

R: Forankring av trykrør i grøft

Forankring av ledning er nødvendig der hvor systemet utsettes for krefter som har mulighet for å forskyve ledningen.

Dette gjelder spesielt mufferrør med bend i horisontal- og vertikalplanet ved innvendig overtrykk. Ledninger i brattere hellinger (Tommelfingerregel: > 250 ‰ i grove masser eller fjellgrøft og > 150 ‰ i finere masser) forankres også for å unngå utglidninger. Ved tvil bør det foretas en geoteknisk vurdering av massenes stabilitet – om de vil sige eller ikke.

Helsveiste PE-rør må forankres i hver ende. For trykrør ivaretas forankringen normalt med en flenseforbindelse mot en forankret armatur eller et annet strekkfast punkt med flens. For trykløse rørledninger av PE hvor man ikke har en flens i et strekkfast punkt å koble seg til, kan dette løses ved å støpe inn et PE-rør med innmuringskrage eller elektroforankringer i en kumvegg eller i en forankringskloss av betong i grøft.

Annen forankring er svært sjelden nødvendig fordi kreftene overføres via strekkfaste skjøter til rør og friksjonsmasser i grøfta.

Forankring kan altså utføres på to prinsipielt forskjellige måter.

1. Bruk av forankringskloss
2. Strekkfaste skjøter

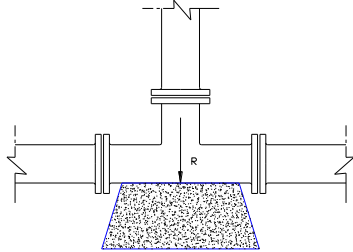
Ved begge metodene er det først nødvendig å kjenne kraften for å dimensjonere tiltakene.

Normalt dimensjoneres forankringene ut fra prøvetrykket. Prøvetrykket skal i henhold til NS-EN 805 beregnes ut fra maksimum opptredende driftstrykk. Men mange ledningseiere krever at prøvetrykket skal settes i forhold til trykklassen til rørledningen. Det kan resultere i en uforholdsmessig stor forankringskloss eller lang forankringslengde – noe som er unødvendig kostbart og noen ganger komplisert.

Vi skal i det etterfølgende ta for oss forankring av rørledninger med innvendig overtrykk. I andre tilfeller kan kapittelet om Hookes lov være til hjelp.

Resultantkraft for T-rør og rørender med blindflens

Følgende formel gjelder for beregning av resultantkraft (R) i forbindelse med T-rør og rør med tett ende:



T-rør med forankringskloss

$$R = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ [N]}$$

p: Dimensjonerende innvendig overtrykk [N/mm²]

A*: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [mm²]

D*: Inn- eller utvendig rørdiameter [mm]

* For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter. Ved beregninger av speilsveiste PE-rør brukes innvendig rørdiameter.

Eksempel:

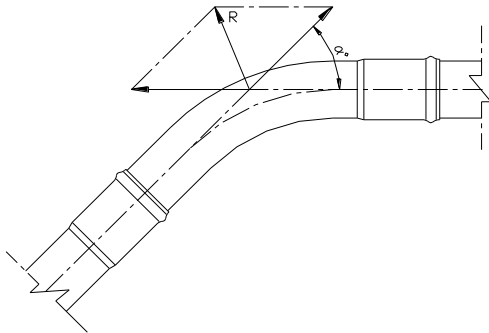
Resultantkraften for et 160 mm T-rør for PVC SDR 21 rør med maksimum opptredende trykk 7 bar finnes på følgende måte:

$$p = \text{innvendig trykk} = 7,0 \text{ bar} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

$$R = 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (160 \text{ mm})^2}{4}$$

$$R = 14\,074 \text{ N} = 14,1 \text{ kN (Vannet skyver med en kraft tilsvarende 1,4 tonn!)}$$

Resultantkraft for bend



Et muffebend utsatt for krefter fra innvendig trykk

Følgende formel gjelder for beregning av resultantkraft, både i vertikal- og horisontalplanet, for bend med muffe:

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ [N]}$$

p: Dimensjonerende innvendig overtrykk [N/mm²]

A: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [mm²]

D: Utvendig rørdiameter [mm]

α: Bendets vinkel [°]

Eksempel:

Resultantkraften for et 110 mm 45° bend i PVC SDR 21 utsatt for 7 bars trykk finnes på følgende måte:

$$p = \text{innvendig trykk} = 7,0 \text{ bar} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (110 \text{ mm})^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{45^\circ}{2}\right)$$

$$R = 5\,091 \text{ N} = 5,1 \text{ kN}$$

Tabell over resultantkrefter for muffør

I tabellen finner du resultantkraften i kN for muffør med 1 bar innvendig trykk, kN/bar. Dette tallet må multipliseres med maksimum opprettede trykk, for eksempel prøvetrykket, i bar.

Utv. Diameter	Resultantkraft [kN/bar]							
	T-rør og blindflens	5° bend	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,312	0,027	0,060	0,119	0,161	0,239	0,312	0,441
75 mm	0,442	0,039	0,085	0,169	0,229	0,338	0,442	0,625
90 mm	0,636	0,055	0,122	0,243	0,329	0,487	0,636	0,900
110 mm	0,950	0,083	0,182	0,363	0,492	0,727	0,950	1,34
160 mm	2,01	0,175	0,385	0,767	1,04	1,54	2,01	2,84
225 mm	3,98	0,347	0,762	1,52	2,06	3,04	3,98	5,62
280 mm	6,16	0,537	1,18	2,35	3,19	4,71	6,16	8,71
315 mm	7,79	0,680	1,49	2,97	4,03	5,96	7,79	11,0
400 mm	12,6	1,10	2,41	4,80	6,50	9,62	12,6	17,8

Eksempel:

Resultantkraften for et 110 mm 45° bend ved et trykk på 7 bar finner du ved å ta tallet fra tabellen, 0,727 kN/bar, og multiplisere det med 7 bar:

$$0,727 \text{ kN/bar} \cdot 7 \text{ bar} = 5,1 \text{ kN}$$

Dimensjonering av forankringskloss

Horisontale bend og endeavslutninger

Dimensjonering av forankringskloss for resultantkrefter i horisontalplanet tar utgangspunkt i:

- Kraftresultanten
- Grøftesidens fasthet

Ved horisontale bend, T-rør og overganger må de opptredende kreftene fordeles i jordmassene bak. For å få til dette må de overføres på et areal som er stort nok i forhold til massenes evne til å absorbere trykk. Dette gjøres ved at kreftene forplanter seg til bakenforliggende masser via en stiv betongkloss med et visst areal mot jordmassene. Det er dette arealet som må beregnes ut fra jordmassenes beskaffenhet og resultantkraft som oppstår på grunn av det innvendige trykket.

Mellom rør og betong legges et lag av papir eller papp. Dette for at betongen ikke skal hefte mot plasten.

$$\text{Nødvendig betongareal: } A_{\text{betong}} = \beta \cdot \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} [\text{m}^2]$$

β : Sikkerhetsfaktor – normalt 1,5 []

R: Resultantkraft [kN]

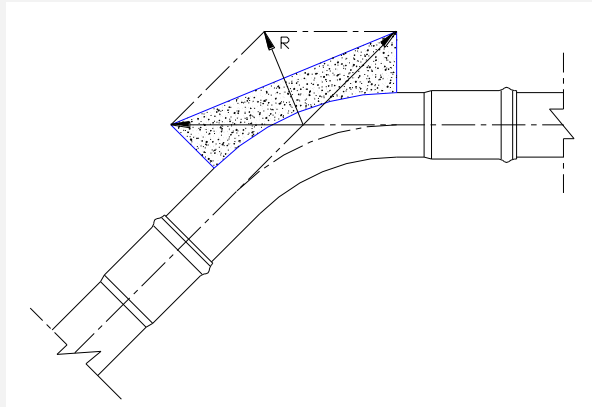
σ_{jord} : Skjærfasthet eller tillatt jordtrykk for jordtypen [kN/m²] (se tabell)

Skjærfasthet eller tillatt jordtrykk (σ_{jord}) for ulike jordtyper

Jordtype	Skjærfasthet [kN/m ²]	Merknader
Bløt leire	25 - 50	Leira formes med et lett fingertrykk
Middels leire	50 - 150	Leira er fuktig og noe plastisk. Formes med moderat fingertrykk.
Stiv leire	150 - 300	Leira er tørr og relativt fast. Kan formes med hardt fingertrykk.
Meget stiv leire	300 - 500	Leira er tørr og fast. Kan ikke formes med fingertrykk.
	Tillatt jordtrykk [kN/m²]	
Fin sand - løst lagret	100	
Fin sand - komprimert	200	
Grov sand - komprimert	300	

σ_{jord} (skjærfasthet eller tillatt jordtrykk) for ulike jordarter

Eksempel:



Bend med kraftvektorer og forankringskloss

Horisontalt bend

p: 15 bar

Rør: 160 mm PVC SDR 21

α: 45°

σ_{jord}: 200 kN/m²

β: Sikkerhetsfaktor 1,5

NB! Ved 10 bar driftstrykk er prøvetrykket 15 bar. Derfor benyttes p = 15 bar i beregningen. Å sette inn driftstrykket ville gitt for lite areal på forankringsklossen under trykkprøvingen. Prøvetrykket for et PVC SDR 21 rør kan også være 17,5 bar - noe som gir en enda større forankringskloss.

Resultantkraft fra tabell over:

$$1,54 \text{ kN/bar} \cdot 15 \text{ bar} = 23,1 \text{ kN}$$

... eller utregnet:

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 1,5 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (160 \text{ mm})^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = 23\,083 \text{ N} = 23,1 \text{ kN}$$

Nødvendig betongareal:

$$A_{\text{betong}} = \beta \cdot \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} = 1,5 \cdot \frac{23,1 \text{ kN}}{200 \text{ kN/m}^2} = 0,173 \text{ m}^2$$

Velger h = 0,30 m høyde på betongkloss - som gir bredde:

$$b = \frac{A_{\text{betong}}}{h} = \frac{0,173 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}} = 0,58 \text{ m}$$

Vertikalt bend

Summen av nedoverretta vertikale krefter må være større enn eller lik oppoverretta kraftresultant fra bend. Det betyr at massen av overliggende jord med belastningsplate minst må tilsvare kraftresultanten. Vær oppmerksom på massenes deformasjonsegenskaper og retningen av resultantkraften. Et 90° bend vil skyves med en vinkel på 45°. Multipliser nødvendig tyngde på belastningsplate med 1,5 som sikkerhet.

Eksempel:

Resultantkraften fra forrige eksempel er 23,1 kN. For å holde bendet på plass behøves en masse tilsvarende:

$$m = \beta \cdot \frac{R}{g} = 1,5 \cdot \frac{23100 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 3532 \text{ kg} \approx 3,5 \text{ tonn}$$

Vekten av betongplata og jorden over må være større eller lik vekten som kreves:

$$m \leq \rho_{\text{betong}} \cdot A \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot A \cdot h_{\text{jord}} \text{ [kg]}$$

ρ_{betong} : Betongens tyngdetetthet [kg/m³]

ρ_{jord} : Jordens tyngdetetthet [kg/m³]

A: Betongplatas areal [m²]

h_{betong} : Betonplatas høyde [m]

h_{jord} : Høyden av jord over betongplata [m]

Total høyde av masser som overfører vekt: $H = h_{\text{betong}} + h_{\text{jord}}$ [m]

Vi løser formelen med hensyn på A:

$$A \geq \frac{m}{\rho_{\text{betong}} \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot h_{\text{jord}}} \text{ [m}^2\text{]}$$

Det forutsettes at høyden fra bunn betongplate til topp terreng (H) er kjent og at tyngdetettheten til massene er noenlunde kjent. Vi prøver med en høyde på betongplata (h_{betong}) – og ser om arealet av betongplata er hensiktsmessig.

Eksempel:

I eksempelet foran er tyngden som kreves minst 3532 kg. Høyden fra bunn betongplate til terreng er 1,2 meter. Vi bruker 2400 kg/m³ som tyngdetetthet for betong og 1500 kg/m³ for jord – og så prøver vi oss først med ei betongplate med høyde 0,2 m:

$$A \geq \frac{m}{\rho_{\text{betong}} \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot h_{\text{jord}}}$$

$$A \geq \frac{3532 \text{ kg}}{2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m} + 1500 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ m}}$$

$$A \geq 1,78 \text{ m}^2$$

I dette tilfellet er det nødvendig at ei betongplate med høyde 0,2 m har et areal på 1,78 m² – altså med volum 0,356 m³ og vekt 854 kg.

Hvis det er praktisk mulig, så er det lurt å plassere betongplata under bendet og klamre bendet fast i denne. Hvis det blir nødvendig å grave seg ned på bendet senere, så slipper du å pigge betong.

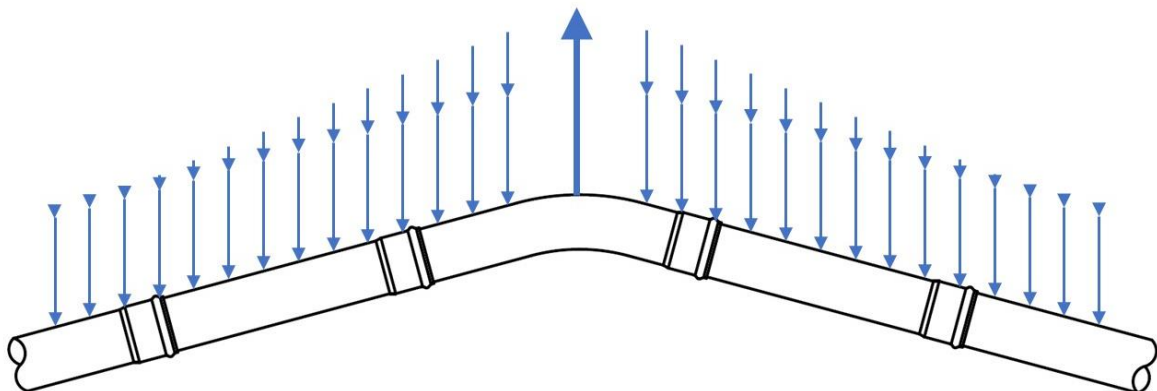
Dimensjonering ved strekkfaste skjøter

Det finnes flere typer strekkfaste skjøter: Sveiste skjøter, strekkfaste muffe/koblinger og muffesikringer. Ved bruk av muffesikring er det viktig å bruke en type som er tilpasset røret og muffas geometri. For strekkfaste koblinger på PE-rør må det fastslås om støttehylse er påkrevet. Det er uansett svært viktig å sette seg godt inn i monteringsanvisningen. Er ledningen helsveist og forankret i endene, så er det ikke behov for å forankre bend og T-rør på ledningen ytterligere. Det er alltid en fordel og legge til rette for å redusere strekkrefter i rørledning. For eksempel bør temperaturen i rørveggen og grøftetemperaturen utlignes mest mulig før endene låses. For PE-rør i mindre dimensjoner er det fordelaktig å legge røret i en bue mot en kobling.

I dette avsnittet tar vi for oss forankring av muffeør av PVC med et antall strekkfaste skjøter.

Laborrietester og krav for strekkfaste skjøter for PVC trykkrør er omtalt i produktstandardens del 5, NS-EN ISO 1452-5. Det skal gjennomføres egne langtidstester med et statisk prøvetrykk ved gitte temperaturer og langtidstester med dynamisk kraftpåvirkning i skjøten. Det gir en sertifisert skjøt.

Prinsippet for dimensjonering ved strekkfaste skjøter er delvis det samme som for forankringskloss: Kreftene må overføres til massene bak. I tillegg utnyttes friksjonen mellom jordmassene og røret til å ta opp strekkrefter. Det vi må finne ut er hvor mye rørledning det må til for å fordele trykket tilstrekkelig til massene bak og for å utnytte friksjonen mellom rør og jordmasser. Viktige parametere i forbindelse med beregningene er rørdimensjon, rørmateriale (friksjon), vanntrykk, masser og komprimering i ledningssonen, de stedlige jordmassenes beskaffenhet og overdekning (jordtrykk).



Friksjonen mellom rør og jord og jordmassene bak røret tar opp kreftene på den delen av rørledningen som har strekkfaste skjøter

I myr og ved tilsvarende dårlige grunnforhold bør skjøtene forankres til rørledningen ligger trygt i bedre grunn.

Beregningsmetoden er en videreutvikling av en metode utviklet i USA for støpejernsrør og kalles gjerne Alabama-metoden. Jordmassene er gruppert i henhold til internasjonale standarder.

Strekfast rørlengde for horisontale bend

Forankringslengde, L_{bend}

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T} \text{ [m]}$$

L_{bend} : Forankringslengde = minimum rørlengde som må forankres på hver side av bendet [m]

β : Sikkerhetsfaktor – minimum 1,5 []

p : Maksimum trykk [bar]

A^* : Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [m²]

D^* : Rørdiameter [m]

α : Bendets vinkel [°]

F : Friksjonskraft per meter rør [kN/m]

T : Jordens trykkfasthet per meter rør [kN/m]

* For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter.

OBS!

- For bend som installeres vertikalt («med ryggen opp»), så kan man ikke overføre kreftene til jordmassene bak. Det er bare friksjonen mellom rør og jordmasser som kan utnyttes. Jordtrykket (T) settes derfor til 0 i slike tilfeller.
- Det mest kompliserte her er å bestemme friksjonskraften (F) og jordens trykkfasthet (T). Har man lite grunnlag for å bestemme disse, bør man benytte en større sikkerhetsfaktor – eller bruke laveste sannsynlige verdier.
- Massene i grøfta bør komprimeres godt i en lengde tilsvarende forankringslengden på hver side av bendet, slik at friksjonen og jordtrykket blir optimalt.

Vi begynner med å regne ut F og T :

Friksjonskreftene, F

Friksjonen mellom masser og rør tar opp strekkreftene. Men er ikke skjøtene strekkfaste, så glir de fra hverandre fordi lengden av rør med tilstrekkelig friksjon er for liten. Poenget er å finne ut hvor lang rørstrekning som må ha strekkfaste skjøter for å oppnå likevekt mellom strekkrefter og friksjonskrefter. Ved horisontale bend regner vi bare med halve røromkretsen – fordi kreftene mot bendet vil presse rørene sideveis. Vi forutsetter at det brukt friksjonsmasser i ledningssonen og at massene er komprimerte i området av ledningen som må være strekkfast.

$$F = A_r \cdot f_c \cdot c + (2W_j + W_r + W_v) \cdot \tan(f_\varphi \cdot \varphi) \text{ [kN/m]}$$

- A_r : Overflateareal for 1 meter rør. For beregninger av bend: $A_r = \frac{\pi \cdot D}{2}$ [m²/m]
 D : Utvendig rørdiameter [m]
 f_c : Koeffisient for modifikasjon av kohesjon, se tabell []
 c : Jordens kohesjon, se tabell [kN/m²]
 W_j : Normalkraft fra vekten av jordsøylen over røret [kN/m]
 W_r : Normalkraft fra vekten av røret [kN/m]
 W_v : Normalkraft fra vekten av vannet i røret [kN/m]
 f_φ : Koeffisient for modifikasjon av friksjonsvinkel []
 φ : Jordens indre friksjonsvinkel [°]

Rør-dimensjon	Effektivt areal for rør pr m, A_r (bend) [m ² /m]	Vekt av jordsøylen over rør, W_j [kN/m]	Vekt av rør med vann, W_r+W_v [kN/m]
63 mm	0,099	1,134 · H	0,033
75 mm	0,118	1,350 · H	0,047
90 mm	0,141	1,620 · H	0,068
110 mm	0,173	1,980 · H	0,102
160 mm	0,251	2,880 · H	0,215
225 mm	0,353	4,050 · H	0,425
280 mm	0,440	5,040 · H	0,658
315 mm	0,495	5,670 · H	0,833
400 mm	0,628	7,200 · H	1,343

Tabell med nødvendige rørrelaterte data for å regne ut friksjonstallet. H er overdekning [m].

Jordtype	f_c	c [kN/m ²]	f_φ	φ [°]
Velgradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	0	0,7	36
Dårlig gradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	0	0,7	31
Siltholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og silt	0	0	0,7	30
Uorganisk silt, meget fin sand, steinmel og silt- eller leireholdig finsand	0	0	0,6	29
Leireholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og leire	0,2	10,8	0,6	25
Uorganisk leire med lav til middels plastisitet og grus-, sand- og siltholdig leire.	0,3	12,0	0,5	20

Tabell med nødvendige jordrelaterte data for å regne ut friksjonstallet.

Eksempel:

Vi skal finne friksjonskraften for en 160 mm PVC trykkrørsledning med et 90° bend, med 1,25 m overdekning. Rørledningen skal dimensjoneres for et prøvetrykk på 15 bar. Vi bruker gode og godt komprimerte masser i ledningssonen. f_c og c er 0 fordi dette ikke er kohesjonsjord. Så første ledd i formelen faller ut i dette eksemplet. Vi setter inn verdiene fra de to tabellene foran.

$$F = A_r \cdot f_c \cdot c + (2W_j + W_r + W_v) \cdot \tan(f_\varphi \cdot \varphi)$$

$$F = 0,251 \text{ m}^2/\text{m} \cdot 0 \cdot 0 \text{ kN}/\text{m}^2 + (2 \cdot 3,60 \text{ kN}/\text{m} + 0,215 \text{ kN}/\text{m}) \cdot \tan(0,7 \cdot 36) = 3,49 \text{ kN}/\text{m}$$

Jordens trykkfasthet, T

Jorden bak rørledningen absorberer trykkraften fra rørledningen (som ved bruk av forankringskloss). Jordens evne til å absorbere beskrives som trykkfasthet, T. Det forutsettes at massene i ledningssonen er homogene og komprimerte i området med trykkraftfordeling og at de stedlige massene absorberer kreftene.

$$T = D \cdot K_n \cdot (\gamma \cdot H_s \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}) \text{ [kN/m]}$$

D: Utvendig rørdiameter [m]

K_n : Faktor avhengig av masser og komprimering i ledningssonen []

- Ledningssone type 3: Ukomprimerte friksjonsmasser
- Ledningssone type 4: Lett komprimerte gode friksjonsmasser
- Ledningssone type 5: Normalt komprimerte gode friksjonsmasser

γ : Jordens tyngdetetthet - kan settes til 18,0 kN/m³ hvis den ikke er kjent [kN/m³]

H_s : Gjennomsnittshøyde fra rørets senterlinje til jordoverflate, $H_s = H + \frac{1}{2}D$ [m]

H: Overdekning [m]

D: Rørdiameter [m]

K_p : Rankins koeffisient for passivt jordtrykk, $\tan^2(45+\varphi/2)$ []

φ : Jordens indre friksjonsvinkel [°]

c: Jordens kohesjon [kN/m²]

Jordtype	c [kN/m ²]	φ [°]	K _p	K _n		
				3	4	5
Velgradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukke med lite finstoff	0	36	3,85	0,6	0,85	1,0
Dårlig gradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukke med lite finstoff	0	31	3,12	0,6	0,85	1,0
Siltholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og silt	0	30	3,00	0,6	0,85	1,0
Uorganisk silt, meget fin sand, steinmel og silt- eller leireholdig finsand	0	29	2,88	0,4	0,6	0,85
Leireholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og leire	10,8	25	2,46	0,6	0,85	1,0
Uorganisk leire med lav til middels plastisitet, grus-, sand- og siltholdig leire.	12,0	20	2,04	0,4	0,6	0,85

Tabell med nødvendige jordrelaterte data for å regne ut jordens trykkfasthet.

Eksempel:

Vi følger opp forrige eksempel og skal nå finne jordens trykkfasthet for en 160 mm PVC trykkrørsledning med ett 90° bend og med 1,25 m overdekning og som skal dimensjoneres i forhold til et prøvetrykk på 15 bar. Vi bruker godt komprimerte gode friksjonsmasser (pukke, singel, grov grus eller grov sand). c er 0 fordi dette ikke er kohesjonsjord. Så siste ledd i parentesene i formelen faller ut i dette eksemplet. Vi setter inn de øvrige verdiene fra tabellen over.

$$T = D \cdot K_n \cdot \left(\gamma \cdot H_s \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \right)$$

$$T = 0,160 \text{ m} \cdot 1,0 \cdot \left(18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,25 + \frac{1}{2} \cdot 0,160 \right) \text{ m} \cdot 3,85 + 2 \cdot 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \sqrt{3,85} \right) = 14,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Forankringslengde for bend, L_{bend}

Da gjenstår det bare å fylle inn i hovedformelen. Vi har satt inn en omregningsfaktor 100, slik at trykket kan settes inn i bar i stedet for kN/m². 1 bar = 100 kN/m².

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T} \text{ [m]}$$

L_{bend}: Minimum rørlengde som skal forankres på hver side av bendet [m]

β: Sikkerhetsfaktor – minimum 1,5 []

p: Maksimum trykk [bar]

A: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [m²]

D: Rørdiameter [m], OBS! For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter

α: Bendets vinkel [°]

F: Friksjonskraft pr meter rør [kN/m]

T: Jordens trykkfasthet pr meter rør [kN/m]

Rør- dimensjon	Rørets tverrsnittsareal, A [m ²]
63 mm	0,00311
75 mm	0,00441
90 mm	0,00636
110 mm	0,00950
160 mm	0,02011
225 mm	0,03976
280 mm	0,06158
315 mm	0,07793
400 mm	0,12566

Eksempel:

Da fullfører vi arbeidet som er lagt ned i de to forrige eksemplene og finner nødvendig forankringslengde på hver side av dette 90° bendet. Rørledningen består fortsatt av 160 mm PVC trykrør og trykket vi skal dimensjonere ved er 15 bar. F er beregnet til 3,49 kN/m og T til 14,75 kN/m. Rørets tverrsnittsareal A kan settes inn fra tabellen over.

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \text{ kN/bar} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T}$$

$$L_{\text{bend}} = 1,5 \cdot \frac{100 \text{ kN/bar} \cdot 15 \text{ bar} \cdot 0,02011 \text{ m}^2 \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right)}{3,49 \text{ kN/m} + \frac{1}{2} \cdot 14,75 \text{ kN/m}} = 4,2 \text{ m}$$

Hvis det monteres en seks meter lang rørlengde på hver side av bendet, så holder det å gjøre skjøtene mot bendet strekkfaste – altså 2 stk strekkfaste skjøter.

Tabeller over strekkfast lengde ved gunstige og ugunstige forhold

I tabellen under finner du minimum strekkfast lengde på hver side av horisontale PVC trykrørsbend i SDR 21 når det er brukt gode masser i ledningssonen med god komprimering, grunnforholdene er svært gode (godt komprimert sand, grus og morene og fjell), overdekningen er 1,5 meter, trykket er 15 bar og sikkerhetsfaktoren er 1,5.

Rør- dimensjon	Minimum forankringslengde på hver side av et bend under gitte forhold					
	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,4
75 mm	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,7
90 mm	0,2	0,4	0,5	0,8	1,2	2,0
110 mm	0,2	0,5	0,7	1,0	1,4	2,4
160 mm	0,3	0,7	0,9	1,4	2,0	3,5
225 mm	0,5	0,9	1,3	2,0	2,8	4,8
280 mm	0,6	1,2	1,6	2,5	3,4	5,9
315 mm	0,6	1,3	1,8	2,7	3,8	6,6
400 mm	0,8	1,6	2,2	3,4	4,8	8,2

I tabellen under finner du minimum strekkfast lengde på hver side av horisontale PVC trykkrørsbend i SDR 21 når det hovedsakelig er brukt ukomprimerte friksjonsmasser i ledningssonen og stedlige masser er leire med lav til middels plastisitet med høy fuktighet, når overdekningen er 1,5 meter, trykket er 15 bar og sikkerhetsfaktoren er 2,0 (på grunn av de dårlige massene i ledningssonen og grunnen ellers).

Rør- dimensjon	Minimum forankringslengde på hver side av et bend under gitte forhold					
	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,5	0,9	1,3	2,0	2,8	4,8
75 mm	0,5	1,1	1,5	2,4	3,3	5,7
90 mm	0,7	1,3	1,8	2,8	3,9	6,8
110 mm	0,8	1,6	2,2	3,4	4,8	8,3
160 mm	1,2	2,3	3,2	5,0	6,9	12,0
225 mm	1,6	3,2	4,5	6,9	9,6	16,7
280 mm	2,0	4,0	5,5	8,5	11,9	20,6
315 mm	2,2	4,5	6,2	9,5	13,3	23,0
400 mm	2,8	5,6	7,7	12,0	16,7	28,9

Forankring av sveiste rørledninger

Rørledninger av PE med sveiste, strekkfaste skjøter må forankres i enden(e). En situasjon, som vi ser nærmere på i eksempelet under, er når et medierør ligger i varerør og påvirkes av temperaturendringer. Andre situasjoner kan være rørledninger som ligger i dårlige masser hvor friksjonskrefter mellom rør og masser ikke låser røret, rørledninger i bratte skråninger der massene kan sige osv. Her kan kreftene oppstå av ulike grunner og dette krever geoteknisk kompetanse og mer omfattende beregninger. I kapitlet om Hookes lov omtales flere situasjoner som gir kraftpåvirkninger som må ivaretas.

Eksempel:

Vi skal finne arealet til forankringsklosser for et 400 mm PE 100 SDR 17 trykløst medierør som ligger fritt i et varerør og som utsettes for temperaturendringer på 20 °C. Rørledningen må forankres i begge ender.

Først må vi finne relativ utvidelse (ϵ), som er et dimensjonsløst tall (eller med enhet m/m eller mm/mm), for røret når det er uforankret. Utvidelseskoeffisienten (k) for PE 100 er 0,16 mm/m °C og temperaturendringen (ΔT) i dette eksemplet er 20 °C:

$$\epsilon = k \cdot \Delta T = 0,16 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 20^\circ\text{C} \cdot 0,001 \frac{\text{m}}{\text{mm}} = 0,0032$$

For å finne opptredende materialspenning (σ) i et rør som ligger fast innspent mellom to forankringer må vi bruke Hookes lov med korttidsverdi for E-modul (E). Vi forutsetter da at temperaturendringen skjer plutselig (worst case):

$$\sigma = E \cdot \epsilon = 1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,0032 = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

Tverrsnittsarealet av rørvæggen ($A_{\text{rørvegg}}$) er:

$$A_{\text{rørvegg}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (400,0^2 - 352,6^2) = 28\,018 \text{ mm}^2$$

Kraften (R) som røret skyver/trekker med blir da:

$$R = \sigma \cdot A_{\text{rørvegg}} = 3,2 \text{ N/mm}^2 \cdot 28\,018 \text{ mm}^2 = 89\,658 \text{ N} = 89,7 \text{ kN} \text{ (9,1 tonn)}$$

Arealet av forankringsklossen mot massene (A_{betong}) beregnes ut fra forutsetninger om et tillatt jordtrykk (σ_{jord}) på 200 kN/m² og med en sikkerhetsfaktor (β) på 1,5:

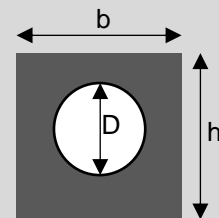
$$A_{\text{betong}} = \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} \cdot \beta = \frac{89,7 \text{ kN}}{200 \text{ kN/m}^2} \cdot 1,5 = 0,673 \text{ m}^2$$

For å finne riktig bredde (b) og høyde (h) på forankringsklossen må vi legge til arealet røret stjeler ($A_{\text{rør}}$). Her forutsetter vi en kvadratisk kloss:

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{betong}} + A_{\text{rør}} = 0,673 \text{ m}^2 + \left((0,4 \text{ m})^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) = 0,799 \text{ m}^2$$

$$b, h = \sqrt{A_{\text{tot}}} = \sqrt{0,799 \text{ m}^2} = 0,89 \text{ m}$$

Klossen i dette eksempelet må minst være 89 cm bred og 89 cm høy.

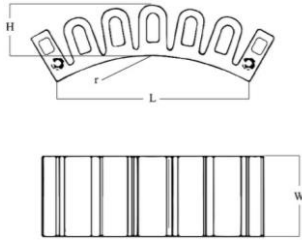


Elektroforankring

Elektroforankringen brukes ved forankring av PE trykkrør i betong. Kraftene fra røret overføres via elektroforankringene til betongveggen. Antallet som normalt er nødvendig per dimensjon og rørklasse finner du i tabellen under. Ved svært høye belastninger bør antallet beregnes. Forankringene er dimensjonert for en last på 42,3 kN (4,3 tonn) per stk.

Elektroforankringen stropes stramt til rørveggen før sveising. Normal prosedyre for elektroforankring må følges. Blant annet er det viktig med skrapping av rørveggen for å fjerne oksidert belegg. Etter kjøletiden kan stroppen fjernes og røret støpes inn i betong.

Rørdimensjon [mm]	Antall for SDR 11 rør [stk]	Antall for SDR 17 rør [stk]
160 - 280	2	2
315	3	2
355	4	3
400	5	3
450	6	4
500	7	5
560	8	6
630	10	7
710	13	9
800	17	11
900	21	14
1000	26	18
1200	37	25



L: 152 mm
H: 40 mm
W: 63 mm

Eksempel:

I forrige eksempel ble resultantkraften 89,7 kN (9,1 tonn) for et 400 mm PE 100 SDR 17 rør. Når hver elektroforankring tar inntil 42,3 kN, blir regnestykket

$$\text{Antall elektroforankringer} = \frac{89,7 \text{ kN}}{42,3 \text{ kN/stk}} = 2,1 \text{ stk, som i praksis betyr 3 stk - som i tabellen over.}$$