhed, jf. ved formel (4)

For et nedgravet rør virker den omgivende jord afstivende på røret, hvilket medfører, at der sker buckling i et mere kompliceret mønster end det, som er tilfældet i luft eller vand, hvilket øger bucklingstrykket. Dette kan for et rør i fast jord beregnes som følger, når  $E'_t \geq 36 \cdot SN$ :

$$q_b = 5,65 \sqrt{E'_t \cdot SN} \quad (21)$$

I løs jord kommer forholdene mere til at ligne dem, som er gældende i luft og vand, og bucklingstrykket kan da beregnes som følger, når  $E'_t < 36 \cdot SN$ :

$$q_b = 24 \cdot SN + 0,67 \cdot E'_t \quad (22)$$

Kontrol af sikkerhed mod buckling, som er en brudgrænsetilstand, sker med følgende dimensionerende belastning inkl. tryk for trafiklast:

$$q_{id} = q_{jd} + q_{td} + q_{wd} \quad (23)$$

hvor

$q_{jd} = \gamma_f q_{jk}$  = vertikalt jordtryk beregnet ved højst forekommende grundvandsstand,  $\gamma_f = 1,0$

$q_{td} = \gamma_f q_{tk}$  = dimensionerende tryk fra trafiklast,  $\gamma_f = 1,3$

$q_{wd} = \gamma_f q_{wk}$  = grundvandstryk ved højst forekommende grundvandsstand,  $\gamma_f = 1,0$

En ovalitet eller deformation på røret påvirker bucklingstrykket negativt. Dette kan der for et rør i fast jord tages hensyn til ved, at det teoretiske bucklingstryk jf. formel (21) og formel (22) multipliceres med en reduktionsfaktor  $\beta$ , som følger:

$$\beta = \left(1 - 3 \frac{\delta}{D}\right) \quad (24)$$

I luft eller vand og i løs jord bliver reduktionen for bucklingstrykket på grund af en initialovalitet på røret væsentligt større end i fast jord. For eksempel kan angives, at reduktionsfaktoren  $\beta$  i luft eller vand kan beregnes til 0,65 og 0,5 ved initialovaliteterne 1% respektive 3%.

Tilfredsstillende sikkerhed mod kollaps ved buckling er sikret, hvis følgende vilkår er opfyldt:

$$q_d < \beta \cdot q_{bd} \quad (25)$$

hvor

$q_{bd}$  = dimensionerende bucklingstryk beregnet med dimensionerende værdier for rørstivheden  $SN_d$  og tangentmodulet  $E'_{td}$

Dimensionerende værdier for rørstivheden og tangentmodulet beregnes iht. formel (2) med værdier for partialkoefficienterne jf. tabel 2.5 ved beregning af bucklingstryk iht. formel (21) eller formel (22).

**For rør i luft eller vand anvendes specielt  $\gamma_m = 3,0$  ved beregning af bucklingstrykket iht. formel (20).**

For plastmaterialer sker der ved konstant belastning en øgning af deformationen med tiden på grund af krybning. Dette kan også udtrykkes således, at rørets stivhed er afhængig af tid og reduceres med tiden ved konstant belastning.

Buckling af et rør i fast jord har imidlertid et forholdsvist hurtigt forløb. Rørets korttidsstivhed skal normalt anvendes ved beregning af bucklingssikkerheden, selv om bucklingen først indtræffer efter lang tid. Ved lægning i løs jord sker der imidlertid ligesom i luft eller vand buckling i ellipseform ved en langsom deformationsøgning, krybebuckling, hvor rørets langtidsstivhed skal anvendes ved beregning af bucklingstrykket.





Tabel 2.11: Materialeparametre for jordklasser.

Jordtype	Jord-klasse	Karakteristiske E-moduler	Sortering	Betegnelse	Densitet kN/m <sup>3</sup>	Egnet-hed
GRUS	1a	Friktionsmateriale E-modul beregnes som angivet i formel 14 og 15	Velsorteret $U < 2$	Singels Nødder Ærter Perler Filtergrus 2–60 mm	18	Egnet
			Blandet $2 < U < 5$		20	Egnet
			Usorteret $U > 5$		22	Egnet
SAND	1b	Friktionsmateriale E-modul beregnes som angivet i formel 14 og 15	Velsorteret $U < 2$	Groft 0,6–2,0 mm	19	Velegnet
				Mellem 0,2–0,6 mm	18,5	Velegnet
				Fint 0,06–0,2 mm	18	Velegnet
			Blandet $2 < U < 5$	Harpet sand	19,5	Velegnet
			Usorteret $U > 5$	Sand	21	Velegnet
MORÆNE-GRUS (f)	2a	Friktionsmateriale E-modul beregnes som angivet i formel 14 og 15	Usorteret grus, leret	Leret grus 10-15% silt/ler	21	Egnet
MORÆNE-SAND (f)	2b		Usorteret sand, leret	Leret sand 10-15% silt/ler	21	Egnet
MORÆNE-LER (f)	3	Hvis der til omkringfyldningen anvendes fast ler, for eksempel torskorpeler eller stenfrit lermoræne, skal det for tilfyldning sønderdeles til partikler mindre end ca. 30 mm. Enkelte lerklumper på op til 60 mm kan dog tillades jævnt fordelt i fyldet. Ler skal bearbejdes omhyggeligt til en homogen struktur med egnet komprimeringsredskab og i små lagtykkelser. Denne type omkringfyldning skal udføres efter særskilt anvisning og med skærpet kontrol. Erfaringerne med omkringfyldning af fast ler er begrænset, men udførte målinger tyder på, at værdierne i størrelsesordenen 0,5 til 2,0 MN/m <sup>2</sup> kan opnås på jordmodulet $E'_{10}$ for komprimeret, fast ler, forudsat at jordlagene i rørgravsvæggene er faste, og at komprimering sker med egnet vandindhold i materialet.	Gruset	ML, gruset > 15% ler	22	Mindre egnet
			Sandet	ML, sandet > 15% ler	21,5	Mindre egnet
			Silt	ML, siltet > 15% ler	22,5	Mindre egnet
MORÆNE-LER (K)	4	Hvis der til omkringfyldningen anvendes fast ler, for eksempel torskorpeler eller stenfrit lermoræne, skal det for tilfyldning sønderdeles til partikler mindre end ca. 30 mm. Enkelte lerklumper på op til 60 mm kan dog tillades jævnt fordelt i fyldet. Ler skal bearbejdes omhyggeligt til en homogen struktur med egnet komprimeringsredskab og i små lagtykkelser. Denne type omkringfyldning skal udføres efter særskilt anvisning og med skærpet kontrol. Erfaringerne med omkringfyldning af fast ler er begrænset, men udførte målinger tyder på, at værdierne i størrelsesordenen 0,5 til 2,0 MN/m <sup>2</sup> kan opnås på jordmodulet $E'_{10}$ for komprimeret, fast ler, forudsat at jordlagene i rørgravsvæggene er faste, og at komprimering sker med egnet vandindhold i materialet.	Almindelig	ML > 35% ler	22	Tvivlsom
			Fedt	ML, fedt > 35% ler	21	Tvivlsom
SILT/LER	5	$E'_{10} = 0,2 \text{ MN/m}^2$ anvendes ved omkringfyldning med løst ler (udrænnet forskydnings-spænding < 50 kN/m <sup>2</sup> ). Denne type omkringfyldning skal udføres efter særskilt anvisning og med skærpet kontrol.	Velsorteret $d < 0,06$	Ler, siltet Silt, leret > 40% ler	18	Bør udskiftes
LER	6		Almindelig $d < 0,002$	Ler, fedt > 40% ler	17	Bør udskiftes
	7		Fedt	Plastisk ler	16	Bør udskiftes

I tabellen er  $U$  uensformighedstallet for sorteringen. ML er moræneler. Jordklasserne 1-7 anvendes i forbindelse med Installation i afsnit 3.5.2 Komprimering af omkringfyldning og tilfyldning.

Densiteten er for uforstyrret naturlig jord.

**Maksimal stenstørrelse i omkringfyldning er 1/10 af rørets udvendige diameter, dog max. 64 mm.**

Omkringfyldningsmaterialet må ikke indeholde skarp flint eller tilsvarende materiale.



## 2.2.3 Forankring

Forankring anvendes, hvor der kan opstå trykkraefter. Saadanne trykkraefter optages i forankringer ved hjaelp af bagstoebninger eller traekfaste samlinger. Dette gaelder især ved retningsaendringer og forgreninger osv. af trykledninger, men forankring skal ogsaa anvendes ved stejle gravitationsledninger.

### Tryk

Forankring skal foretages af ikke-traekfaste samlinger, som pa grund af indre vandtryk udsaettes for store kraefter, fx ved boejninger og T-stykker samt ofte ogsaa slutmuffer, reduktioner og ventiler. Er der i ovrigt steder pa en ledning, hvor der skoenes at vaere risiko for ekstra store kraefter, naa der saettes tryk pa, skal der ogsaa der foretages en forankring. Ved dimensionering af en forankring beregnes foerst aksialkraften, aehaengig af ledningens diameter og arbejdstykket/praevetrykket:

$$N = \frac{\pi \cdot d_y^2 \cdot p}{4 \cdot 10^4}$$

hvor

$N$  = aksialkraft (kN)

$d_y$  = rorets udvendige diameter (mm)

$p$  = max. forekommende tryk i ledningen (bar) evt. praevetryk

Aksialkraften kan ogsaa enkelt beregnes efter foelgende formel, idet tabel 2.12 angiver aksialkraften ved et tryk pa 1 bar, ( $N_1$ ).

$$N = p \cdot N_1$$

hvor

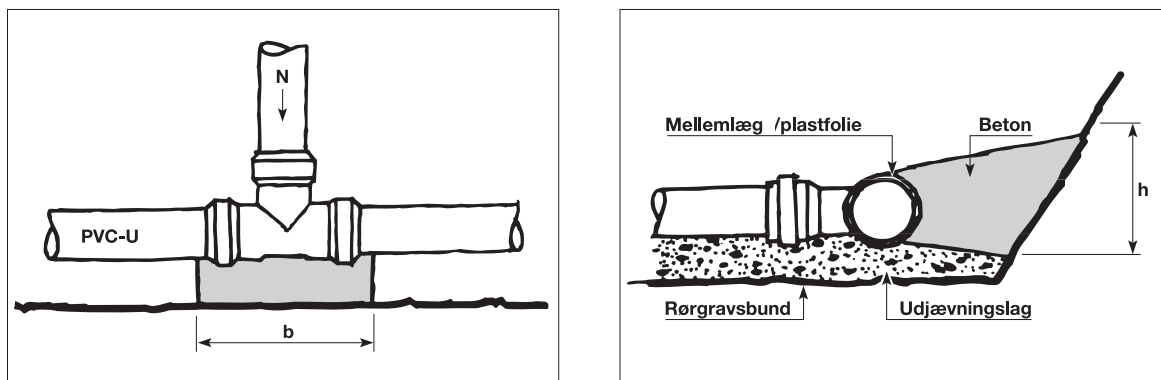
$N_1$  = aksialkraft ved 1 bar (kN)

$p$  = max. forekommende tryk i ledningen (bar) evt. praevetryk

Tabel 2.12: Aksialkraften  $N_1$  ved et tryk pa 1 bar.

Udvendig diameter (mm)	40	50	63	75	90	110	125	140	160	200	225	250	280	315	400	500	630
Aksialkraft ved 1 bar $N_1$ (kN)	0,13	0,20	0,32	0,45	0,64	0,95	1,23	1,54	2,00	3,15	4,00	4,90	6,16	7,80	12,60	19,60	31,20

Figur 2.10: Principskitse for forankring af T-stykke, set fra siden og set fra oven.



Ved bøjninger kan den resulterende kraft beregnes efter følgende formel. Efter eksemplet findes formler for et reduktionsstykke.

$$R = 2 \cdot N_1 \cdot p \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

hvor

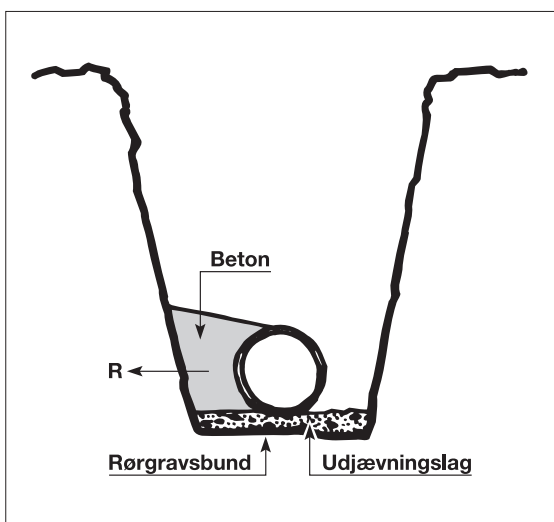
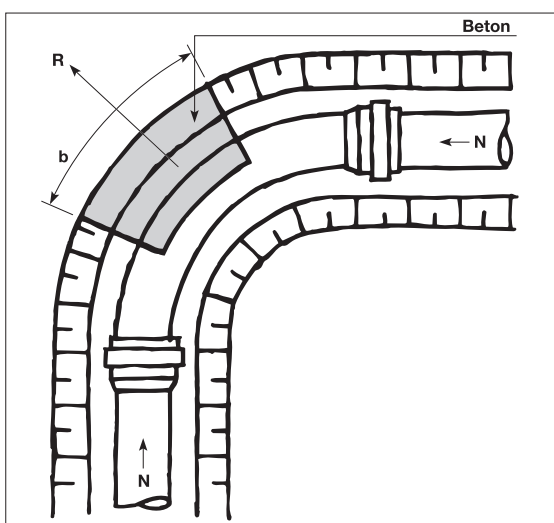
$N_1$  = aksialkraft ved 1 bar (kN)

$p$  = max. forekommende tryk i ledningen (bar) evt. prøvetryk

$\alpha$  = bøjningsvinkel (grader)

$R$  = resulterende kraft (kN)

Figur 2.11: Principskitse for forankring af bøjning, set fra oven og set fra siden i ledningsgraven.



Den resulterende kraft kan også enkelt beregnes efter følgende formel, idet tabel 2.12 angiver aksialkraften ved et tryk på 1 bar, ( $N_1$ ), og tabel 2.13 angiver konstanten  $k$ .

$$R = k \cdot p \cdot N_1$$

hvor

$k$  = konstant for resulterende kraft

$p$  = max. forekommende tryk i ledningen (bar) evt. prøvetryk

$N_1$  = aksialkraft ved 1 bar (kN)

$R$  = resulterende kraft (kN)

Ved beregningen af det areal, der skal til for at bestemme selve forankringsklodsens størrelse, skal der tages hensyn til det tilladelige jordtryk. Dette skal i hvert enkelt tilfælde baseres på geotekniske undersøgelser for det aktuelle projekt.

I mange tilfælde vil det være tilstrækkeligt at regne med  $\sigma_{\text{jord}} = 200 \text{ kN/m}^2$ .

Bredden af forankringen kan beregnes som:

$$b = \frac{R}{h \cdot \sigma_{\text{jord}}}$$

hvor

$b$  = bredde af forankring (m)

$h$  = højde af forankring (m)

$R$  = resulterende kraft (kN)

$\sigma_{\text{jord}}$  = tilladeligt jordtryk

En forudsætning for forankringens styrke er, at betonen støbes mod en fast side i udgravningen. Forholdene kan imidlertid være således, at der må støbes op ad omhyggeligt pakket fyld. I så fald må der i beregningerne tages hensyn til fyldets ringere styrke.

Tabel 2.13: Vinkelkonstanter.

Vinkel $\alpha$	11°	22°	30°	45°	60°	90°
$k$	0,19	0,38	0,52	0,77	1,00	1,41



For at forhindre betonen i at beskadige formstykket lægges før støbningen et mellemlæg af geonet.

**Eksempel:**

Forankringen til en 45° bøjning i Ø 200 mm, hvor det maksimale tryk er 9 bar, kan beregnes som:

$$R = k \cdot p \cdot N_1$$

hvor

$$k = 0,77$$

$$p = 9 \text{ bar}$$

$$N_1 = 3,15$$

Den resulterende kraft bliver så:

$$R = 0,77 \cdot 9 \cdot 3,15 = 21,83 \text{ kN}$$

Herefter kan forankringens bredde beregnes som:

$$b = \frac{R}{h \cdot \sigma_{\text{jord}}}$$

$\sigma_{\text{jord}}$  sættes til 200 [kN/m<sup>2</sup>]

Højden sættes til rørets højde:  $h = 0,2 \text{ m}$

Bredden skal da være min.:

$$b = \frac{21,83}{0,2 \cdot 200} = 0,55 \text{ m}$$

Ved et reduktionsstykke kan aksialkraften beregnes som:

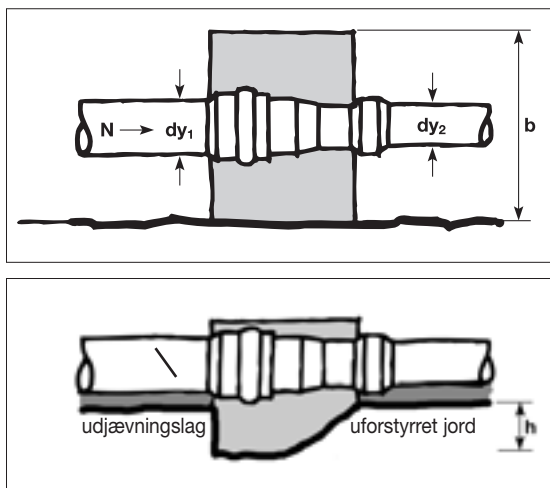
$$N = \frac{\pi \cdot (dy_1^2 - dy_2^2) \cdot p}{4 \cdot 10^4}$$

hvor

$dy_1$  = det største rørs udvendige diameter (mm)

$dy_2$  = det mindste rørs udvendige diameter (mm)

Figur 2.12: Principskitser for forankring af reduktionsstykke, set fra oven og fra siden.



**Eksempel:**

Forankringen til en Ø 200/110 mm reduktion, hvor det maksimale tryk er 9 bar, kan beregnes som:

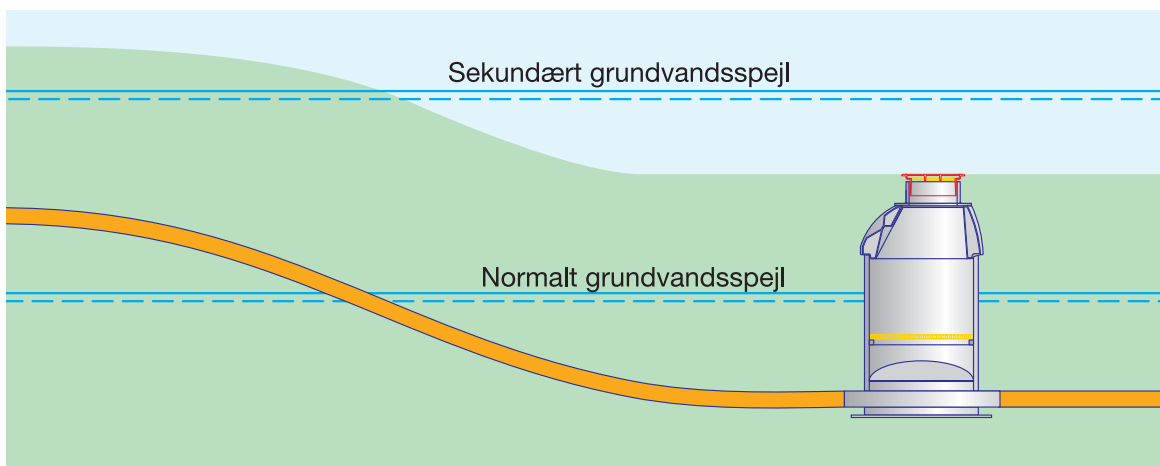
$$N = \frac{\pi \cdot (200^2 - 110^2) \cdot 9}{4 \cdot 10^4} = 19,72 \text{ kN}$$

Herefter kan forankringens bredde beregnes som, idet  $h$  sættes = 0,2 m og  $\sigma_{\text{jord}} = 200 \text{ kN/m}^2$ :

$$b = \frac{N}{h \cdot \sigma_{\text{jord}}}$$

$$b = \frac{19,72}{0,2 \cdot 200} = 0,49 \text{ m}$$

Figur 2.13: Normalt og sekundært grundvandsspejl.



## 2.2.4 Opdrift

Opdrift vil opstå, når grundvandsspejlet ligger højere end bundløbet af ledningen, eller bunden af brøndene, og dette betegnes som normalt grundvandsspejl. Sekundært grundvandsspejl forekommer især ved områder med ler, hvor omkringfyldningen kan virke drænende, hvorved grundvandsspejlet øges.

### Tryk/afløb

På grund af plastmaterialers lave vægt er det vigtigt at tage hensyn til eventuel opdrift under såvel installation som drift.

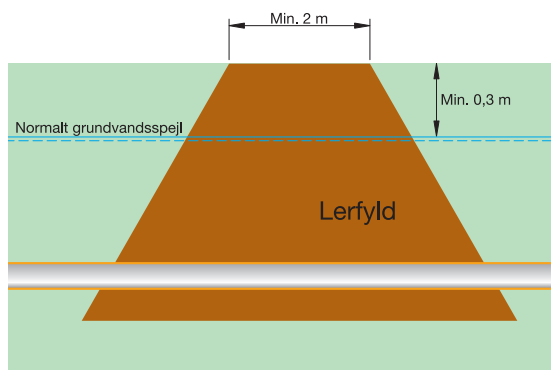
Under installationen skal det sikres, at rør og brønde lægges tørt. Eventuel vandstand over udgravningsniveau skal, før udgravning påbegyndes, sænkes til minimum 20-30 cm under ledningsbund og skal holdes sænket til dette niveau, indtil ledningsgraven igen er tilfyldt. Dette dokumenteres dagligt gennem pejlinger i ledningstracéet.



Der skal under hele installationsperioden opretholdes en effektiv funktion af udstyr til grundvands-sænkning. Man skal specielt være opmærksom på perioder, hvor udstyret ikke overvåges af personel, fx i perioder, hvor arbejdet ligger stille, samt ved strømsvigt og ved evt. nedbrud af udstyr.

Specielt i områder med ler kan der forekomme vand i ledningsgraven. Dette kan være som et sekundært grundvandsspejl i selve graven, idet omkringfyldningen virker drænende. Derved øges vandspejlet.

For at forhindre det, sekundære grundvandsspejl eller udbredelsen af det, indlægges omhyggeligt en kraftig plastfolie, eller der indbygges en lerdæmning (afskærende fyldning) i ledningsgraven. Den afskærende fyldning lægges ud i hele ledningsgravens bredde og føres mindst 0,3 m over normal grundvandsstand. Fyldningen skal være tæt mod ledningsgravens sider og ledningen. Som materiale anvendes homogent, tæt ler. Længden af en lerdæmning bør være mindst 2,0 m målt i ledningsgravens længderetning.



Figur 2.14: Skitse af lerfyld i ledningsgrav.



Tabel 2.14: Symbolliste for beregninger af opdrift og ballast.

O	= opdriften
r	= indvendig radius rør
$d_{\text{rør}}$	= udvendig diameter rør
$\gamma_{\text{vand}}$	= rumvægt vand
$\gamma_{\text{fyld}}$	= rumvægt fyld
$\gamma_{\text{effektiv}}$	= effektiv rumvægt fyld i forhold til GVS
$\phi_k$	= karakteristisk friktionsvinkel
$\phi_d$	= regningsmæssig friktionsvinkel $\phi_d = \arctan(\tan(\phi_k)/\gamma_d)$
B	= ballast over rør – uarmeret
$B_a$	= ballast over rør – armeret med geonet
$h_a$	= tykkelse af fyldmateriale på geonettets overside
$h_1$	= fri højde over rør i centerlinien
$h_2$	= $d_{\text{rør}}/2$
$E_{\text{rør}}$	= egenvægt rørledning eller tank
GVS	= grundvandsspejl
$F_{\text{opdrift}}$	= beregnet opdrift som overføres til geonet
$F_{\text{karak}}$	= korttidsstyrke geonet
$F_d$	= regningsmæssig trækstyrke geonet
$F_{\text{forank}}$	= forankringskraft geonet
$L_{\text{geonet}}$	= forankringslængde geonet
$L_a$	= bredde armeret plast

**Partialkoefficienter:**

$\gamma_f$	= partialkoefficient opdrift jf. <b>DS 415</b>
$\gamma_\phi$	= partialkoefficient friktionsvinkel fyld jf. <b>DS 415</b>

**Partialkoefficienter geonet:**

$\gamma_{\text{kryb}}$	= krybningsfaktor relateret til konstruktionens levetid
$\gamma_{\text{mek}}$	= mekanisk beskadigelse under indbygning af geonet
$\gamma_{\text{kem}}$	= kemisk påvirkning
$\gamma_{\text{global}}$	= sikkerhedsfaktor relateret til produktion & ekstrapolation af data

**Interaktion mellem geonet og fyld:**

$\mu$	= interaktionskoefficient mellem geonet og fyld (0,5-1,0)
-------	---

**Sikkerhed mod opdrift – uarmeret:**

$S_1$	= sikkerhed mod opdrift, mindst 1,0
-------	-------------------------------------

**Sikkerhed mod opdrift – armeret med geonet:**

$S_2$	= sikkerhed vedr. forankring af geonet, mindst 1,5
$S_3$	= sikkerhed mod opdrift, mindst 1,3



## Sikring mod opdrift

Opdriften af en tom plastledning under grundvandspejlet samt ballasten fra tilfyldningen beregnes med de følgende formler. Beregningen foregår pr. meter ledning. Jf. figur 2.15 samt symbollisten i tabel 2.14 samt regler i **DS 415**, **DS 409** og **DS 410**. Formlerne gælder også for en cylindrisk tank med radius  $r$ . Ved brønde og tanke anvendes i stedet volumen for disse.

Opdrift fra luftfyldt rør/tank, kN/m:

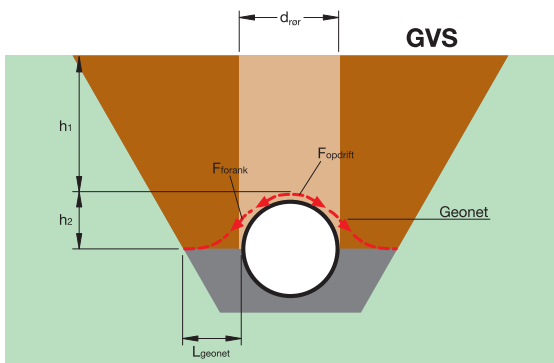
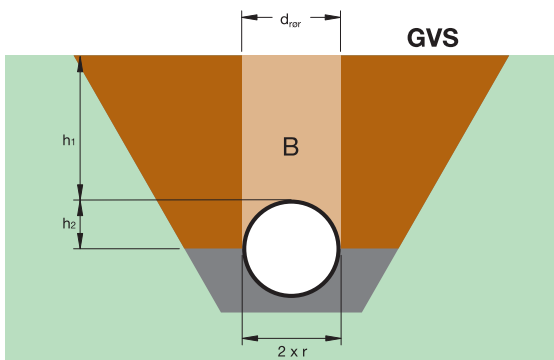
$$O = d_{\text{rør}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{\text{vand}} \cdot \gamma_f$$

Ballast fra egenvægten af en ledning samt overliggende fyld, kN/m:

$$B = ((h_1 + h_2) \cdot d_{\text{rør}} \cdot \gamma_{\text{effektiv}}) - \frac{(d_{\text{rør}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{\text{effektiv}})}{2} + E_{\text{rør}}$$

Sikkerhed mod opdrift beregnes som  $S_1 = B/O$ , som skal være mindst 1,0.

Figur 2.15: Ballast ved grundvandspejl i terræn  $h_1$  over top af tank/ledning, samt kraftoverførsel.



Når sikkerheden  $S_1$  ikke bliver større end 1,0, kan der som supplement til ballasten fra tilfyldningen fx anvendes et geonet, som er et finmasket, stærkt plastnet.

Ved beregningen af det nødvendige ballastbidrag fra et geonet anvendes følgende beregninger baseret på oplysninger fra leverandøren af geonet:

$$F_{\text{opdrift}} = (O - B)$$

O og B beregnes som ovenfor. For den regningsmæssige styrke af geonettet skal gælde, kN/m:

$$F_d > F_{\text{opdrift}}$$

hvor

$$F_d = \frac{F_{\text{forank}}}{\gamma_{\text{kryb}} \cdot \gamma_{\text{mek}} \cdot \gamma_{\text{kem}} \cdot \gamma_{\text{global}}}$$

For forankringen af geonet i sand gælder, at

$$S_2 = \frac{F_{\text{forank}}}{F_{\text{opdrift}}}$$

skal være mindst 1,5,

hvorfor  $F_{\text{forank}}$  skal være mindst  $1,5 \cdot F_{\text{opdrift}}$

$$F_{\text{forank}} = h_a \cdot \gamma_{\text{effektiv}} \cdot \mu \cdot \tan(\varphi_d) \cdot L_{\text{geonet}}$$

hvorfor geonettets forankringslængde ud fra rørvæggen, se figur 2.16, skal være:

$$L_{\text{geonet}} = F_{\text{forank}} / (h_a \cdot \gamma_{\text{effektiv}} \cdot \mu \cdot \tan(\varphi_d))$$

Forankringslængden  $L_{\text{geonet}}$  bør ikke være mindre end 1,0 m.

Endvidere beregnes sikkerhed  $S_3$  (samlet opdriftssikring)

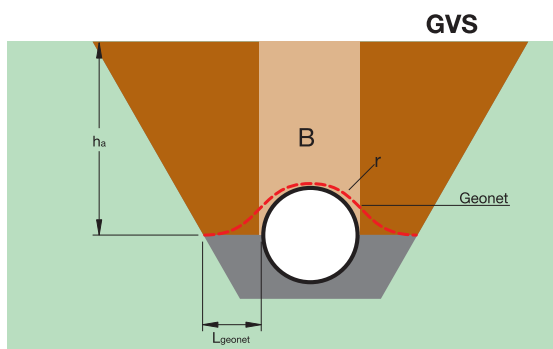
$$S_3 = B_a/O, \text{ skal være mindst } 1,3$$

Den samlede forankringsbredde  $L_a = 2 \cdot L_{\text{geonet}} + d_{\text{rør}}$

Den samlede ballast  $B_a$ , kN/m, beregnes her som:

$$B_a = ((h_1 + h_2) \cdot L_a \cdot \gamma_{\text{effektiv}}) - (d_{\text{rør}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{\text{effektiv}}) + E_{\text{rør}}$$





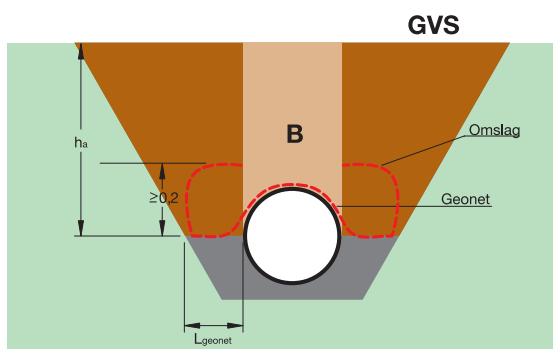
Figur 2.16: Ballast ved hjælp af geonet.

Ekstra ballast ved hjælp af geonet udføres ved, at ledningen/tanken placeres i udgravningen, og at der fyldes med egnet omkringfyldning til midt på ledningen, jf. efterfølgende afsnit 3.5 om omkringfyldning og tilfyldning.

Geonettet rulles ud over ledningen (normalt i tværliggende baner, men afhængig af rullebredde og styrkeretning). Det sikres, at forankringslængden på begge sider af røret udgør mindst 1,0 m eller som beregnet jf. ovenfor. Herefter sker den videre omkringfyldning og tilfyldning samt komprimering jf. efterfølgende.

Geonet kan med fordel indbygges i friktionsfyld, hvilket under normale omstændigheder resulterer i mindre forankringslængder pga. bedre samspil mellem fyld og geonet. Omslag af geonet kan med fordel udnyttes, således at den samlede forankringsbredde ( $L_a$ ) reduceres. Den lodrette afstand mellem geonet ved omslag bør mindst være 0,2 m, jf. figur 2.17.

Såfremt geonet erstattes af et geotextil med samme styrke og deformationsparametre, skal det sikres, at der ikke opstår risiko for, at geotextilet tætnes, så vand ikke kan passere (clockning). Dette kan resultere i modsatrettede opdriftsproblemer i forbindelse med ændringer i grundvandsspejlet.



Figur 2.17: Omslag af geonet.





## 2.2.5 Tæthed

### Tryk/afløb

I kapitel 3 Installation omtales samlinger og tæthedsprøvning af den færdige installation.

## 2.2.6 TV-inspektion

I afsnit 3.8.4 omtales Slutkontrol og i afsnit 3.8.9 omtales TV-inspektion.

## 2.2.7 Tilladelige trækkræfter og bøjningsradier

Specielt ved opgravningsfrie metoder er det vigtigt at være opmærksom på rørenes tilladelige trækraft samt bøjningsradius jf. afsnit 3.3 Ledningslægning.

## 2.2.8 Resistens

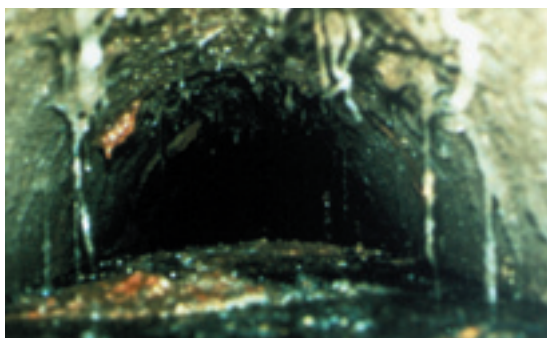
Resistens for ledninger drejer sig normalt om kemiske og termiske påvirkninger. Ud over de her givne oplysninger henvises til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling.

## Kemiske påvirkninger

Generelt har plastmaterialer en meget god kemisk resistens, specielt ved de almindelige driftstemperaturer for spildevand. Nogle kemikalier kan dog påvirke et plastmateriales brudstyrke, især hvis der sker en direkte påvirkning af større koncentrationer over længere tid. Her gælder desuden, at påvirkningen er størst ved stigende temperaturer. I **DS/ISO/TR 10358** findes en oversigt over kemisk resistens for plastrør og formstykker af blandt andet PVC-U, PP og PE. Tabellen omhandler mere end 400 kemiske stoffer i alfabetisk rækkefølge. I **DS/ISO/TR 7620** findes oplysninger om kemisk resistens af gummimaterialer.

**Almindeligt byspildevand**, som fx vist i tabel 2.15 efter *"Drift af renseanlæg (Teknik)"*/22/.

Da sammensætningen af **industri-spildevand** er for kompleks til at kunne beskrives i en enkelt tabel,



henvises som vejledning til: *"Kontroll av industriavlopp"*/21/.

## Termiske påvirkninger

Plastmaterialers levetid dokumenteres ved 20°C jf. kapitel 1 om levetid, afprøvning og sikkerhedsfaktorer. Ved stigende temperaturer sker der en reduktion i den tilladte spænding i materialet.

Den normalt højeste anbefalede driftstemperatur i afløbsledninger af PVC-U, PE og PP er 60°C.

Kortvarige (< 2 min.) temperaturer på 95-100°C kan tillades, hvis spildevandsstrømmen er mindre end 30 l/min.

Ved trykledninger afhænger den højest tilladelige driftstemperatur blandt andet af det indvendige tryk.

Ud over de her givne oplysninger henvises til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling. Dette gælder også ved lave temperaturer.

Tabel 2.15: Typisk gennemsnitligt indhold af byspildevand.

Stof	Højt niveau	Lavt niveau	Enhed
BOD (Bl <sub>5</sub> ) total	350	100	g/m <sup>3</sup>
BOD opløst	140	40	g/m <sup>3</sup>
COD total	740	210	g/m <sup>3</sup>
COD opløst	300	80	g/m <sup>3</sup>
Totalkvælstof	80	20	g N/m <sup>3</sup>
Ammonium-kvælstof	50	12	g N/m <sup>3</sup>
Totalfosfor	23	6	g P/m <sup>3</sup>
Orthofosfat	14	4	g P/m <sup>3</sup>
Suspenderet stof	450	120	g/m <sup>3</sup>
Susp.stof glødetab	320	80	g/m <sup>3</sup>
Bdf. efter 2 timer	10	3	ml/l
Fedt/olie	100	30	g/m <sup>3</sup>
pH	8	7	
Alkalinitet	7	2	ekv/m <sup>3</sup>
Temperatur	20	7	°C
Bly	80	25	mg/m <sup>3</sup>
Kadmium	4	1	mg/m <sup>3</sup>
Kviksølv	3	1	mg/m <sup>3</sup>
Krom	40	10	mg/m <sup>3</sup>
Zeolit	509	10	g/m <sup>3</sup>
Nonylphenoler, NPE	80	10	mg/m <sup>3</sup>
LAS	15000	4000	g/m <sup>3</sup>
Phthalater	500	100	mg/m <sup>3</sup>
PAH	2	0,5	mg/m <sup>3</sup>





## 2.3 Tilsyn og kontrol

Den projekterende har allerede fra starten et vigtigt arbejde med at medvirke til, at bygherren formulerer relevante og tilstrækkelige krav til ledningsanlægget svarende til den planlagte funktion og levetid.

Dette arbejde følges op under projekteringen gennem forslag til produkter og metoder, der svarer til kravene, samt gennem tilstrækkelige beregninger og en kontrolplan, som sikrer en tilstrækkelig kontrol på byggepladsen. Endvidere en tilstrækkelig kvalitetssikring af projekt og udbudsmateriale.

Tilsynet fuldender arbejdet med at sikre, at det udførte ledningsanlæg svarer til projektet, herunder at alle stillede krav er opfyldt. Herved sikres, at det samlede anlægs planlagte funktion og levetid opnås.

Den projekterende og ikke mindst den tilsynsførende skal derfor besidde et grundlæggende kendskab til anlægsteknik og specielt være ajour med produkter samt metoder til udførelse og til kontroller ved ledningsarbejder, jf. videre om installation og kontrolmetoder i det efterfølgende kapitel.

Hertil kommer, at den tilsynsførende skal være ajour med lovgivning og tekniske bestemmelser, normer og standarder inden for anlægs- og specielt ledningsarbejder. Herunder krav til dokumentation af kvalitetssikring og fordelingen af dette ansvar mellem entreprenøren, den projekterende og producenten af rørprodukter.

Installationsfasen starter med en projektgennemgang, hvor entreprenøren grundigt bidrager med

sine erfaringer og afklarende spørgsmål. Formålet er, at alle parter efter denne gennemgang er klar til at gå i gang med det afgørende arbejde i marken, hvilket skal sikre et ledningsanlæg med lang levetid uden væsentlige driftsudgifter til opfølgning af fejl og skader og uden påvirkninger af det omgivende miljø. Installationsfasen afsluttes med en indmåling af anlæggene, kontrol (se afsnit 3.8 om kontrolmetoder i kapitel 3 Installation) og ajourføring af tegninger og databaser.

Tilsynets arbejde kræver derfor et godt samspil og god kommunikation med såvel bygherre som entreprenør. Og det kræver evne til at sikre en fælles forståelse for det fastlagte kvalitetsniveau i den afgørende installationsfase, hvor langt den største del af kræfterne og pengene anvendes ved et ledningsanlæg.

Den tilsynsførende vil ofte også stå for information til og kommunikation med beboere og erhvervsdrivende i området samt indhentning af oplysninger og øvrig kontakt til en række myndigheder.

Såvel teknisk som praktisk og menneskelig kompetence er derfor meget vigtig hos netop den tilsynsførende.

Gennem de senere år har partnering vundet større udbredelse. Det betyder, at entreprenøren allerede i projekteringsfasen inddrages, og dermed har mulighed for at bidrage med sine erfaringer på et tidligere tidspunkt i forløbet.

Figur 2.18: Eksempel på punkter i et tilsynsskema, som efter behov suppleres af tilsynsrapporter med uddybning af tilsynet, aftaler med entreprenøren, økonomi mv.

Bygherre:		Projekt:			
Arbejdsplads:	Sagsnr.:	Dato:	Udført af:		
Kontrolleret for	Ja	Nej	Godkendt	Bemærkninger	Se tilsynsrapport nr.
1. Seneste udgave af tegninger					
2. Materialer/modtagekontrol, herunder kornkurve mv.					
3. Byggepladsen					
4. Jorddepoter, herunder håndtering af forurenede jord.					
5. Ledningsgraven, herunder oplukning af befæstede arealer.					
6. Bund, udjævning, understøtning					
7. Ledningslægning, evt. bagstøbning					
8. Brønde/bygværker					
9. Omkringfyldning, komprimering, herunder eventuel genanvendelse af jord.					
10. Tilfyldning, komprimering					
11. Retablering af befæstede arealer					
12. Retablering af grønne områder					
13. Slutkontroller, herunder fx TV-inspektion, tæthedskontrol og diverse indmålinger.					
14. Entreprenørens kvalitetssikring					
15. Andet:					
16. Andet:					

## 2.4 Kvalitetssikring

Kvalitet hænger nøje sammen med bygherrens forventninger og defineres derfor også oftest som levering af de aftalte ydelser til den aftalte pris og tid, dvs. arbejdet skal være i orden og svare til de krav, der er stillet. For ledningssystemer betyder dette, at når en arbejdsplads forlades, skal systemet fungere fra første dag og blive ved med at fungere.

Kvalitetssikring af ledningssystemer betyder derfor, at der under hele byggeprocessen skal sørges for, at alle dele bliver udført, så dette mål nås. På byggepladsen betyder dette, at det fra første dag skal sikres, at alle dele udføres fagligt korrekt og i øvrigt som beskrevet i projektet og aftalt med bygherren.

Kvalitetsarbejde er ikke kun at følge nogle procedurer og instruktioner. Kvalitet er flere ting, men det meste bunder i at holde aftaler, være en god håndværker, have en ordentlig moral. Dette giver samtidig den største personlige tilfredsstillelse og tilfredshed med jobbet, idet man så lever op til sit ansvar og med god samvittighed kan forlade en byggeplads med nogle gode, solide og brugbare ledningssystemer.

Når der bygges ledningssystemer, drejer kvalitetsarbejdet sig derfor i meget høj grad om arbejdet ude på pladsen, men også om, at der er styr på det nødvendige papirarbejde, som dokumenterer arbejdets udførelse.



Fejl i forbindelse med et byggeri kan ske allerede, når den projekterende udarbejder projektet. Det kan være forkerte oplysninger om byggestedet, uheldige ledningsføringer, forkert dimensionering etc. Og det kan være fejl ved produkterne – rørene, formstykkerne, brøndene etc. Derfor er projektgennemgang og modtagekontrol vigtige dele af kvalitetssikring.

Projektgennemgangen er den udførendes grundige gennemgang af projektet, som grundlag dels for firmaets tilbud og planlægning af opgaven (del af kontraktgennemgangen), dels drøftelser med den projekterende ved et møde forud for opstart.

Her er det en ærlig sag at spørge, hvis der er noget, man er i tvivl om. Ligeledes ligger det i projektgennemgangen, at man fortæller om sine egne erfaringer med både udførelse og de produkter, der skal anvendes. Formålet er, at efter projektgennemgangen er både den udførende og tilsynet klar til at gå i gang med et ledningssystem, som skal blive bedst muligt inden for de givne rammer.

En væsentlig del af kvalitetsarbejdet i lidt større arbejder er en kvalitetssikringsplan for hver enkelt arbejdsplads. Her skal der være en samlet oversigt over alle de dele af arbejdet/aktiviteter, som skal kontrolleres undervejs. Planen kan indeholde detaljerede krav til omfang af kontroller (hvor grundigt der skal kontrolleres), og hvem der skal kontrollere (egenkontrol af den, der udfører kontrol af en anden person i firmaet, eller kontrol af en person uden for firmaet). Med arbejdsbeskrivelsen for projektet kan der følge en kontrolplan, hvor den projekterende har bestemt hvilke dele af projektet, som skal kontrolleres, og hvordan de skal kontrolleres.

Så snart arbejdet går i gang, er det vigtigt med en dokumentfortegnelse for hver enkelt arbejdsplads, således at der er styr på, hvad der er leveret og brugt. Denne fortegnelse anvendes også ved modtagekontrol.

Sammenfattende om kvalitetssikring kan man sige, at **bygherren** skal formulere sine krav til sit byggeri inden for rammerne af gældende love, normer og standarder, herunder krav til kvalitet. Desuden skal bygherren vælge de produkter, der svarer til den ønskede kvalitet, samt forpligte de projekterende

og udførende til at kvalitetssikre deres ydelser. Eventuelle særlige krav til kvalitetssikring skal præciseres.

**Den projekterende** er ansvarlig for, at projekt- og udbudsmaterialet er udformet klart og tydeligt, så den udførende ikke kan være i tvivl om arbejdets indhold og kvalitetskrav, samt hvordan kvaliteten skal dokumenteres. Den projekterende skal foreslå bygherren produkter, der svarer til den ønskede kvalitet. Herunder ovennævnte kontrolplan, som fortæller, hvad der skal kontrolleres på arbejdspladsen, og hvad der accepteres.

Den projekterende skal kvalitetssikre sine egne arbejder svarende til det aftalte, herunder udføre de krævede kontroller og levere den krævede dokumentation.

**Den udførende** er ansvarlig for at få bygget ledningssystemet i overensstemmelse med projektet og med de aftaler, der bliver indgået i forbindelse med projektgennemgangen. I løbet af byggeperioden skal den udførende kvalitetssikre sine arbejder svarende til det aftalte, herunder udføre de krævede kontroller og levere den krævede dokumentation.

Ude på pladsen er det vigtigt, at alle har de nødvendige informationer og kender kvalitetskravene til ledningssystemet, herunder alle tegninger, arbejdsbeskrivelser og kontrolkrav. Er det foreliggende materiale ikke fyldestgørende eller ikke tilstrækkeligt specifikt, må man efterspørge yderligere.

Om kvalitetssikring kan i øvrigt henvises til fx kapitel 13 i *"Håndbog i kloakmesterarbejde"/16/* samt til danske standarder om kvalitetssikring og *"9000 gode råd om indføring af kvalitetsstyring i virksomheder"/17/*.



