

Brug af plastrør til vand- og afløbssystemer

Vejledning nr. 54, 2. udgave
Juli 2006



Brug af plastrør til vand- og afløbssystemer

Udgiver: DANVA
Dansk Vand- og Spildevandsforening
VANDHUSET
Danmarksvej 26 - 8660 Skanderborg
Tlf.: 70 21 00 55 - Fax: 70 21 00 56
E-mail: danva@danva.dk - web: www.danva.dk

Redaktion: I redaktionen af denne vejledning har deltaget:

DANVA:

Morten Haugaard Thomsen, DANVA

DANVA's arbejdsgruppe:

Olav Bennike, Aalborg Kommune (formand)

Vibeke Wulf Bundesen, Aarhus Kommune

Kim Lorentzen, Aarhus Kommune

Birgitte Porsmose, Odense Vandselskab a/s

Eigil Jensen, Odense Vandselskab a/s

Ole Steenbjerg Olesen, Københavns Energi

PLASTBRANCHEN:

Styregruppe:

Erik Guldbæk, Nordisk Wavin A/S (formand)

Bjarne Rix, Uponor A/S

Jan Lunding, KWH Pipe (Danmark) A/S

Arbejdsgrupper:

Uponor: Bjarne Rix,

Nordisk Wavin: Vagn Salling Poulsen,
Tommy G. Sørensen

KWH: Uffe Kullegaard,
Jan Lunding, Anders Theils

Rambøll: Claus Stokvad

NCC: Leif Kristensen

KONSULENTER:

Henning Espersen Consulting

Jan Molin, JM Geoconsult AB

Der tages forbehold for trykfejl og tekniske ændringer.

Grafisk tilrettelæggelse: Ruth Liske, konsulent
Tekst og korrektur: Anette Bøgild, Nordisk Wavin
Opsætning og tryk: Buchs Grafiske, Kertemindevej 15, 8900 Randers

Redaktionen afsluttet: Juli 2006.

Oplag: 3000 eksemplarer.

Copyright: DANVA, Uponor A/S, Nordisk Wavin A/S og
KWH Pipe (Danmark) A/S.
Eftertryk kun med kildeangivelse.

ISBN nr.: 87-90455-59-2

Introduktion

Indholdsfortegnelse
Forord

1. Produkter

- 1.1 Funktionelle krav til ledningssystemer
- 1.2 Generelt om anvendelse af tekniske specifikationer – EU's udbudsregler
- 1.3 Krav til produkter med tilhørende mærkning
- 1.4 Krav til proces- og kvalitetsstyring
- 1.5 Krav til miljø
- 1.6 Krav til producentens brugervejledning
- 1.7 Specifikation af ledningsejerkrav til produkterne
- 1.8 Levetid
- 1.9 Materialeegenskaber
- 1.10 Stivheds- og trykklasser

2. Projektering

- 2.1 Forundersøgelse
- 2.2 Projektering
- 2.3 Tilsyn og kontrol
- 2.4 Kvalitetssikring

3. Installation

- 3.1 Transport af produkter
- 3.2 Ledningsgraven
- 3.3 Ledningslægning
- 3.4 Samlingsmetoder og anvendelse
- 3.5 Omkringfyldning og tilfyldning
- 3.6 Genanvendelse af opgravet materiale
- 3.7 Installation under specielle forhold
- 3.8 Kontrol på byggepladsen

4. Ledningsdrift

- 4.1 Drift og vedligeholdelse af afløbssystemer
- 4.2 Rensning af ledninger
- 4.3 Driftskontrol
- 4.4 Arbejder i nærheden af ledninger
- 4.5 Genanvendelse

5. Diverse

Referencer
Andre publikationer
Noter

Indholdsfortegnelse

Forord.....	3	2.3 Tilsyn og kontrol	67
1. Produkter.....	7	2.4 Kvalitetssikring	68
1.1 Funktionelle krav til ledningssystemer	8	3. Installation	71
1.2 Generelt om anvendelse af tekniske specifikationer – EU's udbudsregler	9	3.1 Transport af produkter	74
1.3 Krav til produkter med tilhørende mærkning	12	3.1.1 Pålæsning	74
1.3.1 CE-mærkning.....	12	3.1.2 Transport og aflæsning	74
1.3.2 EN (Europæisk Standard)	13	3.2 Ledningsgraven	75
1.3.3 NPM (Nordic Poly Mark)	13	3.2.1 Gravbredde	75
1.3.4 VA-godkendelse.....	16	3.2.2 Gravdybde	75
1.3.5 Specielle krav til rør til drikkevandsforsyning	16	3.2.3 Grundforstærkning.....	75
1.4 Krav til proces- og kvalitetsstyring	17	3.2.4 Oplukning af befæstede arealer.....	76
1.5 Krav til miljø	18	3.2.5 Udjævningslag	77
1.6 Krav til producentens brugervejledning	18	3.3 Ledningslægning	78
1.7 Specifikation af ledningsejerkrav til produkterne.....	19	3.3.1 Lægningsnøjagtighed	78
1.8 Levetid	21	3.4 Samlingsmetoder og anvendelse	79
1.8.1 Teorier om plastprodukters levetid	21	3.4.1 Samling af plastrør med andre materialer.....	80
1.8.2 Accelereret ældning.....	22	3.4.2 Plastbrønde i områder med grundvand	80
1.8.3 Levetid – trykrørssystemer	23	3.5 Omkringfyldning og tilfyldning	81
1.8.4 Levetid – afløbssystemer	23	3.5.1 Jordbundsforhold og omkringfyldningsmateriale	81
1.9 Materialeegenskaber	24	3.5.2 Komprimering af omkringfyldning og tilfyldning	82
1.9.1 Begreber og teori	24	3.6 Genanvendelse af opgravet materiale	85
1.9.2 PE	25	3.7 Installation under specielle forhold	86
1.9.3 PVC-U.....	26	3.7.1 Dyb smal udgravning.....	86
1.9.4 PP	26	3.7.2 Grundvand i og omkring ledningsgraven.....	86
1.10 Stivheds- og trykklasser	28	3.8 Kontrol på byggepladsen	87
1.10.1 PE	29	3.8.1 Modtagekontrol	87
1.10.2 PVC-U.....	29	3.8.2 Håndtering	89
1.10.3 Reduktion af tilladeligt tryk ved temperaturer over 20°C	30	3.8.3 Lagring.....	89
2. Projektering.....	31	3.8.4 Slutkontrol.....	90
2.1 Forundersøgelse	34	3.8.5 Kontrolmetoder under og efter installation	90
2.2 Projektering	35	3.8.6 Deformationsmålinger.....	90
2.2.1 Hydrauliske beregninger.....	36	3.8.7 Komprimeringskontrol	91
Kapacitet	36	3.8.8 Faldmåling	91
Ruheder	36	3.8.9 TV-inspektion	92
Enkelttab	37	Punktdeformationer	93
Trykstød	38	Åbne samlinger	93
Selvrensning	38	3.8.10 Tæthedsprøvning.....	94
Kritisk vandføring.....	39	Gravitationsledninger.....	94
Minimumsfald	40	Trykledninger.....	95
2.2.2 Statiske beregninger	41	4. Ledningsdrift	97
Lægningsforhold UDEN styrke- og deformationsberegning	42	4.1 Drift og vedligeholdelse af afløbssystemer.....	100
Styrke- og deformationsberegning af plastrør i jord.....	44	4.2 Rensning af ledninger.....	101
Almene beregningsprincipper.....	44	4.2.1 Aflejringer i afløbsledninger	101
Partialkoefficientmetoden.....	45	4.2.2 Fedtaflejringer	101
Belastninger.....	45	4.2.3 Rensemeter	102
Materialeegenskaber	45	4.3 Driftskontrol	103
Jordlast	46	4.4 Arbejder i nærheden af ledninger.....	103
Trafiklast fra veje.....	47	4.4.1 Gravearbejde, som fritlægger en ledning	103
Trafiklast fra jernbanespor	49	4.4.2 Ophængning af ledning	104
Fladelast	50	4.4.3 Tilslutning til eksisterende hovedledning	104
Deformation	51	4.4.4 Tilsyn ved retableringer.....	104
Buckling.....	56	4.5 Genanvendelse.....	105
2.2.3 Forankring.....	58	5. Diverse	107
2.2.4 Opdrift.....	61	Referencer	109
Sikring mod opdrift	63	Andre publikationer.....	111
2.2.5 Tæthed.....	65	Noter	113
2.2.6 TV-inspektion	65		
2.2.7 Tilladelige trækkræfter og bøjningsradier	65		
2.2.8 Resistens	65		
Kemiske påvirkninger	65		
Termiske påvirkninger.....	65		





Forord

Dette er 2. udgave af DANVA-vejledning nr. 54 „Brug af plastrør til vand- og afløbssystemer“. Baggrunden for udgivelsen er følgende:

Ved indgangen til 2006 ophørte VA-mærkningen for afløbsanlæg. Den 30 år gamle, hæderkronede godkendelsesordning erstattes af den fælleseuropæiske CE-mærkning. CE-mærkning udstikker retningslinier for mærkning af en række produkter, før de kan markedsføres, sælges og anvendes inden for EU-landene og det europæiske økonomiske fællesskab. CE-mærkningen er dog ikke og har aldrig været tænkt som et kvalitetsmærke og giver ikke i sig selv nogen dokumentation for produkters kvalitet. For eksempel skal der ikke dokumenteres funktionsevne og kvalitet. CE-mærkningen er således langt fra en garanti for at bibeholde den kvalitet af vand- og afløbsprodukter, som er bygget op igennem 30 år med VA-mærkningen.

Som noget nyt skal ledningsejeren påtage sig ansvaret for vurdering af produkternes egnethed og kvalitet. Producenten er for så vidt kun ansvarlig i forhold til de få punkter, der er omfattet af deklARATIONEN i forbindelse med CE-mærkningen. Ledningsejeren skal derfor opstille de nødvendige kvalitetskrav til de produkter, som lægges i jorden, samt kontrollere, at kravene er opfyldt.

En hjælp til dette er den nye fællesnordiske INSTA-CERT-certificering. Produkter certificeret efter denne ordning er mærket ”Nordic Poly Mark” og er kvalitetsmæssigt på niveau med de „gamle“ VA- og DS-mærkede produkter. Det er dog ikke tilladt i et udbudsmateriale at kræve et specifikt produkt eller mærkning eller at

*DANVA, Vandhuset,
Skanderborg.*



kræve, at producenten er medlem af den ene eller den anden kontrolordning. I stedet skal bygherren redegøre for produkternes ønskede kvalitet.

Denne vejledning og „Standardudbudsmateriale for ledningsnet“ (se: www.danva.dk/plastroer) hjælper bygherren og øvrige involverede parter med at vælge produkter af den rette kvalitet.

Samtidig er der fortsat store investeringer i såvel nyanlæg som fornyelser af hele infrastrukturens meget omfattende ledningsanlæg. Investeringer, hvor bygherrer stiller krav om sikker funktion, lang levetid og miljørigtige forhold – faktorer, som alle bidrager til en høj kvalitet. En forudsætning for at kunne opfylde kravene er, at alle involverede parter bidrager konstruktivt i forbindelse med etablering af fremtidens ledningssystemer. Et sådant samarbejde må bygge på en fælles opfattelse af kvalitet i alle faser:

- 1. Produkter**
- 2. Projektering**
- 3. Installation**
- 4. Ledningsdrift**

Denne vejledning henvender sig til alle, som anvender plastledninger til specielt hovedledninger for vandforsyning og afløb i jord, idet en stor del af anbefalingerne dog også kan anvendes ved andre typer plastledninger.

Vejledningen bidrager inden for vandforsyning og afløb med specifikke erfaringer, men er ikke tænkt som en lærebog, specielt ikke hvad angår generel projektering, drift og vedligeholdelse. Her henvises der til relevant faglitteratur.

Da vejledningen er blevet til i et samarbejde med rørproducenterne KWH-Pipe (Danmark) A/S, Nordisk Wavin A/S og Uponor A/S, omhandler den materialerne PVC-U, PE og PP.

Revisionen af førsteudgaven er sket på baggrund af værdifulde kommentarer og synspunkter fra en bredt sammensat gruppe af aktive brugere. Det er hensigten at fortsætte dette samarbejde ved kommende udgaver. For at gøre vejledningen til et aktivt og brugbart værktøj er det planen løbende at revidere vejledningen. I denne forbindelse er det vigtigt, at bygherrer, rådgivere, entreprenører og andre brugere aktivt vil medvirke i denne proces. Derfor opfordres alle hermed til at sende kommentarer og forslag til forbedringer til DANVA's sekretariat:

DANVA

Dansk Vand- og Spildevandsforening
Danmarksvej 26
8660 Skanderborg
E-mail: danva@danva.dk
Mærkes: Vejledning nr. 54, 3. udgave

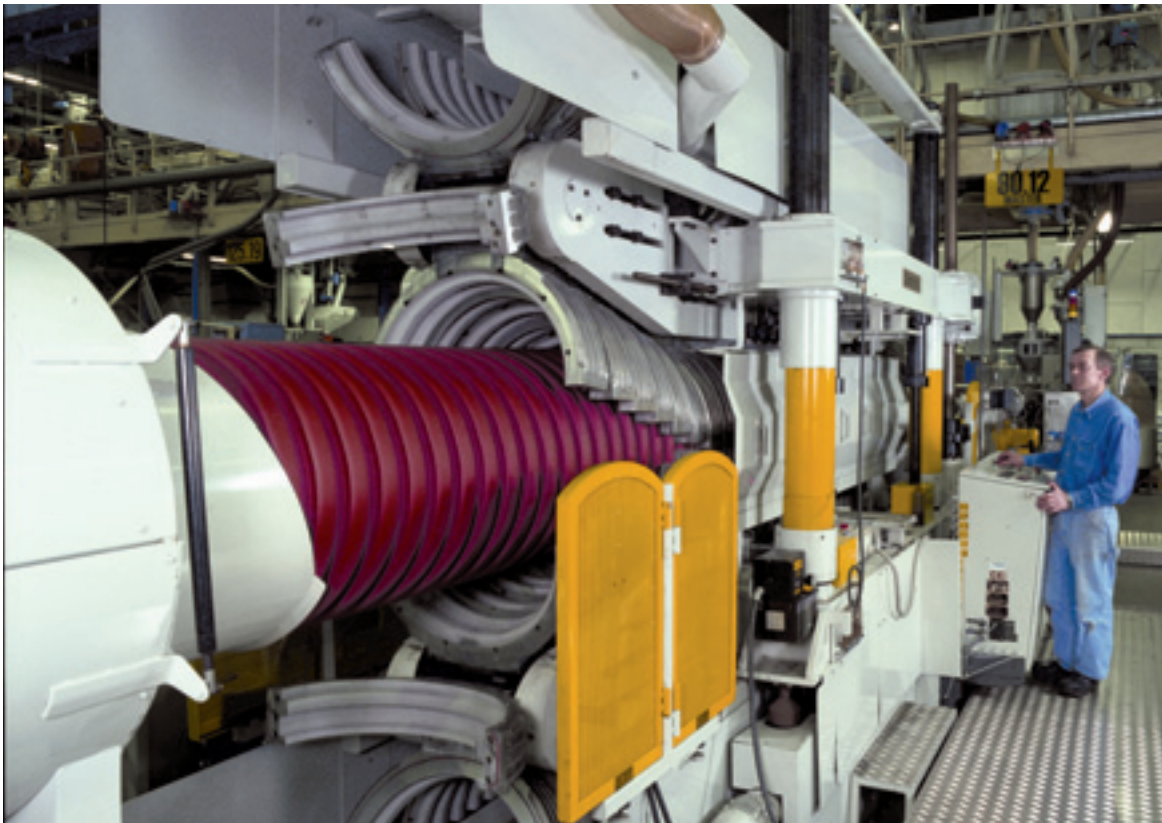


1. Produkter

- 1.1 Funktionelle krav til ledningssystemer
- 1.2 Generelt om anvendelse af tekniske specifikationer - EU's udbudsregler
- 1.3 Krav til produkter med tilhørende mærkning
- 1.4 Krav til proces- og kvalitetsstyring
- 1.5 Krav til miljø
- 1.6 Krav til brugervejledninger fra producenten
- 1.7 Specifikation af ledningsejerkrav til produkterne
- 1.8 Levetid
- 1.9 Materialeegenskaber
- 1.10 Stivheds- og trykklasser







1. Produkter

Et ledningssystems levetid afhænger af en lang række forhold – lige fra materialer og installation til de forskellige påvirkninger af ledningssystemet i hele driftsperioden. Først er der valg af materiale til rør, formstykker, brønde mv. og kvaliteten af de valgte materialer. Derefter skal der fokuseres på kvalitets- og produktionskontrol af de enkelte produkter efterfulgt af tilsvarende kontrol i forbindelse med projekteringen og installationen.

I den lange driftsperiode er de afgørende faktorer: det omgivende miljø, transportatet, de mange forskellige påvirkninger fra jorden, trafikken, grundvandet og eventuelt indvendigt tryk samt påvirkninger af kemisk og termisk art etc.

Ved ledningsarbejder i nærheden af eksisterende anlagte ledninger skal der tages særlige hensyn til disse, så installationen ikke forringes.

Produkter, der er DS eller INSTA-CERT-certificeret (mærket med Nordic Poly Mark (NPM)), opfylder materialekraav og produktionskvalitet, der giver sikkerhed for lang levetid.



I dette kapitel gennemgås de krav, som skal opfyldes, når en producent arbejder efter de nationalt og internationalt anerkendte standarder og regler for produktion af rør, formstykker, brønde mv. for at opnå en høj kvalitet og lang levetid. Desuden gennemgås de forskellige former for mærkning af plastprodukter, ligesom der gives en række tekniske data om de aktuelle produkter.



I de følgende afsnit anvendes en række forkortelser for forskellige standarder, godkendelser mv.:

CE:	Den europæiske kommissions mærke for overensstemmelse med de såkaldte essentielle krav; jf. Byggeveddirektivet.
DANAK:	Dansk akkrediteringsorgan.
DIN:	Tysk standard (Deutsche Industrie Norm).
DIS:	Forslag til international standard (Draft International Standard).
DS:	Dansk Standard, samt deres kvalitetsmærke.
DS/EN:	Europæisk standard udgivet i Danmark (Europa Norm).
ETA:	European Technical Approval.
INSTA-CERT:	Fællesnordisk certificeringsorgan bestående af DS, NEMKO, SFS og SP.
ISO:	International Standard (International Organization for Standardization).
MRS:	Minimum required strength.
NCS:	NEMKO Certification System, det tidligere Norsk Standard.
NEMKO:	NEMKO Certification System, det tidligere Norsk Standard, (NCS).
NKB	Den nordiske komité for bygningsbestemmelser.
NPM	Nordic Poly Mark: kvalitetsmærke for INSTA-CERT-certificerede produkter.
PE:	Polyethylen.
PP:	Polypropylen.
PVC-U:	Uplastificeret poly vinylchlorid, (ikke tilsat blødgørere).
SBC:	Særlige Bestemmelser for Certificering i Danmark.
SDR:	Standard Dimension Ratio, forholdet mellem udvendig diameter og godstykkelse.
SFS:	Finsk certificeringsorgan.
SP	Svensk certificeringsorgan.
VA:	Godkendelses-/kvalitetsmærke fra ETA-Danmark (tidligere Boligministeriets godkendelsessekretariat for Vand- og Afløbsmateriel).

1.1 Funktionelle krav til ledningssystemer

Da anlægsomkostningerne i dag er meget høje, kalkulerer de fleste ledningsejere i dag med, at deres anlæg skal have en meget lang levetid. For plastrørssystemer er det typisk en levetid på mindst 100 år. Omkostningerne til rør og formstykker udgør kun en lille del af de samlede omkostninger. Derfor er det totaløkonomisk en fordel at vælge rør og formstykker af høj kvalitet.

Med indførelse af EU's Indre Marked har ledningsejeren ikke længere mulighed for at kræve, at de produkter, der installeres, er omfattet af en godkendelses- eller certificeringsordning og den dermed følgende sikkerhed for et minimum kvalitetsniveau.

Dette betyder, at ledningsejeren nu i detaljer skal specificere og kontrollere, hvilke krav der skal stilles til produkterne.

Det er mere vigtigt end nogensinde at kende de tekniske specifikationer på de rør- og formstykke-

materialer, man anvender, da EU's CE-mærkning erstatter de gamle certificerings- og godkendelsesordninger (DS/VA). CE-mærkningen er IKKE en kvalitetsmærkning.

Der er i dag en række EN-standarder, som dækker de forskellige plastrørssystemer på markedet. Plastrørsproducenter kan vælge at følge disse EN-standarder, der er nærmere beskrevet i afsnit 1.3.2.

EN-standarderne er et resultat af forhandlinger mellem repræsentanter for de europæiske lande. Kravene i disse standarder er ikke alle på højde med de gamle VA/DS-standarder, hvor specielle danske forhold er taget i betragtning.

Hvis der ønskes en høj grad af sikkerhed for problemfri installation og lang levetid, er der behov for at stille yderligere tekniske krav til rørsystemerne. De nordiske certificeringsorganer har i samarbejde med brugerorganisationer, prøvningsorganer og



producenter udarbejdet Nordic Poly Mark (NPM). Denne mærkning er en frivillig certificeringsordning, som sikrer rør på samme kvalitetsniveau som de tidligere DS/VA-godkendte systemer.

I henhold til EU-udbudsdirektivet må bygherren ikke kræve, at rør og formstykker skal være omfattet af en certificeringsordning. Bygherren kan derimod opstille tekniske specifikationer for rørsystemets komponenter. Se nærmere herom i det følgende afsnit 1.2.

1.2 Generelt om anvendelse af tekniske specifikationer – EU's udbudsregler

Det er som nævnt i afsnit 1.1 fremover ledningsejers ansvar at opstille de tekniske specifikationer til de materialer, han ønsker anvendt. Dette afsnit indeholder en overordnet beskrivelse af udbudsreglerne inden for EU. På DANVA's hjemmeside www.danva.dk/plastroer findes et eksempel på et udbudsparadigma baseret på de gældende regler inden for EU.

En opgave, der efterspørges i forbindelse med et udbud, skal beskrives dækkende i udbudsmaterialet.

Hvis en ordregiver undlader at give dækkende oplysning om den udbudte opgave, tilsidesætter ordregiveren således de krav om en tilstrækkelig og fuldstændig beskrivelse af det udbudte, som må anses for indeholdt i EU's udbudsregler.

Udbudsdirektivet forudsætter i den forbindelse, at beskrivelsen af den ønskede anskaffelse foregår ved, at ordregiver i udbudsmaterialet opstiller en række tekniske specifikationer til anskaffelsen.

I henhold til definitionen i bilag VI til udbudsdirektivet (se Konkurrencestyrelsens hjemmeside: www.ks.dk) fastlægger de tekniske specifikationer de krævede egenskaber ved bygge- og anlægsarbejdsproduktet eller -tjenesteydelsen gennem en objektiv beskrivelse af anskaffelsen.

Disse egenskaber kan ifølge udbudsdirektivets bilag VI bl.a. omfatte:

- kvalitetsniveau
- funktionsdygtighed
- brugeregenskaber
- sikkerhed
- dimensioner
- kvalitetssikring
- afprøvning og afprøvningsmetoder
- produktionsprocesser og -metoder

Det centrale i udbudsdirektivets definition af en teknisk specifikation er således, at anskaffelsen specificeres ved hjælp af objektive og kvalificerbare kriterier.

De nærmere regler om tekniske specifikationer findes i udbudsdirektivets artikel 23. Artikel 23 fastlægger således ordregivers muligheder for at beskrive kontraktens genstand, herunder kravene til de materialer mv., som anvendes.



Ifølge udbudsdirektivets artikel 23, stk. 3, skal en ordregiver definere de krævede egenskaber ved kontrakten med henvisning til en af følgende beskrevne metoder:

1.1 Standarder mv.

En standard er i henhold til udbudsdirektivets bilag VI en teknisk specifikation, som er godkendt af et anerkendt standardiseringsorgan til gentagen og konstant anvendelse, men hvis overholdelse normalt ikke er obligatorisk.

Hvis en ordregiver angiver de tekniske specifikationer ved hjælp af en henvisning til standarder, skal han henvise til den standard, der i henhold til artikel 23, stk. 3, litra a, har den højeste prioritet.

Prioriteringen af standarder er følgende:

- nationale standarder til gennemførelse af europæiske standarder
- europæiske tekniske godkendelser
- fælles tekniske specifikationer
- internationale standarder
- andre tekniske referencer udarbejdet af europæiske standardiseringsorganer
- nationale standarder
- nationale tekniske godkendelser
- nationale tekniske specifikationer for projektering, beregning og udførelse af arbejder og anvendelse af produkter

Definition af de enkelte typer af standarder fremgår ligeledes af bilag VI til udbudsdirektivet.

Henvisning til en standard skal efter udbudsdirektivets artikel 23, stk. 3, litra a efterfølges af udtrykket „eller tilsvarende“.

1.2. Angivelse af funktionsdygtighed og funktionelle krav

Hvis en ordregiver beskriver en anskaffelse med henvisning til krav til funktionsdygtighed og funktionelle krav i øvrigt, skal denne beskrivelse være så præcis, at tilbudsgiveren kan identificere kontraktens genstand, og den ordregivende myndighed kan tildele kontrakten.

1.3. Kombination – henvisning til standarder mv. og angivelse af funktionsdygtighed og/eller funktionelle krav

Hvor en standard ikke dækkende beskriver de krav, som ordregiver har fastlagt for opgaven (produktet), kan ordregiveren således ved angivelse af krav til funktionsdygtighed eller de funktionelle krav i øvrigt foretage den yderligere specificering af standarden, som er nødvendig for at kunne beskrive opgaven dækkende i forhold til ordregivers behov.

Uanset om ordregiver vælger at definere de tekniske specifikationer ved hjælp af standarder, eller ved angivelse af funktionsdygtighed eller funktionelle krav, kan ordregiveren, jf. udbudsdirektivets artikel 23, stk. 4 og 5, ikke afvise en tilbudsgivers tilbud med den begrundelse, at de tilbudte varer eller ydelser ikke er i overensstemmelse med specifikationerne, såfremt tilbudsgiveren på passende måde beviser, at hans løsning opfylder ordregivers krav.

En „passende måde“ kan i henhold til udbudsdirektivets artikel 23 være teknisk dokumentation fra producenten eller en prøvningsrapport fra et anerkendt organ. Som anerkendte organer nævner udbudsdirektivets artikel 23, stk. 7, i den forbindelse prøvningslaboratorier, kalibreringslaboratorier og inspektions- og certificeringsorganer, som opfylder gældende europæiske standarder. Teknologisk Institut vil således eksempelvis være et anerkendt organ.



Det er ikke længere muligt at forlange, at produkterne skal være dækket af en certificeringsordning. Derfor anbefaler DANVA, at ledningsejere som minimum stiller krav svarende til den tidligere rørkvalitet (VA/NKB-godkendte).

Et eksempel på tekniske krav i udbud svarende til den tidligere VA- og den nuværende Nordic Poly Mark-ordning kan ses på DANVA's hjemmeside: www.danva.dk/plastroer.

Produkt- og systemkrav for PE, PP og PVC-U rør og formstykker kan findes på DANVA's hjemmeside: www.danva.dk/plastroer.



1.3 Krav til produkter med tilhørende mærkning

Der eksisterer flere forskellige mærkningsordninger for forskellige produkter. Fælles for dem er, at deres værdi for ledningsejeren i høj grad afhænger af, hvilke tekniske og kvalitetsmæssige krav der ligger bag dem.

I det følgende redegøres for de mærkninger, der er relevante for plastprodukter til afløbs- og vandforsyningsystemer i Danmark.

1.3.1 CE-mærkning

Ifølge EU-lovgivningen bliver CE-mærkning obligatorisk for alle byggevarer, herunder rør, formstykker, brønde og andet tilbehør til ledninger. De første CE-mærkede produkter forventes at være på markedet i løbet af 2006.

CE-mærket har aldrig været tænkt som et kvalitetsmærke, og det giver heller ikke i sig selv nogen dokumentation for produktets kvalitet. Der dokumenteres fx ikke funktionsevne eller holdbarhed.

Derfor indebærer CE-mærkningen en ny form for dokumentation af produkters egenskaber og kontrollen med disse egenskaber, hvilket betyder en ny ansvarsfordeling mellem producent og ledningsejer i forhold til de tidligere kendte godkendelses- og certificeringsordninger.

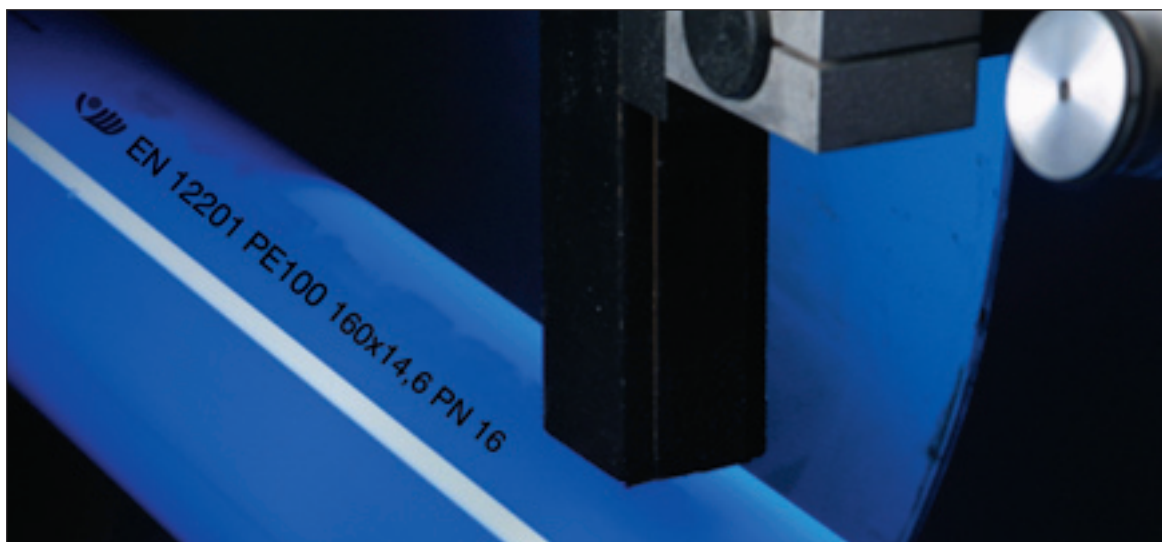
CE-mærket skal kun fortælle, at produktet lever op til nogle begrænsede bestemmelser i den harmoni-

serede Europæiske Standard (hEN) eller den Europæiske Tekniske godkendelsesordning (ETA). Bestemmelserne er beskrevet i EU-kommissionens byggevaredirektiv, der indeholder seks væsentlige krav, hvoraf de tre er relevante for ledningssystemer:

1. Mekanisk modstandsdygtighed og stabilitet (modstand mod indvendigt vandtryk og udvendigt jordtryk).
2. Brandsikring (kun relevant for installationer i bygninger).
3. Hygiejne, sundhed og miljø (tæthed mod udsivning, drikkevandskvalitet).

Kravene udgør kun en meget lille del af de mange krav, der som en selvfølge stilles til produkter til ledningssystemer i Danmark.

CE-reglerne er formuleret ud fra krav om, at de ikke må være på et niveau, hvor de udelukker produkter, som er lovlige at anvende i bare ét EU-land.



I bestemmelserne for CE-mærkning specificeres de metoder, der skal bruges i forbindelse med prøvning eller beregning af de forskellige egenskaber. Der må ikke stilles minimumskrav til disse egenskaber.

Ved CE-mærkningen deklarerer producenten selv disse ganske få egenskaber på sine produkter. Det er tilladt at deklarerer med betegnelsen "ikke prøvet".

Ledningsejeren har derfor ingen sikkerhed for, at produkterne er afprøvet og fundet i orden. Ledningsejeren ved ikke, hvad der købes, med mindre alle deklARATIONER rekvireres fra producenten og nøje gennemgås.

Forskellige rørproducenter kan have vidt forskellige deklARATIONER, som kan være vanskelige at sammenligne. Selv to helt enslydende deklARATIONER betyder ikke nødvendigvis, at produktkvaliteten er den samme, idet de parametre, som ikke er omfattet af CE-mærkningen, kan være forskellige. Af tabel 1.1, ses, at dette kan være ganske mange parametre.

Ledningsejeren påtager sig et nyt ansvar, idet han nu selv skal vurdere produkternes egnethed og kvalitet. Producenten er kun ansvarlig i henhold til de få punkter, der er omfattet af deklARATIONEN i forbindelse med CE-mærket.

Det er derfor vigtigt, at ledningsejeren selv opstiller de nødvendige kvalitetskrav til produktet både med hensyn til de deklarerede egenskaber og relevante krav til øvrige egenskaber. Desuden skal ledningsejeren selv være i stand til at kontrollere, om kravene er opfyldt - herunder kontrollere, at de leverede produkter i praksis lever op til de aftalte krav.

Tabel 1.1 viser de store forskelle, der er mellem CE-mærkning med tilhørende deklARATION og kravene i Nordic Poly Mark-ordningen.

1.3.2 EN (Europæisk Standard)

Der findes ingen mærkningsordning i forbindelse med EN (Europæisk Standard). Alle europæiske standarder (EN'er) bliver udgivet som nationale standarder (DS/EN, DIN/EN osv. med et fælles efterfølgende nummer).

Det er derefter op til de enkelte nationale organisationer for standardisering, om de vil etablere certificeringsordninger og dermed udarbejde særlige bestemmelser for certificering (SBC'er) for de enkelte produktområder.

Indholdet i en DS/EN, DIN/EN osv. med samme nummer er det samme. Imidlertid vil de enkelte landes nationale certificeringsregler sikkert i lang tid fremover være forskellige.

Selvom standarderne er ens, betyder det, at et rør certificeret efter fx DIN/EN 1401 ikke nødvendigvis opfylder samme kvalitetskrav som et rør, der er certificeret efter DS/EN 1401. For at sammenligne kravene er det nødvendigt at sammenligne de pågældende nationale certificeringsregler.

Produkter mærket med XX/EN xxx dækker ikke nødvendigvis alle de krav og det kvalitetssikringsniveau, der hidtil har været omfattet af DS-mærkning, hvor der er taget højde for specielle danske forhold, fx: Miljøstyrelsens drikkevandsgodkendelse.

1.3.3 NPM (Nordic Poly Mark)

Fra byggeriets parter er der klare meldinger om, at man ønsker at bevare en produktsikkerhed og kvalitet, der ligger på niveau med den, der tidligere var krævet i forbindelse med DS/VA-godkendelserne.

Derfor er der nu etableret en fællesnordisk certificeringsordning, som administreres af INSTA-CERT. Det tilhørende mærke er Nordic Poly Mark, se nærmere på www.nordic-poly-mark.com



Da CE-mærket bliver obligatorisk, vil rørene typisk blive både CE-mærket og NPM-mærket.

Produkter til drikkevandsforsyning mærkes desuden med DS-mærke som dokumentation for, at Miljøstyrelsens accept til drikkevandsforsyning er opnået. Yderligere om DS-mærke for godkendelse til drikkevand, se afsnit 1.3.5.

INSTA-CERT-ordningen er en certificering, der ved hjælp af kvalitetsmærkning med NPM sikrer led-



ningsejerne, at produkter er produceret, kontrolleret og leveret i henhold til de gældende krav. Kravene er fastlagt i standarder og særlige betingelser for certificering (INSTA SBC'er).

Certificeringssystemet er baseret på typeprøvning i forbindelse med godkendelse af produktet samt fortløbende intern og ekstern inspektions- og kvalitetskontrol. Typeprøvning samt ekstern kontrol udføres af en tredjepart, som er anerkendt af certificeringsorganet.

En tredjepartskontrol omfatter inspektion af producentens kvalitetssystem, laboratoriefaciliteter og personaleuddannelse m.m., se afsnit 1.4, samt egentlig prøvning af produkterne (den interne kontrol).

Alle tredjepartskontrollanter skal være godkendt af INSTA-CERT. Inden for plastrørsområdet skal kontrollanterne desuden være akkrediteret til prøvning og inspektion af DANAK eller de tilsvarende organer i Norge, Sverige eller Finland.



Arbejdsgruppen består af repræsentanter for producenter, prøvningsinstitutter og ledningsejere. De vurderer hvilke tillægskrav og skærpede krav, der er nødvendige at stille til en standard for at komme op på det kendte nordiske kravniveau. Desuden vurderes hvilke prøvningsfrekvenser, der er nødvendige, for at ledningsejeren kan have tillid til, at de produkter, der bærer mærket, reelt lever op til de stillede krav. På den baggrund udarbejder gruppen et forslag til SBC for den pågældende standard.

Certificeringsudvalget består af repræsentanter for certificeringsorganerne, ledningsejerne, prøvningsinstitutterne og producenterne. De vurderer og endelig godkender SBC-forslagene fra arbejdsgruppen.

Certificeringsorganet består af DS's, NEMKO's, SP's og SFS's certificeringsafdelinger. De administrerer ordningen, gennemgår typeprøvningsrapporter, udsteder certifikater og følger op på den eksterne kontrol.

Efterfølgende viser tabel 1.1 en sammenligning af krav indeholdt i de forskellige omtalte ordninger, sammenlignet med de traditionelle nordiske krav.

En opdateret liste over gældende standarder og SBC'er kan findes på INSTA-CERT's hjemmeside, www.insta-cert.com.



Sammenligning af krav indeholdt i de forskellige ordninger

++	indeholdt på nuværende niveau
+	indeholdt, men på lavere end nuværende niveau
-	ikke indeholdt
ej rel	ikke relevant for applikationen
dekl	fabrikant deklareret værdi kræves

- [1] Fabrikanten bestemmer selv omfanget af den interne kontrol.
- [2] Reaktion over for ild kan blive underkastet tredjeparts kontrol afhængigt af klassificering.
- [3] Vandkvalitet vil formentlig blive omfattet af tredjeparts typeprøvning og kontrol.
- [4] Toksiske krav i forbindelse med CE-mærkning er stadig under diskussion, så niveauet i forhold til de eksisterende krav i DK og FIN kendes ikke.

Tabel 1.1: Sammenligning af krav indeholdt i de forskellige ordninger.

Beskrivelse/egenskaber	Tidligere ordning		CE-mærkning		INSTA-CERT Nordic Poly Mark	
	Afløb	Tryk	Afløb	Tryk	Afløb	Tryk
Produktcertificering:						
Typeprøvning tredjepart	++	++	-	-	++	++
Intern kontrol	++	++	+ [1]	+ [1]	++	++
Ekstern kontrol tredjepart	++	++	- [2]	- [3]	++	++
Materialer:						
Densitet, PE/PP/PVC-U	++	++	-	-	++	++
Smelteindeks, PE/PP	++	++	-	-	++	++
Termisk stabilitet, PP/PE	++	++	-	-	++	++
K-værdi, PVC-U	++	++	-	-	++	++
Blødgøringstemperatur, PVC-U	++	++	-	-	+	++
Langtidstrykstyrke	Ej rel	++	Ej rel	+ dekl	Ej rel	++
Produkt:						
Dimensioner	++	++	dekl	dekl	++	++
Udseende	++	++	-	-	++	++
Mærkning	++	++	-	-	++	++
Overfladebeskaffenhed	++	++	-	-	++	++
Dimensionsstabilitet	++	++	-	-	++	++
Termisk stabilitet	++	++	-	-	++	++
Slagprøvning	++	++	-	-	++	++
Stivhed	++	Ej rel	dekl	-	++	Ej rel
Trykprøve	++	++	-	+	++	++
Methylenklorid, PVC-U	++	++	-	-	++	++
Vejrbestandighed	Ej rel	++	-	-	Ej rel	++
Systemet:						
Samlingers tæthed	++	++	+ dekl	dekl	++	++
Modstand mod kombineret jordbelastning og høj temperatur (BLT) (rør i jord)	++	Ej rel	-	Ej rel	++	Ej rel
Cyklustest ved forhøjet temperatur (rør i bygning)	++	Ej rel	++	Ej rel	++	Ej rel
Toksiske krav	Ej rel	++	Ej rel	[4]	Ej rel	++



1.3.4 VA-godkendelse

VA-mærkningsordningen fungerer efter samme principper som INSTA-CERT-ordningen med hensyn til standarder, kvalitetssikring og tredjepartskontrol.

Ordningen med VA-mærkning bortfalder, efterhånden som CE-mærkningen bliver indført. Samtidig bortfalder den uafhængige tredjepartskontrol. Ordningen har tidligere udelukkende været baseret på fælles nordiske godkendelsesregler, NKB-regler, men er nu ofte baseret på EN-standarder. Det betyder, at produkter, der er VA-mærkede, ikke nødvendigvis opfylder de samme krav som tidligere, selv om mærket er det samme.

1.3.5 Specielle krav til rør til drikkevandsforsyning

Ikke alle materialer, herunder plastmaterialer, er lige egnede til anvendelse i forbindelse med drikkevandsforsyningsledninger.

Der kan forekomme afsmitning af forskellige stoffer fra rørmaterialet til drikkevandet. Disse stoffer kan påvirke drikkevandets hygiejniske og sundhedsmæssige kvalitet.

Miljøstyrelsen har en ordning for undersøgelse og accept af plastmaterialers egnethed til transport af drikkevand.

For at sikre, at man får egnede komponenter til drikkevandsforsyning, skal man vælge en leverandør, der kan dokumentere, at der foreligger en sådan accept.

De tidligere DS-certificeringsordninger for plastrør til drikkevand indeholder krav om, at rørmaterialet skal være accepteret uden anmærkninger af Miljøstyrelsen.

Dette krav videreføres i forbindelse med NPM og INSTA-CERT-certificeringsordningen, så det kendte DS-logo sammen med NPM dokumenterer Miljøstyrelsens godkendelse til transport af drikkevand.



1.4 Krav til proces- og kvalitetsstyring

Ud over de tekniske krav i produktstandarderne er der en række væsentlige forudsætninger, der løbende skal opfyldes for at producere og levere

optimale ensartede produkter. Disse indgår som en del af typeprøvningen og tredjepartskontrollen og omfatter:

Ressourcer

- **Kvalitetshåndbog**, som opfylder kravene i henhold til ISO 9001 vedrørende dokumentstyring, og som indeholder firmaets kvalitetspolitik, -målsætning og -system.
- **Organisation**. Der skal foreligge organisationsplan, der beskriver ansvarsfordeling og sikrer, at de nødvendige ressourcer til produktion og prøvning er til stede.
- **Uddannelse og træning af personale**, der sikrer, at personalet har kendskab til rutiner for kvalitets-sikringen og behersker brugen af det nødvendige produktions-, måle- og/eller prøvningsudstyr.

Materialer

- **Indkøbsrutiner**, der sikrer, at der kun købes godkendte råvarer og øvrigt tilbehør.
- **Modtagekontrol**, der sikrer, at de modtagne varer opfylder aftalte krav.
- **Lagring** af materialer og øvrigt tilbehør skal ske under styrede forhold, der sikrer, at varerne ikke skades under opbevaring, samt at eventuelle varer behæftet med fejl ikke anvendes i produktionen.
- **Materialekontrol**, der sikrer, at kun de materialer, der er godkendt til produktion af det pågældende produkt, anvendes.

Udstyr

- **Vedligehold af produktionsudstyr** efter rutiner, som sikrer, at udstyret er af en beskaffenhed, som muliggør en kontinuerlig produktion af ensartede produkter.
- **Kontroludstyr/kalibrering**. Der skal forefindes rutiner, som beskriver vedligeholdelse og kalibrering af kontrol- og måleudstyr, således at den nødvendige nøjagtighed på målinger og prøvningsparametre er til stede. For kalibrering skal der være sporbarhed til akkrediteret kalibreret måle- og kontroludstyr.

Produktionsproces

- **Identifikation/mærkning**, der entydigt identificerer råvarer, halvfabrikata og slutprodukter igennem processen og sikrer sporbarhed til dokumentation af egenkontrol og modtagekontrol.
- **Udtagning af prøveemner**. Der skal forefindes rutiner for, hvorledes prøveemner til intern kontrol i henhold til standardens og SBC'ens krav udtages.
- **Kontrol under produktion** skal foretages med minimumsfrekvenser, der sikrer, at de producerede emner opfylder gældende standarder og SBC'er.
- **Slutkontrol**, der sikrer, at samtlige krævede prøver er gennemført og bestået før frigivelse til lager.
- **Dokumentation/journalføring** for egenkontrollen, der sikrer sporbarhed fra produkt til prøvningsresultater, råvarecertifikater, receptur, produktionslinie og produktionsdato.

Produkter

- **Håndtering/lagring/pakning/levering af slutprodukter**. Der skal foreligge rutiner og specifikationer, der sikrer, at produkterne ikke skades eller forveksles med andre produkter.
- **Afvigelsesbehandling og korrigerende tiltag**. Der skal foreligge rutiner, som sikrer, at afvigende produkter ikke kommer på markedet, samt vurderer, om korrigerende tiltag er nødvendige.
- **Opdateringsrutiner**, der sikrer, at certificeringsmyndighederne informeres, når der sker ændringer i produktionsforhold, design og materialer, hvilke kan have indflydelse på produktets fortsatte opfyldelse af standardens og SBC'ens krav.
- **Reklamationer**. Der skal foreligge rutiner for, hvorledes reklamationer, herunder eventuelle returnerede varer, behandles.





1.5 Krav til miljø

Producenten skal have et dokumenteret miljøstyringssystem, som indeholder miljøpolitik og -mål-sætning og dokumenteret handlingsplan, som tydeliggør forbedringer.

Specielt gælder der følgende:

- **Eksternt/internt miljø**, producenten skal som minimum opfylde gældende lovgivning.
- **Genbrug af eget materiale**, produktionsspild genbruges i produktionen.
- **Returordning for produkter**, producenten skal etablere returordning for brugte og overskydende produkter. For PVC-U skal producenten yderligere være medlem af en anerkendt indsamlingsordning.

Produkterne fra returordningen skal genbruges/ bortskaffes på den miljømæssigt mest forsvarlige måde afhængig af teknologi og lovgivning.

Siden 1990 har der eksisteret en ordning for indsamling og genanvendelse af hård PVC (PVC-U). Denne omfatter blandt andet PVC-U fra rørprodukter. WUPPI, som ordningen i dag kaldes, blev stiftet i 1998 og er et tilbud til alle entreprenører, kommu-

ner etc., som til daglig håndterer rester, affald af rørprodukter og brugte produkter, og som ønsker at medvirke i det miljømæssige arbejde med genanvendelse.

Ideen med ordningen er, at affaldet skal retur til producenterne, der kender materialerne og ved, hvordan de kan genanvendes til nye produkter. Dette sker blandt andet ved forarbejdning til granulater, som rengøres, så det igen kan anvendes.

De genanvendte produkter kan fx være rester og beskadigede produkter på byggepladser, og det kan være produkter, som graves op i forbindelse med omlægninger mv.

Materialerne indsamles i WUPPI's egne containere og bringes til modtagestationer, hvoraf der findes fem i Jylland og en på Sjælland. Her sorteres og rengøres det indsamlede materiale, som derefter genanvendes på bedst mulig måde.

Deltagelse i ordningen sker ved henvendelse til producenterne.

1.6 Krav til producentens brugervejledning

For produkter omfattet af denne vejledning skal der fra producenten foreligge en brugervejledning, der som minimum omfatter:

- Specifikationer af trykklaser, dimensioner, formstykker og samlingstyper.
- Specifikation af svejsedata (for produkter der samles ved svejsning).
- Vejledning for transport og lagring.
- Lægningsvejledning eller henvisning til almindelig anerkendt lægningsvejledning.

Vejledningen her giver en samlet vejledning om specielt de to sidste punkter, men for specielle forhold vil de enkelte producenters brugervejledninger altid være vigtige for den projekterende og den udførende.



1.7 Specifikation af ledningsejerkrav til produkterne

Det er vigtigt, at ledningsejeren specificerer, hvilke krav produkterne skal opfylde, for at ledningsejeren har tillid til, at rørledningen kan opnå den ønskede funktion og levetid.

Tabellerne 1.2 og 1.3 giver en summarisk oversigt over sammenhængen mellem funktionelle egenskaber og de produktegenskaber, der prøves i laboratorierne, for henholdsvis trykløse afløbssystemer og trykssystemer.

Tabel 1.2: Sammenhæng mellem funktionelle krav og laboratorieprøvninger.

Afløbssystemer.

Funktionel egenskab	Laboratorietest	Bemærkninger
Håndtering, transport, lagring og installation	Slagprøve. Trækprøve af svejsesøm for spiralsnoede rør.	Afløbsstandarderne giver mulighed for valg mellem 0 og -10°C prøvning.
Modstand mod jord- og trafikbelastninger under og efter installation	Ringstivhed. Ringfleksibilitet. Mekanisk styrke af håndlavede formstykker. Trækstyrke af svejsesøm for spiralsnoede rør. Krybeforholdet. Box-load prøve.	
Tæthed	Dimensioner og tolerancer. Samlingers tæthed. Langtidstæthed af TPE tætningsringe. Tæthed på håndlavede formstykker. Trækstyrke af svejste samlinger.	
Modstand mod høje temperaturer	Vicat og K- værdi, PVC-U. Temperaturcyklusprøve. Box-load prøve.	Vicat-temperaturen bør være mindst 78°C. K-værdien bør mindst være 65.
Rensning og vedligeholdelse	Der er ingen prøvning specificeret i standarden.	Erfaringer viser, at kombinationen af krav til godstykkelser, slagstyrke og materialer i INSTA-SBC'erne sandsynliggør, at produkterne kan modstå belastninger i forbindelse med rensning under normale forhold.
Levetid, procesrelateret	Methylenchlorid prøvning (PVC-U). Varmeprobe, formstykker. Kryppe -eller varmprobe, rør. Termisk stabilitet, råvaren PE og PP.	
Levetid, materialerelateret	K-værdi, PVC-U. Modstand mod indvendigt tryk. Kemisk resistens.	



Tabel 1.3: Sammenhæng mellem funktionelle krav og laboratorieprøvninger.

Tryksystemer.

Funktionel egenskab	Laboratorietest	Bemærkninger
Håndtering, transport, lagring og installation	Slagprøve. UV-bestandighed. Vejrbestandighed.	
Modstand mod jord- og trafik belastninger under og efter installation	Langsom revnedannelse (SCG) Hurtig revnedannelse (RCP).	Der er ikke specificeret krav eller prøvning af stivhed i standarderne. Information om aktuell ringstivhed for PE og PVC-U-rør i forskellige trykklasser er givet i tabellerne 1.8 og 1.9.
Tæthed	Dimensioner og tolerancer. Samlingers tæthed. Trækstyrke af svejste samlinger.	
Modstand mod høje temperaturer	Trykprøve ved 60 eller 80°C. Reduktion af tilladt tryk ved temperaturer over 20°C.	Tabeller med reduktionsfaktorer er angivet i afsnit 1.11.3
Rensning og vedligeholdelse	Der er ingen prøvning specificeret i standarden.	Erfaringer viser, at PVC-U og PE-trykrør kan modstå belastninger i forbindelse med rensning under normale forhold.
Levetid, procesrelateret	PVC-U: Metylenchlorid-prøvning. PE: Termisk stabilitet. Brudforlængelse. Formstykker: Varmeprovning. Rør: Krympeprøve.	
Levetid, materialerelateret	MRS-klassificering. Modstand mod indvendigt tryk. Kemisk resistens. Langsom revnedannelse.	
Egnethed til drikkevandstransport	Miljøstyrelsens accept af materialets egnethed skal dokumenteres af rør- og/eller formstykkeproducenten.	
Modstand mod indvendigt tryk	Vakuumprovning. Trykprøvning	



1.8 Levetid

1.8.1 Teorier om plastprodukters levetid

Det er velkendt, at de fleste materialer med tiden undergår visse ændringer. Ved metaller drejer det sig om korrosion, ved mineraler om erosion, ved træ om forrådnelse.

Som fællesbetegnelse for disse ændrings karakter og tidsforløb anvendes udtrykket "ældning", der defineres som det fænomen, at et materiales fysiske og kemiske egenskaber langsomt ændres som følge af tiden og af påvirkninger fra de omgivelser, som materialet befinder sig i.

Plastmaterialer undergår også ældning.

Ældningshastigheden påvirkes blandt andet af omgivelsernes temperatur og iltindhold. Der sker over tiden en termisk - oxidativ - nedbrydning af bindingerne mellem polymerkæderne, hvilket gør plastmaterialet ustabil.

I fremstillingsprocessen tilsættes plastmaterialer hjælpestoffer (stabilisatorer) som fx antioxidant, der binder ilt, og dermed beskytter materialernes polymerkæder mod oxidering.

Herved sikres, at plastmaterialets mekaniske og kemiske egenskaber dels under fremstillingen af plastproduktet (fx ekstrudering og sprøjtstøbning ved temperaturer på ca. 200°C) dels under produktets lange levetid (tekniske funktionstid), bevares stort set uændret.



Levetiden - i betydningen teknisk funktionstid - for et plastprodukt defineres som den tid, der forløber, indtil de mekaniske materialeegenskaber pga. ældning er blevet reduceret, så produktet ikke længere er funktionsdygtigt.

Virkingen af de fysiske og kemiske processer, som ligger til grund for ældning af plastmaterialer, viser sig som regel først efter en forholdsvis lang periode. Der kan være tale om op til mange år.

Dette forhold er imidlertid ikke foreneligt med de krav, der stilles til dokumentation af plastprodukters levetid - hverken for producenten eller ledningsejeren.

Et plastprodukts tekniske funktionstid eftervises derfor oftest ved udførelse af en "accelereret ældning", udført under veldefinerede laboratoriemæssige betingelser.



1.8.2 Accelereret ældning

Når accelereret ældning anvendes, forsøger man at danne sig et billede af, hvordan en genstand opfører sig over tid uden andre væsentlige påvirkninger end den kemiske oxidation af materialet og eventuelt interne nedbrydningsfænomener.

Ved at udsætte flere ens genstande for et miljø med forskellige høje temperaturer og luftfugtigheder kan man udregne, hvor lang tid der vil gå, før genstanden ikke kan opfylde et foruddefineret krav.

Ældningshastigheden (accelerationsfaktoren) vil – med god tilnærmelse – fordobles, for hver gang temperaturen forøges med 10 grader.

For at bestemme langtidsegenskaberne for de plastmaterialer, der anvendes til rør og formstykker, udføres trykprøvninger ved forskellige belastninger og temperaturer.

Sammenhængen mellem belastning, udtrykt som spænding i rørvæggen, og brudtid indføres i et diagram som vist i figur 1.1.

Det viser sig, at punkterne for hver temperatur tilnærmelsesvist ligger på en ret linie i diagrammet. Matematisk kan disse linier ekstrapoleres så langt, man ønsker. Men i praksis sætter materialets æld-

ning, som beskrevet ovenfor, grænser for, hvor langt denne ekstrapolation gælder.

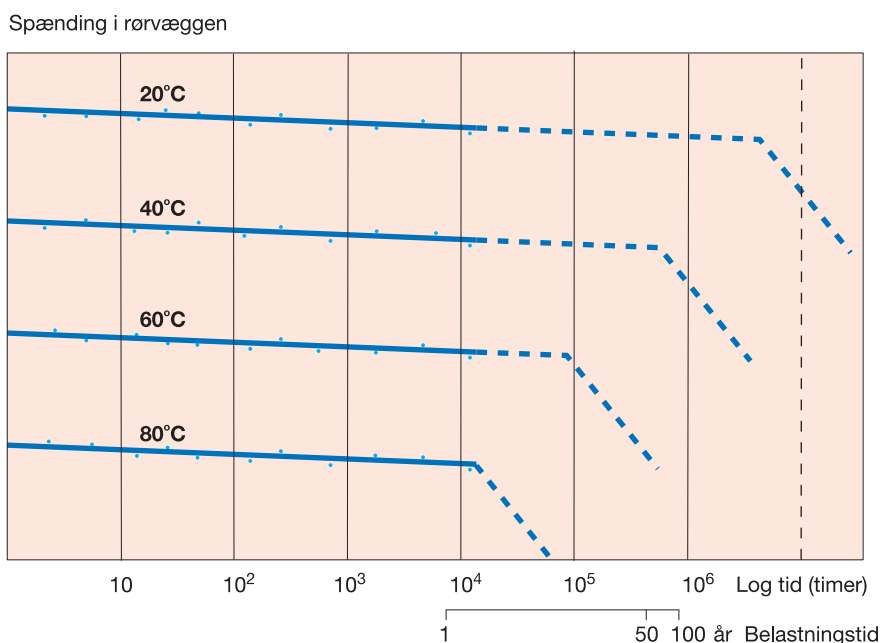
Denne grænse bestemmes ud fra opnået prøvningstid ved en højere temperatur end den temperatur, man ønsker at bestemme levetiden ved, sammenholdt med accelerationsfaktoren og temperaturforskellen.

Ønskes fx bestemt et materiales levetid ved 20°C baseret på afprøvning ved 80°C, og er materialets accelerationsfaktor 2 pr. 10°C forøgelse, multipliceres den opnåede prøvningstid (fx 14.000 timer) ved 80°C med 64 (2^6 på grund af temperaturforskellen på $6 \times 10^\circ\text{C}$). Resultatet bliver derfor 896.000 timer, svarende til ca. 102 år. Hele proceduren er detaljeret beskrevet i **DS/EN ISO 9080**.

Den beregnede brudspænding ved 50 år og 20°C afrundes til den såkaldte MRS-værdi, som bruges til dimensionering af trykrør.

Hos forskellige råvarefabrikanter findes der på nuværende tidspunkt prøvninger, som blev igangsat for ca. 50 år siden. Disse prøver holder stadig, hvilket viser, at ovennævnte beregninger er realistiske.

For de råmaterialer, der i dag anvendes til rør, er knækkene i diagrammet rykket længere ud i tid og spændingen øget i forhold til tidligere kvaliteter, hvilket betyder en forøgelse af levetiden.



Figur 1.1: Eksempel på brudspænding i rørvæggen over tid, afhængig af temperatur og belastning.



1.8.3 Levetid – trykrørssystemer

Trykrør af plast dimensioneres ud fra en ekstrapole-ret 50 års brudstyrke, når rørene ligger i et ”vand-bad” ved 20°C. Den dimensionerende spænding baseres på designfaktorer som angivet i tabel 1.4 og 1.5. Disse viser også langtidsstyrker og dimen-sionerende spændinger for aktuelle produkter.

I dag findes der PE- og PVC-U materialer med dokumenteret levetid større end 100 år i henhold til **DS/EN ISO 9080**. Sådanne materialer anvendes i vid udstrækning til produktion af trykrør til drikke-vand.

Da driftstemperaturen for en trykledning typisk er omkring 10°C, og den omkringliggende jord modvir-ker udvidelse af rørdiameteren på grund af det ind-vendige tryk, vil det med de anvendte materialer og designfaktorer være sandsynligt, at INSTA-CERT-certificerede trykrør til drikkevand og trykafløb, der er installeret korrekt og anvendt under normale driftsfor-hold som beskrevet i denne vejledning, vil have en levetid, der er væsentlig større end 100 år.

Der henvises desuden til afsnit 2.2.8 om resistens og til de enkelte producenters tekniske informatio-ner eller deres tekniske serviceafdeling.



1.8.4 Levetid – afløbssystemer

Trykløse INSTA-CERT-certificerede ledningssyste-mer (afløbssystemer), som er korrekt installeret med hensyn til især omkringfyldning og komprime-ring, vil under normale driftsforhold sammen med den omkringliggende jord stabilisere sig, så spændingen i rørvæggen over årene bliver mindre, jf. afsnit 2.2.2 Statistiske beregninger.

Desuden afhænger et ledningssystems levetid i høj grad af det anvendte plastmateriales bestandighed mod kemiske og termiske påvirkninger samt påvirkninger fra eventuel drift og vedligeholdelse.

Materialekravene for INSTA-CERT-certificerede produkter sikrer anvendelse af materialer, som med stor sandsynlighed vil sikre en levetid længere end 100 år under normale driftsforhold for systemer, der er installeret i henhold til denne vejledning.

Desuden henvises til afsnit 2.2.8 om resistens og til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling.



1.9 Materialeegenskaber

1.9.1 Begreber og teori

Holdbarhedsberegning (indvendigt tryk):

Det indvendige tryk i røret forårsager en spænding i rørvæggen, som kan beregnes ved hjælp af formelen:

$$\sigma_s = p \frac{d_m}{2e}$$

Tilhørende dimensionsligning:

$$\sigma_s [\text{MPa}] = \frac{p [\text{bar}] \cdot d_m [\text{mm}]}{10 \cdot 2 \cdot e [\text{mm}]}$$

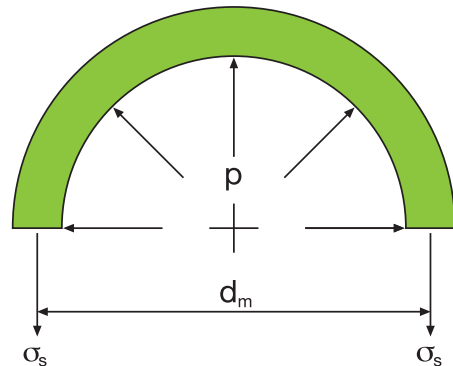
(1 MPa = 1 N/mm² = 10 bar)

hvor

p = indvendigt statisk overtryk [N/mm²]

d_m = rørets middeldiameter [mm]

e = rørets godstykkelser [mm]



MRS (Minimum Required Strength) betegner den ringspænding, rørmaterialet skal kunne optage uden brud i 50 år ved 20°C for at blive klassificeret i den pågældende klasse.

$$\sigma_s \text{ (dimensionerende spænding)} = \frac{\text{MRS}}{C}$$

C er en designfaktor, hvis størrelse afhænger af plastmaterialet og produkternes anvendelse.

$$\text{Rørserie (S)} = \frac{\text{SDR} - 1}{2}$$

SDR (Standard Dimension Ratio) = d/e (forholdet mellem rørets yderdiameter og godstykkelser).

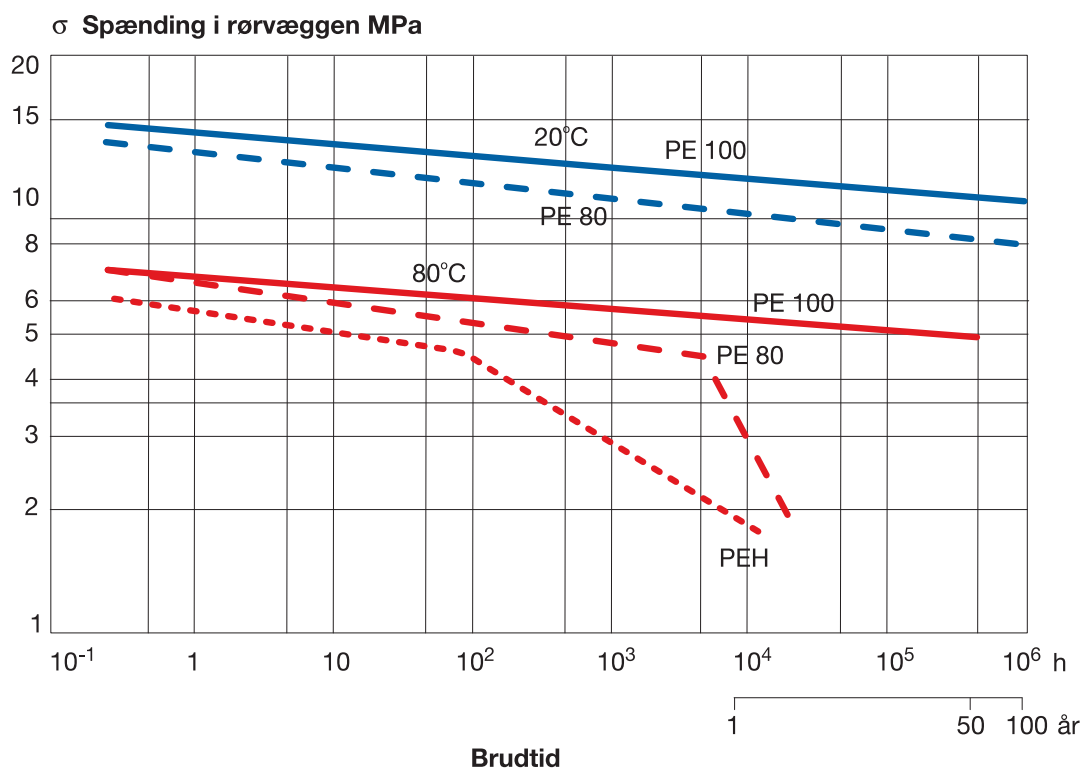


1.9.2 PE

PE klassificeres efter sin MRS-værdi, bestemt i henhold til **DS/EN ISO 9080**. Denne standard beskriver, hvordan langtidsstyrken af termoplastiske materialer bestemmes ved ekstrapolation – som forklaret i afsnit 1.8.

Tabel 1.4: Materialeklassifikation for PE-trykrør.

Betegnelse	MRS (MPa)	Langtidsstyrke (MPa)	Dimensionerende spænding, σ_s (MPa)	Designkoefficient C (sikkerhedsfaktor)
PE 80	8,0	8,0 – 9,99	5,0	1,6
PE 100	10,0	10,0 –	8,0	1,25



Figur 1.2: Spænding/tidskurve for PE 80 og PE 100 ved 20°C og 80°C, samt eksempel på PEH (type 2) ved 80°C.

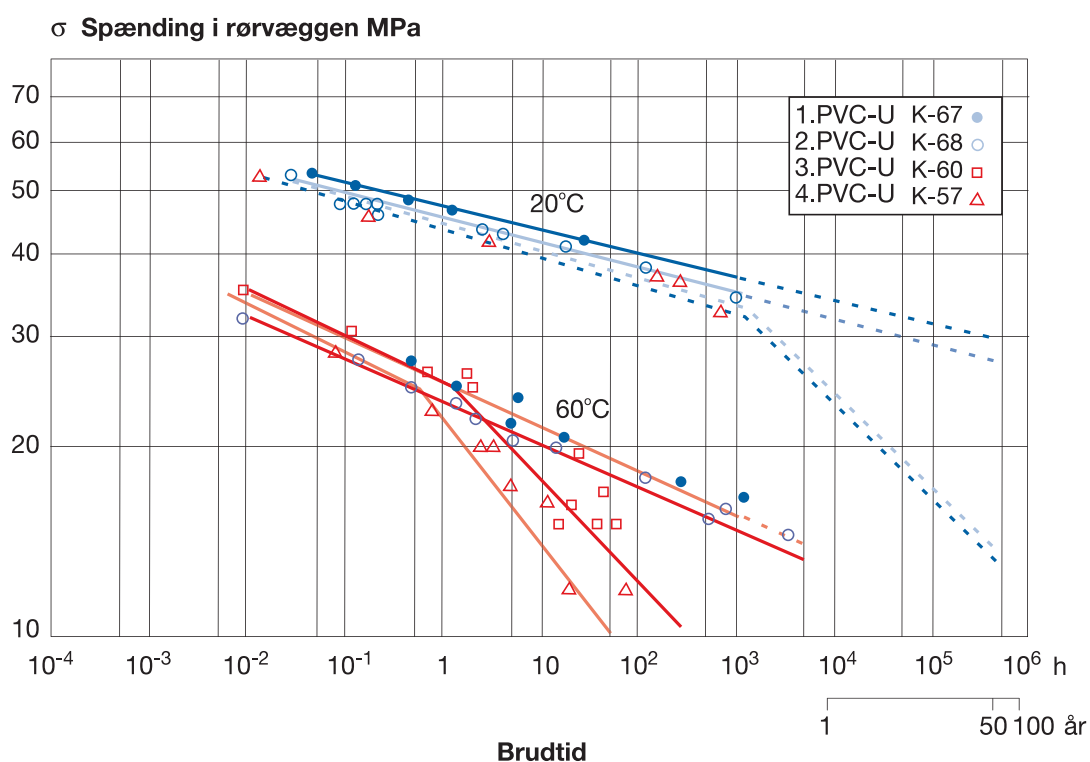


1.9.3 PVC-U

De PVC-U kvaliteter, der anvendes til certificerede trykrør og formstykker i Europa har en MRS-værdi på 25 MPa bestemt efter **DS/EN ISO 9080**. Denne standard beskriver, hvordan langtidsstyrken af termoplastiske materialer bestemmes ved ekstrapolation – som forklaret i afsnit 1.8.2.

Tabel 1.5: Materialeklassifikation for PVC-U -trykrør.

Betegnelse	MRS (MPa)	Langtidsstyrke (MPa)	Dimensionerende spænding, σ_s (MPa)	Designkoefficient C (sikkerhedsfaktor)
PVC-U \leq 90 mm	25	Minimum 25,0	10,0	2,5
PVC-U \geq 110 mm	25	Minimum 25,0	12,5	2,0 (2,5 i DS 972)



Figur 1.3: Spænding/tidskurve for PVC-U med forskellige K-værdier ved 20°C og 60°C.

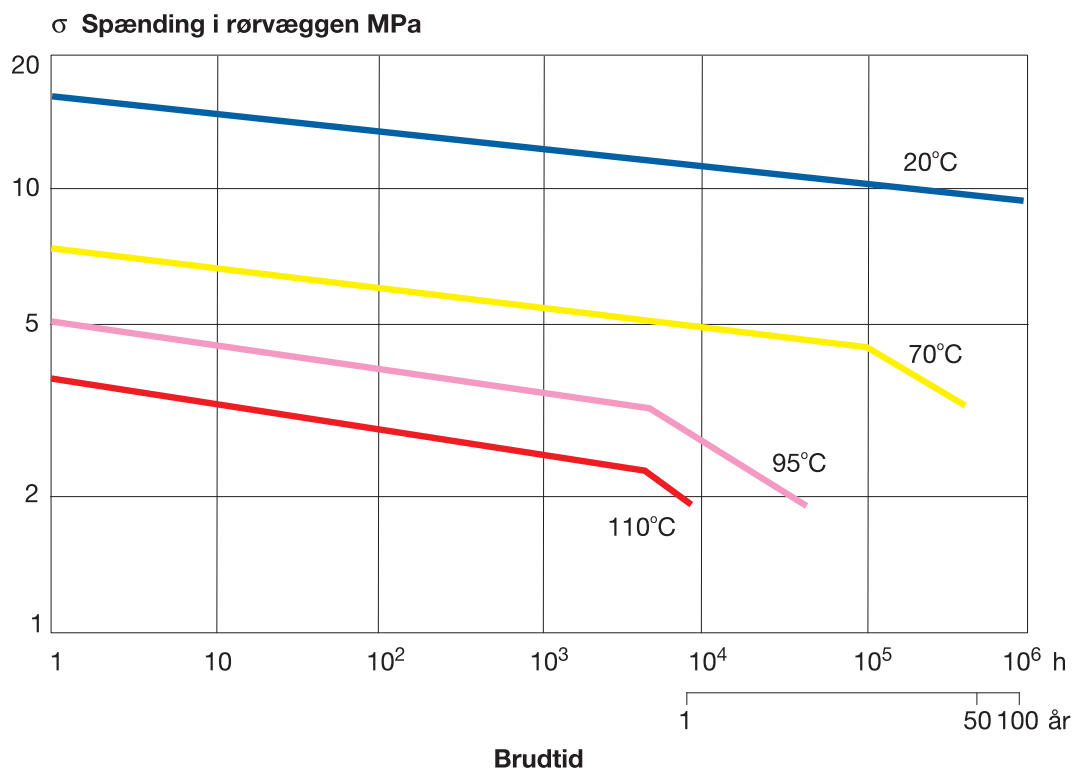
1.9.4 PP

I Danmark anvendes rør af PP ikke til vandforsyning, og der udarbejdes ikke en europæisk standard til applikationen.

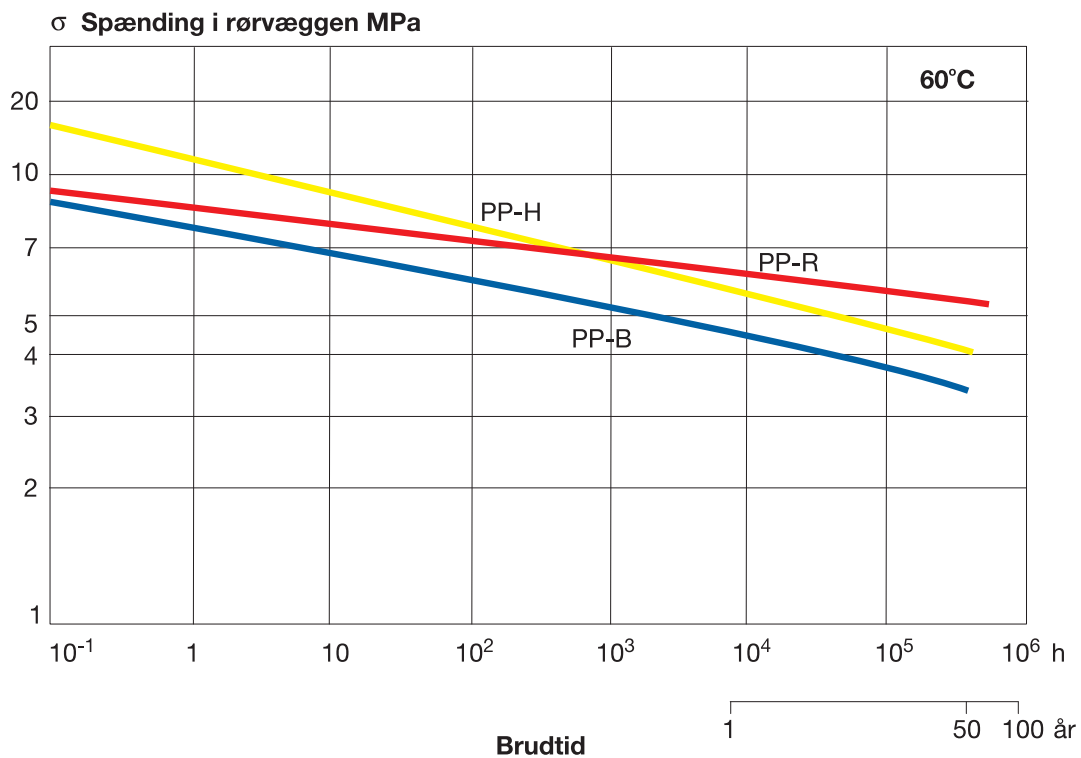
Tabel 1.6: Materialeklassifikation for PP-gravitationsrør.
E-moduler = værdier målt efter 1 minut jf. **DS/EN 1852-1**.

Normal PP		PP-HM	Følgende MRS anvendes af producenterne
Min. E-modul	Max. E-modul	Min. E-modul	
1250 MPa	1700 MPa	1700 MPa	8 MPa





Figur 1.4: Spænding/tidskurve for PP-R (random copolymer) ved 20°C, 70°C, 95°C og 110°C.



Figur 1.5: Spænding/tidskurve for PP-H (homopolymer), PP-B (block copolymer) og PP-R (random copolymer) ved 60°C.



1.10 Stivheds- og trykklasser

Traditionelt er rør til gravitationssystemer inddelt i stivhedsklasser. Også her er betegnelserne gennem årene blevet ændret flere gange, uden at den aktuelle stivhed på rørene er ændret.

Tabel 1.7 giver oversigt over sammenhængen mellem de nugældende stivhedsklasser og de forskellige traditionelle betegnelser.

Tabel 1.7: Stivhedsklasser.

Nugældende betegnelser	SN 2	SN 4	SN 8	SN 16
Aktuel stivhed i.h.t. ISO 9969 [kN/m ²]	min. 2	min. 4	min. 8	min. 16
Traditionel VA-betegnelse	L	N	S	-
Nuværende nordisk betegnelse	L2	M4	T8	E16
S/SDR værdi for PVC-U glat	25/51	20/41	16,5/34	12,5/26
S/SDR værdi for PP glat	20/41	16/33	11,2/23,4	-



1.10.1 PE

Tabel 1.8: Sammenhæng mellem SDR og trykklasser/stivhed for PE 80 og PE 100 trykrør, **DS/EN 12201** og **DS/EN13244**.

Betegnelse (PE-klasse)	Designkoefficient C	Rørserie (S)/SDR			
		S - 12,5 SDR 26 PN (bar)	S - 8 SDR 17 PN (bar)	S - 5 SDR 11 PN (bar)	S - 4 SDR 9 PN (bar)
PE 80	1,6	4	6,3	10	12,5
PE 100	1,25	6,3	10	16	20
Typisk stivhed PE 80 (kN/m ²)		4	15	61	120
Typisk stivhed PE 100 (kN/m ²)		6	20	80	156

1.10.2 PVC-U

Tabel 1.9: Sammenhæng mellem SDR og trykklasser og stivhed for PVC-U-trykrør. **DS/EN 1452** og **1456**.

Betegnelse	Designkoefficient C	Rørserie (S)/SDR			
		PN 6 (bar)	PN 8 (bar)	PN 10 (bar)	PN 16 (bar)
PVC-U	2,5 for dimensioner ≤ 90 mm	S 16,7 SDR 34,4	S 12,5 SDR 26	S 10 SDR 21	S 6,3 SDR 13,6
	2,0 for dimensioner ≥ 110 mm	S 20 SDR 41	S 16 SDR 33	S 12,5 SDR 26	S 8 SDR 17
Stivhed C = 2,5 (kN m ²)		6	14	27	99
Stivhed C = 2,0 (kN m ²)		3,5	7	14	51



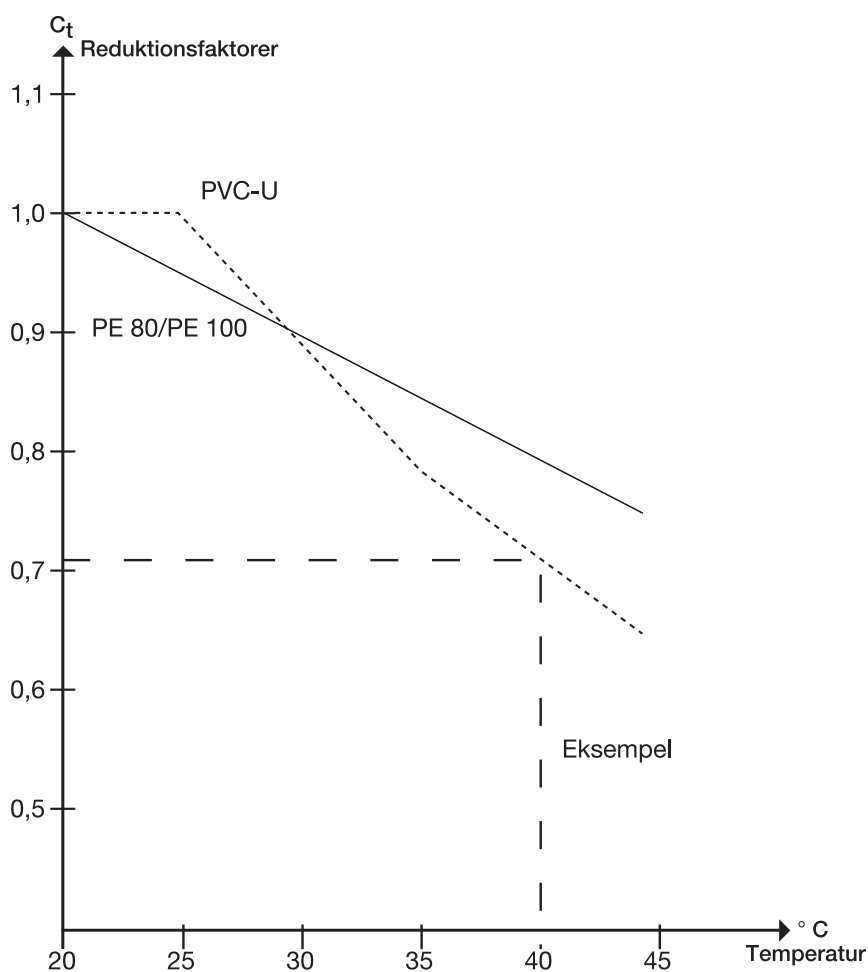
1.10.3 Reduktion af tilladeligt tryk ved temperaturer over 20°C

Når et PE eller PVC-U trykrørssystem skal fungere under konstant temperatur højere end 20°C, bliver det tilladelige tryk reduceret med en reduktionsfaktor, som fremgår af kurverne i figur 1.6.

Eksempel: Et PVC-U PN 12,5 trykrør anvendt ved konstant temperatur på 40°C. Reduktionsfaktoren, 0,71, aflæses på kurven. Det maksimalt tilladelige tryk bliver dermed $12,5 \cdot 0,71 \approx 8,88$ bar (hvis man vil sikre den samme levetid som ved 20°C.)

Hvis temperaturen kun periodisk overskrider 20°C, kan reduktionen i det tilladelige tryk reduceres. Der henvises til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling for information om relevant trykreduktion.

Der findes specialmaterialer i PVC-U og PE med bedre temperaturlbestandighed, end kurverne antyder. Her henvises også til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling for information om relevant trykreduktion.



Figur 1.6: Trykreduktionsfaktorer for trykrør af PE og PVC-U i henhold til DS/EN 13244 og DS/EN 1456.



2. Projektering

- 2.1 Forundersøgelse
- 2.2 Projektering
- 2.3 Tilsyn og kontrol
- 2.4 Kvalitetssikring







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/.



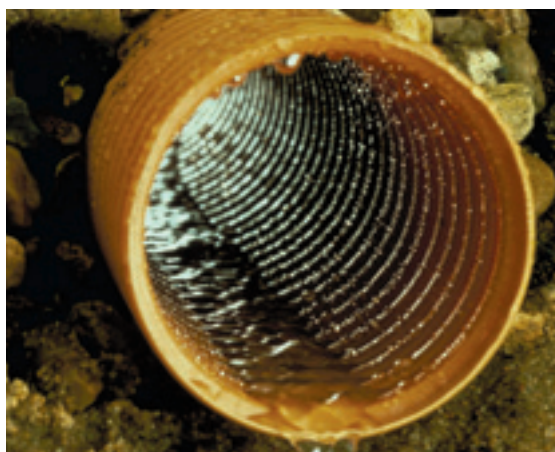
2.2.1 Hydrauliske beregninger

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.

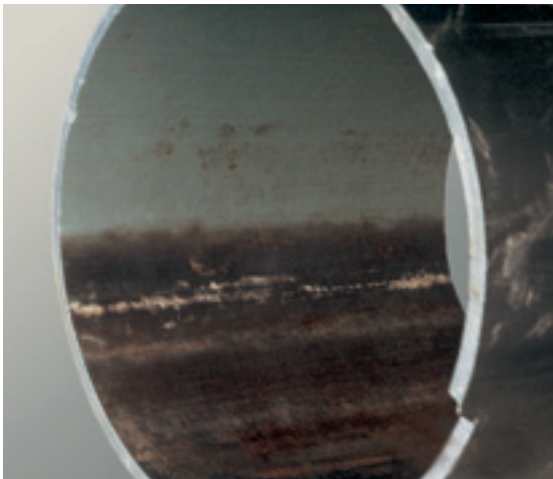
Driftsruheden i en afløbsledning med samlinger og med mindre slimlag mv. efter lang tids drift vil være større.

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:

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

ζ = en koefficient, oftest bestemt ved forsøg i laboratorier
 v = vandhastigheden (m/s)
 g = tyngdeaccelerationen (9,81 m/s²).

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	ζ	
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 α	$\zeta = \zeta_{90} \sin \alpha$	
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 10⁶.

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 afløbsoplandet 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 τ_{kritisk} den selvrensende eller den kritiske forskydningspænding, som skal til for at transportere bundfældet stof videre eller rive afsætninger løs, jf. efterfølgende.

ρ = vandets massefylde (1.000 kg/m³)

g = tyngdeaccelerationen (9,81 m/s²).

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 τ_{kritisk} er nødvendig for at sikre selvrensning
- jo mere fedtede/kohæsive og jo større partikler, jo større τ_{kritisk} er nødvendig for at sikre selvrensning.

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

Spildevand: 1,5-3 N/m²

Regnvand: 3-4 N/m²

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.

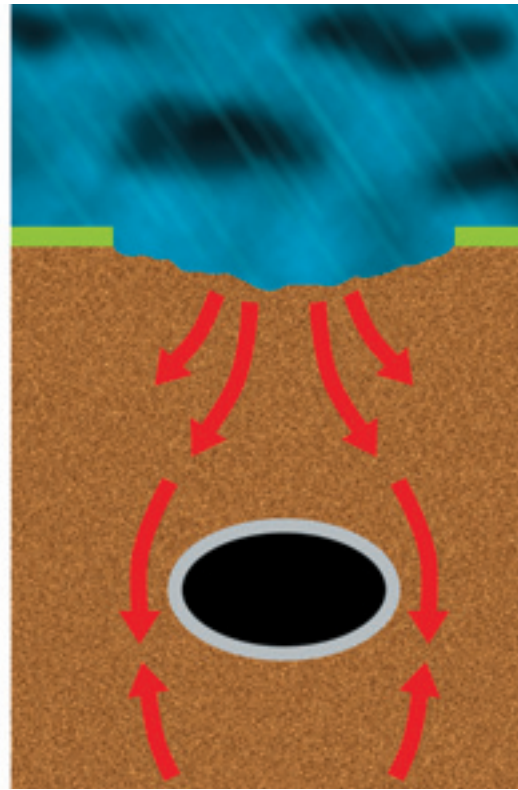
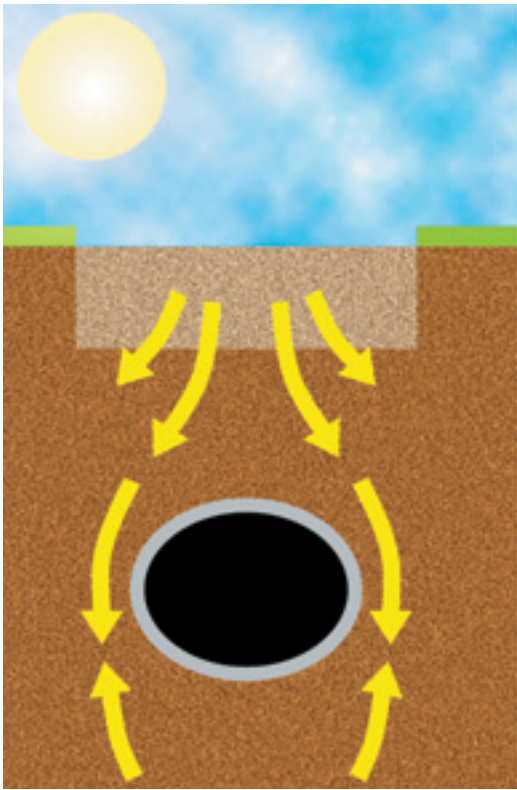
Ved lange og ved kritiske ledningsstrækninger bør der altid foretages en egentlig beregning med kritisk forskydningspænding og kritisk vandføring.

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

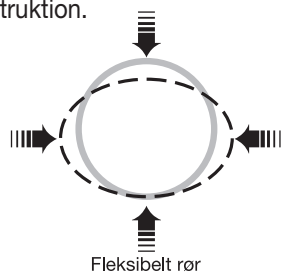
Tryk/afløb

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).

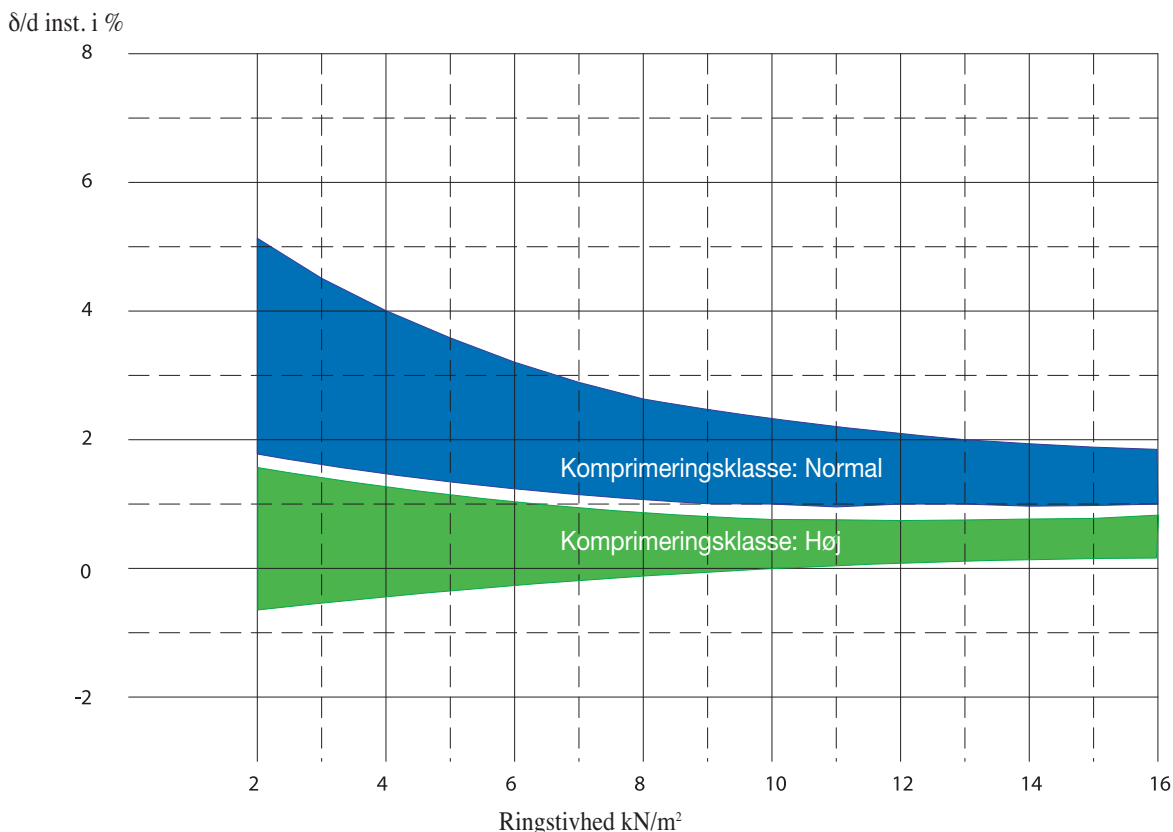
Deformationer større end de acceptable 8% for PVC-U og 9% for PP og PE (jf. afsnit 3.5 Omkringfyldning og tilfyldning) er usandsynlig, såfremt ovenstående retningslinier følges, og for deformationer angivet i figur 2.1 vil de opståede spændinger i rørene ligge langt under grænseværdierne for rørs spændinger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

I figur 2.1 er angivet middeldeformationerne umiddelbart efter installationen (δ/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 ≥ 15 cm.
- de forudsatte Standard Proctor-værdier $\geq 98\%$

Komprimeringsklasse Normal betyder, at

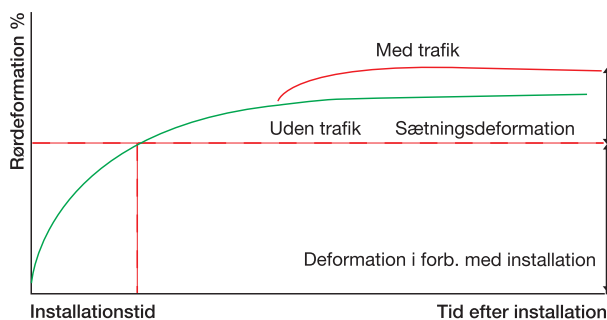
- røret placeres på et udjævningslag på 5-10 cm afhængig af rørtype.
- udjævningslaget skal afrettes omhyggeligt før placering af røret.
- omkringfyldning komprimeres omhyggeligt i lag af max. 40 cm på siden af røret.
- maskinel komprimering må først ske, når jorddækningen over rørtop er ≥ 15 cm.
- de 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 δ/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 δ/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: δ/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.

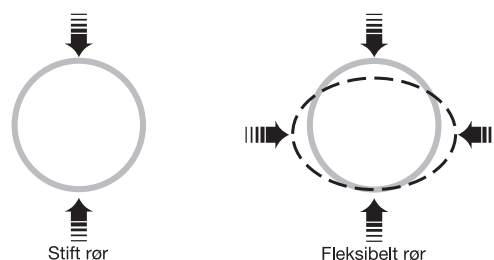
Almene beregningsprincipper

Et nedgravet rør udsættes for belastning fra jorden, fladelast, 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 rørlledning.

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

Partialkoefficientmetoden anvendes ved en sikkerhedsvurdering af en rørlledning til at eftervise, at rørlledningens 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

γ_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-procentsfraktile, 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

γ_m = partialkoefficient, afhængig af materiale

Værdierne af partialkoefficienterne γ_m angives efter følgende 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	ψ
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 ¹⁾
Vakuumbelastning Q _v	1,0	1,3	1,0 ¹⁾

¹⁾ Hvor der i tabellen er angivet ψ , 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: γ_{m-jord} = partialkoefficient for jord.

Sikkerhedsklasse	Lav	Normal	Høj
γ_0 = Sikkerhedsklasse	0,9	1,0	1,1
γ_1 = Brudtype, sejt uden reserve			1,0
γ_2 = Variationskoefficient materialeparametre ved anvendelse af 5% fraktil (forudsat variationskoefficient $\geq 0,30$)			2,06
γ_3 = Beregningsmodellens nøjagtighed			1,0
γ_4 = Sikkerhed ved fastsættelse af materialeparametre			1,1
Kontrolklasse	Skærpet	Normal	Lempet
γ_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
γ_0 = Sikkerhedsklasse	0,9	1,0	1,1
γ_1 = Brudtype, sejt uden reserve			1,0
γ_2 = Variationskoefficient materialeparametre ved anvendelse af 5% fraktil (forudsat variationskoefficient $\geq 0,15$)			1,5
γ_3 = Beregningsmodellens nøjagtighed			1,0
γ_4 = Sikkerhed ved fastsættelse af materialeparametre			1,0
Kontrolklasse	Normal		
γ_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/m²

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

γ = vægten af jorden over rørtoppen (normal værdi 19 kN/m³ over grundvandsspejlet og 11 kN/m³ 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, kN/m^2

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

D = rørets middeldiameter, 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 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, m

H_w = afstand mellem jordoverflade og grundvandspejl, m

D_y = rørets udvendige diameter, 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

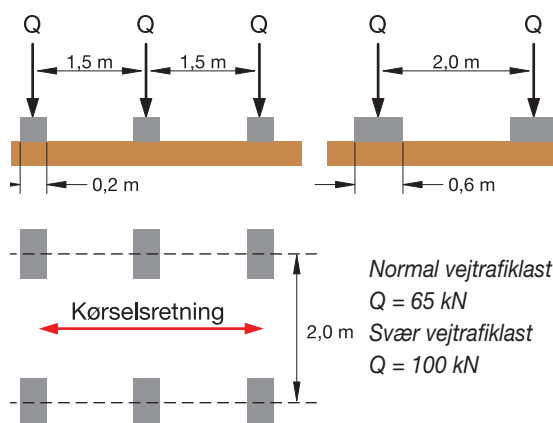
Ifølge **DS 437** er trafiklasten defineret som:

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 σ_t i et punkt på dybden H under jordoverfladen som følger:

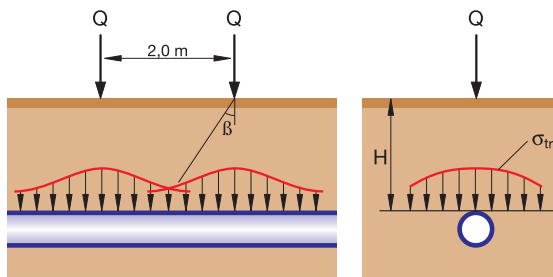
$$\sigma_t = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cos^5 \beta \quad \text{kN/m}^2 \quad (8)$$

hvor:

β = 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.

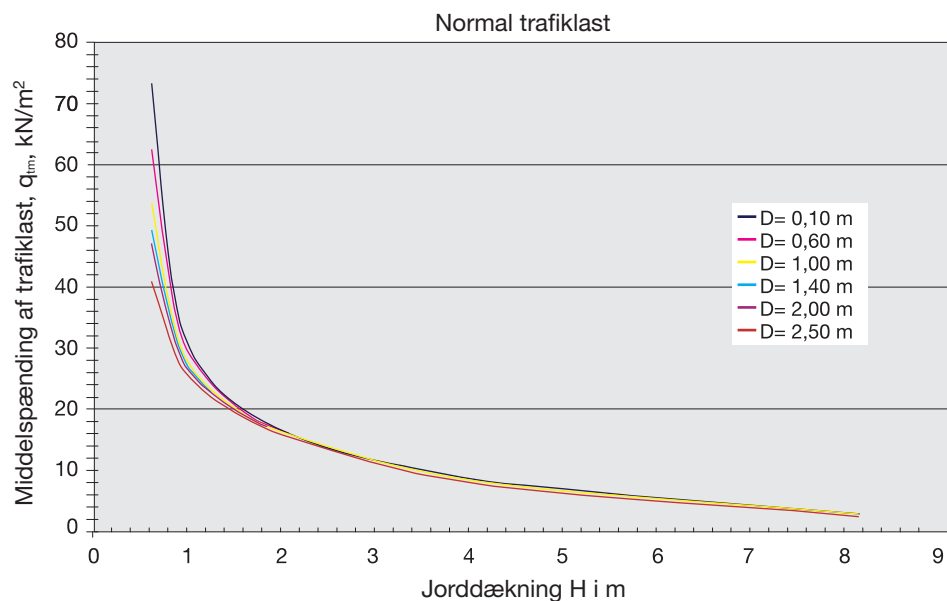
Et stift rør i et sammentrykkeligt medium resulterer i en lastkoncentration over røret, jf. "Plastrør i leriga jordarter"/29/. Denne effekt kan eksempelvis iagttages ved hjælp af lastfaktoren C , som tager hensyn til stivhedsforholdet mellem rør og jord. Karakteristisk trafiklast på en rørledning i jord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

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

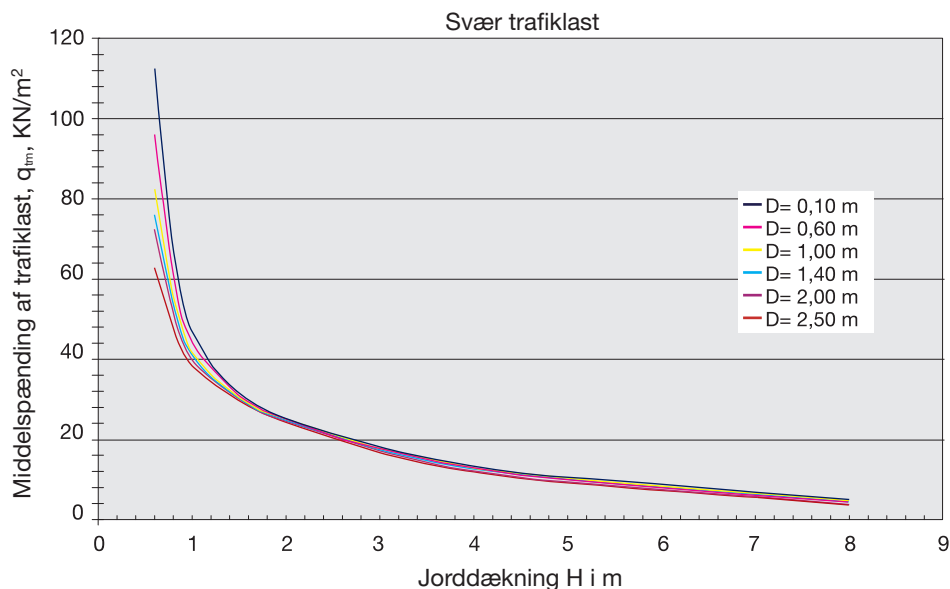
hvor

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

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



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



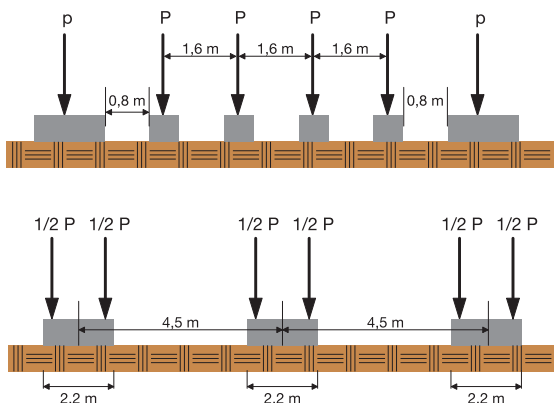
Figur 2.6b: Middelspænding/jorddækning på rør i jord forårsaget af svær trafiklast.

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:

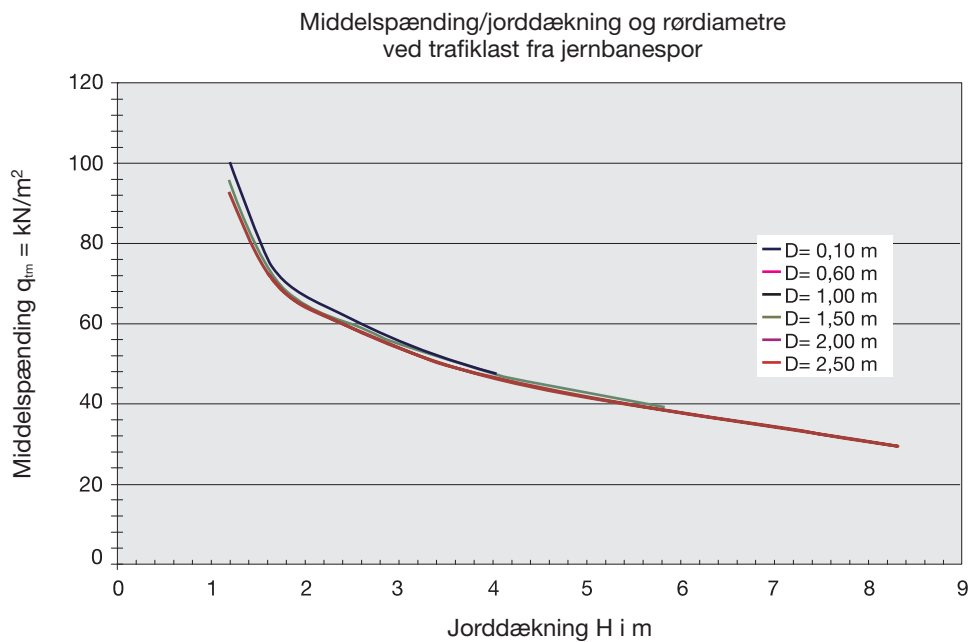
$$q_{ijk} = C \cdot q_{ijm}, \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

hvor

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

q_{ijm} = middelspænding for trafikbelastning fra jernbanespor, 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/m²

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

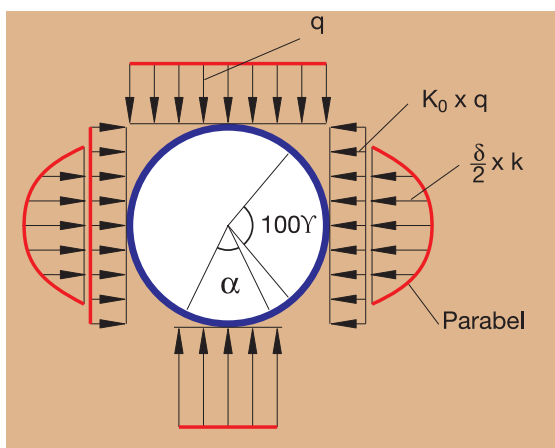
Deformation hidrørende fra belastning

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, 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, kN/m^2

E'_d = regningsmæssigt jordmodul, kN/m^2

φ_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

κ_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

κ_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 $E'_{ik} = 0,2 \text{ MN/m}^2$ 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 κ_s for bestemmelse af sekantmodulet.

Komprimering	Komprimeringsgrad		a MN/m ²	b MN/m ² /m	κ_s
	Mod. Proctor	Std. Proctor			
Høj komprimering af omkringfyldningen ¹⁾	> 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

¹⁾ 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/m² 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 α som følger:

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

hvor

q_1 = vertikaltryk af trafiklast lige over rørtoppen, kN/m²

q_2 = vertikaltryk af trafiklast på afstanden D fra nærmeste rørvæg, kN/m²

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

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

I tabel 2.8 vises værdierne for ΔH ved nogle forskellige jorddækninger og rørdiameter med 19 kN/m³ for fyldens vægt.

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

Jorddækning m	Rørdiameter mm	Tillæg ΔH 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 ΔH 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 udgraved 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 ²	Rørstivhed SN ≥ 8 kN/m ²
Høj komprimeringsgrad		
Jævnt afrettet og overfladeløst udjævningslag	1	1
Normalt udjævningslag	2	1,5
Normal komprimeringsgrad		
Jævnt afrettet og overfladeløst udjævningslag	1,5	1
Normalt udjævningslag	3	2
Ingen komprimering		
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/m². 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 højest 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 højest 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 β , 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 β 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 ³	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 tørsorpeler 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 ² kan opnås på jordmodulet E _u 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 tørsorpeler 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 ² kan opnås på jordmodulet E _u 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 _u = 0,2 MN/m ² anvendes ved omkringfyldning med løst ler (udrænset forskydnings-spænding < 50 kN/m ²). 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/prøvetykket:

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

hvor

N = aksialkraft (kN)

d_y = rørets udvendige diameter (mm)

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

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

$$N = p \cdot N_1$$

hvor

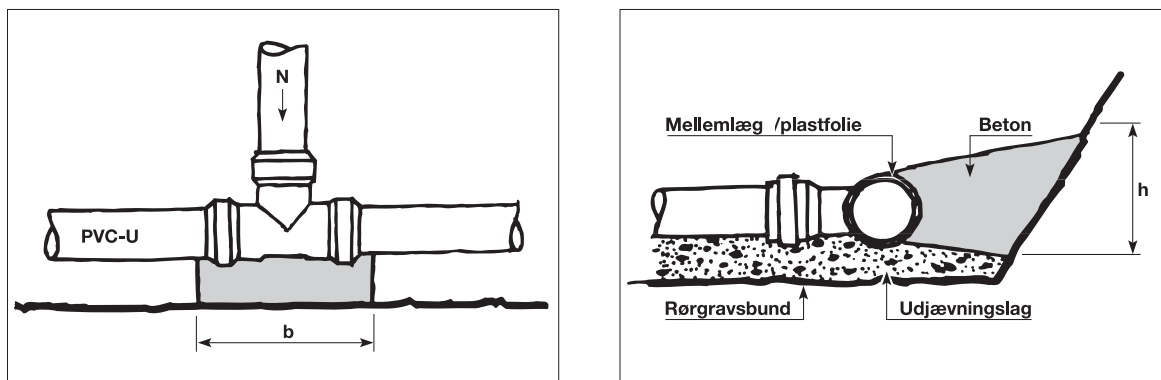
N_1 = aksialkraft ved 1 bar (kN)

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

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

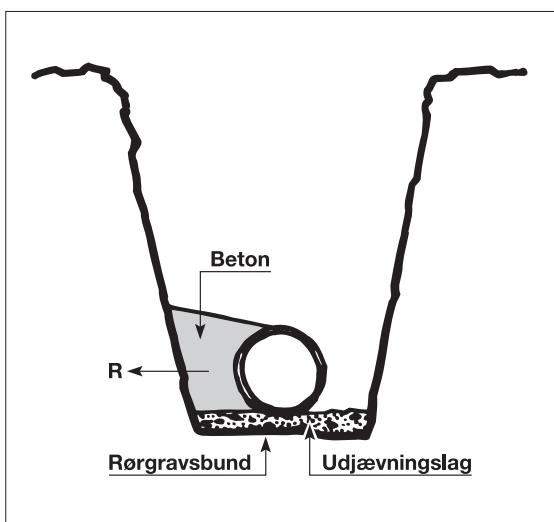
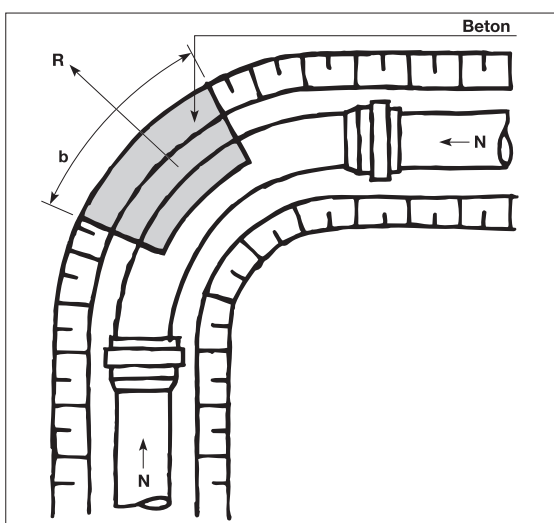
N_1 = aksialkraft ved 1 bar (kN)

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

α = 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)

σ_{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 α	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:

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

σ_{jord} sættes til 200 [kN/m²]

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:

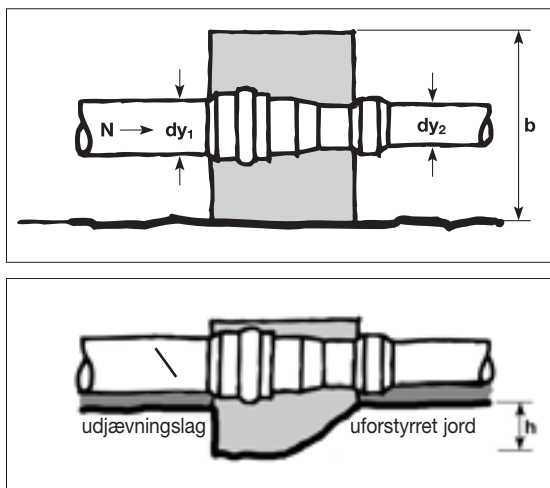
$$N = \frac{\pi \cdot (dy_1^2 - dy_2^2) \cdot p}{4 \cdot 10^4}$$

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:

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

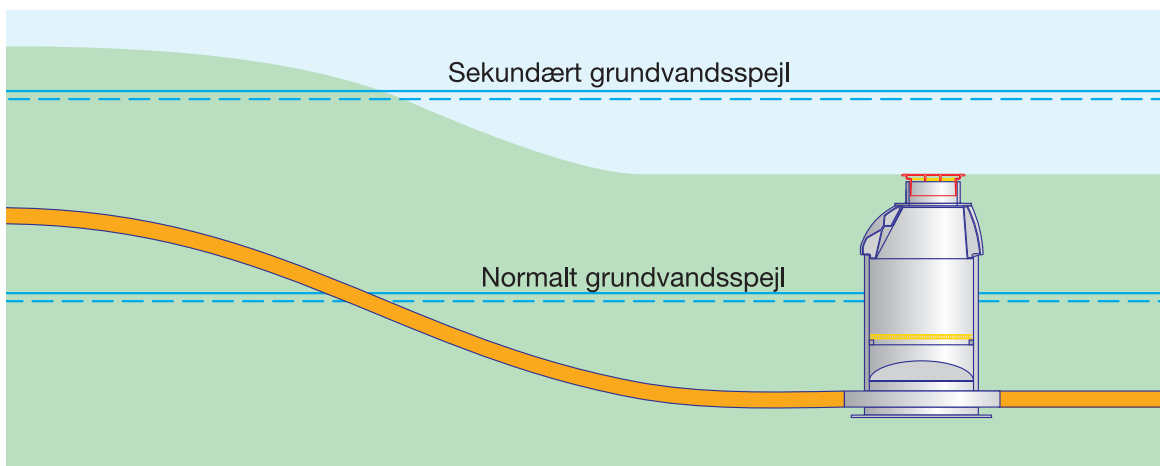
Herefter kan forankringens bredde beregnes som, idet h sættes = 0,2 m og $\sigma_{\text{jord}} = 200 \text{ kN/m}^2$:

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

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



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.

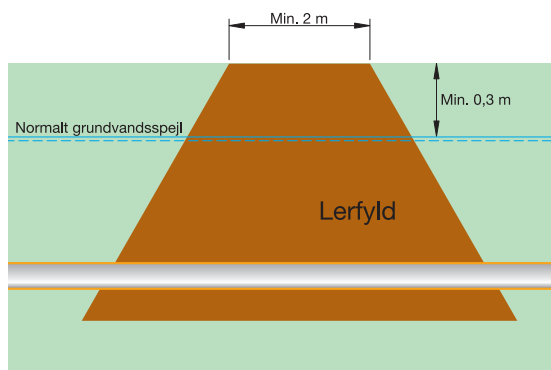
Under installationen skal det sikres, at rør og brønde lægges tørt. Eventuel vandstand over udgravningsniveau skal, før udgravning påbegyndes, sænkes til minimum 20-30 cm under ledningsbund og skal holdes sænket til dette niveau, indtil ledningsgraven igen er tilfyldt. Dette dokumenteres dagligt gennem 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
γ_{vand}	= rumvægt vand
γ_{fyld}	= rumvægt fyld
γ_{effektiv}	= effektiv rumvægt fyld i forhold til GVS
ϕ_k	= karakteristisk friktionsvinkel
ϕ_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_{opdrift}	= beregnet opdrift som overføres til geonet
F_{karak}	= korttidsstyrke geonet
F_d	= regningsmæssig trækstyrke geonet
F_{forank}	= forankringskraft geonet
L_{geonet}	= forankringslængde geonet
L_a	= bredde armeret plast

Partialkoefficienter:

γ_f	= partialkoefficient opdrift jf. DS 415
γ_ϕ	= partialkoefficient friktionsvinkel fyld jf. DS 415

Partialkoefficienter geonet:

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

Interaktion mellem geonet og fyld:

μ	= 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:

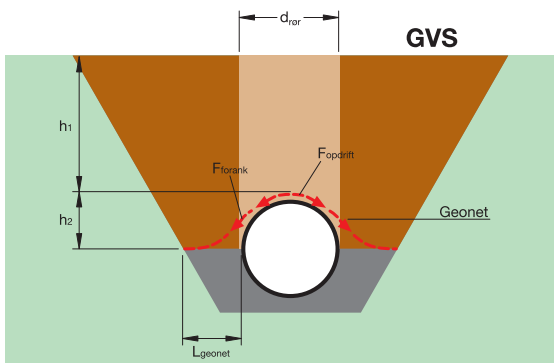
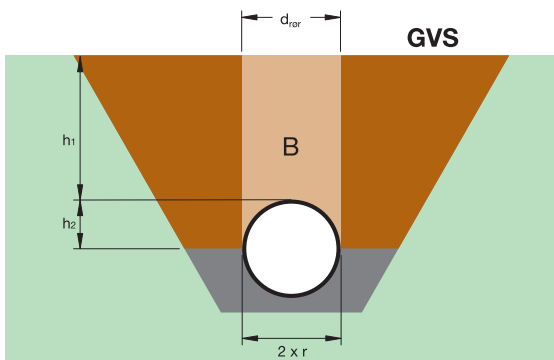
$$O = d_{\text{rør}}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{\text{vand}} \cdot \gamma_f$$

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_{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_{geonet} bør ikke være mindre end 1,0 m.

Endvidere beregnes sikkerhed S_3 (samlet opdriftssikring)

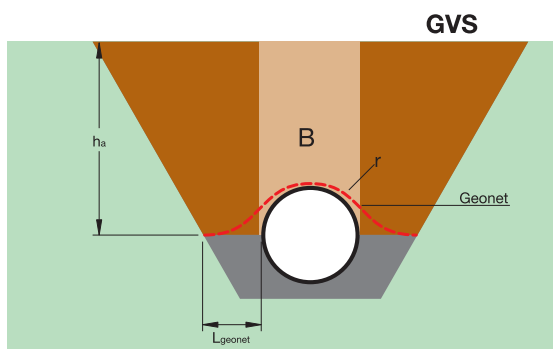
$$S_3 = B_a/O, \text{ skal være mindst } 1,3$$

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

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

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





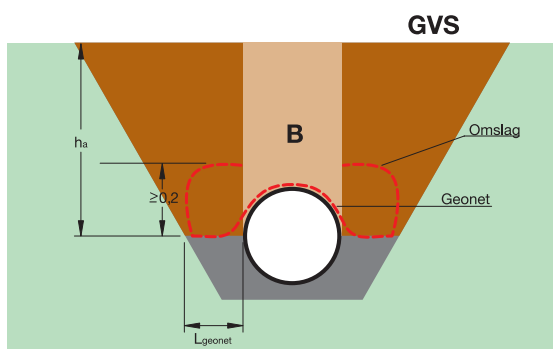
Figur 2.16: Ballast ved hjælp af geonet.

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

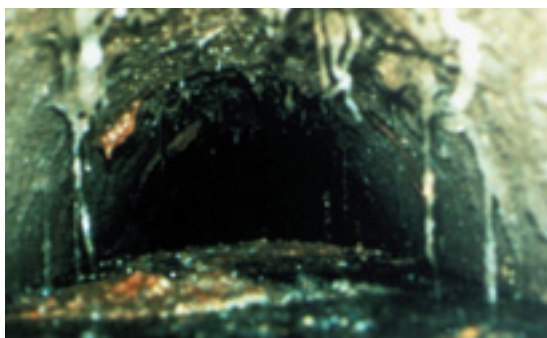
Resistens for ledninger drejer sig normalt om kemiske og termiske påvirkninger. Ud over de her givne oplysninger henvises til de enkelte producenters tekniske informationer eller deres tekniske serviceafdeling.

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





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/*.





3. Installation

- 3.1 Transport af produkter
- 3.2 Ledningsgraven
- 3.3 Ledningslægning
- 3.4 Samlingsmetoder og anvendelse
- 3.5 Omkringfyldning og tilfyldning
- 3.6 Genanvendelse af opgravet materiale
- 3.7 Installation under specielle forhold
- 3.8 Kontrol på byggepladsen







3. Installation

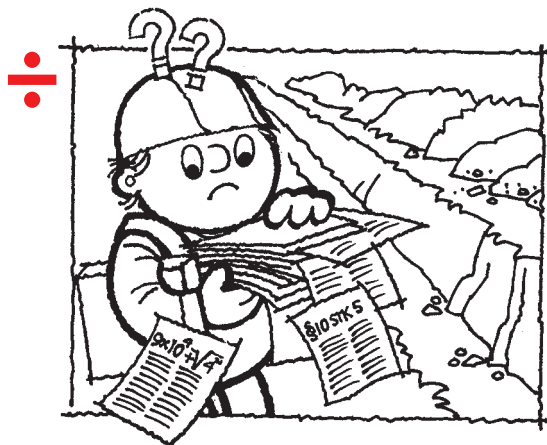
Dette kapitel gennemgår installation af ledninger, idet der startes med transport, håndtering og modtagekontrol af produkter. Herefter følger afsnit om etablering af ledningsgrav, om ledningslægning og omkringfyldning samt til sidst kontrolmetoder. Der henvises desuden til **DS 475** omkring generelle krav til etablering af ledningsanlæg i jord.

Ved korrekt projektering og valg af produkter i plast er det muligt at etablere ledningssystemer, der opfylder alle de krav, som bygherrer stiller for at sikre en lang levetid for de store investeringer, som foretages i nyanlæg og fornyelse af eksisterende ledningsanlæg. Samtidig kan opfyldes krav om mindst mulig påvirkning af miljøet og færrest mulige udgifter til drift og vedligeholdelse i den samlede levetid.

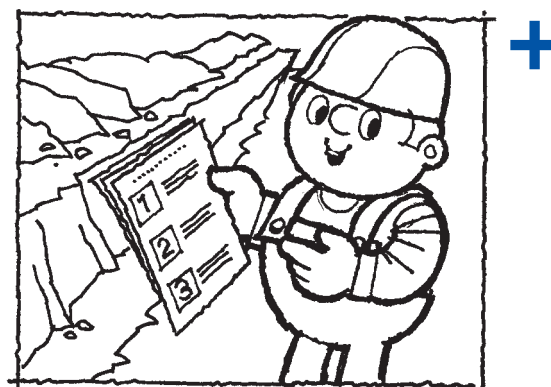
En meget væsentlig faktor for at opnå optimale anlæg er desuden, at ledningssystemerne installeres korrekt. Det er derfor yderst vigtigt, at entreprenøren får de rette beskrivelser og betingelser samt tid og økonomi til at udføre arbejdet korrekt samt anvender medarbejdere med viden og erfaring om ledningsanlæg, så der ikke indbygges fejl i installationsfasen. Fejl, der vil betyde, at den forventede levetid ikke opnås, samt at der opstår unødvendige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger for bygherren.



Figur 3.1: Projektmaterialiet skal vise det nødvendige og det vigtige, hvorfor korte og præcise beskrivelser bør kombineres med entreprenørens erfaringer.



Store, tunge beskrivelser fremmer sjældent et godt projekt.



Man kommer meget længere med korte, præcise beskrivelser kombineret med entreprenørens og rørlæggerens faglige kunnen.

3.1 Transport af produkter

På- og aflæsning samt transport er de første vigtige faktorer for at sikre kvaliteten af den endelige installation.

3.1.1. Pålæsning

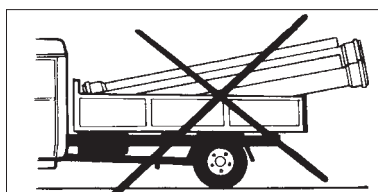
Pålæsning kan ske med truck eller mobilkran. Hvis der anvendes truck, skal det sikres, at gallerne er fri for grater, som kan ridse rørene. Hvis der anvendes kran, skal det sikres, at rørene løftes med minimum 2 stropper med en indbyrdes passende afstand, så rørene ikke bøjes unødigt.

3.1.2 Transport og aflæsning

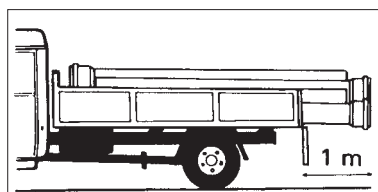
Rør og formstykker bør opbevares og transporteres i emballagen fra producenten så tæt til ledningsgraven som muligt.

Aflæsning skal ske på en sådan måde, at rør og formstykker ikke udsættes for skadelig påvirkning. Kæder og stålwire må under ingen omstændigheder bruges til aflæsning. Ingen produkter må under nogen omstændigheder tippes af. Rørbundter og løse rør samt kasser med formstykker og brønde skal stables på et plant og solidt underlag. Løse rør bør lægges i rammer, så rørene ikke ridses eller muffeformerer, jf. videre om Håndtering og Lagring afsnit 3.8.2 og 3.8.3.

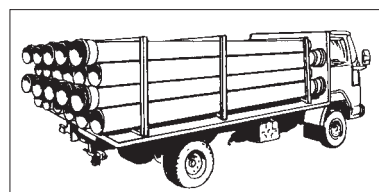
Figur 3.2: Vejledning i transport og aflæsning af rør.



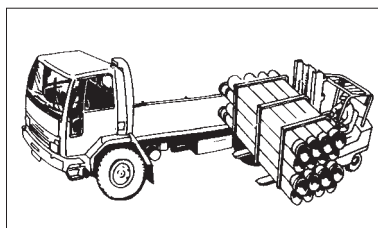
Rør og formstykker transporteres sikrest i fabriksemballagen. Hvis rørbundterne skal deles, sørg da for, at rørene ikke beskadiges af skarpe kanter og genstande.



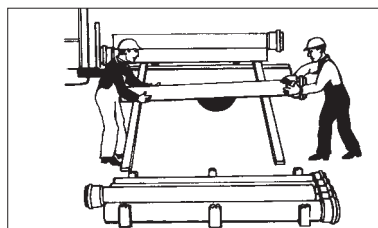
Mufferne skal ligge forskudt som vist. Rørene må max hænge 1 m ud over kanten af laddet, når rørene ikke er bundtet fra fabrikken.



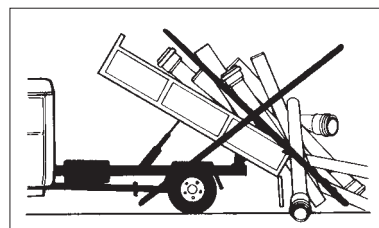
For fabriksbundtede rør gælder, at den bageste træramme skal hvile på bilens lad.



Ved aflæsning af rør i trærammer skal anvendes kran samt løftestropper af tekstil. Alternativt anvendes gaffeltruck.



Manuel aflæsning skal foregå som vist.

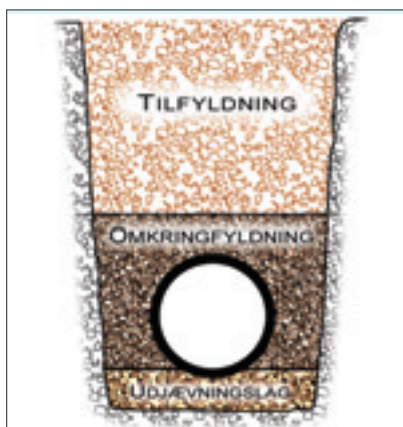


Rør og forstykker må **under ingen** omstændigheder tippes af!

3.2 Ledningsgraven

Ledninger placeres således, at de ikke medfører skadelige påvirkninger på andre ledninger eller konstruktioner og anlæg, og således at disse heller ikke påfører de nye ledninger nogen skade. Med hensyn til afstande mellem ledninger, hensyn til andre konstruktioner og anlæg, afmærkning af ledninger samt trafikforhold og afstivning henvises til **DS 475** og **DS 415**.

Figur 3.3: Normalt tværsnit i en ledningsgrav.



3.2.1 Gravbredde

Ledningsgraven skal i almindelighed gøres så smal som muligt, ikke alene af økonomiske grunde, men i høj grad også af hensyn til belastningen på rørene. Gravens bundbredde skal dog være tilstrækkelig stor til, at arbejdet i forbindelse med lægning af ledningen samt det efterfølgende tilfyldnings- og komprimeringsarbejde kan udføres korrekt og svarende til forudsætningerne ved den statiske beregning af ledninger. Se afsnit 2.2.2 Statische beregninger.

Ledningsgravens bredde skal også tage hensyn til eventuel grundforstærkning.

Gravbredden bør for rørdimensioner mindre end 400 mm være ydre diameter + 40 cm. For dimensioner > 400 mm bør gravbredden være ydre diameter + 70 cm. Har ledningsgravens sider et anlæg på mindre end 60° med vandret, bør gravbredden altid kun være ydre diameter + 40 cm. Øges gravbredden, skal komprimeringen være mere omhyggelig for at undgå ekstra belastning på rørene.

Oplukningsbredden i befæstede arealer og graveprofilen skal i øvrigt fastlægges på grundlag af de udførte forundersøgelser i forbindelse med projekteringen.

3.2.2 Gravdybde

Ledningsgravens dybde bestemmes ud fra det projekterede bundniveau og den tillægsdybde, der er betinget af udjævningslag og eventuel grundforstærkning. Hvis der ikke udføres grundforstærkning, skal maskinmæssig gravning ophøre, inden gravemaskinens skovl når ledningsgravens endelige dybde, medmindre der fx anvendes specialskovl med glat skær. Finafretning bør altid udføres med håndkraft.

Ledningsgravens bund skal være helt fast og jævn, da der kan dannes lunger ved bløde områder og ujævnheder under ledningen, når der tilfyldes og komprimeres over ledningen. Der skal ske en grundig inspektion for disse forhold før udlægning af udjævningslag.

Når der graves i vejarealer eller arealer, der støder umiddelbart op til vejarealer, skal ledningsgraven udformes og udføres på en sådan måde, at underminering og sætninger af vejarealer undgås. I kohæsionsjord kan anlæg på ledningsgraven eventuelt udelades ved dybder mindre end 1,7 m.

Hvis en ledningsgrav er dybere end projekteret, og justering er påkrævet, skal materialet, som lægges tilbage i ledningsgraven komprimeres således, at materialetransport til den omkringliggende jord ikke finder sted.

Er det ikke muligt at indbygge det eksisterende materiale, hvis det fx ikke kan komprimeres, eller der er forekomster af vand i ledningsgraven, kan justeringen foretages med andet materiale. Dette kræver dog, at materialetransport forhindres, hvilket eventuelt kan løses ved hjælp af geonet.

3.2.3 Grundforstærkning

Ledningsgravens bund skal udføres med grundforstærkning, hvis jordbundsundersøgelser og oplysninger om rørenes belastning viser, at bunden ikke er bæredygtig, herunder blødbundsområder, op-



blødt bund i graven samt ved stenet bund og ved forurenede jord. Grundforstærkning udføres også, hvis der fejlagtigt er gravet for dybt. Udjævningslaget, som rørene lægges på, anses ikke for at være en grundforstærkning.

Grundforstærkning kan udføres ved, at der efter udgravning forstærkes med et stabilt lag af egnet grus eller singelsmakadam, der komprimeres i lag af højst 0,3 m tykkelse (svarende til ca. 0,2 m i fast mål). Anvendes singels, skal det sikres, at udjævningslaget ikke forsvinder, fx ved afdækning af singels med geonet.

Grundforstærkning kan om nødvendigt udføres som pælefundering eller kan erstattes med ophængning af ledningen. Dette kræver en speciel beregning af ledningens belastning og bæreevne, hvilket kan gennemføres af de enkelte producenters serviceafdeling. Ved overgangen fra pælefundering eller ophængning til normal fundering udføres en egnet overgangskonstruktion.

Ved trykledninger kan sammensvejt ledning eventuelt erstatte opbygning af en grundforstærkning. Ledningen fuldsvejses ved hjælp af enten el-muffer eller stuksvejsning, således at den fremstår som en hel længde uden „samlinger“.

Ledningen fastgøres i hver sin ende af et bygværk, og den vil herefter kunne følge jordens bevægelser.

Ved valg af ledningsmateriale skal det sikres, at materialet er i stand til at optage eventuelle sætninger. Ved eventuel opdriftsikring skal der anvendes ballastklodser.

3.2.4 Oplukning af befæstede arealer

Oplukning af befæstede arealer omfatter optagning og oplæg af fortovsfliser, brostensbelægning mv. for senere retablering samt opbrydning og bortkørsel af asfalt- og betonbelægninger.

Bredde på oplukning udføres efter **DS 475's** standardgraveprofiler for befæstede arealer som vist på figurene. Der henvises desuden til den stedlige vejmyndighed for lokale regler.



Uafstivet grav.



Afstivet grav.

Ved asfaltbelægning i tykkelse større end 30 mm må oplukning kun ske efter forudgående gennemskæring eller fræsning i den fulde lagtykkelse. Ved asfaltbelægning tyndere end 30 mm anvendes anden oplukningsmetode. For at arbejdet med retablering af ledningsgrave kan blive så let og godt udført som muligt, skal rendekanterne være intakte. De må ikke være løftet eller undermineret, og de skal stå lodrette og lige. Ved stor gravbredde og ved tykke belægninger bør kanterne aftrappes.

Oplukning af asfaltbelægning sker ved at lave to spor i ledningsgravens bredde, hvorefter asfalten fjernes med en rendegraver, gravemaskine eller med håndkraft. Sporene skal altid være så dybe, at de går helt igennem asfalten. Gennemskæring af asfalt skal, dersom den resulterer i spor med større bredde end 10 mm, foretages inden for det afspærrede arbejdsareal.



De langsgående spor kan fx udføres ved skæring med faste eller roterende skæreknive/-skiver eller fræsning i fuld bredde med eller uden forudgående opvarmning. Hugning med tryklufbsbor bør ikke anvendes.

Udføres oplukningen ved hugning med mejsel og/eller spade eller ved skæring med fast kniv/tal-lerkenskæring, er det vanskeligt at overholde kravene til rendekanterne.

Ved skæring med roterende blad eller fræsning opnås et rent og pænt snit, samtidig med at skæresmullet bliver liggende i skærerenden, hvilket bl.a. betyder, at trafikken ikke generes af opskæringen, samt at arbejdet kan udføres på tidspunkter, hvor det er mest belejligt.

3.2.5 Udjævningslag

Rørene lægges på et udjævningslag, der skal beskytte rørene mod ujævnheder og sikre, at rørene får en ensartet og jævn understøtning.

Udjævningslagets tykkelse afhænger af rørtypen og fremspringet på mufferne. Fremspringet skal kunne graves ned i udjævningslaget således, at røret får en linieunderstøtning.

Materialer til udjævningslag bør opfylde følgende krav:

- kornstørrelse over 16 mm må ikke forekomme
- indholdet af korn mellem 8 og 16 mm må højst være 10%
- materialet må ikke være frossent
- skarp flint eller tilsvarende materiale må ikke anvendes

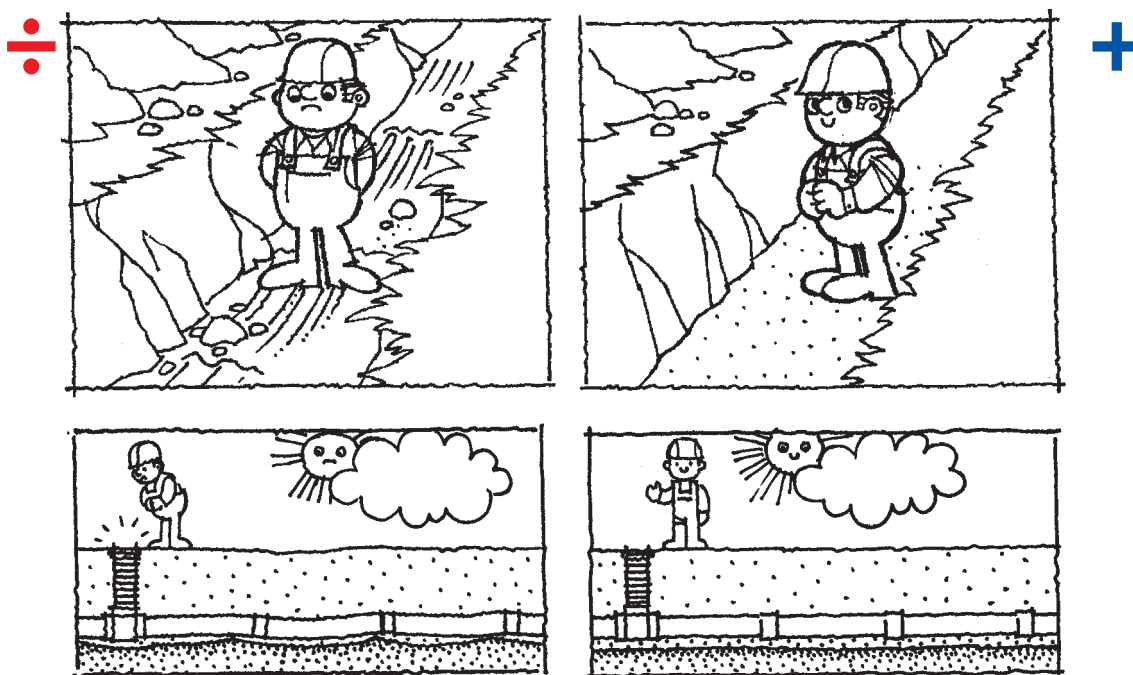
Hvis den eksisterende jord opfylder ovenstående krav, kan man undlade at grave ud til udjævningslag.

Udjævningslaget skal ikke komprimeres, før rørene lægges. Omkring muffesamlingerne holdes ledningen fri af udjævningslaget.

Udjævningslaget må ikke lægges på frossen jord, hvorfor ledningsgravens bund beskyttes i koldt vejr. Sne og is, som findes på ledningsgravens bund, samt sten, der kan give anledning til punktbelastninger, skal fjernes, inden udjævningslaget udlægges.

Hvis der forekommer vand i rørgraven, kan vandet bortskaffes ved, at der under udjævningslaget udlægges et lag sten. For at sikre, at udjævningslaget ikke transporteres ned i stenlaget, skal de to lag adskilles med geonet.

Figur 3.4: Bunden i ledningsgraven skal være fast og jævnt afrettet. Et korrekt udjævningslag sikrer, at ledningen ligger godt, inden omkringfyldningen begynder. Et mangelfuldt udjævningslag er ofte starten til lunker.



3.3 Ledningslægning

Rørene skal lægges og fastholdes, således at deres beliggenhed bevares i forhold til de linier og fald, der er angivet i projektet. Dette gælder især, hvor der er mulighed for opdrift og under tilfyldning og komprimering. Ledninger skal desuden i nødvendigt omfang sikres ved kørsel med tungt entreprenørudstyr mv. på byggepladsen (fx køreplader).

Ved trykledninger kan kræfter ved især retningsændringer og forgreninger optages i forankringer, bagstøbninger eller trækfaste samlinger. Metoderne kan også anvendes ved gravitationsledninger med stort fald.

Beregninger for forankringer og opdrift omtales i henholdsvis afsnit 2.2.3 og 2.2.4 i kapitel 2.

Kræfter, som opstår på grund af vands tryk, temperatur og hastighed, skal kunne optages af rørene eller deres omgivelser uden at medføre skader på rør og samlinger. Rørene kan bøjes ved lægningen, såfremt de ikke derved udsættes for påvirkninger, der er større end de tilladte. Bøjede rør skal fastholdes således, at samlingerne ikke udsættes for tværbelastning.

Om afstivning henvises til **DS 475**.

Tabel 3.1: Minimum bøjningsradius for forskellige plastrør ved installation.

	PE 80	PE 100	PVC-U	PP
Teoretisk minimum bøjningsradius ved 5-20° C	25 · dy	25 · dy	300 · dy	100 · dy
Kontrol af minimum bøjningsradius under installation	≤ 8% deformation af dy	≤ 8% deformation af dy	≤ 2° afvinkling i muffe	≤ 2° afvinkling i muffe

dy er plastrørets nominelle udvendige diameter.

3.3.1 Lægningsnøjagtighed

Såfremt der ikke er forlangt andet fra bygherres side, må ledningers placering i sideretningen intetsteds afvige mere end 0,20 m fra placeringen ifølge projektet.

Ved visse rørtyper kan der forekomme krumninger. I sådanne tilfælde skal der under installationen tages højde for dette ved at lægge rørene således, at krumningen forekommer sideværts. Da ledningen skal ligge mireret, må disse krumninger ikke forekomme i dybden, da dette kan medvirke til luncker. Anvendelse af korte længder (max. 3 m) reducerer en eventuel sideværts forskydning.

Afløbsledningers placering i dybden må intetsteds afvige mere end 0,3 m fra placeringen ifølge projektet.

Afløbsledningers fald I_v , målt på en strækning af mindst 10 m skal ligge inden for følgende grænser, hvor I_p er faldet i promille ifølge projektet:

$$I_p - 1 \leq I_v \leq I_p + 1$$

Bagfald accepteres ikke.



3.4 Samlingsmetoder og anvendelse

Samling af plastrør kan foregå ved hjælp af følgende samlingsmetoder:

- Samling med tætningsring
- Elektrosvajsning
- Stuksvejsning
- Ekstrudersvejsning
- Mekanisk samling



En **samling med tætningsring** er en samling, der består af en muffe og en spidsende. Tætningsringen kan enten være fastsiddende i muffen eller kan leveres som en løs ring, der monteres i muffen eller på spidsenden. Tæthed opnås, når tætningsringen komprimeres mellem muffe og spidsende.

Ved samling i ledningsgraven holdes spidsende og muffe fri for sand. Der anvendes glidemiddel, hvor dette er foreskrevet af producenten. Spidsenden skubbes lige ind i muffen. Trykkes spidsenden skævt ind, kan der komme spændinger i samlingen.



Ved **elektrosvajsning** anvendes PE-formstykker med indbyggede varmeelementer i form af en metalspiral til samling af PE-rør. Muffen skubbes ind over spidsenden, og en svejsetransformator tilsluttes og fører strøm gennem metalspiralen. Strømmen får metalspiralen til at smelte plastmaterialet, hvorved sammensvejsningen sker. Metoden kan anvendes på rør og formstykker, som alene har spidsende. Endvidere findes der forskellige formstykker med indbyggede varmeelementer.



Stuksvejsning er en teknik, der anvendes til samling af PE-rør med en diameter større end 50 mm. Rørenderne bliver spændt fast i en speciel stuksvejsmaskine, hvorefter de bliver høvlet rene og parallelle ved hjælp af en elektrisk rørhøvl. Derefter opvarmes rørenderne ved hjælp af et termostatstyret, teflonbelagt varmespejl placeret mellem de to rørender. Når rørenderne er tilstrækkeligt smeltet, fjernes spejlet, og rørenderne presses sammen, indtil de er kølet ned igen. Stuksvejsprocessen frembringer en svejsevulst både ud- og indvendigt i røret. Såvel udvendig som indvendig svejsevulst kan fjernes med specialværktøj, hvis dette ønskes.

Både ved stuksvejsning og elmuffesvejsning opnås trækfaste samlinger, hvorfor bagstøbning ikke er nødvendig. Vær derimod opmærksom på, at man nu har ét langt rør, så stort set hele rørstrækningens sammentrækning og udvidelse som følge af temperaturændringer vil udløses ved ikke-trækfaste overgange. Det er derfor vigtigt, at røret fikses ved ikke-trækfaste overgange.

Stuksvejsning og elmuffesvejsning anvendes typisk ved installationer med indvendigt tryk og bør kun udføres af svejsere med svejsecertifikat for disse svejsemetoder.

Der henvises til de enkelte producenters vejledninger eller deres tekniske serviceafdelinger om svejseparametre og godkendelse af svejsninger.

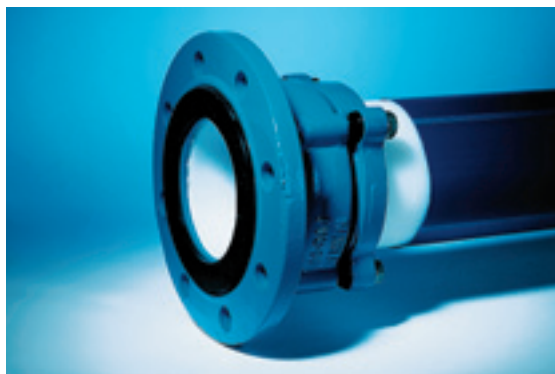


Ekstrudersvejsning er en samlingsmetode, hvor to emner sammensvejses ved tilførsel af nyt materiale. Ekstrudersvejsning anvendes til sammensvejsning af letvægtsrør og fremstilling af specielle formstykker, brønde mv. og kan udføres både på fabrik og i marken (in situ).

Anvendelsesområdet er typisk gravitation. Svejsningen bør udføres af svejsere med svejsecertifikat for denne svejsemetode.

Mekanisk samling (kompressionsfittings) er en skruesamling, hvor tætheden opnås ved, at en tætningsring komprimeres mellem røret og forskruningen.

Der henvises til de enkelte producenters vejledninger eller deres tekniske serviceafdelinger om, hvornår der bør anvendes støttebøsninger.



3.4.1 Samling af plastrør med andre rørmaterialer

Ved overgang fra et materiale til et andet skal benyttes de overgange og metoder, som er foreskrevet for de pågældende systemer. Flere af disse er VA-godkendte, men i visse tilfælde kan det være nødvendigt at anvende utraditionelle metoder. Det skal altid sikres, at alle funktionskrav til en god samling tilgodeses.

Retnings- og dimensionsændringer foretages sædvanligvis i brønde. Er rensningsmulighederne tilgodeset, kan retningsændringer og bøjning foretages på ledningen. Det skal dog nævnes, at mange bygherrer ønsker placeret en brønd på de steder, hvor der forekommer retnings- og dimensionsændringer.

I øvrigt henvises til de enkelte producenters sortiment eller deres tekniske serviceafdeling.



3.4.2 Plastbrønde i områder med grundvand

Når der installeres fleksible plastbrønde, er det afgørende for brøndens funktion og levetid, at valg og komprimering af omkringfyldningen sker som projekteret. Brønden kan dermed modstå de belastninger, som den påføres i form af jordtryk og trafik.

I områder, hvor brøndene derudover udsættes for grundvandstryk, er der specielt to forhold, som skal undersøges:

- Deformation af brøndbunden - baseret på kort- og langtidsberegninger suppleret med praktiske afprøvninger, hvor brønden har været udsat for varierende grundvandstryk.
- Opdrift af brønden - brøndens evne til at modstå opdrift er afhængig af den udvendige overflades ruhed (friktion), omkringfyldningsmaterialets uensformighedstal og komprimering.

Der henvises til de enkelte producenters vejledninger eller deres tekniske serviceafdelinger for deres anvisninger i sætning af brønde, afslutning ved terræn og andre specielle forhold.





3.5 Omkringfyldning og tilfyldning

Omkringfyldningen skal sikre, at ledningen opnår tilstrækkelig støtte på alle sider, og at alle belastninger kan overføres uden skadelige punktpåvirkninger.



Omkringfyldningen foretages umiddelbart efter, at lægningen af ledningen er kontrolleret og godkendt. Omkringfyldningen skal fortsættes til mindst 0,15 m over ledningstop.

Omkringfyldningen skal udføres således, at ledningen ikke skades eller forskubbes. Endvidere skal udlægning og komprimering kunne udføres sådan, at der opnås friktion mod gravens sider i hele lagets højde.

Efterfølgende vejledning gælder for at sikre ledninger tilstrækkelige lægningsforhold. Vejmyndigheders krav kan være mere omfattende.

3.5.1 Jordbundsforhold og omkringfyldningsmateriale

Inden der foretages valg af specielt materiale til omkringfyldning og tilfyldning samt metode til komprimering, er det afgørende at fastlægge, hvilken jordtype installationen vil blive udført i.

Såfremt der forekommer forskellige jordtyper i forbindelse med ledningsgraven, skal det tydeligt fremgå af projektbeskrivelsen, hvor og i hvilken udstrækning den enkelte jordtype er forudsat.

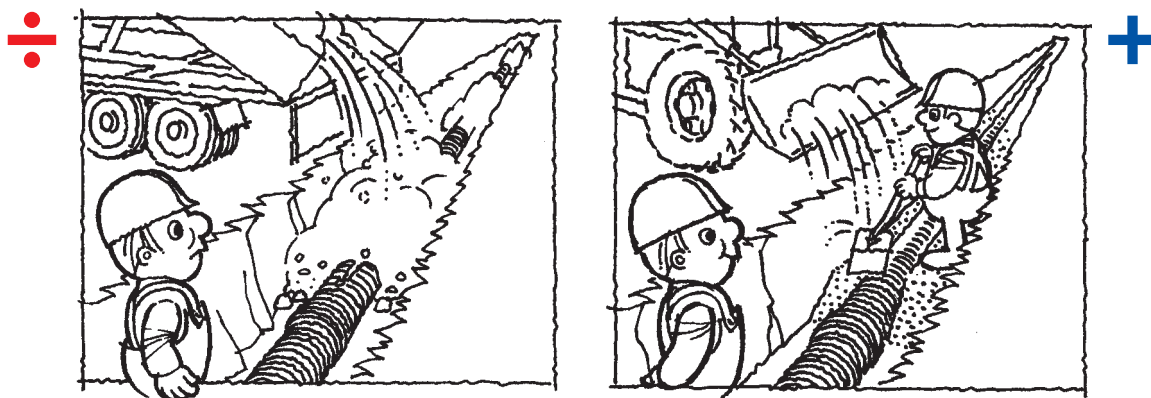
Mange jordtyper egner sig til såvel omkringfyldning som tilfyldning. Det opgravede materiale vil derfor i mange tilfælde kunne genanvendes, jf. efterfølgende om genanvendelse af opgravet jord.

De følgende anbefalinger er baseret på den jordklassificering, der anvendes i **DS/ENV 1046 annex A** inkl. bearbejdning og tilføjelser vedrørende egnethed under danske forhold.

Under danske forhold vil jorden inden for sædvanlige lægningsdybder for ledningsanlæg meget ofte være istidsaflejringer enten i form af morænemateriale (blanding af forskellige kornstørrelser) eller vandaflejret materiale, der er karakteriseret ved kun at indeholde relativt få kornstørrelser (fx mellemkornet sand, silt m.m.).

Geotekniske betegnes materialerne altid efter deres fremtrædende egenskaber, eksempelvis kan moræneler godt bestå af 85% korn i silt-/sand- og grusfraktionerne og kun 15% ler. Alligevel er materialet primært kohæsivt.

Figur 3.5: Omkringfyldning skal fyldes jævnt ned og jævnes ud, ikke fyldes voldsomt ned.



3.5.2 Komprimering af omkringfyldning og tilfyldning

En plastledning arbejder hele tiden sammen med omkringfyldningen og den øvrige jord omkring den. Røret er fleksibelt og er dimensioneret, således at dette samarbejde kan foregå, uden at røret overbelastes. På denne måde kan en plastledning klare de sætninger og omlejringer, som kommer i ledningsgraven, jf. endvidere om den statiske beregning, deformation og komprimeringsklasser i afsnit 2.2.2.

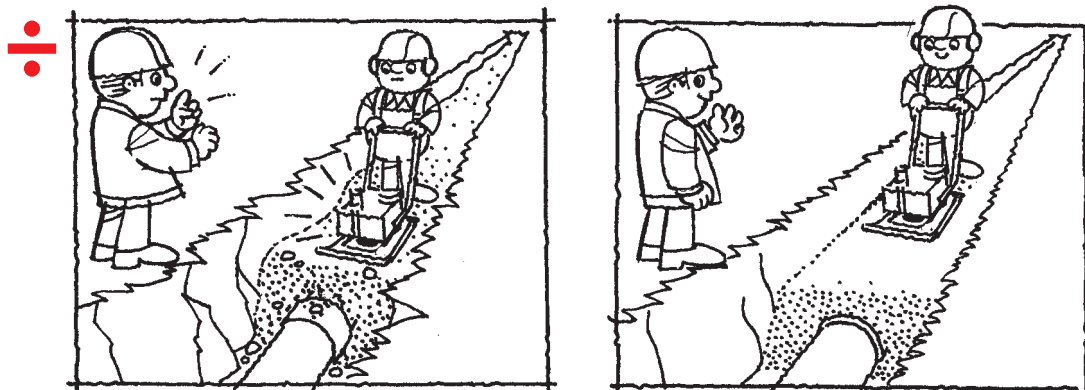
Komprimering i ledningsgraven sker ikke blot af hensyn til rørene. En utilstrækkelig komprimering vil fx betyde skader og væsentlige driftsudgifter for vejen og fortovet over ledningsgraven i takt med, at omkringfyldningen sætter sig.

Der kan være specielle krav til tilfyldning fra vejmyndighederne.

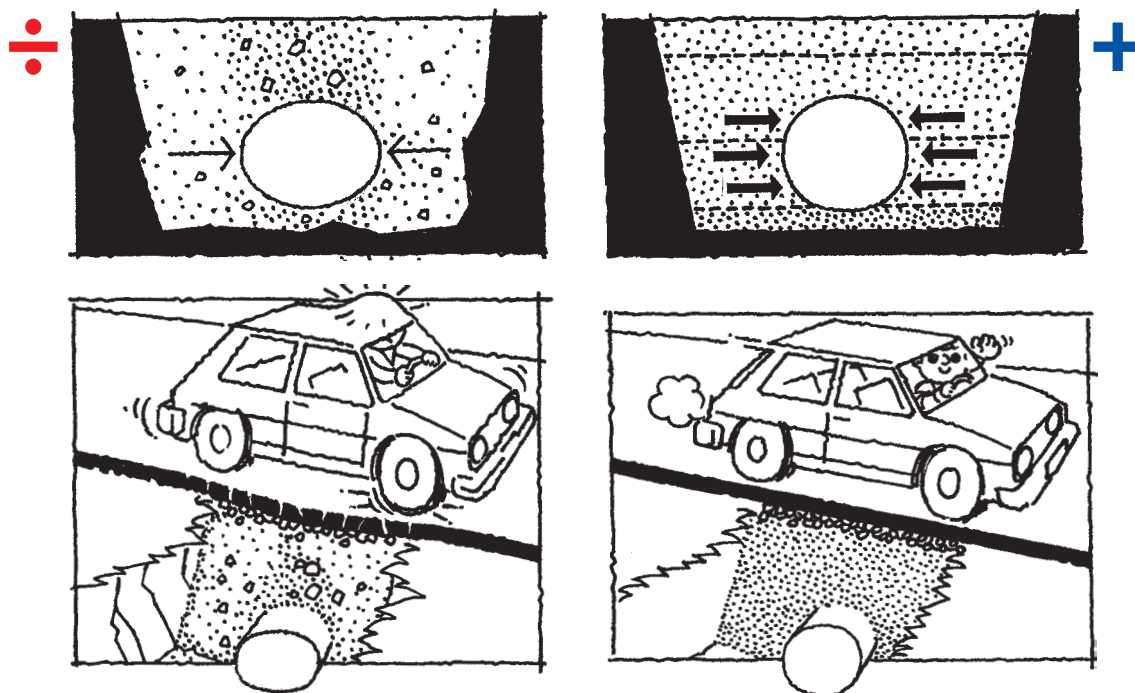
Når et rør er mere fleksibelt end den omkringliggende jord, optager jorden den betydeligste del af belastningen. Herved undgås overbelastning, som kan medføre brud på røret.

På grund af fleksibiliteten vil plastrøret deformeres under lægningen. Størrelsen af deformationen afgøres i langt de fleste tilfælde alene af komprimeringen af sand og jord omkring røret. Jo mere fast den omkringliggende sand/jord er komprimeret, jo større belastning kan plastrøret påføres, uden at deformationen øges.

Figur 3.6: Den gode komprimering starter med, at sandet trædes sammen langs ledningen. Derefter komprimeres der på siden, så der etableres sidestøtte. Endelig komprimeres over toppen. Begge steder komprimeres i lag af 15-20 cm.



Figur 3.7: Med den rigtige omkringfyldning og komprimering kan en plastledning klare de sætninger og omlejringer, som kommer i ledningsgraven.



Komprimeringen er kategoriseret i forskellige klasser H (høj), N (normal), M (moderat) eller U (uegnet). Sammenhængen med komprimeringsgrader er vist i tabel 3.2 og kontrolleres ved isotopmåling.

Ved store rør håndkomprimeres de nederste lag inderst langs røret. For store rør henvises i øvrigt til "Store kloakledninger - drift, reovering og nyetablering"/18/.

Tabel 3.2: Sammenhæng mellem karakterisering af komprimeringsgrader, Standard Proctor, kontrolleret ved isotopmåling.

Kategori	Komprimeringsgrad [%]	
	Friktionsjord	Kohæsionsjord
H (høj)	> 98	> 95
N (normal)	95 - 98	93 - 95
M (moderat)	90 - 94	87 - 92
U ("uegnet")	< 90	< 87



Jordkategori	Jordklasse	Jordtype	Sortering	Betegnelser	Komprimering	Komprimeringsudstyr										
						Håndstamper 15 kg Lagtykkelse	Vibrationsstamper 40-70 kg Lagtykkelse	Pladevibrator 20-200 kg Lagtykkelse	Pladevibrator 200-600 kg Lagtykkelse	Vibratortromle 15-40 kN Lagtykkelse	Vibratortromle 40-70 kN Lagtykkelse	Fårefodstromle 30-70 kN Lagtykkelse	Kompactor Lagtykkelse			
Grus	1a	Friktionsmateriale	Velsorteret U <2 Blandet 2 <U <5 Usorteret U >5	Singels	>98% SP											
				Nødder		ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m					
				-Efter Perler Filtergrus												
Sand	1b	Friktionsmateriale	Velsorteret Blandet 2 <U <5 Usorteret u>5	Groft 0,6-2,0 mm	>98% SP											
				Mellem 0,2-0,6 mm		ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m					
				Fint 0,06-0,2 mm												
				Harpet sand SAND												
Morænegrus	2a	Friktionsmateriale	Usorteret grus, leret	Leret grus 10-15% silt/ler	>98% SP	ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m					
Morænesand	2b	Friktionsmateriale	Usorteret grus, leret	Leret grus 10-15% silt/ler	>98% SP	Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m					
Moræne ler	3	Friktions-/kohæsionsjord	Gruset Sandet Siltet	Moræne ler, gruset >15% ler	Frikionsjord 95-98% SP Kohæsionsjord 93-95% SP											
				Moræne ler, gruset >15% ler		Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m						
				Moræne ler, gruset >15% ler		Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m						
Moræne ler	4	Kohæsionsjord	Almindelig Fedt	Moræne ler >35% ler	93-95% SP 87-92% SP											
				Moræne ler fedt >35% ler		Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m						
Silt/ler	5	Kohæsionsjord	Velsorteret d <0,06 Almindelig d <0,002	Ler, siltet Silt. Leret <40% ler	<87% SP <87% SP											
				Ler, fedt >40% ler		Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m						
Ler	6	Kohæsionsjord	Fedt		<87% SP											
				Plastisk ler		Ja 0,2 m	Ja 0,2 m	Ja 0,4 m	Ja 0,4 m	Ja 0,6 m						
	7				<87% SP											

Tabel 3.3: Vejledende sammenhæng mellem jordklasser og anvendeligt komprimeringsudstyr.

Fordrætningen for at anvende tabel 3.3 er en minimum jorddækning på 0,8 m.

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

Omkringfyldningsmaterialet må ikke indeholde skarp flint eller tilsvarende materiale.



Såfremt der ønskes den højst opnåelige komprimering af jordarterne (se tabel 3.3 med jordklassificering), skal der med de angivne lagtykkelser forventes ca. 4 overkørsler med komprimeringsudstyret.

Eksempel:

De foranstående tabeller 3.2 og 3.3 kan anvendes ved, at der i tabel 3.2 findes den givne jordtypes egnethed og behov for komprimering ved anvendelse som omkringfyldning, fx morænesand, jord-

klasse 2b, som skal komprimeres højt eller normalt.

I tabel 3.2 aflæses hvilken komprimeringsgrad, der kan opnås med henholdsvis høj eller normal komprimering, og i tabel 3.3 hvilke komprimeringsudstyr og lagtykkelser, der kan anvendes for jordklasse 2b.

3.6 Genanvendelse af opgravet materiale

Miljømæssigt og økonomisk vil det ofte være en fordel at genanvende den opgravede jord.

Som udgangspunkt vil den opgravede jord kunne genanvendes som omkring- og tilfyldningsmateriale, idet såvel friktions- som kohæsionsjord kan anvendes.

Det er dog en forudsætning, at jorden kan indbygges og opnå de i projektet krævede komprimeringsgrader.

Kohæsionsjord vil i udgangspunktet medføre større deformationer end friktionsjord.

Maksimal stenstørrelse i omkringfyldningen er 1/10 af rørdiameter, dog maksimalt 64 mm.

Det anbefales, at der udføres skærpet tilsyn under installationen.

Afhængig af det aktuelle projekt, kan det være aktuelt at udføre en referenceinstallation. En referenceinstallation er en installation over en kortere strækning, hvor den opgravede jord tilfyldes og komprimeres med de til rådighed værende maskiner og komprimeringsudstyr.

For eksempel kan entreprenøren installere en strækning på 50-100 m. Det sker med byggepladsens personer og maskiner samt den opgravede jord og med den fremgangsmåde, tilsynet og entreprenøren har valgt.

Umiddelbart efter færdig tilfyldning og komprimering af ledningsgraven udføres deformationsmåling med en fast tolk/slæbedorn, afdrejet, så den passer med den deformationsprocent, som er fastsat tilladt for ledningen. Se figur 3.11, afsnit 3.8.6:

Eksempel på slæbedorn. Kan tolken/slæbedornen trækkes igennem ledningen, betyder dette, at omkringfyldningen, arbejdsgangen og komprimeringsmetoden er i orden.

Herefter kan det besluttes at fortsætte (igangsætte) det videre arbejde med projektet med de i referenceinstallationen fastlagte materialer, arbejdsgange og rutiner, idet lægningsmetode og komprimering er blevet nøje beskrevet under udførelsen af referenceinstallationen. Herved sikres, at den samlede installation bliver ensartet og korrekt.

Der henvises endvidere til afsnit 2.2.2 Statistiske beregninger om E-moduler for forskellige omkringfyldninger.



3.7 Installation under specielle forhold

De eksempler, der er nævnt og refereret til i de forudgående afsnit, er optimale forhold for ledningsanlæg og installation af disse. Der forekommer ofte situationer, hvor forholdene er anderledes end beskrevet, eller der bliver brug for andre metoder. Dette afsnit vil omhandle nogle af disse situationer.

3.7.1 Dyb smal udgravning

Er ledningen projekteret dybt og under vanskelige trafikale forhold, fx i indre by gælder der de samme forhold som en almindelig ledningsgrav. Det kan dog i disse tilfælde være svært at etablere ledningsgraven som foreskrevet. Ofte bruges der gravekasser, hvor pladsen er meget trang. Ved brug af gravekasser er det vigtigt, at sikkerhedsforskrifterne følges nøje.

Når der skal komprimeres op omkring ledningen, er det vigtigt, at dette gøres gradvist, mens gravekassen langsomt trækkes op. Opmærksomheden skal rettes mod det område, hvor siden af gravekassen har stået. Her er det vigtigt, at også dette område bliver komprimeret ordentligt op, således at der ikke sker materialetransport hverken nedad eller til siderne.



3.7.2 Grundvand i og omkring ledningsgraven

Ledninger, der er projekteret dybt, tæt på vådområder og hvor grundvandet står højt, giver anledning til, at der skal tages ekstra forholdsregler i forbindelse med anlæg af ledningsgraven. Der skal ske en kontrolleret bortledning af vandet i bunden af ledningsgraven. Dette kan gøres ved, at der under afretningslaget lægges et drænlag, der kan lede vandet til en evt. pumpeump. Dette drænlag adskilles fra afretningslaget med geonet, således at der ikke sker materialetransport til dette drænlag. Der henvises til afsnit 2.2.4 Opdrift.



3.8 Kontrol på byggepladsen

Modtagekontrol er kontrol på byggepladsen af de faktisk leverede produkter. Håndtering og lagring på byggepladsen skal foregå på en sådan måde, at rør og formstykker ikke udsættes for skadelig påvirkning.

3.8.1 Modtagekontrol

Det er vigtigt at foretage en modtagekontrol, når materialerne leveres på byggepladsen, da ansvaret for materialerne normalt overgår til modtageren ved leveringen. Til dette kan anvendes eksempel på kontrolskema som vist i fig. 3.9.

Omfanget af kontrol og kontrolpunkter kan være som vist i figur 3.8 for de forskellige materialer. Her er med ✓ vist de vigtigste kontroller for de enkelte rørtyper.

Omkring kontrolpunkterne gælder, at mærkning, ridser og ovalitet skal være i overensstemmelse med de aktuelle standarders krav for de enkelte rørtyper og -materialer.

- Med hensyn til ridser gælder for PE, at der ved design og produktion af røret er taget højde for en dybde på 10% af godstykkelsen. Skarpe ridser må ikke forekomme, skal bortskræbes.
- Solblegning af rør er en nedbrydning af farvepigmentet i overfladen og har derfor kun visuel betydning. Erfaringer viser, at udendørs lagring også over længere tidsrum på vore breddegrader ikke har betydning for rørens styrke.
- Krumninger på lange rør kan ikke undgås, specielt ikke i varme perioder. Derfor skal der tages hensyn til krumninger ved lægningen, jf. afsnit 3.3.1 Lægningsnøjagtighed.
- Flydesøm på formstykker er en visuel markering fra formværktøjets samling og kan ikke undgås. Dette har ingen betydning for styrke og funktion.

Oplysning om de enkelte aktuelle standarder kan fås ved henvendelse til producenterens tekniske serviceafdelinger.

Figur 3.8: Eksempel på skema til modtagekontrol af plastprodukter.

Kontrolskema til modtagekontrol						
		GRAVITATION			TRYK	
Kontrolpunkt		PVC-U	PP	PE	PVC-U	PE
✓ = Kontrol bør udføres	Mærkning	✓	✓	✓	✓	✓
	Ridser	x	x	x	x	✓
	Ovalitet	x	✓	x	x	✓
x = Kontrol kan udføres	Gummiringe	✓	✓	x	✓	x
	Afpropning	x	x	x	✓	✓

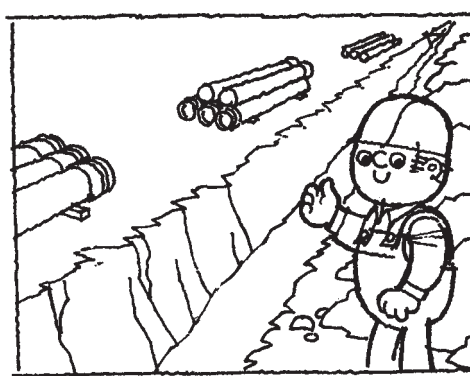
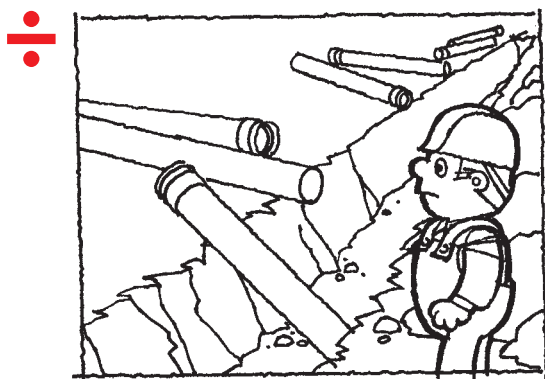


Figur 3.9: Eksempel på skema til generel modtagekontrol.

Modtagekontrol - Rør, brønde, formstykker					
Projektnavn:		Projekt nr.:			
Skema nr.:	Følgeseddel nr.:	Dato:	Side: /		
Leverandør:					
Mærkning:	Nordic Poly Mark (NPM):	DS-mærke:	VA-godk.:		
Rørsystem:					
Brønde og formstykker:	PP:	PE:	PVC-U		
Ledninger:					
Dimension mm:					
Tryktrin: SDR					
Ringstivhed: SN					
Brønde og formstykker:					
Dimension mm:					
Tryktrin: SDR					
Ringstivhed: SN					
Skader:					
	Ledninger		Brønde/formstykker		
	Ja	Nej	Ja	Nej	
Revner:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kasseres.
Ridser:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Max 10% af godstykkelse.
Ovalitet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Max 1-2% af udvendig diameter.
Misfarvninger:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solblegning accepteres, for andet kontakt leverandør.
Samlingsmateriale:	_____				
Øvrige skader:	_____				
Bemærkninger:					
Sted:			Dato:		



Figur 3.10: Rør, formstykker og brønde skal sikres en korrekt håndtering og lagring på byggepladsen.



3.8.2 Håndtering

Ved enhver aflæsning og transport er der risiko for, at produkterne beskadiges. Derfor må det tilstræbes, at materialerne skal transporteres så lidt som muligt på byggepladsen, inden de er på deres endelige plads. Det optimale er, at materialerne leveres så tæt på anvendelsesstedet som muligt.

For at undgå skadelige påvirkninger på rør og formstykker ved håndtering bør følgende sikres:

- at de ikke tippes fra vogn
- at der ved af- og pålæsning samt flytning af rørbundter og rørruller med kran anvendes remme af tekstil eller lignende
- at de ikke slæbes hen over jord eller andet underlag, som kan beskadige dem
- at der altid anvendes egnet transportmateriel
- at de ikke kommer i berøring med skarpe kanter
- at de oprullede rør ikke vrides under håndteringen
- at rør og formstykker af PVC-U håndteres med forsigtighed ved temperaturer under frysepunktet.

3.8.3 Lagring

Ved oplagring af materialer skal det sikres, at adgangsvej og oplagingsplads er anlagt således, at transport med lastbiler kan finde sted. Oplagingspladsen bør være forberedt til modtagelse af produkter, d.v.s. rammer til løse rør, et plant underlag til opbevaring af bundter samt paller til opbevaring af formstykker mv.

Ved lagring af rør og formstykker skal det sikres, at disse ikke deformeres, og at de i øvrigt ikke udsættes for skadelige påvirkninger.

Man skal med hensyn til solekspnering af sorte PE-rør være opmærksom på den krumning, der kan opstå på rørene som følge af ensidig opvarmning.

Rør og formstykker opbevares længst muligt i den emballage, som fabrikken/producenten har leveret. Rørbundter og løse rør opbevares på en plan og jævn bund. Løse rør stables således, at de ikke hviler på mufferne.

For især rør til vandforsyning er det vigtigt at sikre, at afproninger er intakte i hele perioden fra modtagelse af rørene til lægning.

For mere information om håndtering og lagring henvises til **DS 430** og **DS 475**.



3.8.4 Slutkontrol

I forbindelse med godkendelse af ledningsanlæg er det op til den enkelte ledningsejer at fastlægge, hvilke krav som skal være opfyldt, herunder fx hvilke observationer som skal accepteres ved den afsluttende TV-inspektion.

For de pt. aktuelle rørtyper på markedet kan fx anvendes følgende acceptkriterier, ligesom der henvises til producenternes dokumentation af, hvorledes fx korrekte rørsamlinger ser ud. Se også TV-inspektion afsnit 3.8.9, samt om deformationsmåling i afsnit 3.8.6.

Tabel 3.5: Acceptkriterier for de pt. aktuelle plast-rørssystemer på markedet med hensyn til rørens gennemsnitlige levetid, styrke, tæthed samt hydrauliske kapacitet.

Observation ved TV-inspektion	Der accepteres
RB	Ingen
KO	Ingen
DE*	PVC-U: 8% PE og PP: 9%
FS (Å)	FS 1 (Å) ved ribberør FS 2 (Å) når åbning skyldes skydemuffer, overgangsstykker og lignende
IS	Ingen
RØ	Ingen
VA	10%, dog ikke vand som indikerer lunke

*) Deformation ved ibrugtagning svarende til deformation ved installation plus ovalitet fra produktion (korttidsdeformation), jf. afsnit 2.2.2 Statistiske beregninger og om deformationsmåling i afsnit 3.8.6. DE indikerer kvaliteten af installationsarbejdet.

Forhold omkring fald er omtalt i afsnit 3.8.8 og komprimering i afsnit 2.2.2 og 3.5.2.

3.8.5 Kontrolmetoder under og efter installation

Der skal under hele arbejdet med installationen ske en kontrol af, 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.

Væsentlige kontrolpunkter er:

- Jordbundsforhold og grundvandsforhold.
- Placering af ledninger og brønde.
- Koter og fald.
- Samling af rør, formstykker og brønde.
- Udjævningslag, omkringfyldning og komprimering.
- Tilslutningspunkter (fx at der ikke er fejltilslutninger i et separatsystem).

Tidligere i kapitlet er beskrevet modtagekontrol af produkter på byggepladsen og referenceinstallationer med henblik på korrekt omkringfyldning og komprimering, og der er via figurer givet eksempler på korrekt og ikke-korrekt udførelse. Endvidere henvises til kontrolniveauer og kontroller i **DS 475**.

I det følgende omtales aktuelle kontrolmetoder.

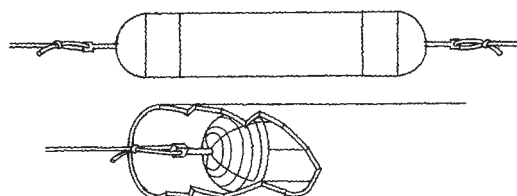
3.8.6 Deformationsmålinger

Deformationsmåling foretages umiddelbart efter afsluttet installation. I de tilfælde, hvor manuel måling af deformationer direkte i røret ikke er mulig, kan målingen foretages ved hjælp af fx en fast tolk/slæbedorn. Slæbedornen er normalt fremstillet til den aktuelle ledningsdimension og svarende til den tilladelige deformation, se den efterfølgende tabel.

Deformationsmåling skal gennemføres i en renspulet ledning, så aflejringer ikke har indflydelse på måleresultatet. Anvendes andet måleudstyr end en slæbedorn, skal der foreligge dokumentation for, at måleudstyret er kalibreret, herunder dets målenøjagtighed ved den aktuelle diameter.

Det skal bemærkes, at TV-inspektion med den nuværende teknologi ikke er anvendelig til måling af deformationer.

Figur 3.11: Eksempel på slæbedorn.



Den endelige deformation opnås efter 1-3 år, hvor deformationen typisk er korttidsdeformationen + 2-3%, jf. mere om dette i afsnit 2.2.2 Statistiske beregninger.

3.8.7 Komprimeringskontrol

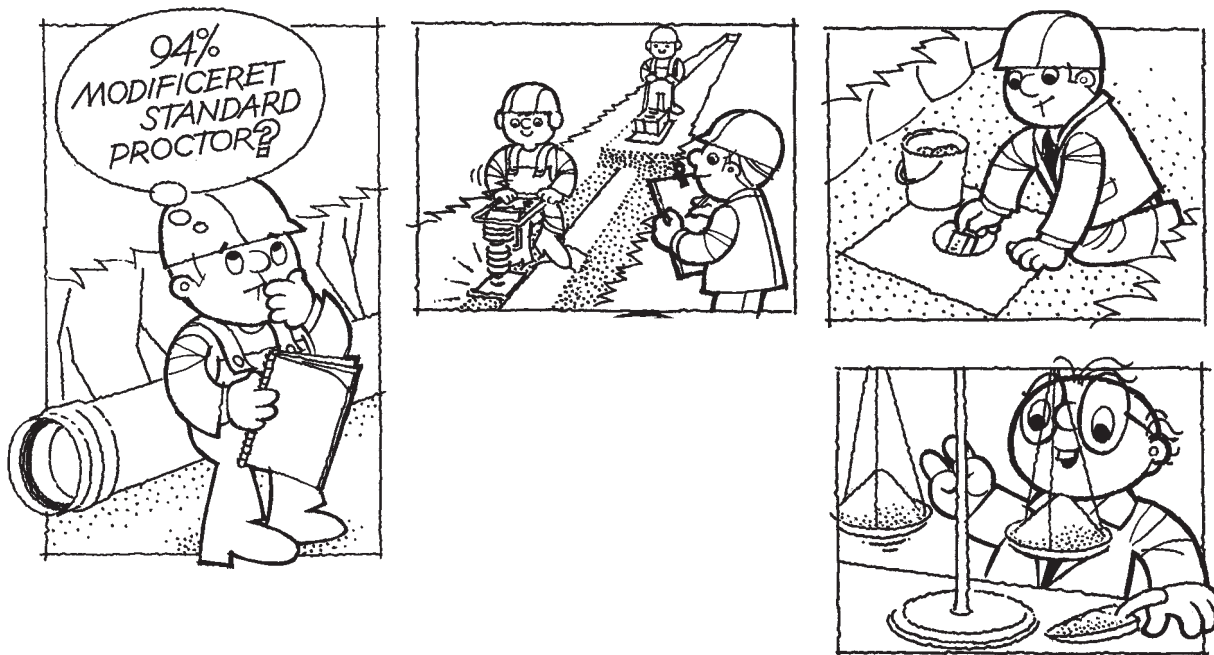
Komprimeringskontrol vil sige måling af komprimeringsgraden (udtrykt i en Proctor-værdi).

Proctor-forsøg er det forsøg, der anvendes, når det skal vurderes, om en jord, der løsnes og flyttes, igen kan trykkes sammen (komprimeres), således at den bliver tæt og fast sammenlignet med en

standard komprimering af samme materiale målt i et laboratorium.

Der findes forskellige metoder til udførelse af komprimeringskontrol. Blandt de mest anvendte er visuel kontrol, sandefterfyldningsmetoden og isotopmetoden, hvor kun de to sidste kan anvendes, når der stilles krav om efterfølgende dokumentation.

Figur 3.12: Komprimering og komprimeringskontrol med sandefterfyldningsmetoden.



3.8.8 Faldmåling

Faldmåling foretages i dag mest med en hydrostatisk faldmåler. Målingen foregår ved, at man fra en computer på terræn fører en væskefyldt slange ind i røret. For enden af slangen er der monteret en tryktransducer, som bliver udsat for et stigende væsketryk, jo dybere transduceren kommer ned.

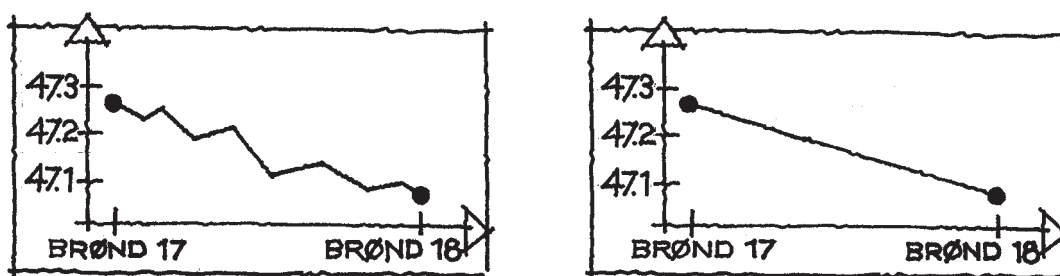
Transduceren sender et signal op til computeren, som hele tiden beregner, hvor transduceren befinder sig i forhold til et i forvejen defineret nulpunkt.

Derved kan der udarbejdes et længdeprofil og et målebogsblad, som viser faldforholdene.

En anden mulighed for faldmåling er et TV-kamera med indbygget hældningsindikator.

Faldmåling skal gennemføres i en renspulet ledning, så aflejringer ikke har indflydelse på måleresultatet. Der skal foreligge dokumentation for, at måleudstyret er kalibreret, herunder dets målenøjagtighed.

Figur 3.13: En måling af længdeprofilen viser, om ledningen ligger korrekt, og med korrekt fald.



3.8.9 TV-inspektion

TV-inspektion er den metode, der giver flest oplysninger om en lednings tilstand, da der kan konstateres fx revner, brud, forskudte samlinger, indtrængende samlingsmateriale, rødder, afsætninger, aflejringer og fremmedlegemer.

TV-inspektion er ikke en målemetode, hvorfor observationer af især lunger og deformationer kan være forbundet med en betydelig usikkerhed.



De større kameraer er selvkørende på hjul og kan være udstyret med satellitkamera, der kan skydes op i en stikledning fra hovedledningen. Desuden kan de drejes vertikalt og horisontalt samt panorere og zoome. De mindste kameraer indføres manuelt i ledningerne. Flere af disse kameraer har i dag mange muligheder for zoom mv.

Kameraerne er tilsluttet en printer, og der leveres en god dokumentation for ledningens tilstand. Resultatet lagres på digitale medier.

Når en bygherre får udført en TV-inspektion af et nyanlæg, får han en rapport, der beskriver det, operatøren har set under inspektionen. TV-rapporten indeholder en registrering og ikke en vurdering af tilstanden af ledningen eller af årsagen til den enkelte observation. TV-rapporter beror på operatørens visuelle bedømmelse, og en kritisk vurdering af rapporten er anbefalelsesværdig. Denne må foretages af bygherren selv og dennes rådgivere.

Tabel 3.6: Eksempel på acceptkriterier for plastledninger med henvisning til observationer ved TV-inspektion og deformationsmåling.

Observation ved TV-inspektion	Der accepteres
RB	Ingen
OB	Ingen
DE	DE 1 < 5%
FS (F)	Ingen
FS (Å)	FS 1 (Å) ved ribberør FS 2 (Å), når åbning skyldes skydemuffer, overgangsstykker og lignende
IS	Ingen
PR	Kun efter aftale
RØ	Ingen
IN	Ingen
AF	AF 1 (mindre aflejringer der skyldes ibrugtagning)
VA	10%, dog ikke vand som indikerer lunger
FO	Ingen
GR	GR 0
PH	Ingen
PB	PB 1
RE	RE 0, med mindre der er godkendt retningsafvigelse

Rapporteres der lunger eller deformationer, og skal der gennemføres større foranstaltninger i den anledning, og specielt hvis en anden part skal stå til regnskab for lunger/deformationer, bør der følges op med en faldmåling/deformationsmåling for at sikre det bedst mulige beslutningsgrundlag, jf. de foregående afsnit om disse målemetoder.

For TV-inspektionsfirmaer findes der en kontrolordning DTVK, Danske TV-inspektionsfirmaers Kontrolordning, som blandt andet sikrer medlemmernes uddannelse og ved stikprøver kontrollerer kvaliteten af det udførte arbejde. "Fotomanualen - TV-inspektion af afløbsledninger"/10/.

I denne manual findes forklaringer på de faglige forkortelser, der er anvendt i tabel 3.5 og 3.6

I det følgende gives en kort beskrivelse af punktdeformation og åbne samlinger ved TV-inspektion:



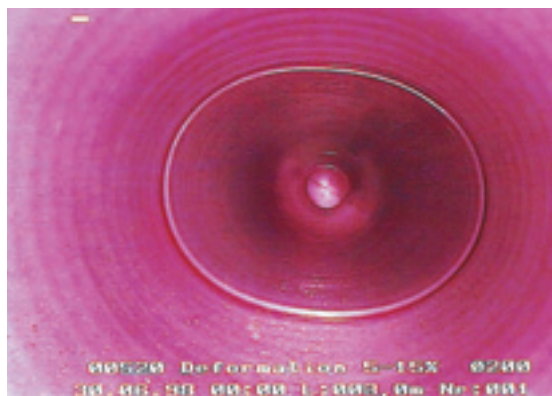
Punktdeformationer

Punktdeformationer på et rørsystem installeret med et omkringfyldningsmateriale (tilført jord eller genbrugsjord), der opfylder kravene i tabel 2.11, vil ikke give anledning til overbelastning af rørmaterialet eller reduktion af levetiden. Punktdeformationens størrelse skal ligge inden for de tilladelige middeldeformationer på henholdsvis 8 og 9% (se afsnit 3.8.4 Slutkontrol)

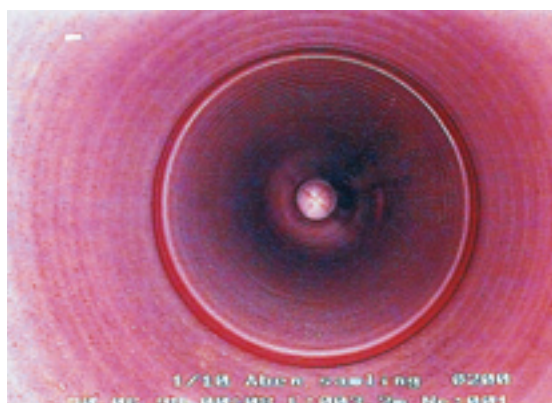
Punktdeformationer kan opstå ved installationen, hvor en sten eller en hård lerklump ligger direkte på røret. Ved en TV-inspektion vil den samme numeriske deformation se forskellig ud afhængig af rørtype.

På et ribberør vil en punktbelastning ses som et enkelt punkt, hvorimod den på et glat rør vil ses som en mere langstrakt udbredelse.

Punktbelastninger vil som regel ikke give anledning til udbedring af røret, da spændingen i rørvæggen efter et stykke tid vil udlignes. Plastrør er designet således, at de min. kan tåle 30% deformation ved korttidstest, så årsagen kan i langt de fleste tilfælde fjernes uden udskiftning af røret.



5% < deformation < 15%



FS (Å)

Åbne samlinger

Åbne samlinger kan opstå, hvis to rør ikke skubbes korrekt sammen, eller hvis der anvendes to rør med forskellig indstikslængde/muffedybde.

Et korrekt samlet ribberør kan imidlertid fremstå som en FS (Å).

Åbne samlinger er tætte, men ved store godstykker og store diametre kan der, afhængig af samlingens udformning, ske turbulens og aflejring i mindre omfang. Er der her en stor spalte (FS 2-3 (Å)), kan der være risiko for, at større dele i afløbsvandet sætter sig fast.



3.8.10 Tæthedsprøvning

Tæthedsprøvning kan enten foretages før eller efter ledningsgravens endelige tilfyldning.

Prøvningen skal udføres under konstante temperaturforhold. Ledninger, som ikke er dækket af jord, må derfor beskyttes mod temperaturvariationer under hele prøvningen. Direkte solstråling på ledningen må ikke forekomme.

Ledninger tættes i hver ende af prøvningsstrækningen og ved alle afgreninger. Brønde tættes ved brøndtop og i alle ind- og udløb. Dette sker så tæt som muligt ved brøndvæg, men dog således, at samlingen mellem rør og brønd indgår i prøvningen.

Alle de i systemet indgående dele skal være sikret på en sådan måde - og alle tætninger skal have en sådan udførelse - at de ikke forskyder sig under prøvningen. Derefter udføres selve prøvningen med vand eller luft efter de foreskrevne betingelser.

Der skelnes imellem tæthedsprøvning af gravitationsledninger og trykledninger.

Gravitationsledninger

Tæthedsprøvning foretages ofte i henhold til **DS 455**, skærpet kontrolniveau, hvorfor der her gives et eksempel på en udførelse af tæthedsprøvning med luft efter **DS 455**, samt eksempel på en prøve-rapport. Der henvises til **DS 455** for opdeling i prøvepartier etc. samt for krav mv. ved andre kontrolniveauer.

I alle ledningens tilløb og afløb monteres en slutprop. Alle stikledninger skal således være gravet fri, så afpropning er mulig. Som slutprop anvendes en gummibold. De to bolde i hver sin ende af prøvestrækningen er forsynet med studse til oppumpning af bolden og til påfyldning af luft ind i ledningen.

Ledningen skal afprøves med et overtryk på 10 kPa.

Ved grundvandsspejl over ledningen skal overtrykket i ledningen være 10 kPa over ledningen. Dvs. ved X meter grundvand over ledningens midte skal

prøvningstrykket være $10 \text{ kPa} + X \cdot 1 \text{ kPa}$ (X ind-sættes i meter).

Prøvningstrykket må af sikkerhedsmæssige grunde ikke overstige 30 kPa. Over dette tryk skal prøven udføres med vand.

Prøvningsperiodens længde kan findes af formlen: $t = 19 \cdot d^{1,5}$, hvor t er tiden i minutter og d er den indvendige diameter i meter.

Indgår forskellige diametre i en prøvning, beregnes prøvetiden ved en vægtning af diametre og længder, se **DS 455**.

Tabel 3.7: Prøvningsperiodens længde afhængig af ledningens diameter.

Dimension mm	Prøvetid
Ø 110	0 min. 38 sek.
Ø 160	1 min. 07 sek.
Ø 200	1 min. 33 sek.
Ø 250	2 min. 10 sek.
Ø 315	3 min. 05 sek.
Ø 400	4 min. 24 sek.
Ø 500	6 min. 09 sek.

En plastledning godkendes efter **DS 455** i skærpet kontrolniveau, hvis der i denne prøvningsperiode højst konstateres et trykfald på 1 kPa (10 kPa er 1 meter vandsøjle).

Prøverapporten kan fx udformes som vist i figuren på næste side.



Figur 3.14: Eksempel på prøverapport fra tæthedsprøvning af gravitationsledning.

Tæthedsprøvning udført efter DS 455						
Udført for:				Udført af:		
Sted:				Dato:		
Vejrforhold				Dimension.:		
Længde:				Materiale:		
Brønd opstrøms	Brønd nedstrøms	Vandspejl over rør	Prøvetid sek	Starttryk Mbar	Sluttryk Mbar	Trykfald Mbar
Særlige forhold: (F.eks. antal stik)						
Ledningen godkendt <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej						

Trykledninger

Tæthedsprøvning af trykledninger udføres med afspærring og fyldning af et begrænset ledningsafsnit med vand. Ledningsafsnittet skal være vandfyldt i 2 timer før selve prøvningen (konditionering af ledningen).

Den følgende metode baserer sig på **SFS 3115:E**, som er en meget anvendt finsk standard ved tæthedsprøvning af trykledninger.

Vandtemperaturen bør være ca. 20°C. Ledningsafsnittet bør vælges således, at trykforskellen mellem det højeste og laveste punkt ikke overstiger 100 kPa (10 mVS).

Ved selve prøvningen påføres ledningsafsnittet et indre overtryk svarende til ledningens nominelle tryk. Dette tryk skal vedligeholdes i 2 timer ved påfyldning af vand.

Trykket øges derefter til 1,3 x det nominelle tryk. Dette tryk vedligeholdes i 2 timer ved påfyldning af vand.

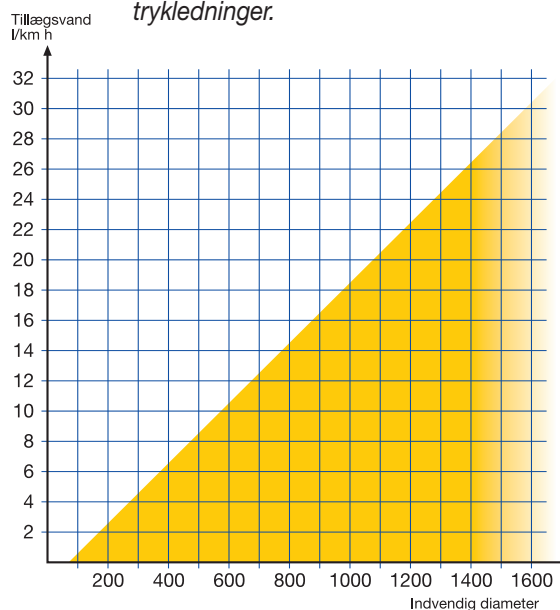
Trykket sænkes til det nominelle tryk. Efter 1 time måles den vandmængde, som evt. behøves for at få trykket op på det nominelle tryk.

Ledningsafsnittets tæthed afgøres ved tæthedsprøvningens slutning, når det konstateres, hvor meget vand der er nødvendigt for at opretholde det

nominelle tryk. Det evt. ekstra vandbehov (tillægsvand) omregnes til liter pr. km og time. Det opnåede resultat indsættes i skemaet "Prøverapport for Tæthedsprøvning" figur 3.16. Tæthedsprøvningen er godkendt, såfremt punktet ligger neden for (i det gule felt) den tegnede kurve i figur 3.15.

Rørender, bøjninger og afgreninger bør fikseres på forsvarlig vis, idet der er tale om store kræfter ved prøvetrykket på 1,3 x rørets nominelle tryk. Det høje tryk samt evt. luftlommer i ledningen kan udgøre en risiko, hvorfor særlige foranstaltninger kan være nødvendige. Det påhviler bygherren at sørge for de nødvendige sikkerhedsforanstaltninger.

Figur 3.15: Godkendelse af tæthedsprøvning for trykledninger.



Figur 3.16: Eksempel på prøverapport fra tæthedsprøvning af trykledning.

Prøverapport fra Tæthedsprøvning

Kunde:		Projekt:	
Sags nr.:	ID-nr.:	Dato:	Initialer:
Sted:			
Rørdimension:		Prøveledningens længde:	
Bemærkninger:			

Testfase	Klokkeslet	Tidsforløb	Tryk kp/cm ²	Vandmængde
Fyldes med vand				
Trykstabilisering				
Trykstabilisering				
Trykstabilisering				
Opnå tryk til 1,3 · PN				
Trykvedligeholdelse				
Trykvedligeholdelse				
Trykvedligeholdelse				
Trykvedligeholdelse				
Måling af tillægsvandmængde				

Rørsektionen opfylder opfylder ikke standardkravene

Tillægsnoter:

/ -

Dato Prøvemester Kundens repræsentant Bygherrens repræsentant

Kundens accept:		Dato:	Initialer:
Retur/Udfyldt:	Nyt ID-nr.:	Dato:	Initialer:



4. Ledningsdrift

- 4.1 Drift og vedligeholdelse af afløbssystemer
- 4.2 Rensning af ledninger
- 4.3 Driftskontrol
- 4.4 Arbejder i nærheden af ledninger
- 4.5 Genanvendelse







4. Ledningsdrift

De foregående kapitler om projektering og installation af ledningssystemer er baseret på, at miljøpåvirkninger og økonomi ved såvel anlæg som drift skal være mindst mulig. Der er givet vejledning i at etablere ledninger med høj kvalitet, hvor driftsarbejdet i løbet af en meget lang driftsperiode skal være minimalt. Dette er i overensstemmelse med almindelige krav, herunder standarden **DS/EN 752-7** om vedligeholdelse og drift af afløbssystemer uden for bygninger og funktionskrav til ledningsanlæg i dag.

Dette kapitel om ledningsdrift drejer sig overvejende om afløbssystemer. I starten omtales **DS/EN 752-7**, hvorefter kapitlet alene beskæftiger sig med forholdene i plastledninger. Det vil sige metoder til rensning ved afsætninger og aflejringer samt driftskontrol med TV-inspektion. Begge dele overvejende i forbindelse med akut opståede problemer, idet et korrekt projekteret og udført ledningssystem med plastledninger ikke vil have behov for periodisk eller planlagt rensning eller inspektion.

Endvidere omtales forholdsregler for at sikre, at ledninger ikke beskadiges i forbindelse med nærliggende gravearbejde og ved tilslutninger af ledninger. Til sidst omtales genanvendelse af udtjente rørmaterialer. Bygværker (pumpestationer, bassiner mv.) behandles ikke, da hele vejledningen alene drejer sig om selve ledningerne.



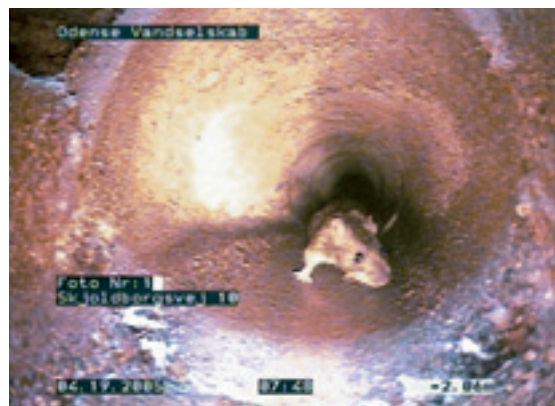
4.1 Drift og vedligeholdelse af afløbssystemer

Drift og vedligeholdelse af afløbssystemer har til formål at undgå funktionsstop og gener for beboere, bygninger og det omgivende miljø. Det er således driftens ansvar, at afløbsledningerne altid fungerer svarende til de funktionskrav og servicestrategier, ledningsejeren ønsker at leve op til. Desuden at afløbssystemet fungerer sikkert og økonomisk effektivt, samt at driften minimerer omfanget af eventuelle gener og skader.

Drift og vedligeholdelse skal udføres af veluddannet personale med kendskab til afløbssystemets udformning, rørdimensioner og rørmateriale.



DS/EN 752-7 giver i denne forbindelse en række krav til god praksis for drift og vedligeholdelse. Dette omfatter blandt andet generelle krav til planlægning af drift, vedligeholdelse og beredskab, dataindsamling og undersøgelser af årsager til fx funktionsstop, forurening mv. Desuden krav til uddannelse, sundhed og sikkerhed i forbindelse med arbejdet.



Standarden tager udgangspunkt i de forskellige typiske driftsproblemer og fysiske problemer. En stor del af dette er knyttet til bygværkerne i afløbssystemet. I det følgende omtales imidlertid kun de relevante forhold for plastledninger i afløbssystemer. Jf. fx *"Diagnos av avloppsledningars kondition"/19/*, *"Miljøpåvirkninger og økonomiske konsekvenser fra driften af afløbssystemer"/2/* og andre skandinaviske undersøgelser af forholdene i afløbssystemer.



4.2 Rensning af ledninger

Her omtales erfaringer med aflejring og afsætninger, samt aktuelle rensemetoder i plastledninger.

4.2.1 Aflejring i afløbsledninger

Er der behov for at rense en afløbsledning af plast, skyldes det som regel, at den er lagt med for lille fald eller med lunger.

Andre årsager til aflejring kan være, at der kan gå flere, måske adskillige, år fra et afløbssystem bygges, til vandforbruget i afløbsoverlandet kommer op på den vandføring, som giver selvrensning. I denne periode, som også kan være en periode med ekstra store mængder byggeaffald i afløbssystemet, kan der ofte være behov for supplerende spuling for at sikre tilstrækkelig rensning af ledningerne.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at der kan være større krav til selvrensning eller spuling, når tømninger af især vejbrønde og andre sandfangsbrønde sker sjældent, eller hvor hele sandfanget ikke tømmes fuldstændigt. Her vil der altid komme ekstra sand ud i ledningerne.

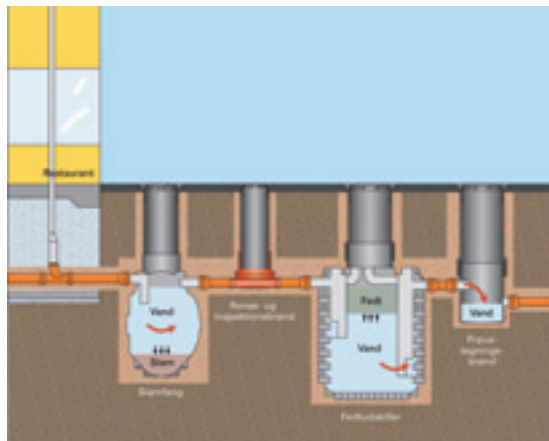


Hvis husholdninger eller virksomheder anvender afløbssystemet til alle former for affald, kan man ligeledes få tilført mange stoffer og megen skidt, som kan give afsætninger og aflejring. Dimensionering for selvrensning og erfaringer med minimumsfald omtales i kapitel 2 Projektering.

4.2.2 Fedtaflejring

Tilsyneladende kommer der mere og mere olie/fedt til afløbssystemet. En af årsagerne er, at vore madvaner ændrer sig, så vi både i de private husholdninger og på små og større restauranter bruger mere olie i madlavningen.

I restauranter, større køkkener og andre virksomheder, hvor man arbejder med madvarer, er en anden årsag, at opvaskemidler, rengøringsmidler og høje temperaturer gør det vanskeligt at udskille olier og fedt fra vandet.



Endelig er der mange virksomheder, som bør have en fedtudskiller af hensyn til driften af afløbssystemet. Det gælder køkkener i kantine, kro, hotel, restaurant, pizzeria, grillbar, alle typer fast food, cateringfirmaer, slagtere etc., samt alle der producerer og forarbejder madvarer.

Af hensyn til driften af afløbssystemet er det vigtigt at sikre, at udskilleren tømmes, og at den tømmes ofte nok. Tømning én gang om året er ofte langt fra tilstrækkeligt. Der kan være behov for tømning én gang om måneden og nogle steder hyppigere. Se fx anbefalinger i *"Fedtudskillere"/8/*. I mange tilfælde er det værre for det kommunale afløbssystem, at der kommer store fedtklumper ud fra en fedtudskiller, som ikke tømmes, end at der kommer små mængder hele tiden.

Der kan findes flere anbefalinger om afsætninger i afløbssystemer, fedtudskillere mv. i *"Afløbsledninger af plast - sæt fokus på driften til gavn for både økonomi og miljø"/20/*.

Uanset selvrensning sker der i stort set alle afløbsledninger en opbygning af et fedtet lag. Tidligere blev det kaldt kloakhud, nu kaldes det ofte en biohud, fordi det er et lag af organisk materiale med et højt indhold af bakterier mv., hvor der sker en omsætning af det organiske stof. Se i øvrigt kapitel 2 Projektering, afsnit 2.2.1 Hydrauliske beregninger.



4.2.3 Rensemetoder

Til rensning af plastafløbsledninger med gravitation kan især anvendes spuling med vandtryk, hvilket løsner og flytter materialer i ledningen hen til nærmeste brønd, hvor det suges op.

Erfaringer viser, at det vigtigste ved god og effektiv spuling er en erfaren spuleoperatør, som vælger det rigtige spulehoved til opgaven. Det anbefales, at der anvendes styr omkring spulehovedet, som centrerer det midt i ledningen.

Undersøgelser af tryk og vandstrøm har vist, at høj vandstrøm og forholdsvist lavt tryk giver en bedre renseseffekt end lav vandstrøm og højt tryk.

Det er vandstrømmen, som flytter aflejringerne igennem ledningen. Og erfaringerne viser, at en vandstrøm i liter/minut på 0,5 gange ledningsdiametere i mm er passende for bløde aflejringer i ledninger mindre end Ø1000 mm.

Erfaringerne viser ligeledes, at for at få en effektiv spuling af bløde aflejringer skal spuletrykket ude i ledningen (ved spulehovedet) være ca. 60 bar. Da tryktabet gennem rør på spulevognen, slanger og spulehovedet ofte er 30-40 bar, skal trykket målt på spulevognen maksimalt være 100 bar. Til hårde aflejringer kan større spuletryk være aktuelt. I dag findes der i øvrigt udstyr, som kan måle både tryk og vandstrøm ude i spulehovedet.

Ved valg af spulehoved drejer det sig især om at tage hensyn til ledningens dimension og den type aflejringer, som skal fjernes. Ved forstoppelser anvendes spulehoveder med fremadrettet vandstråle. Ved aflejringer af sand, grus og fedt anvendes normalt et standardhoved eller et granathoved.

Til venstre ses et spulehoved med styr.

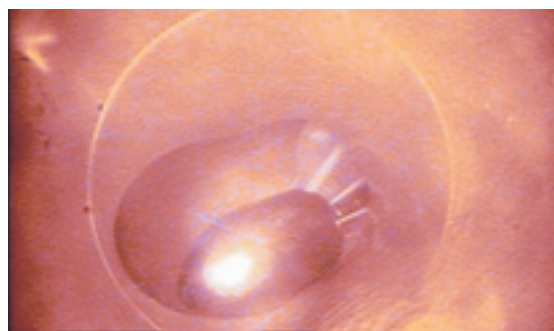
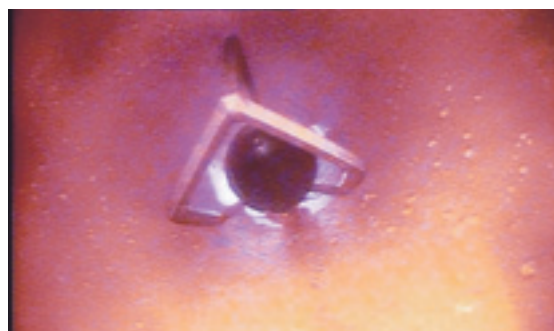
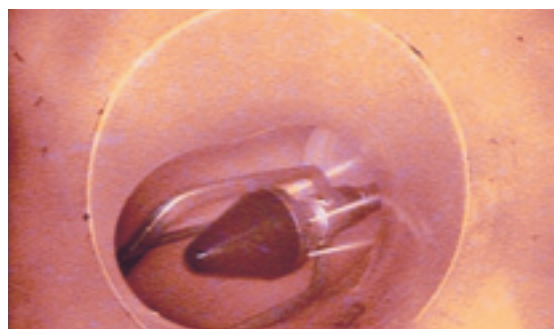
Til højre er vist et granat spulehoved.



Dernæst er det vigtigt, at spulingen virker ved, at de fine partikler bliver hvirvlet op og transporteret i vandet, medens de større partikler bliver holdt i bevægelse hele tiden og ruller foran vandet. Den mest effektive spuling er derfor, når spulehovedet er i bevægelse, hvorfor spuleoperatøren skal begrænse den tid, hvor spulehovedet ligger stille. Erfaringerne viser, at "holdetiden" i mindre ledningsdimensioner ikke bør være over 60 sekunder ad gangen.

Bevægelsen af spulehovedet må heller ikke være for hurtig, idet aflejringerne så ikke følger med vandet. Erfaringerne viser, at stabil trækning med 6-12 m pr. minut giver en effektiv rensning.

Udstyr med spidser, skær og lignende skal ikke anvendes i plastledninger. Forekommer der undtagelsesvist indhængende gummiringe og rødder i ældre ledninger, kan fx anvendes skæring, hvis skæret er styret og ikke når helt ud til rørvæggen.



Hvor der er mulighed for dannelse af svovlbrinte eller afsætninger i forbindelse med trykafbløsningsledninger, kan der med fordel fra starten udføres installationer til regelmæssig anvendelse af rensesvampe/-"grise". Vandledninger renses også normalt med svampe. Der findes i dag såvel stive svampe til hårde aflejringer og afsætninger som bløde svampe til løse aflejringer. Yderligere vejledning om rensning af afløbsledninger, herunder udstyr, metoder, kvalitetssikring, sikkerhed og uddannelse kan findes i "Vejledning i rensning af afløbsledninger"/6/. For vandledninger henvises til "Rensning og desinfektion af vandforsyningsanlæg"/7/.



4.3 Driftskontrol

Er der sket afsætninger eller aflejringer i en plastledning, som har ført til driftsstop, bør der gennemføres TV-inspektion for at finde årsagen. Rapporteres der ved inspektionen lunger eller deformationer, bør der altid følges op med en decideret måling for at sikre det bedst mulige beslutningsgrundlag.

Denne anbefaling skyldes, at TV-inspektion ikke er en målemetode, og at observation af lunger og deformationer ved TV-inspektion kan være forbundet med en betydelig usikkerhed.

Der henvises til afsnittet om kontrolmetoder i kapitel 3 Installation, hvor såvel faldmåling som deformationsmåling er omtalt.



4.4 Arbejde i nærheden af ledninger

Gravearbejde i nærheden af eksisterende ledninger skal altid ske med stor forsigtighed for ikke at beskadige ledningerne. Oplysninger om eksisterende ledningers placering skal altid fremskaffes hos ledningsejeren, før der graves.

Gravetilladelse søges hos den aktuelle kommune. Oplysninger om ledningsejere søges for det pågældende område hos LER (Ledningsejerregistret). De aktuelle ledningsplaner skal herefter fremskaffes fra de af LER oplyste ledningsejere.

4.4.1 Gravearbejde, som fritlægger en ledning

Når der udføres gravearbejde i nærheden af eksisterende vand- og afløbsledninger, skal det altid sikres, at disse ikke bringes ud af position, således at deres funktion og levetid forringes.

Gravning i nærheden af ledninger skal ske på en sådan måde, at der ikke sker skader på ledningerne og udtrækning i samlinger. Før gravearbejdet begynder, skal de eksisterende ledninger være lokaliseret, enten ved påvisninger fra ledningsejeren eller ved håndgravede huller.

Retableringen skal ske i henhold til det oprindelige anlægs krav til omkringfyldning, tilfyldning og komprimering, eller svarende til de regler, der gælder i dag jf. i kapitel 3 Installation, afsnit 3.5, hvor det er specielt vigtigt at sikre:

- ledningens position, horisontalt og vertikalt, for at undgå lunger og afvigelser sideværts
- afstand mellem ledninger til sikring af tilstrækkelig komprimering
- omhyggelig og jævn tilfyldning
- intakt sidestøtte langs ledningen



4.4.2 Ophængning af ledning

Bliver en ledning helt fritlagt, skal dens position og funktion sikres under hele fritlægningen.

En ophængning af en ledning skal altid ske med opstropninger placeret tilstrækkelig tæt, og med brede stopper/bøjler, så ledningen ikke beskadiges.

Opstropning bør normalt ske pr. 0,5-1 m og ved muffesamlinger altid bag hver muffe, således at samlingen ikke forskyder sig. Ved større ledninger med meget vand skal der foretages en beregning af belastninger, således at ophængningen sker tilstrækkeligt tæt og med tilstrækkeligt brede ophængninger.

Ved skade på en ledning skal ledningsejeren omgående underrettes, og ledningen skal mindst retableres med samme rørmaterialer. Og med mindst samme samlingsklasse (fleksibilitet og tæthed) som oprindeligt anvendt.



4.4.3 Tilslutning til eksisterende hovedledning

Ved tilslutning af stikledninger til en eksisterende hovedledning er det vigtigt at sikre, at hovedledningen ikke beskadiges, samt at tilslutningen udføres som en tæt fleksibel samling.

Er hovedledningen ikke af plast, anvendes ved mindre dimensioner et grenrør af plast samt overgangsstykker af plast eller gummi fra plast til hovedledningens rørmateriale.



I øvrigt henvises til kapitel 3 Installation, til de enkelte producenters produktkataloger, vejledninger eller deres tekniske serviceafdelinger.

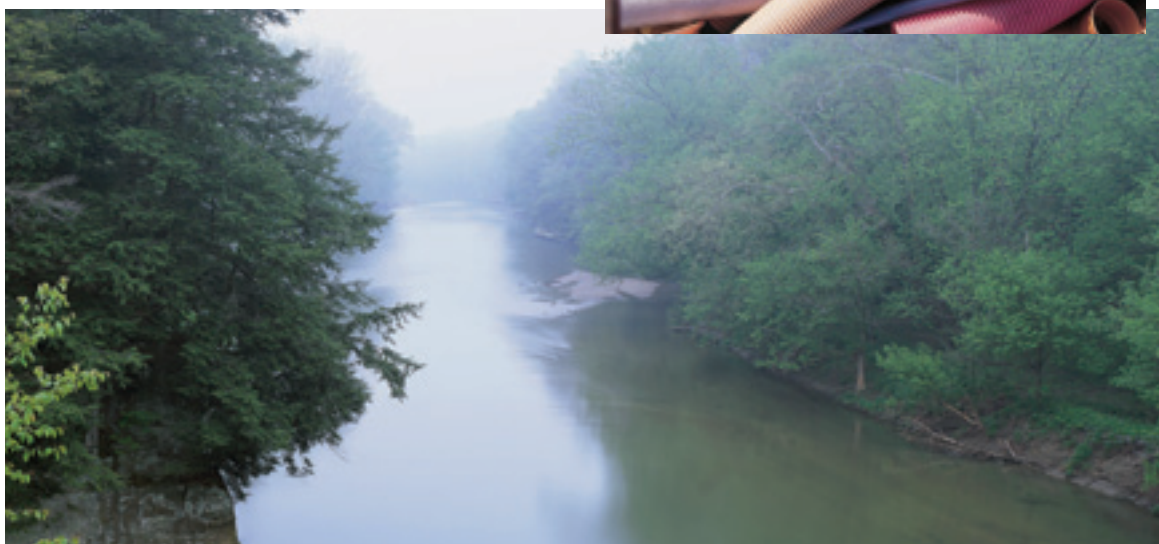
4.4.4 Tilsyn ved retableringer

I opgravningstilladelser bør det sikres, at gravearbejdet og retableringen gennemføres svarende til ovenstående, idet selv mindre udgravninger og mindre skader på ledninger kan give en ikke uvæsentlig forringelse af ledningsanlæggets kvalitet og specielt ved gravitationsledninger en øgning af driftsudgifterne.

Der skal desuden gennemføres tilsyn, idet det er specielt vigtigt at anvende korrekte materialer og være omhyggelig med gravning, udjævningslag, lægning og samling samt omkringfyldning og komprimering, jf. om disse forhold i kapitel 3 Installation.

4.5 Genanvendelse

Som omtalt i kapitel 1 Produkter, findes der returordninger for ledningsmaterialer. Disse omfatter også genanvendelse af udtjente rørmaterialer, således at disse materialer behandles miljømæssigt korrekt.





5. Diverse

Referencer
Andre publikationer
Noter





5. Diverse

REFERENCER

I vejledningen er der henvist til følgende normer og standarder:

DS 409	Norm for konstruktioner og last på konstruktioner.
DS 415	Norm for fundering.
DS 430	Norm for lægning af fleksible ledninger af plast i jord.
DS 437	Norm for afløbsledninger af beton mv. i jord.
DS 455	Norm for tæthed af afløbssystemer i jord.
DS 475	Norm for etablering af ledningsanlæg i jord, samt anneks A (DS 475/Til. 1).
DS/EN 752	Afløbssystemer uden for bygning.
DS 972	PVC-rør. Trykrør og formstykker af uplastificeret polyvinylchlorid (PVC-U) for vandforsyning.
DS/ENV 1046	Plastics piping and ducting systems – Systems outside building structures for the conveyance of water or sewage – Practices for installation above and below ground.
DS/EN 1295-1	Statistisk beregning af ledninger i jord under forskellige belastningstyper. Del 1: Generelle krav.
DS/EN 1401-1	PVC-U-rørsystemer til gravitationsafløbsledninger i jord. Del 1: Specifikationer for rør, formstykker og systemet.
DS/EN 1852-1	PP-rørsystemer til gravitationsafløbsledninger i jord. Del 1: Specifikationer for rør, formstykker og systemet.
DS/EN 1452-1	PVC-U-rørsystemer til vandforsyning – Del 1: Generelt
DS/EN 1452-2	PVC-U-rørsystemer til vandforsyning – Del 2: Rør
DS/EN 1452-3	PVC-U-rørsystemer til vandforsyning – Del 3: Formstykker
DS/EN 1456-1	PVC-U-rørsystemer til trykafløbsledninger i og over jord Del 1: specifikationer for komponenter og systemet
DS/EN 12201-1	PE-rørsystemer til vandforsyning – Del 1: Generelt
DS/EN 12201-2	PE-rørsystemer til vandforsyning – Del 2: Rør
DS/EN 12201-3	PE-rørsystemer til vandforsyning – Del 3: Formstykker
DS/EN 13244-1	PE-rørsystemer til trykafløb og til vand under tryk – ikke drikkevand – Del 1: Generelt
DS/EN 13244-2	PE-rørsystemer til trykafløb og til vand under tryk – ikke drikkevand – Del 2: Rør
DS/EN 13244-3	PE-rørsystemer til trykafløb og til vand under tryk – ikke drikkevand – Del 3: Formstykker
DS/EN 1329-1	PVC-U rørsystemer til afløb (høj og lav temperatur) i bygninger. Del 1: Rør, formstykker og systemet.
DS 2349	Plastrør. Rør og formstykker af PEM og PEH til afløbsledninger i bygning og i jord. Mål og egenskaber.
DS 2350	Plastrør. Rør og formstykker og samlinger til jordlagte gravitationsledninger for transport af regnvand og drænvand.
DS 2379	Brønde af PVC-U, PE og PP til jordlagte ledninger for bortledning af spildevand og regnvand. Specifikationer og prøvningsmetoder.
DS 2380	Tagedløbsbrønde af PVC-U, PE og PP til jordlagte ledninger for bortledning af regnvand. Specifikationer og prøvningsmetoder.



INSTA SBC 12201	Specific rules for Nordic certification in accordance with EN 12201 Plastics piping systems for water supply – Polyethylene (PE) – Part 1: General, Part 2: Pipes and Part 3: Fittings
INSTA SBC 13244	Specific rules for Nordic certification in accordance with EN 13244 Plastics piping systems for buried and above-ground pressure systems for water for general purposes, drainage and sewerage — Polyethylene (PE): – Part 1: General, Part 2: Pipes, Part 3: Fittings
INSTA SBC 1452	Specific Rules for Nordic Certification in accordance with EN 1452 Plastics piping systems for water supply -Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) – Part 1: General, Part 2: Pipes
INSTA SBC 1456	Specific Rules for Nordic Certification in accordance with EN 1456 Plastics piping systems for buried and above - ground drainage and sewerage under pressure - Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) – Part 1: Specifications for piping components and the system
INSTA SBC 1401-1	Specific Rules for Nordic Certification in accordance with EN 1401-1 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system
INSTA SBC 1852-1	Specific rules for Nordic certification in accordance with EN 1852-1 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Polypropylene (PP) Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system
SBC 254	Særlige bestemmelser for certificering (SBC) af overensstemmelse med DS 2379: Brønde af PVC-U, PE og PP til jordlagte ledninger for bortledning af spildevand og regnvand. Specifikationer og prøvningsmetoder.
SBC 255	Særlige bestemmelser for certificering (SBC) af overensstemmelse med DS 2380: Tagnedløbsbrønde af PVC-U, PE og PP til jordlagte ledninger for bortledning af regnvand. Specifikationer og prøvningsmetoder.
ISO 9001	Kvalitetsstyringssystemer. Krav ved udvikling/konstruktion, produktion, installation og service.
ISO 9969	Thermoplastics pipes. Determination of ring stiffness.
DS/EN ISO 9080	Plastrørsystemer – Bestemmelse af hydrostatisk langtidsstyrke af termoplastmaterialer i rørform ved brug af ekstrapolation
DS/ISO/ TR 10358	Plastics pipes and fittings – Combined chemical-resistance classification table.
DS/ISO/TR 7620	Rubber materials – Chemical resistance.
prEN 13476-1	Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE). Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system.
EN 12666-1	Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Polyethylene (PE). Part 1: Specifications for pipes, fittings and the systems.
SFS 3115 E	Plastics pipes. Watertightness test for pressure pipelines.



Desuden er der henvist til følgende andre publikationer:

- /1/ Miljøvurdering af afløbsrør i PVC, PE, PP og beton, Nordisk Plastrørsgruppe, 1997.
- /2/ Miljøpåvirkninger og økonomiske konsekvenser fra driften af afløbssystemer, Nordisk Plastrørsgruppe, publikationen findes på www.uponor.dk og www.wavin.dk, 2002.
- /3/ Praktisk forekommende ruheder i afløbssystemer, PH-Consult, 2001.
- /4/ Vandforsyning, Nyt Teknisk forlag, 2 udgave, 2002.
- /5/ Pumpeståbi, Ingeniøren/Bøger, 2000.
- /6/ Vejledning i rensning af afløbssystemer, Teknologisk Instituts Rørcenter-rapport 001, 2002.
- /7/ Rensning og desinfektion af vandforsyningsanlæg, Danske Vandværkers Forening, 1999.
- /8/ Fedtudsillere, projektering, dimensionering udførelse og drift, Teknologisk Instituts Rørcenters anvisning 005, 2000.
- /9/ Measurements of the hydraulic roughness of slimed sewer pipes, Perkins and Gardner, Wallingford Hydraulics Research Station, 1982.
- /10/ Fotomanual, TV-inspektion af afløbsledninger, Vejledning nr. 57, DANVA, 2005
- /11/ Hydrauliske forhold ved ovale afløbsledninger, J. B. Ingwersen, Dansk Beton Industri, 1979.
- /12/ Afløbsledninger i plast, Nordisk Wavin, 1984.
- /13/ Afløbsteknik, Polyteknisk forlag, 2002.
- /14/ Vandforsyningsteknik, Polyteknisk forlag, 2005.
- /15/ Håndbog i miljørigtig projektering, BPS publikation 121, 1997.
- /16/ Håndbog i kloakmesterarbejde, Entreprenørbranchens Forlag, 2003.
- /17/ 9000 gode råd om indføring af kvalitetsstyring i virksomheder, Dansk Standardiseringsråd 1992.
- /18/ Store kloakledninger – drift, renovering og nyetablering, DANVA, 2002.
- /19/ Diagnos av avloppsledningars kondition, Viveka Lidström, Lund 1996.
- /20/ Afløbsledninger af plast - sæt fokus på driften til gavn for både økonomi og miljø, publikationen findes på www.uponor.dk og www.wavin.dk, 2003.
- /21/ Kontroll av industriavlopp, VAV P36, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1980.
- /22/ Drift af renseanlæg (Teknik), Den Kommunale Højskole, 2000.
- /23/ NUVG 80, Expertseminarium 12-13 februari 1980 i Vedbæk, Danmark. Nordiska utvärderingsgruppen för plaströr. Sveriges Plastförbund, Stockholm, 1980.
- /24/ Anvisningar för projektering och utförande av markförlagda självfallsledningar av plast, VAV P70, Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, 1992 (inkl. flere litteraturhenvisninger).
- /25/ The design of buried thermoplastic pipes, F.J.M. Alferink, The European Plastic Pipe and Fitting Association. Report, 1999-03-01, Bruxelles, 1999.
- /26/ Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion, ATB VÄG 2003. Publ 2003:111, Vägverket, Borlänge.



- /27/ Rapport angående kompressionsförsök i cylinderapparat med olika kringfyllningsmaterial, J. Molin. Rapport från Seminarium II:B i Helsingfors 6-7 April 1970, bilaga 3:1, Nordiska markrörkommittéernas utvärderingsgrupp, Sveriges Plastförbund, Stockholm, 1970.
- /28/ Dimensionering av rörbroar, L. Pettersson, H. Sundquist, Rapport 58, Brobyggnad 2200, KTH, Stockholm utgåva 2, 2002.
- /29/ Plaströr i leriga jordarter, J. Molin. Rapport R61: Byggeforskningsrådet, Stockholm, 1981.
- /30/ Plastic pipes for water supply and sewage disposal, L-E. Janson, Borealis, Stockholm, 2003.

Andre relevante publikationer

Olieudskilleranlæg. Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift, Rørcenter-anvisning 006, Teknologisk Institut, 2004.

Dæksler og riste af støbejern til kørebane og gangarealer, Rørcenter-anvisning 007, Teknologisk Institut, 2005.



Noter





uponor

wavin



Brug af plastrør til vand- og afløbssystemer

Udgiver: DANVA

Udarbejdet i samarbejde mellem Uponor A/S, Nordisk Wavin A/S og KWH Pipe (Danmark) AS