

6 Sjøledninger

Sjøledninger

Sjøledninger, ledninger i vann

Vannledninger, overføringsledninger, inntaksledninger og utslippsledninger kan installeres som PE 80 eller PE 100 sjøledninger.

De første PE-sjøledningene av litt størrelse ble lagt i Telemark i 1962. På grunn av økende behov for inntak og overføring av drikkevann, transport av avløpsvann og utslipp fra industri, var Norge et foregangsland, når det gjaldt bruk av undervannsledninger i VA-anlegg.

Vår spesielle topografi med mange elver, innsjøer, fjorder og mange øysamfunn langs vår lange kyststripe forsterker dette behovet. Ved sjøledninger utnyttes PE-trykkørers egnede egenskaper med hensyn til korrosjonsbestandighet, fleksibilitet og strekkfasthet. Erfaringer har vist, at PE-trykkør kan legges ved store dyp og under vanskelige traseforhold, lange strekk og store dimensjoner.

Rør i standardlengder (normalt 12 meter) sveises sammen på anleggssted eller lange rørlengder slepes med båt fra produksjonssted til anleggsstedet.



Tabell 6.1 - Slep av mange, lange lengder til anleggssted

Prosjektering og forarbeide

Sjøledninger prosjekteres og dimensjoneres avhengig av om det er vannledning, utslippsledning (spillvann) eller inntaksledning for drikkevann. Andre "ytre" forhold som har betydning er leggedyp, bunnforhold, strømkrefter, bølgekrefter og krefter som oppstår i overgang sjø / land.

Ledningstrase (hvor ledning skal ligge) må bestemmes ved hjelp av sjøkart, evt. ekkolodd for å finne beste trase for PE-røret. Bruk av dykkere eller ROV (ROV = Remote operated vehicle, på norsk kaller vi det miniubåt), muliggjør mer nøyaktige undersøkelser.

Belasting av sjøledninger

Belasting av sjøledninger

PE-materialet er lettere enn vann. I tillegg er PE-ledninger luftfylte når de føres ut på hav, sjø eller elv. Derfor må ledningene belastes for at senking skal være mulig. Vanligvis brukes betonglodd med eller uten bolter.

Hvert lodd består vanligvis av to halvdeler som monteres rundt røret. Mellom rør og betonglodd legges det gummibånd, slik at betongloddet ikke ligger direkte an mot PE-røret.

Avstand mellom betonglodd bestemmes av belastningsgrad¹⁾, rørdimensjon og SDR-klasse, men er vanligvis mellom 2-8 meter.

Belastning beregnes for hvert prosjekt. Inntaksledninger og overføringsledninger har normalt lav belastningsgrad, mens utslippsledninger og pumpeledninger for avløpsvann har høyere belastningsgrad.

¹⁾ Med belastningsgrad menes hvilken grad av luftfylling det belastes for. For eksempel ved 30 % belastningsgrad vil det si at ledningen kan være inntil 30 % luftfylt før den flyter opp.

Vanlige belastningsgrader

- Inntaksledninger og overføringsledninger for vann 20-30 %
- Utslippsledninger og pumpeledninger for avløpsvann 40-70 %.
- Strømkrefter, bølgekrefter og andre ytre laster kan medføre behov for ytterligere belastning.
- Dersom ytre krefter og vanlig luftfyllingsgrad medfører behov for en belastningsgrad på over 100%, kan det være nødvendig med ekstra flytelegemer for å holde rør i overflateposisjon før senking. Det kan også være behov for tilleggsbelastning av rør etter senking.

Senking av sjøledninger

Ved senking av sjøledninger utnyttes PE-rørets fleksibilitet under installasjonen. PE-rør senkes normalt fra land ved at det slippes inn vann (for eksempel ved å dykke rørenden i vann). I andre enden av røret, som fremdeles er luftfylt og flyter, er det montert et lokk, der man kan tilføre luft via en kompressor. Samtidig må man kunne slippe ut luft kontrollert.

Når vannet slippes inn i røret fra land, vil røret synke og legge seg langs bunnen. Luft komprimeres når vannet trenger inn i ledningen.

I en tidlig fase av senkingen er det nødvendig å blåse luft inn i andre enden av røret, for å kunne kontrollere senkehastigheten. Hvis det ikke er tilstrekkelig mottrykk i den "frie ende" vil det oppstå en ukontrollert senking. Dette kan føre til en buckling* av rør eller i verste fall et totalhavari av ledningen. I forbindelse med senking av PE sjøledninger er det viktig at det er utarbeidet en senkeprosedyre som spesifikt omhandler det aktuelle prosjektet. Denne skal blant annet sikre at PE-røret blir installert i riktig posisjon på bunnen uten at røret påføres for store strekk og bøyekrefter.

* Ved buckling blir røret utsatt for en større krumning i lengderetningen enn tillatt

Senkeprosedyre skal som minimum inneholde:

- Innledning med generelle opplysninger om anlegget
- Beregning av tekniske data og senkeparametre for senking
- Organisering av senkingen, hvem har ansvaret for hva?
- Utstyr og bemanning
- Forberedende arbeider i forkant av senking og på selve "senkedagen"
- Nødvendig varsling
- Beskrivelse av senking
- Tidsplan for senking



- Nødprosedyre hvis noe ikke går etter planen
- Dokumentasjon
- Kommunikasjon

Etterkontroll

Etter senking er det viktig at det foretas en etterkontroll av hvordan sjøledningen faktisk ligger. Dette kan gjøres på flere måter avhengig av dybde og andre forhold. Grunne ledninger kan kontrolleres ved at dykkere svømmer over ledningen med videokamera. For ledninger som ligger utilgjengelig for dykkere kan de filmes med ROV. Kontrollen avdekker om sjøledningen ligger an mot underlag som spisse steiner, fjell osv, som kan føre til mekanisk slitasje med påfølgende brudd. Det kan også være strekk på sjøledningen som har "svevende" lodd, det vil si at lodd ikke ligger an mot bunn. For slike strekk bør man vurdere om den belastningen ledningen er utsatt for er akseptabel. Det kan bli nødvendig å foreta justeringer med hensyn til loddbelastningen.

Landtak (overgang mellom land og vann)

PE sjøledninger bør graves ned ved landtakene slik at man unngår belastninger av bølger i "skvalpesonen" og i forbindelse med is.

Når det gjelder massetyper i fundament og omfyllingsmasser for sjøledninger så henvises det til NS 3420-H.

Det kan også være aktuelt å beskytte sjøledningen i hele eller deler av traseen mellom landtakene. Dette kan gjøres ved å grave ned deler av eller hele sjøledningen. Nedspyling av ledningen er en annen metode. Ledninger kan også legges på bunnen og beskyttes med gabionmatter (pukkmatter).

Vannledninger

Inntaksledning :

Inntaksledning finnes for drikkevann, for sjøvann til fiskeoppdrett, kjøleanlegg og annen industri. Belastning for lav luftfyllingsgrad på normalt 20-30 % har sammenheng med at det er relativt liten mulighet for at det kommer luft inn i en slik ledning.

Ytterste punkt på inntaksledningen bør heves fra bunnen for å unngå bunnslam i ledningen. Høyde over bunnen avhenger av bunnforholdene. Ledningen legges på en bukk eller det monteres et endehjul,. Svevende inntak med oppdriftslegeme anvendes der man frykter at bukk eller "hjulet" vil synke ned i bunnslam.

Inntaksledninger kan kobles direkte til en sugepumpe på land. Ved selvføll kan pumpen suge vann fra sumpen (Nedre del av den kum/sted der pumpen er plassert), Det anbefales ikke å koble pumpe direkte på inntaksledningen. Hvis denne går tett, kan pumpen suge undertrykk i ledningen, som kan kollapse. Derfor anbefales å la vannet renne gjennom røret ved gravitasjon og inn i en pumpesump.

Det kan for mange inntaksledninger være nødvendig å ha en grovsil på enden for å hindre at større elementer kommer inn i ledningen. Inntakssiler lages ofte av PE-rør som bores med et antall hull på normalt 20-50 mm. Hullarealet i inntakssilen bør tilsvare 3,5 x rørets lysåpning for å redusere

Rengjøring

Inntaksledninger har normalt behov for å bli rengjort innvendig med visse mellomrom. Hyppighet avhenger av blant annet om det er i sjø eller ferskvann, inntaksdyp, vannkvalitet og andre momenter. Rengjøring skjer ofte fra land ved bruk av renseplugg som drives med vanntrykk. Muligheter for pluggkjøring bør etableres ved bygging av anlegget.

For inntaksledninger med inntaksdyp som det er mulig å dykke ned til, kan man bruke dykker for å hente ut pluggen i enden av røret.

Der hvor inntaksdybde er så stor, at det ikke er mulig å bruke dykker, anbefales det å lage en inntakssil, som tillater at pluggen kommer ut av seg selv og flyter opp til overflaten. Den kan da hentes opp fra båt.

Ulike typer groing i vann kan gjøre det vanskelig å få til en konstruksjon, som fungerer slik at pluggen kan komme ut ved rengjøring av ledningen. Løsningen kan være å ikke ha grovsilen på enden av røret, og i stedet etablere en grovsil i

inntakskummen, ved for eksempel å ha to kammer i kummen med en vertikal sil eller rist mellom kamrene. Det monteres normalt ikke betonglodd på den delen av inntaks- ledningen som heves opp i fra bunnen.

Overføringsledning:

Overføringsledninger for vann er sjøledninger som brukes ved kryssing av elver, mellom to landtak i vann eller sjø. Normalt er disse ledningene tilkoblet kummer ved hvert landtak. Overføringsledninger for vann belastes normalt for en luftfyllingsgrad på 20-30 %, men andre krefter som virker på ledningen må tas hensyn til.

Avløpsledninger

Utslippsledning

Utslippsledninger av PE-rør er aktuelle for utslipp av avløpsvann, overvann og vann fra industri til vann, elv eller sjø. Denne type ledninger belastes normalt for en luftfyllingsgrad 40-70 %.

Andre belastningsgrader kan være aktuelle.

For denne type ledninger etableres det normalt en kum på land, som har til hensikt å evakuere luft og samtidig sørge for minimal risiko for at det kommer luft inn i utslippsledningen. Utslippsledninger

må ha fallhøyde nok til å greie friksjonstap i ledningen og forskjell i egenvekt mellom det vannet som slippes ut, og det vannet som er i resipienten.

Det er normalt behov for å heve ytterste punkt på utslippsledningen et lite stykke fra bunnen. Dette er spesielt viktig hvis vannet som slippes ut inneholder fast stoff av noe slag, da dette kan medføre oppbygging av sedimenterte masser og etter hvert dekke deler eller hele rørråpningen.

Ledningen kan heves fra bunnen ved hjelp av en bukk, endehjul eller ved å lage et "svevende"

utslippspunkt, der PE-røret forankeres i såkalte moringer. Samtidig etableres det et oppdriftslegeme for ytterste rørende. Metode med svevende utslippspunkt er hensiktsmessig, der bunnforholdene er dårlige, og bukk eller endehjul kan synke ned i bunnslam.

På utslippsledninger kan det være behov for diffusor (rør med borede hull) for å spre utslippet over et større område i resipienten. Diffusorer lages normalt av PE-rør og bør dimensjoneres iht. blant annet vannmengde, dimensjon, hva som slippes ut og innhold av fast stoff i avløpsvannet.

Det monteres normalt ikke betonglodd på den delen av utslippsledningen som heves fra bunnen.

Overføringsledning

Overføringsledninger for spillvann er ledninger som brukes ved kryssing av elver, mellom to landtak i vann eller sjø. Normalt er disse ledningene tilkoblet pumpestasjon i et landtak.

Overføringsledninger for spillvann belastes normalt for en luftfyllingsgrad på 40-70 %, samtidig må det tas hensyn til andre krefter som virker på ledningen. Det er viktig å ta hensyn til eventuelle sesongmessige driftssituasjoner. For eksempel kan det i hytteområder være drift på en spillvannspumpeledning i visse sesonger i året, mens ledningen kan ligge mer eller mindre uvirksom i andre perioder.

I spillvannsledninger som er fylt med avløpsvann uten at den er i drift, kan det oppstå gassdannelser. Dette fører til ekstra oppdrift av ledningen.

Beregning av loddbelastning ut fra teori og formler

Ved luftfylling/belastningsgrad over 90 % bør man utføre mer nøyaktige beregninger.

Formler



Vekten av den fortrenkte væsken (oppdriften)

$$M_{SJO} = \rho_{SJO} \cdot L \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \quad [\text{kg/m}]$$

Figur 6.1

ρ_{SJO} :

- 1 035 kg/m³ for sjøvann med høyt saltinnhold
- 1 025 kg/m³ for sjøvann med lavt saltinnhold
- 1 000 kg/m³ for ferskvann

L: Ledningens lengde. Settes lik 1 m for å finn vekt pr meter

d_e : Rørets utvendige diameter i meter

Vekten av rør med væske

$$M_{ROR} = m_{ROR} + P \cdot m_{LUFT} + (1 - P) \cdot \rho_{VANN} \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \quad [\text{kg/m}]$$

Figur 6.2

m_{ROR} : Rørets produksjonsvekt i kg/m

m_{LUFT} : Vekten av luften i røret kan neglisjeres og kan settes lik 0 ρ_{VANN} : 1 000 kg/m³ for ferskvann

L: Ledningens lengde settes lik 1 m for å finne vekt pr meter

P: Luftfyllingsgrad oppgis i prosent, men settes inn som desimaltall. 30 % => 0,3 Normale luftfyllingsgrader:

- Vannledninger og inntaksledninger: 20 - 40 % (P: 0,2 - 0,4)
- Utslippsledninger: 30 - 50 % (P: 0,3 - 0,5)
- Spillvann med jevn belastning, kort oppholdstid: 30 - 70 % (P: 0,3 - 0,7)
- Spillvann med ujevn belastning, lang oppholdstid: Må vurderes i hvert enkelt tilfelle

d_i : Rørets innvendige diameter i meter

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft)

$$M_{BELASTNING} = f \cdot (M_{SJO} - M_{ROR}) \quad [\text{kg/m}]$$

Figur 6.3

f: Omregningsfaktor fra vekt i vann til vekt i luft:

- 1,76 for sjøvann med høyt saltinnhold
- 1,75 for sjøvann med lavt saltinnhold
- 1,72 for ferskvann

$$c = \frac{\text{Tetthet betong}}{\text{Tetthet betong} - \text{Tetthet sjø}}$$

Figur 6.4

Senteravstand mellom loddene (c-c)

$$c - c = \frac{M_{LODD}}{M_{BELASTNING}} \quad [\text{m}]$$

Figur 6.5

Senteravstanden bør normalt være mellom 2,0 og 8,0 meter avhengig av blant annet dimensjon samt belastningsgrad og minst på de minste dimensjonene. I enkelte tilfeller må dette vurderes nærmere.

Eksempel:

En 315 mm PE SDR 11 sjøledning for vannforsyning skal legges i saltvann med tetthet 1 030 kg/m³. 30 %

luffyllingsgrad er valgt.

Vekten av den fortrenkte væsken (oppdriften)

$$M_{SJO} = \rho_{SJO} \cdot L \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = 1030 \text{ kg/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{\pi \cdot 0,315^2 \text{ m}^2}{4} = 80,3 \text{ kg/m}$$

Figur 6.6

Vekten av rør med væske

$M_{RØR}$ og d_i hentes fra rørprodusentens katalog. M_{LUFT} settes lik null. Luffyllingsgraden 30 % settes inn som desimaltallet 0,3. Tettheten for ferskvann er 1 000 kg/m³.

$$M_{RØR} = M_{RØR} + P \cdot M_{LUFT} + (1-P) \cdot \rho_{VANN} \cdot L \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

$$M_{RØR} = 25,9 \text{ kg/m} + 0 + (1-0,3) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{\pi \cdot 0,2578^2 \text{ m}^2}{4} = 62,4 \text{ kg/m}$$

Figur 6.7

Figur 6.8

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft)

Når betongen har tetthet 2 400 kg/m³ og sjøvannet har tetthet 1 030 m³, blir forholdstallet $f = 1,75$.

$$M_{BELASTNING} = f \cdot (M_{SJO} - M_{RØR}) = 1,75 \cdot (80,3 \text{ kg/m} - 62,4 \text{ kg/m}) = 31,3 \text{ kg/m}$$

Figur 6.9

Senteravstand c-c

Et standard lodd med vekt 115 kg velges. Senteravstand mellom loddene blir:

$$c-c = \frac{M_{LODD}}{M_{BELASTNING}} = \frac{115 \text{ kg}}{31,3 \text{ kg/m}} = 3,7 \text{ m}$$

Figur 6.10

Beregning av loddbelastning ut fra tabell.

En PE-ledning som legges i hav eller ferskvann må belastes, slik at den ikke flyter opp. Oftest benyttes betonglodd. Man må ta hensyn til rørets oppdrift, maksimal andel luft i røret (luffyllingsgrad) samt strøm- og bølgekrefter. I det etterfølgende vil vi se på beregning av nødvendig belastning kun som følge av rørets oppdrift og luffyllingsgrad.

Vi benytter Arkimedes lov om at oppdriften er lik vekten av den fortrenkte væskemengde minus vekten av røret med innhold. Nedenstående tabell viser nødvendig belastning (luftvekt av betonglodd) av PE 80 og PE 100 sjøledninger iht. utvendig diameter, SDR og luffyllingsgraden P.

Tabell loddbelastning

d_e	SDR33	SDR26	SDR17,6	SDR17	SDR11	SDR7,3
32	-	-	0,05+P·1,09	0,05+P·1,08	0,06+P·0,92	0,07+P·0,73
40	-	-	0,08+P·1,70	0,08+P·1,68	0,09+P·1,45	0,11+P·1,14
50	-	0,11+P·2,87	0,12+P·2,65	0,12+P·2,63	0,14+P·2,26	0,16+P·1,78
63	-	0,17+P·4,56	0,19+P·4,21	0,19+P·4,17	0,22+P·3,58	0,26+P·2,82
75	-	0,25+P·6,47	0,27+P·5,96	0,27+P·5,91	0,32+P·5,08	0,37+P·4,00
90	0,34+P·9,64	0,35+P·9,31	0,39+P·8,59	0,39+P·8,51	0,45+P·7,32	0,53+P·5,76
110	0,50+P·14,4	0,53+P·13,9	0,58+P·12,8	0,59+P·12,7	0,68+P·10,9	0,80+P·8,60
125	0,65+P·18,6	0,68+P·18,0	0,75+P·16,6	0,76+P·16,4	0,88+P·14,1	1,03+P·11,1
140	0,82+P·23,3	0,86+P·22,5	0,95+P·20,8	0,96+P·20,6	1,10+P·17,7	1,29+P·13,9
160	1,07+P·30,5	1,12+P·29,4	1,24+P·27,1	1,25+P·26,9	1,44+P·23,1	1,68+P·18,2

180	1,35+P·38,6	1,42+P·37,2	1,56+P·34,3	1,58+P·34,0	1,82+P·29,3	2,13+P·23,0
200	1,67+P·47,6	1,75+P·46,0	1,93+P·42,4	1,95+P·42,0	2,24+P·36,1	2,63+P·28,4
225	2,11+P·60,3	2,22+P·58,2	2,44+P·53,7	2,47+P·53,2	2,84+P·45,7	3,33+P·36,0
250	2,61+P·74,4	2,74+P·71,8	3,02+P·66,2	3,05+P·65,6	3,51+P·56,4	4,11+P·44,4
280	3,27+P·93,3	3,43+P·90,1	3,78+P·83,1	3,82+P·82,3	4,40+P·70,8	5,15+P·55,8
315	4,14+P·118	4,34+P·114	4,79+P·105	4,84+P·104	5,57+P·89,6	6,52+P·70,6
355	5,26+P·150	5,52+P·145	6,08+P·134	6,14+P·132	7,07+P·114	8,28+P·89,6
400	6,67+P·190	7,00+P·184	7,72+P·170	7,80+P·168	8,98+P·145	10,5+P·114
450	8,45+P·241	8,86+P·233	9,77+P·215	9,87+P·213	11,4+P·183	13,3+P·144
500	10,4+P·298	10,9+P·287	12,1+P·265	12,2+P·263	14,0+P·226	-
560	13,1+P·373	13,7+P·360	15,1+P·332	15,3+P·329	17,6+P·283	-
600	15,0+P·429	15,8+P·414	17,4+P·382	17,5+P·378	20,2+P·325	-
630	16,6+P·473	17,4+P·456	19,2+P·421	19,3+P·417	22,3+P·358	-
710	21,0+P·600	22,1+P·579	24,3+P·534	24,6+P·529	28,3+P·455	-
800	26,7+P·762	28,0+P·736	30,9+P·678	31,2+P·672	-	-
900	33,8+P·964	35,4+P·931	39,1+P·859	39,5+P·851	-	-
1000	41,7+P·1191	43,8+P·1150	48,3+P·1060	48,7+P·1050	-	-
1100	50,5+P·1441	53,0+P·1391	58,4+P·1283	59,0+P·1271	-	-
1200	60,1+P·1714	63,0+P·1655	69,5+P·1526	-	-	-
1400	81,8+P·2333	85,8+P·2253	-	-	-	-
1600	107+P·3048	112+P·2943	-	-	-	-

Tabell 6.2

Loddbelastning ($M_{\text{belastning luftvekt}}$) pr m rør PE 80 sjøledning Eksempel:

Loddbelastning av 315 mm PE 80 SDR 11 rør i sjø med 30 % luftfylling. $M_{\text{belastning luftvekt}} = 5,57 + P \cdot 89,6 = 5,57 + 0,30 \cdot 89,6 = 32,5 \text{ kg/m}$

Velger et standard lodd med luftvekt 115 kg.

Senteravstand c-c = $M_{\text{LODD}} / M_{\text{Belastning luftvekt}} = 115 / 32,5 = 3,5 \text{ m}$