

1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-bladet viser ulike forankringsløsninger for nedgravde trykkledninger. Med hensyn på forankring av trykkledninger i prefabrikkerte kummer henvises til VA/Miljø-blad nr. 112.

Bladet gir veiledning for å skape et stabilt ledningssnett uten bevegelser og lekkasjer, når det utsettes for alle relevante krefter. Ulike forankringsløsninger blir gjennomgått med utgangspunkt i tilgjengelig rørmateriell. Den prinsipielle forskjellen på strekkfaste rør og ikke strekkfaste rør er forsøkt belyst med hensyn på opptredende krefter og behov for forankringer.

2 BEGRENSNINGER

Bladet omhandler ikke forankring på terreng i luft, i vann, og heller ikke spesielle problemstillinger knyttet mot renovering av eksisterende vannledninger.

3 FUNKSJONSKRAV

Alle nye ledningsanlegg skal trykkprøves med prøvetrykk som er større enn normalt driftstrykk. Ledningsanlegget må derfor ha forankringsløsninger som er dimensjonert for å tåle prøvetrykket med god (standardisert) sikkerhetsmargin.

Til alle forankringskonstruksjoner skal det bare anvendes materialer som er minst like aldriagsbestandige som selve rørsystemet for angjeldende ledningsanlegg. Forankringen skal være designet for å tåle dimensjonerende belastning i anleggets definerte levetid; dvs > 100 år.

4 LØSNINGER

Utførende entreprenør har hovedansvaret for at forankringer for trykkledninger blir tilfredsstillende utført og dokumentert. Utførelsen skal være i samsvar med gjeldende retningslinjer og de eventuelle tilleggskrav som er stilt fra konsulent eller byggherre.

4.1 OPPTREDENDE KREFTER

$$P = \frac{p\pi d^2}{4}$$

p = trykk (N/m²)

d = største innvendig diameter i rør eller muffe (m)

Et trykk på 1 MPa = 10⁶ N/m² = 1000 kPa = 1 N/mm² = 100 mvs = 10 bar = 10,19 kp/cm² = 101,9 tonn/m².

Resultantkraften (R) av vanntrykket i et bend beregnes av formelen:

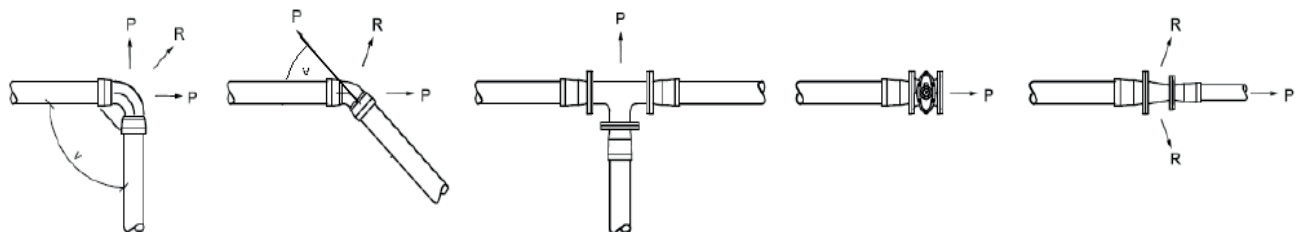
$$R = \frac{p\pi d^2}{2} \cdot \sin\left(\frac{v}{2}\right)$$

v = vinkelending (°)

I tabell 1 er vist eksempel på resultantkraften for ulike bend av duktilt støpejern med nominelle diametere fra DN100 mm til DN600 mm for et trykk på 10 bar = 100 mvs. Kraftene er de samme uansett bendets romgeometriske orientering. Det er den innvendige maksimale muffediameter som er lagt til grunn ved bruk av formlene 1 og 2.

Ø mm	P kN	R i kN ved forskjellige bend				
		11 ¼ °	22 ½ °	30 °	45 °	90 °
100	11,0	2,2	4,3	5,7	8,4	15,5
150	22,7	4,5	8,9	11,8	17,4	32,1
200	38,8	7,6	15,1	20,2	29,7	54,8
250	59,0	11,6	23,0	30,5	45,1	83,5
300	83,5	16,4	32,6	43,2	63,9	118,1
400	144,6	28,4	56,4	74,8	110,7	204,5
500	222,3	43,6	86,8	115,0	170,7	314,5
600	316,7	62,1	123,6	174,0	242,2	448,0

Tabell 1. Resultatkraft ved bend for 10 bar trykk.



Figur 1. Aksialkrefter og resultatkrefter.

Ved bruk av helsveiste PE-rør og stålrør, vil det være rørets innvendige ledningsdiameter som benyttes i beregningene.

Ved dimensjonering av forankringer skal maksimalt opptredende prøvetrykk legges til grunn. Verdiene i tabell 1 må således skaleres opp til det aktuelle trykk. Er for eksempel prøvetrykket 15 bar, må verdiene i tabellen multipliseres med 1,5.

Minste tillatte designtrykk for en forankring skal tilsvare maksimalt driftstrykk (PFA) + 5 bar.

Resultantkraften (K_L) i aksial retning ved en vinkelending (v), uttrykkes:

$$K_L = p \frac{\pi d^2}{4} (1 - \cos v)$$

3)

Vi ser at denne kraften blir 0 når $v = 0$, hvilket innebærer at det ikke er behov for å forankre rettlinjede ikke strekkfaste muffedledninger.

Resultanten i en dimensjonsovergang (K_O), kan beregnes av formelen:

$$K_O = \frac{p\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4}$$

4)

d_1 = største innvendige muffediameter (m)

d_2 = minste innvendige muffediameter (m)

Ved all graving inntil kummer, forankringsklosser og VA-ledninger under trykk må det tas hensyn til de krefter som oppstår. Det kan i mange tilfeller være nødvendig å gjøre ledningsstrekkløse ved arbeider i nærheten av ledningsanlegget.

I tillegg til kreftene fra vanntrykket beskrevet ved geometriendingene foran, vil rørene kunne utsettes for krefter i lengderetningen som følge av termiske krefter ($K_{\Delta T}$) og tverrkontraksjon (K_V).

$$K_{\Delta T} = \frac{E\alpha\Delta T\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

5)

E = PE 100 materialets krypmodul (MPa)

α = termisk utvidelseskoeffisient ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ΔT = temperaturendring fra installasjonstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

D = ytre diameter (m)

d = indre diameter (m)

$$K_V = \frac{vp\pi(SDR-1)(D^2 - d^2)}{8}$$

6)

V = Poissons tall (0,4 for PE100 og 0,3 for stål)

$SDR = \frac{D}{s}$

s = rørets godstykkelse

Vanligvis benyttes en temperaturendring $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ ved beregning av termiske krefter. Ved avkjøling av et nedgravd fiksert rør oppstår en strekkraft i lengderetningen, mens det ved en oppvarming introduseres en trykkraft.

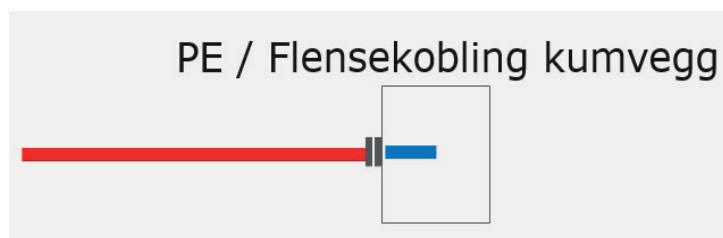
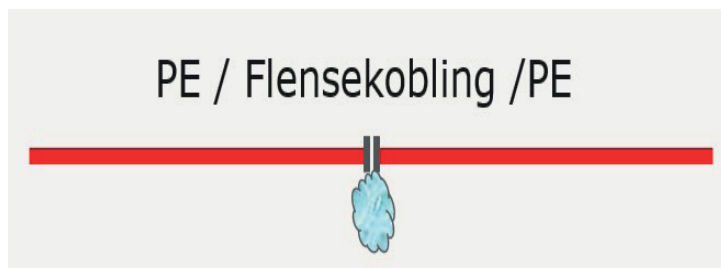
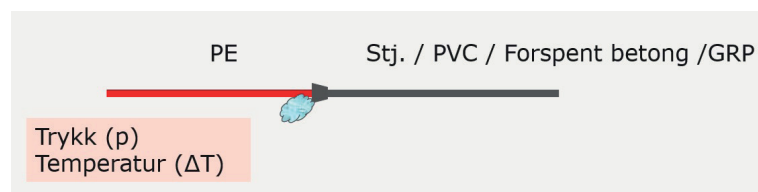
Tverrkontraksjonskraften vil alltid gi en strekkraft i rørets lengderetning som følge av at røret ønsker å forkorte seg på grunn av det innvendige vanntrykket.

Temperaturkrefter og tverrkontraksjonskrefter er kun av interesse for sveiste rør som PE, PP og stål. For mufferrør som duktilt støpejern, GRP, PVC og forspent betong kan disse kreftene neglisjeres, selv om de utstyres med strekkfaste låseringer i muffene.

I figur 2 vises 3 eksempler på hvor det vil være fare for lekkasjer som følge av temperaturendring og tverrkontraksjon. Der et PE materiale kobles til en ikke strekkfast muffe, vil røret kunne trekke seg ut av muffa dersom det ikke forankres mot bevegelse i lengderetningen. Friksjonen mellom PE-røret og omkringliggende jordmasser vil ikke være tilstrekkelig til å stabilisere røret.

På samme måte kan det oppstå lekkasje i flensekoblinger på PE rør eller ved tilkobling til et innstøpt flenserør i en kumvegg.

Utfordringene i disse sammenhengene blir større når diameteren øker.



Figur 2. Eksempler på situasjoner hvor helsveiste rør kan ha behov for forankring mot bevegelse i lengderetningen som følge av temperaturkrefter og tverrkontraksjonskrefter

4.2 FORANKRING AV TRYKKLEDNINGER I GRØFTER

Kreftene som virker på ledningen må tas opp og overføres til grøfteside eller annen konstruksjon ved hjelp av forankringsklosser. Det kan også være aktuelt å forankre mot grøftebunn direkte eller ved bruk av friksjonskreftene mellom rør og jordmassene.

Det er viktig å vite hvilke type jordmasser som finnes i området der trykkledningens forankringskloss skal etableres. Dersom det ikke finnes analyseresultater, må det legges inn tilstrekkelig sikkerhet for jordtrykket bak klossene, se pkt 4.3.

Bakkant forankring støpes mot urørt terreng (hvis det er mulig). Denne anleggsflaten er dimensjonerende for forankringen.

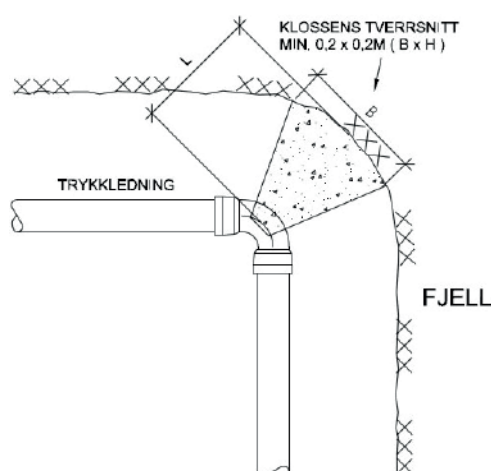
Det presiseres at urørt grøfteside er sjelden, og at løsninger angitt under pkt. 4.4 da må vurderes. Særlig er dette aktuelt i bykommuner, hvor det er sjelden å finne urørte masser, og hvor man må ta høyde for fremtidig graving i nærheten av en eksisterende forankring.

4.2.1 FORANKRING I FJELLGRØFT

I fjell er fastheten normalt høyere enn i vanlig konstruksjonsbetong (B35 armert med B500). Er fjellkvaliteten dårlig og fjellet sterkt sprukket opp, må kvaliteten på fjellet vurderes/beregnes før endelig utforming av avstempling mot fjell kan skje.

Andre støpte konstruksjoner vil også normalt ha fasthet minst på nivå med klossen. Normalt vil derfor klossens tverrsnitt være dimensjonerende, se figur 3.

Anbefalt minste tverrsnitt på kloss 0,2 x 0,2 m opptar uproblematisk reaksjonskraft < 400 kN med normal betong- og stålqualität i klossen. Bend av PVC trenger større anleggsflate mot forankringskloss. Dette må ivaretas.



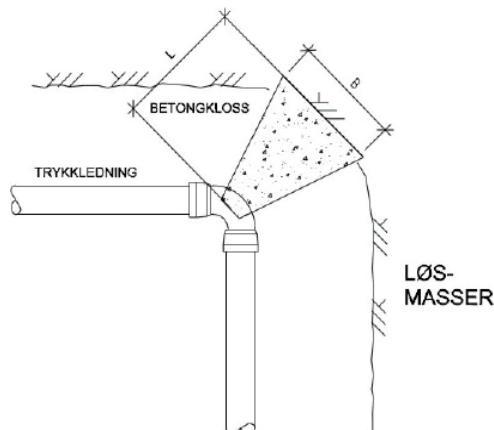
Figur 3. Horisontal forankring av ikke strekkfast trykkledning i fjellgrøft, prinsipp.

4.2.2 FORANKRING I LØSMASSEGRØFT

Avstempling skal skje mot grøfteside (urørte masser). Forankringsklossen må armeres.

Ved avstempling mot omrørte masser må det utføres spesielle tiltak (spunt, tyngde på forankringskloss, aktsomt komprimeringsarbeid bak forankringskloss, strekkfaste løsninger).

Nødvendig areal på forankringsklossen avhenger av jordmassen ved avstempling mot grøfteveggen, se figur 4 og pkt. 4.3.



Figur 4. Horisontal forankring av ikke strekkfast trykkledning i løsmassegrøft, prinsipp.

4.2.3 FORANKRING VERTIKALAVVINKLINGER

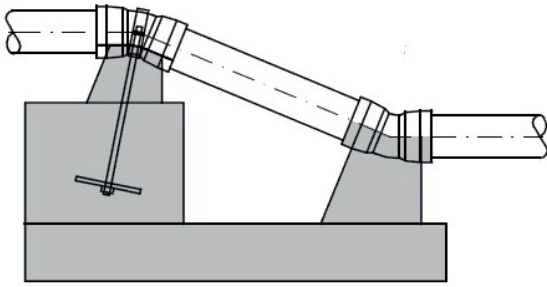
Ved vertikalavvinklinger på ikke strekkfaste rør må det også bygges forankringsklosser. Disse avvinklingene i "høybrekk" er mer kritiske å stabilisere enn de horisontale avvinklingene, da det ikke kan aktiveres noe passivt jordtrykk. Kun vekten av overliggende masser vil naturlig virke mot resultantkraften.

I lavbrekk/avvinklinger som har resultat mot grøftebunn, kan klossen bygges direkte mot urørt grøftebunn.

I høybrekk/avvinklinger som har resultat oppover, kan det for eksempel bygges en kloss under ledningen med stålstag og klamring oppover rundt bended, se figur 5. En annen løsning er å bygge en armert betongplate over avvinklingen. Det er nødvendig å bygge plate for å fordele trykket i massene som legges over avvinklingen.

Ved store ikke strekkfaste rør der vekten av overliggende masser ikke er tilstrekkelig, kan det bli behov for bruk av spuntnåler for å sikre store nok krefter til å virke mot resultantkraften.

I fjellgrøfter benyttes gjengestag av stål som gyses fast i fjellet. Man må her sikre seg at forankringslengden er tilstrekkelig i forhold til opptredende krefter og fjellens kvalitet (sprekkemønster). Normalt benyttes gjengestag med lengde større enn 3 m.



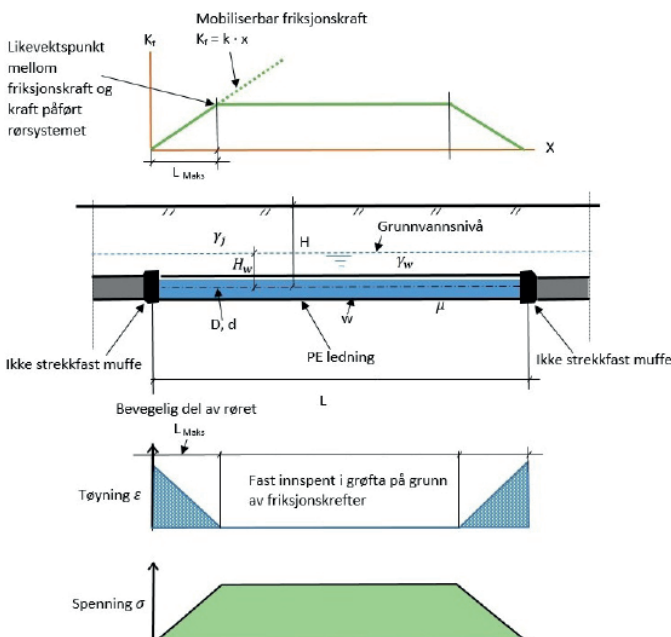
Figur 5 Eksempel på utførelse av vertikalavvinkling i høybrekk i løsmasser.

Det må benyttes stålqualität og korrosjonsbeskyttelse som gir 100 års levetid.

4.2.4 FORANKRING I RØRETS LENGDERETNING

For å hindre bevegelse i helsveiste rør i rørets lengderetning som følge av temperaturendringer og tverrkontraksjonskrefter, der ledningen kan bevege seg fritt, kan man støpe en forankringskloss rundt røret og utstyre røret med en form for innmuringskrage. Man kan også sveise inn plater som griper mot jordmassene i grøfta.

Figur 6 viser hvordan spenninger og bevegelse kan føre til at et rør beveger seg i grunnen i nærheten av ikke strekkfaste koblinger.



Figur 6. Eksempel på hvordan et nedgravd rør beveger seg som følge av temperaturendring og tverrkontraksjon.



Figur 7. Eksempel på forankringsløsning for å motstå temperaturendring og tverrkontraksjon.

Det må benyttes stålqualität og korrosjonsbeskyttelse som gir 100 års levetid.

4.3 AREAL FOR FORANKRINGSKLOSSER OG TILLATT PASSIVT JORDTRYKK MOT GRØFTSIDE FRA AKSJONSKREFTENE I TRYKKLEDNINGSANLEGG

4.3.1 PASSIVT JORDTRYKK/ BELASTNING FRA GRØFTESIDE

Er fasthetsanalyser av grøftemassene utført, anvendes disse.

Dersom analyser ikke finnes, kan veiledende passive jordtrykk finnes i tabell 2.

Jordtype	Anbefalt tillatt jordtrykk; kN/m ²	Anmerkninger
Bløt/kvikk leire og siltholdig leire	-	Geoteknisk vurdering/analyse er nødvendig Leira formes med et lett fingertrykk
Middels fast leire	100	Leira er fuktig og noe plastisk. Formes med moderat fingertrykk.
Fast leire	400	Leira er tørr og relativt fast. Kan ikke formes med fingertrykk.
Fin grus, sand	200	
Grov grus	300	
Deponerte ukonsoliderte masser	-	Geoteknisk vurdering/analyse er nødvendig

Tabell 2. Fasthetsvurdering av grøftemasser (grøfteside).

For praktiske formål har det vist seg gunstig å legge til grunn et passivt jordtrykk på 100 kN/m² i de tilfeller det ikke er løse, bløte masser.

Arealet (A) av forankringsklossen for en beregnet resultantkraft (R), beregnes av formelen:

$$A = \frac{R}{\sigma_{jord}} \quad 7)$$

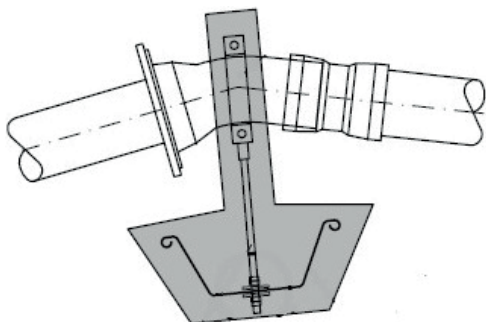
σ_{jord} = tillatt passivt jordtrykk

4.4 FORANKRING VED SPESIELLE FORHOLD

4.4.1 FORANKRING MED STREKKSTAG

Ofte kan det være vanskelig å få til klosser mot urørt grøfteside, eller ledningsanlegget kan være utformet slik at trykkledningen ligger i innerkurve med andre ledninger som ikke behøver forankring på yttersiden. Da kan løsningen i figur 8 benyttes.

Her overføres kraften ned i jorden via en eller flere spuntnåler. Bendet forankres i spuntnålen med stålstag og bøyer som omstøpes. For å sikre 100 års levetid benyttes offeranoder.



Figur 8. Eksempel på forankring med strekkstag i innerkurve.

4.5 PREFABRIKKERTE LØSNINGER I KUMMER

Det henvises til VA/Miljø-blad nr. 112 «Kumsikkerhet – dimensjonering prefabrikkert vannkum».

4.6 STREKKFASTE LØSNINGER

Strekkefaste løsninger kan i mange tilfeller være hensiktsmessige fordi en slipper å etablere forankringskloss. Særlig ved grøftarbeider hvor det kan bli trangt om plassen, eller problemer med transport forbi anleggsstedet, bør dette vurderes. Grunnforholdene kan også medføre at andre løsninger enn forankringsklosser må velges.

Sveiste ledninger av PE, PP og stål er strekkfaste og trenger ikke forankringsklosser, dersom sveisene er tilfredsstillende utført. Mufferør av f.eks. duktile støpejernsrør og GRP rør kan gjøres strekkfaste ved bruk av låseringer.

4.6.1 LØSNINGER FOR DUKTILT STØPEJERN

Her overføres kreftene fra et bend til friksjonskrefter langs røret. Antall meter med strekkfaste skjøter er basert på friksjonskrefter pga. rørvækt og vekt av tilbakefyllingsmasser.

Ved bruk av strekkfaste systemer må det beregnes hvor langt fra avvinklingen (antall strekkfaste skjøter) det skal benyttes strekkfaste muffer på hver side av avvinklingen/ krysset. Ved flere avvinklinger etter hverandre kan avstanden mellom avvinklingene være kortere enn avstanden beregnet over (forutsatt at alle muffer mellom avvinklingene er strekkfaste).

Det finnes flere systemer i markedet for strekkfaste løsninger. Felles for de fleste løsninger er at de må forspennes (aktiveres) for å virke. Forspenning skal skje etter leverandørens leggeanvisning og er entreprenørens ansvar.

Rørleverandørene har tabeller/beregningsprogram hvor de oppgir nødvendige lengder med strekkfaste skjøter.

Tabell 3 er et eksempel fra et slikt beregningsprogram.

Tabell 3 viser hvilken lengde som må installeres og aktiveres med strekkfaste skjøter på begge sider av bendet for et testtrykk på 10 bar. Tabellen gjelder for alle typer duktile strekkfaste skjøter.

Ved andre trykk P_x enn 10 bar blir aktuell lengde $L_x = \text{Tabellverdi} \cdot P_x / 10 \text{ bar}$.

For rør som har utvendig PE-belegg, økes lengdene i tabellen med en faktor lik 1,9.

4.6.2 LØSNINGER FOR GRP OG GRE

På tilsvarende måte som for duktile støpejernsrør med muffeskjøter, kan man etablere strekkfaste løsninger for GRP og GRE rør. Leverandørens spesifikasjoner/krav må legges til grunn for dimensjonering og installasjon.

4.6.3 LØSNINGER FOR PVC

Strekkefaste muffesikringer for PVC-rør bør ikke benyttes til forankring av slike krefter som er beskrevet i dette VA/Miljø-bladet.

DN	Forankringslengde ved testtrykk = 10 bar														
	90 ° bend			45 ° bend			22 ½ ° bend			11 ¼ ° bend			Blindflens		
	1,0m	1,5m	2,0m	1,0m	1,5m	2,0m	1,0m	1,5m	2,0m	1,0m	1,5m	2,0m	1,0m	1,5m	2,0m
80	4,5	3,1	2,3	2,8	1,9	1,5	1,6	1,1	0,8	0,8	0,6	0,5	5,7	3,9	3,0
100	5,4	3,7	2,8	3,4	2,3	1,8	1,9	1,3	1,0	1,0	0,7	0,5	6,9	4,7	3,6
125	6,6	4,5	3,4	4,1	2,8	2,1	2,3	1,6	1,2	1,2	0,8	0,6	8,4	5,7	4,4
150	7,7	5,3	4,0	4,8	3,3	2,5	2,7	1,8	1,4	1,4	1,0	0,7	9,8	6,7	5,1
200	9,9	6,8	5,2	6,1	4,2	3,2	3,4	2,4	1,8	1,8	1,3	1,0	12,6	8,7	6,6
250	12,0	8,3	6,4	7,5	5,2	4,0	4,2	2,9	2,2	2,2	1,5	1,2	15,3	10,6	8,1
300	14,1	9,8	7,5	8,7	6,1	4,7	4,9	3,4	2,6	2,6	1,8	1,4	17,9	12,5	9,6
350	16,0	11,2	8,6	9,9	7,0	5,4	5,6	3,9	3,0	2,9	2,1	1,6	20,3	14,3	11,0
400	17,9	12,6	9,7	11,1	7,8	6,0	6,2	4,4	3,4	3,3	2,3	1,8	22,8	16,0	12,4
450	19,7	14,0	10,8	12,3	8,7	6,7	6,9	4,9	3,8	3,6	2,6	2,0	25,1	17,8	13,8
500	21,5	15,3	11,9	13,4	9,5	7,4	7,5	5,3	4,1	4,0	2,8	2,2	27,4	19,5	15,1
600	25,0	17,9	14,0	15,5	11,1	8,7	8,7	6,2	4,9	4,6	3,3	2,6	31,8	22,8	17,8
700	28,2	20,4	16,0	17,5	12,7	9,9	9,8	7,1	5,6	5,2	3,8	2,9	35,8	25,9	20,3
800	31,2	22,8	17,9	19,4	14,1	11,1	10,9	7,9	6,2	5,8	4,2	3,3	39,8	29,0	22,8
900	34,1	25,0	19,8	21,2	15,6	12,3	11,9	8,7	6,9	6,3	4,6	3,7	43,4	31,9	25,2
1000	36,9	27,2	21,6	22,9	16,9	13,4	12,8	9,5	7,5	6,8	5,0	4,0	46,9	34,7	27,5
1100	39,4	29,4	23,4	24,5	18,2	14,5	13,7	10,2	8,1	7,3	5,4	4,3	50,2	37,4	29,8
1200	41,9	31,4	25,1	26,0	19,5	15,6	14,6	10,9	8,7	7,7	5,8	4,6	53,4	40,0	32,0
1400	46,2	35,1	28,3	28,7	21,8	17,6	16,1	12,2	9,8	8,5	6,5	5,2	58,9	44,7	36,0
1500	48,4	36,9	29,9	30,0	22,9	18,6	16,8	12,9	10,4	8,9	6,8	5,5	61,6	47,0	38,0

Tabell 3. Forankringslengde for duktile støpejernsrør ved testtrykk 10 bar.
 Ved andre trykk P_x blir aktuell lengde $L_x = \text{Tabellverdi} \cdot P/10 \text{ bar}$
 For rør med PE-belegg blir $L_{pe} = L_x \cdot 1,9$

Beregningseksempel på et rett strekk med en avvinkling:

- 1 stk 45° bend
- Rør DN 500 / C 40
- PEA = 25 (prøvetrykk)
- Morenegrunn
- Over grunnvannsnivå
- Overdekning 1,5 m

Fra tabell hentes og utledes rørlengder med strekkfaste skjøter: $P = 10 \text{ bar} / L = 9,5 \text{ m}$

Korreksjon for 25 bar: $L = 9,5 \times 25/10 = 23,75 \text{ m}$.

Rørlengde = 6 m. Det legges fire rørlengder med strekkfaste skjøter på hver side av bendet.

Dersom støpejernsrøret har PE-belegg utvendig vil nødvendig lengde bli: $L_{pe} = L_x \cdot 1,9 = 23,75 \cdot 1,9 = 45,13 \text{ m}$

I hvert enkelt tilfelle må det vurderes om en skal benytte lenger avstand enn den som er oppgitt i tabell eller formelverk. Bakgrunnen er at trykkprøving vil kunne bli utført uten at røret har fått nødvendig tilbakefylling (selv om det frarådes), og at graving langs ledningen vil kunne påvirke overføringen av krefter.

Henvisninger:		Utarbeidet:	juni 2010	Sweco Norge AS
/1/		Revidert:	September 2019	COWI AS