

1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-bladet gir veiledning i beregninger av opptredende krefter i nedgravde trykkledninger av polyetylen (PE), samt skisserer og dimensjonerer ulike forankringsløsninger. Hensikten er å skape et stabilt ledningsnett uten kritiske bevegelser med fare for lekkasjer og brudd. For nærmere beskrivelse av PE materialet henvises til VA/Miljøblad 11 "Kravspesifikasjon for vann- og avløpsledninger i PE materiale".

Med hensyn på forankring av trykkledninger i prefabrikkerte kummer, henvises til VA/Miljøblad 112.

For generelle råd angående forankring av ulike rørmaterialer i grøft, anbefales VA/Miljøblad 96 "Forankring av rørledninger".

2 BEGRENSNINGER

Bladet omhandler ikke forankring på terreng, i luft eller i vann.

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 aldringsbestandige som selve rørsystemet for angjeldende ledningsanlegg. Forankringen skal være designet for å tåle dimensjonerende belastning i anleggets definerte levetid; dvs > 100 år.

4 LØSNINGER

Polyetylenrør (PE) er et viskoelastisk materiale som er sveisbart. Materialet kjennetegnes ved at de fysiske egenskapene som elastisitetsmodul og bruddspenning endres som funksjon av tiden, temperaturen og spenningsnivået. Den høye temperaturutvidelseskoeffisienten til materialet gir potensiale for bevegelser der ledningene ikke er forankret. At røret er sveiset i skjøtene gir muligheter for overføring av opptredende krefter til spenninger i rørmaterialet, noe som reduserer behovet for forankring ved bend, T-rør, dimensjonsoverganger og stengeventiler.

Det er spesielt i overgangen mellom ulike materialer og ved tilknytning til kummer at forankringsløsninger er nødvendige.

4.1 OPPTREDENDE KREFTER OG SPENNINGER

Hydrauliske tilleggskrefter oppstår ved bend, T-rør, dimensjonsoverganger og avstenginger. Disse "inhomogenitetene" i PE rørnettet må være forsterket konstruksjonsmessig, slik at opptredende spenningskonsentrasjoner blir liggende innenfor tillatte grenser i PE materialet. I et strekkfast ledningsmateriale som PE, vil kraften som opptrer i aksial retning (K_L) på grunn av innvendig trykk ved bend, T-rør og avstengninger, generelt kunne uttrykkes:

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

p = trykk (N/m²)

d = innvendig diameter i rør eller elektromuffe (m)

v = vinkelendring

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.

Ved bruk av elektromuffe vil det være rørets utvendige diameter D som benyttes i beregningen.

Setter man vinkelen $v = 90^\circ$, får man strekkraften i røret ved en T - avgreining (T-rør) og ved full ventilavstenging.

Tar vi utgangspunkt i "worst case" situasjonen med elektromuffeskjøter, kan man beregne strekkspenningen i lengderetningen med formel 2:

$$\sigma_L = p \frac{SDR^2}{4 \cdot (SDR - 1)} (1 - \cos v) \quad 2)$$

$SDR = (DN/OD)/\text{Godstykkelsen}$

I tillegg vil PE røret være utsatt for en spenning i ringretningen (σ_r) som følge av innvendig trykk:

$$\sigma_r = \frac{p}{2} (SDR - 1) \quad 3)$$

I tillegg til kreftene fra vanntrykket, beskrevet ved geometriendringene foran, vil rørene kunne utsettes for krefter i lengderetningen som følge

av temperaturendring ($K_{\Delta T}$) og tverrkontraksjon (K_v).

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

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)

Den termiske spenningen blir maksimalt:

$$\sigma_{\Delta T} = E\alpha\Delta T \quad 5)$$

Tverrkontraksjonskraften kan uttrykkes som:

$$K_v = \frac{v\pi(SDR-1)(D^2-d^2)}{8} \quad 6)$$

v = Poissons tall (0,4 for PE)

Tverrkontraksjonen vil ikke gi tilleggskrefter ved bend, T-rør og overganger, da den vil virke i motsatt retning og være mindre enn trykkraften. Nedkjøling av røret kan gi tilleggsspenninger i sveiseskjøten ved bendet.

Vanligvis benyttes en temperaturendring $\Delta T = \pm 20^{\circ}\text{C}$ 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.

Ved trykkprøving aksepteres en kortidsspenning i rørmaterialet som er 50 % høyere enn den dimensjonerende spenningen, (9,4 Mpa for sikkerhetsfaktor 1,6 og 12 Mpa for sikkerhetsfaktor 1,25 etter NS-EN 12201 for PE100).

Det er sveisefaktoren i PE sveisen som er avgjørende for om det er behov for forankring av ledningen eller ikke. Antar man en dimensjonerende sveisefaktor på 0,85, blir de maksimalt tillatte spenningene i PE100 røret ved trykkprøving henholdsvis 8 Mpa (sikkerhetsfaktor 1,6) og 10 Mpa (sikkerhetsfaktor 1,25).

Tabell 1 a og b viser de totale spenningene i lengderetningen ved trykkprøving. (sikkerhetsfaktor 1,25 og 1,6)

Tabell 1a (sikkerhetsfaktor 1,25)

Dimensjonerende sikkerhetsfaktor 1,25				
30 grader	45 grader	60 grader	90 grader	
1,1	2,5	4,3	8,5	
1,1	2,4	4,1	8,2	
1,1	2,3	3,9	7,9	
1,0	2,2	3,8	7,6	
1,0	2,2	3,7	7,5	
1,0	2,1	3,7	7,3	
1,0	2,1	3,6	7,1	
1,0	2,1	3,6	7,1	
0,9	2,1	3,5	7,1	

Tabell 1b (sikkerhetsfaktor 1,6)

Dimensjonerende sikkerhetsfaktor 1,6				
30 grader	45 grader	60 grader	90 grader	
1,0	2,1	3,6	7,2	
0,9	2,0	3,4	6,9	
0,9	1,9	3,3	6,5	
0,9	1,9	3,2	6,4	
0,8	1,8	3,1	6,3	
0,8	1,8	3,1	6,1	
0,8	1,8	3,0	6,0	
0,8	1,8	3,0	6,0	
0,8	1,7	3,0	6,0	

Tabell 1 a og b: Totale spenninger (Mpa) i lengderetningen ved bend på PE-rør ved trykkprøving og temperaturkrefter. I tallene utgjør temperaturspenningen 1,6 Mpa.

Vi ser at det ikke er behov for forankring av noen av PE bendene, siden maksimale spenninger ligger under tillatte kortidsbelastninger. Vi ser at sveisefaktoren må være så lav som i området 0,7 til 0,75 for at det skal være fare for brudd i en PE100 ledning ved et 90° bend.

Konklusjonen blir at PE-bend (både horisontale og vertikale), T-rør, overganger og blindender i nedgravde grøfter ikke bør forankres så lenge de inngår i et helsveist strekkfast ledningsnett av PE.

Det forutsettes at de nevnte rørdelene er konstruksjonsmessig forsterket, slik at de tåler fullt prøvetrykk. I motsatt fall må det benyttes strekkfaste løsninger basert på bruk av stålrør eller duktilt støpejern (flensekoblinger).

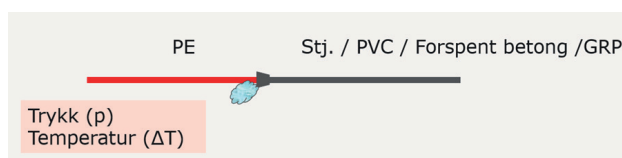


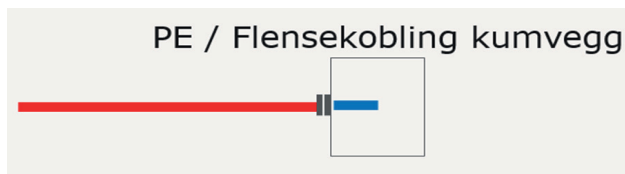
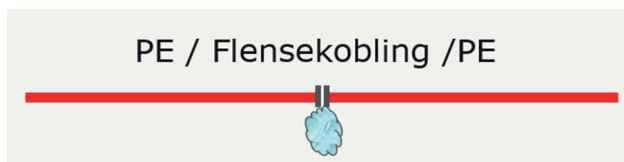
Figur 1: Eksempel på konstruksjonsmessig forsterket T-rør.

I figur 2 vises 3 eksempler på hvor det vil være fare for lekkasjer som følge av temperaturendring og tverrkontraksjon ved bruk av PE rør. 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 PE-LEDNINGER MOT BEVEGELSE I RØRETS LENGDERETNING

I et komplett strekkfast ledningsnett av PE er det, som nevnt under punkt 4.1, ikke behov for støpte forankringer ved bend, T-rør, overganger og ved blindender. Alle krefter vil bli opptatt som spenninger og tøyninger i rør og rørdeler. Det blir "små bevegelser" (økende over tid etter hvert som E-modulen avtar), som normalt ikke har noen praktisk betydning.

Utfordringen med forankring av PE-rør ligger i rørets lengderetning, som vist i eksemplene i figur 2.

Ligger rørene i en grøft, vil friksjonskreftene mellom ledning og omgivende masser redusere bevegelsen. Ligger ledningen i et varerør blir bevegelsene større. Ved styrte borer vil også friksjonen bli redusert og bevegelsene større.

Ønsker man å redusere bevegelsen til "null", må man etablere forankringer.

Forankringskonstruksjonene må ha tilstrekkelig styrke til å håndtere "låsekräften". I motsatt fall vil betongen sprekke opp eller stålførankringen deformere seg.

I kummer vil det være ønskelig at rørene er fiksert, slik at man enkelt kan bytte ut ventiler og andre rørdeler. Ved overganger fra strekkfaste PE-rør til ikke strekkfaste rør, kan man ikke tåle bevegelse.

Lengdeforandringen på et fritt bevegelig PE rør (ΔL) kan beregnes av formelen:

$$\Delta L = \left[\frac{\sigma_p}{2 \cdot E} \cdot (SDR - 1) \pm \alpha \cdot \Delta T \right] \cdot L \quad 7)$$

Antar man en langtids E-modul på 200 Mpa, et trykk på 1,25 Mpa og en nedkjøling av røret på 20°C, vil et 100m langt SDR11 rør få en redusert lengde (ΔL) på:

$$\Delta L = \left[\frac{0,4 \cdot 1,25}{2 \cdot 200} \cdot (11 - 1) + 0,16 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \right] \cdot 100\text{m} = \underline{1,57\text{m}}$$

Vi kan trygt si at PE er et levende materiale.

For å hindre en slik bevegelse, må ledningen låses fast i hver ende med en kraft $K_{\text{Forankring}}$.

$$K_{\text{Forankring}} = \left[\frac{\sigma_p}{2} \cdot (SDR - 1) \pm E \cdot \alpha \cdot \Delta T \right] \cdot \pi \cdot \left[\frac{SDR - 1}{SDR^2} \right] \cdot D^2 \quad 8)$$

Vi ser at forankringskraften øker med diameteren i 2. potens. Er diameteren i eksempelet foran lik 400mm kan man beregne forankringskraften til:

$$K_{\text{Forankring}} = \left[\frac{0,4 \cdot 1,25 \cdot 10^6}{2} \cdot (11 - 1) + 500 \cdot 10^6 \cdot 0,16 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \right] \cdot \pi \cdot \left[\frac{11 - 1}{11^2} \right] \cdot 0,4^2 \text{ N} =$$

$$\underline{170 \text{ kN} \approx 17 \text{ tonn}}$$

Som E-modul ved dimensjoneringen anvendes en relaksert korttids E-modul på 500 Mpa.

Det er viktig å vite hvilken type jordmasser som finnes i området der trykkledningens forankringskloss skal etableres. Det mobiliserbare passive jordtrykket for normalt konsoliderte jordarter i Norge vil ligge i området 100kN til 150kN.

Størrelsen på forankringsarealet (A) vinkelrett på rørets lengderetning beregnes av formel 9.

$$A = \frac{K_{\text{Forankring}}}{\sigma_{\text{jord}}} \quad 9)$$

σ_{jord} = tillatt passivt jordtrykk (kN/m²)

$$A = \frac{170}{100} \text{ m}^2 = \underline{1,7 \text{ m}^2}$$

Benyttes betong i forankringsklossen, må tykkelsen være minimum 0,3m.

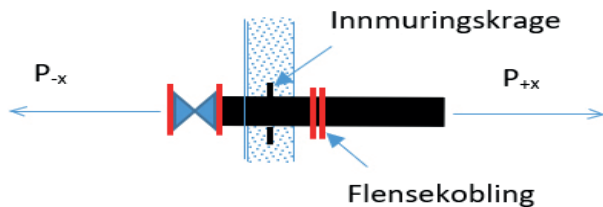
Formelgrunnlaget kan også benyttes for trykløse rør ved å sette $p=0$.

4.3 FORANKRING I KUMMER OG ANDRE STØPTE KONSTRUKSJONER

Ved forankring i standardiserte prefabrikkerte kummer kan det benyttes prefabrikerte konsoller montert i kumbunnen i samsvar med VA/Miljøblad 112.

Ved plasstøpte kummer skal PE ledningene forankres i kumvegg med innmuringskrage som vist i figur 3.

I et slikt tilfelle vil den dimensjonerende forankringskraften være forskjellig i medstrøms og motstrøms retning (P-x og P+x). Kraften P-x bestemmes av prøvetrykket ($p_{\text{Prøve}}$) mot stengt ventil (eventuelt blindflens) og temperaturkraften ($K_{\Delta T}$) ved oppvarming.



Figur 3: Eksempel på veggjennomføring med innmuringskrage

$$P_{-x} = \frac{p_{\text{Prøve}} \cdot \pi \cdot D^2}{4} + \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (10)$$

D = største innvendig diameter (m) (forutsatt elektromuffe)

d = innvendig diameter (m)

E = relaksert elastisitetsmodul (Mpa)

α = temperaturutvidelses koeffisient ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Forankringskraften P_{+x} bestemmes av temperaturkraften ved nedkjøling ($K_{\Delta T}$) og tverrkontraksjonskraften (K_Q) ved maksimalt driftstrykk. Kraften P_{+x} beregnes ved bruk av formel 8).

4.3.1 Eksempel på beregning av forankringskrefter i kumvegg

Et PE rør Ø600mm SDR9 skal forankres i en betongvegg i et ventilkammer via en flensekobling som vist i figur 3. På innsiden av vegg sitter en avstengingsventil med innvendig diameter 500mm. Dimensjonerende trykk ved tetthetsprøving er 21 bar. Driftstrykket vil ligge på 16 bar og det kan forventes at PE røret kan nedkjøles 20°C samt oppvarmes 5°C målt fra installasjonstemperaturen.

Finn de dimensjonerende kreftene som virker i lengderetningen av røret i begge retninger og som skal danne grunnlaget for dimensjonering av armeringen i vegg.

- 1) Trykkprøving av røret med 21 bar mot stengt ventil og 5° oppvarming av PE røret.

Selv om systemet er strekkfast, vil forskjellen i elastisitetsmodul i betongen og i PE røret føre til at kraften blir overført til betongen via innmuringskragen før PE røret får tilstrekkelig deformasjon til å oppta kraften som spenninger i rørveggen. Det vil følgelig kunne oppstå sprekker i betongen.

Resultantkraften i denne situasjonen P_{-x} beregnes av formel 10). Siden oppvarmingen av røret er en relativt langsom prosess, anvendes en relaksert E-modul for PE på 500Mpa.

$$P_{-x} = \frac{2,1 \cdot \pi \cdot 0,5^2}{4} + \frac{500 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot \pi \cdot (0,6^2 - 0,467^2)}{4} \text{ MN} = (0,59 + 0,06) \text{ MN} = \underline{650 \text{ kN}}$$

- 2) Normal driftssituasjon med 16 bar trykk, åpen ventil og nedkjøling av PE røret med 20°C .

I denne situasjonen vil tverrkontraksjonskraften trekke på rørveggen, siden røret ønsker å forkorte seg. Samme effekt får man ved at røret nedkjøles. Resultantkraften (P_{+x}) beregnes av formel 8).

$$P_{+x} = \left[\frac{0,4 \cdot 1,6 \cdot 10^6}{2} \cdot (9 - 1) + 500 \cdot 10^6 \cdot 0,16 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \right] \cdot \pi \cdot \left[\frac{9-1}{9^2} \right] \cdot 0,6^2 \text{ N} = 0,46 \text{ MN} = \underline{460 \text{ kN}}$$

Vi ser altså at situasjon 1 blir dimensjonerende for armeringen av rørveggen rundt innmuringskragen.

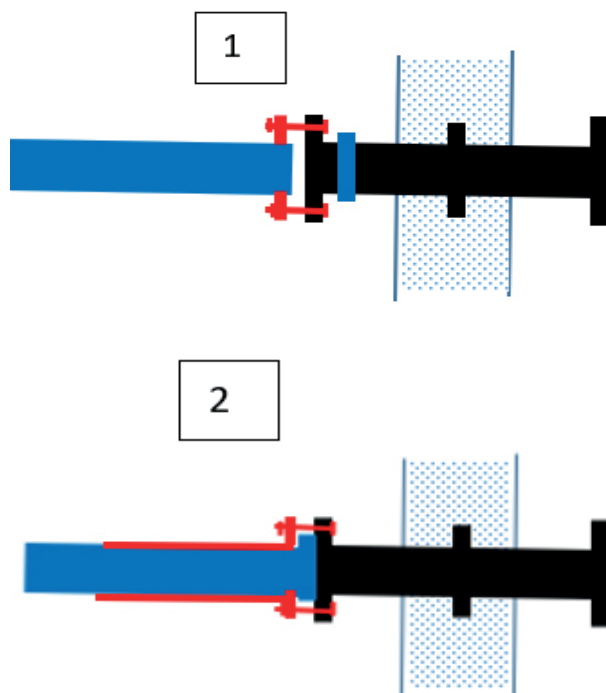
Ved store ledningsdimensjoner ($D > 400 \text{ mm}$) vil vi anbefale at alle rørene forankres inn i kumveggene med innmuringskrager. Veggene må dimensjoneres og armeres for maksimalt opptredende krefter alle forhold tatt i betraktning.

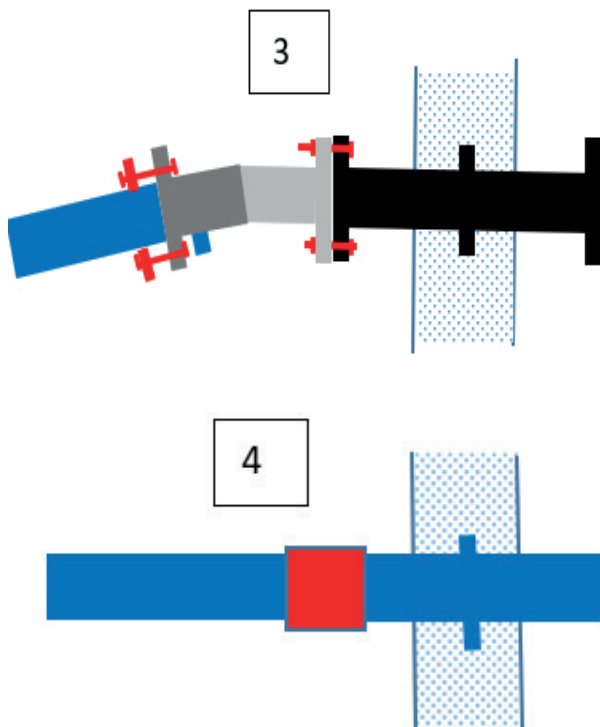
4.3.2 Eksempel på forankringsløsninger i kumvegg og betongkloss

Forankring av PE-ledninger til kumvegger eller i støpte forankringsklosser (vegger) kan i prinsippet utføres på 4 ulike måter.

1. Innmuringskrage av stål / duktilt støpejern med flensekobling med PE-krage og løsfleks
2. Innmuringskrage av stål / duktilt støpejern med flensekobling med PE-krage og bruk av styrerør
3. Innmuringskrage av stål / duktilt støpejern med flensekobling med PE-krage og bruk av teleskoprør
4. Innmuringskrage av PE og kobling ved bruk av elektromuffe

Løsningene er prinsipielt vist i figurene under.





Figur 4: Ulike løsninger ved tilkobling av PE rør til plaststøpte kummer eller forankringsklosser.

Det har i noen tilfeller oppstått brudd på PE-ledninger ved flens koblinger på utsiden av kummen. Disse har sin årsak i en kombinasjon av montasjespenninger, setningsforskjeller, temperaturkrefter og trykkrefter. Bruddet skjer gjerne i PE-kragen. En mulig løsning kan være å anvende styrerør, eller sterkere krager med bedre utforming.

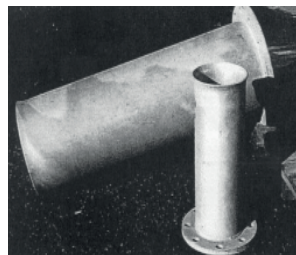
Ved store ledningsdiametere (>500 mm) anbefales å vurdere bruk av teleskoprør (rør i rør) av stål som sveises sammen i "glippen" etter at boltene i flensene er tiltrukket. På denne måten får man redusert montasjespenningene til 0.

For PE-rør finnes spesialflenser og krager med bedre statisk konstruksjon enn de tradisjonelle standardiserte løsningene. Slike flens koblinger bør benyttes ved dimensjoner fra Ø315 mm og oppover.

Figur 5 viser noen eksempler på noen "gamle" rørdeler og noen innovative rørdeler som benyttes ved flenseskjøter og forankringer i betongvegger og klosser.



Innmuringskrage av PE med gummitetning



Varmforsinkede styrerør



Syrefaste teleskoprør med flenser



Innmuringskrage av duktilt støpejern



Reduksjonsflens



HP flens

Figur 5: Eksempler på rørdeler for PE i flens koblinger og tilkoblinger til betongkonstruksjoner.

Styrerørene dimensjoneres geometrisk slik at minimum krumningsradius tilsvarer 120-D.

Styrerør benyttes av følgende grunner:

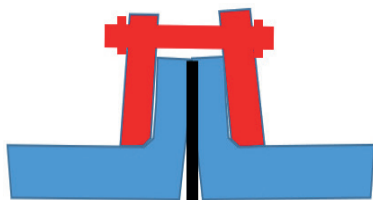
- Ved fare for setninger /dårlige grunnforhold ved tilkobling til fast betongkonstruksjon. Setninger vil føre til skjev belastning/moment på PE-kragen.
- Ved bend rett på utsiden av kum (spesielt ved dårlige masser). Ved dårlige masser kan det bli sideveis bevegelse i ledningen, som vil føre til et belastende moment på PE-kragen.
- Ved brudd i flenseskjøten vil styrerøret redusere lekkasjen betraktelig, som i de fleste tilfeller vil gi mulighet for videre drift frem til reparasjon (dvs. lengre responstid ved brudd).
- Korrosjonssikring av bolter, skiver og muttere (mere stål å korrodere på).

Det handler om å velge løsninger som reduserer spenningene i flenseskjøten mest mulig både i installasjonsfasen og driftsfasen. Spenningene i hulken ved PE kragen vil kunne øke med en faktor i størrelsesorden 2 til 3 sammenliknet med den generelle spenningen i rørmaterialet.



Figur 6: Eksempel på skade på PE-krage som følge av lekkasje i standard løsning med krage og løsløp. Mediet er i dette tilfellet er slurry fra gruveindustri, som er svært eroderende.

Vi må være oppmerksom på at tverrkontraksjonskrefter og temperaturkrefter (nedkjøling) gir betydelige spenninger og krefter i rørets lengderetning under drift. Ved store dimensjoner (>400mm) vil dagens standardiserte krager og flensløsninger kunne gi for store deformasjoner i kragen, slik at kompresjonstrykket på pakningene blir for lite med påfølgende lekkasje.



Figur 7: Deformasjon av krage med fare for lekkasje som følge av tverrkontraksjon og temperaturspenninger (avkjøling av røret).

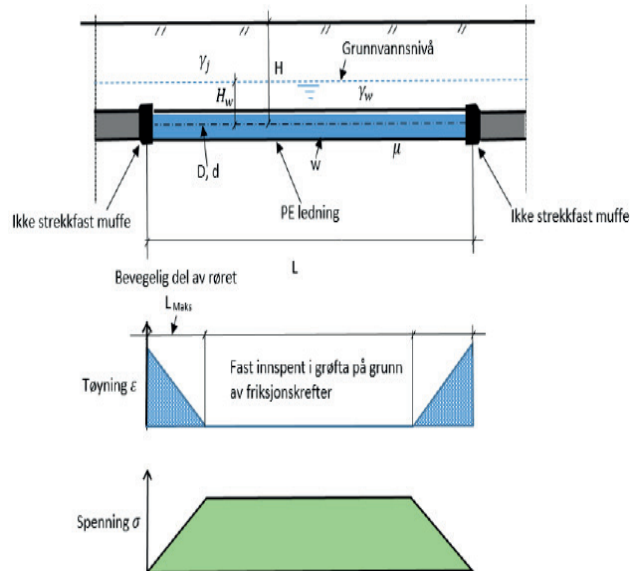
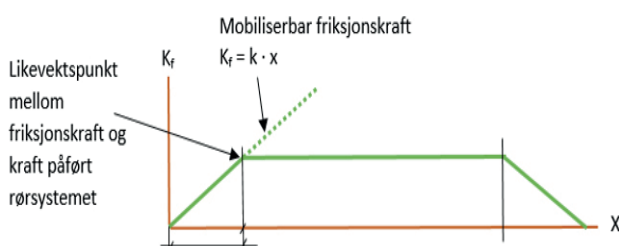
Det er viktig at det velges riktige typer pakninger sett i forhold til krageløsningen. Her finnes flere mulige varianter som må bestemmes i nært samarbeid med leverandøren av krage. På grunn av spenningsrelaksasjonen i PE materialet må alle flenskoblinger ettertrekkes i overensstemmelse med leverandørenes anvisninger.

Stålkvaliteter i flenser, skiver, muttere og styrerør må være identiske, slik at man unngår galvanisk spenningskorrosjon.

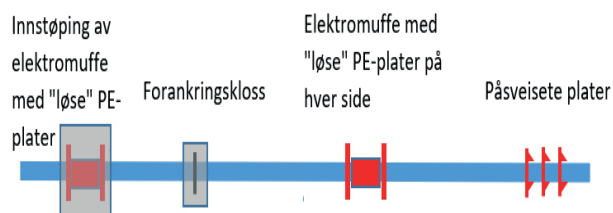
4.4 BEREKNING AV PE-LEDNINGERS BEVEGELSESLENGDE I GRØFT

Figur 8 viser hvordan spenninger og tøyninger kan føre til at et rør beveger seg i grunnen i nærheten av ikke strekkfaste koblinger.

Bevegelser kan også til en viss grad oppstå ved bend avhengig av komprimeringsgraden i grøfta, men begrenses av det passive jordtrykket.



Figur 8: Eksempel på hvordan et nedgravd rør beveger seg som følge av temperaturendring og tverrkontraksjon.



Figur 9: Eksempel på forankringsløsning for å motstå temperaturendring og tverrkontraksjon.

Dersom man velger å støpe forankringsklosser av betong, bør man stille følgende krav til betongkvaliteten og armeringen:

Fasthetsklasse min. B35, Bestandighetsklasse MF45, Maks. steinstørrelse 16mm, Kloridklasse Cl- 0,1, Minimum armeringsoverdekning 50mm, Stålkvalitet B500C, Generell armering: Ø12 c/c 100 #.

Vi skal se på et regneeksempel med henvisning til figur 8. Et Ø710mm PE100 SDR11 rør ligger nedgravd i grøft mellom 2 ikke strekkfaste muffe. Høyden fra senter rør til terrengoverflaten er H=2,0 m og grunnvannstanden står H=1,0m over senter rør. Egenvekten av jordmassene er $\sigma = 18 \text{ kN/m}^3$. Røret utsettes for et innvendig trykk på $p=12,5 \text{ bar} = 1,25 \text{ MPa}$ og avkjøles $\Delta T=20^\circ\text{C}$ fra installasjonstemperaturen. Hvor stor lengde L_{Maks} av ledningen vil bevege seg og hvor stor blir rørets forkortelse ved muffene? Vi kan anta en friksjonskoeffisient mellom røret og grøftmassene på $\mu=0,3$. Vekten av vannfylt rør tilsvarer $w=4 \text{ kN}$.

Ved å ta utgangspunkt i likevekten mellom tverrkontraksjonskraften, den termiske kraften og friksjonskraften, kan man utlede følgende formel for L_{Maks} (Kfr. figur 8):

$$L_{\text{Maks}} = \left(\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4\mu} \right) \cdot \left[\frac{p \cdot \frac{\pi}{4} (SDR - 1) + E \cdot \alpha \cdot \Delta T}{\pi \cdot D \cdot (\gamma_j \cdot H - \gamma_w \cdot H_w) + w} \right] \quad (11)$$

E = PE materialets relakserte E-modul (500MPa)

α = PE materialets termiske
lengdeutvidelseskoeffisient (0,2·10⁻³)

ϑ = tverrkontraksjonstallet for PE (0,4)

D = utvendig diameter (m)

d = innvendig diameter (m)

Innsettes aktuelle verdier, får man:

$$L_{Maks} = \left(\frac{\pi(0,71^2 - 0,581^2)}{4 \cdot 0,3} \right) \cdot \left[\frac{\left(\frac{1,25 \cdot 0,4}{2} (11-1) + 500 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \right) \cdot 1000}{\pi \cdot 0,71 \cdot (18 \cdot 2,0 - 10 \cdot 1,0) + 4} \right] m = 31,7m$$

Vi ser altså at 31,7m av røret i hver ende vil være i bevegelse. Hvor stor selve forkorting ΔL av røret blir, kan bestemmes ved å integrere opp tøyningen over hele den bevegelige lengden L_{Maks} . Man får da følgende formel:

$$\Delta L = \left(\frac{p \cdot \vartheta}{2 \cdot E} \cdot (SDR - 1) + \alpha \cdot \Delta T \right) \cdot L_{Maks} - \frac{2 \cdot [\pi \cdot D \cdot (y_f \cdot H - y_w \cdot H_w) + w] \cdot \mu}{E \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)} \cdot L_{Maks}^2 \quad (12)$$

Med de rette verdiene innsatt, blir resultatet:

$$\Delta L = \left(\frac{1,25 \cdot 0,4}{2 \cdot 500} \cdot (11 - 1) + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \right) \cdot 31,7 - \frac{2 \cdot [\pi \cdot 0,71 \cdot (18 \cdot 2 - 10 \cdot 1) + 4] \cdot 0,3}{500 \cdot 1000 \cdot \pi \cdot (0,71^2 - 0,581^2)} \cdot 31,7^2 m$$

$$= 0,14m$$

PE rørets totale bevegelse i hver ende blir 0,14m, hvilket er tilstrekkelig til at ledningen trekker seg ut av muffa, noe som vil medføre full lekkasjekollaps. Man må følgelig etablere forankringer som antydnet tidligere i figur 9.

I tabell 2 har vi regnet ut bevegelseslengde, bevegelse og nødvendig forankringsareal som funksjon av diameter og SDR klasse for en typisk ledningsinstallasjon.

Vi har lagt til grunn en jordoverdekning over topp rør på 2,0m, en grunnvannstand 1,5m over senter rør, en maksimal temperaturendring på -20°C og et dimensjonerende trykk som tilsvarer full utnyttelse av SDR klassen med en sikkerhetsfaktor på 1,6. Langtids E-modul for PE på 200Mpa er benyttet. Øvrige data i samsvar med eksempelet på side 11.

Det passive mobiliserbare jordtrykket er satt til 10 tonn/m² i beregningene.

Ved andre forutsetninger må man korrigere tallene i tabell 2, ved hjelp av formlene 11), 12), 8) og 9).

SDR	Bevegelig lengde av røret for oppnådd friksjonsfiksering (m)				
	Diameter (mm)				
	200	315	500	710	1000
7,4	5,61	8,77	13,74		
9	4,74	7,41	11,61	16,25	
11	3,90	6,09	9,54	13,36	18,45
13,6	3,23	5,05	7,91	11,07	15,30
17	2,66	4,15	6,51	9,11	12,58
21	2,15	3,36	5,27	7,37	10,18
26	1,74	2,72	4,27	5,97	8,25
33	1,41	2,20	3,45	4,83	6,67
41	1,14	1,78	2,80	3,91	5,40

SDR	Bevegelse i den frie enden av røret (mm)				
	Diameter (mm)				
	200	315	500	710	1000
7,4	65	102	159		
9	55	86	134	187	
11	45	69	108	151	208
13,6	37	58	90	126	173
17	31	48	75	105	144
21	25	39	60	84	115
26	20	31	49	68	93
33	16	26	40	56	77
41	13	21	32	45	62

SDR	Nødvendig forankringsareal ved et passivt jordtrykk lik 10 tonn/m ² (m ²)				
	Diameter (mm)				
	200	315	500	710	1000
7,4	0,50	1,25	3,14		
9	0,43	1,05	2,66	5,35	
11	0,35	0,87	2,18	4,40	8,73
13,6	0,29	0,72	1,81	3,65	7,24
17	0,24	0,59	1,49	3,00	5,95
21	0,19	0,48	1,20	2,43	4,82
26	0,16	0,39	0,98	1,97	3,91
33	0,13	0,31	0,79	1,59	3,16
41	0,10	0,25	0,64	1,29	2,56

- Jordoverdekning på røret:
2 meter
- Innvendig trykk:
Dimensjonerende trykk for SDR klassen, med sikkerhetsfaktor 1,6
- Grunnvannstand:
1,5 meter over senter rør

Tabell 2: Tabellene over viser typiske tall for bevegelseslengde, bevegelse og nødvendig forankringsareal for PE 100 rør.

Henvvisninger:		Utarbeidet:	mars 2019	Cowi AS
/1/		Revidert:		
/2/				