

1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-blad skal gi en generell veiledning om planlegging og legging av undervannsledninger samt kontrolltiltak for å sikre et godt resultat.

2 BEGRENSNINGER

Løsninger og begrensninger som er spesielle for utløps- og inntaksledninger behandles særskilt i VA/Miljø-bladene nr. 45 og 46.

Det henvises til:

VA/Miljø-blad nr.11 «Kravspesifikasjon for rør av PE-materiale»

VA/Miljø-blad nr. 41 «Søknadsprosedyre for undervannsledninger»

VA/Miljø-blad nr. 45 «Utløpsledninger»

VA/Miljø-blad nr. 46 «Inntaksledninger»

VA/Miljø-blad nr. 80 «Senkeprosedyre for undervannsledninger»

3 FUNKSJONSKRAV

En undervannsledning skal kunne transportere nødvendige væskemengder i hele sin levetid (min. 100 år). For å oppnå dette mål må undervannsledningene tåle de belastninger de utsettes for uten skade eller havari. Viktige forutsetninger for å kunne oppnå dette kan være:

- Grundige forundersøkelser for å finne optimal trasé for undervannsledningen.
- Korrekt hydraulisk dimensjonering og prosjektering.
- Angivelse av toleranser som er akseptable.
- Riktig valg av type rørmaterialer, deler og belastningslodd.
- Strenge materialkrav.
- Nødvendig belastning mot oppdrift, strøm og bølgekrefter.
- Sikringer ved ilandføringer og på sjøbunn.
- Nødvendig merking.
- Kontroll under bygging og drift.

4 LØSNINGER

4.1 FORBEREDENDE ARBEIDER

4.1.1 FORUNDERSØKELSER, REGISTRERINGER, TRASÉVALG

Det bør som hovedregel alltid utføres en kartlegging av de områder hvor det ønskes lagt en sjøledning. En slik kartlegging kan avdekke forhold som er viktige for både posisjonering, dimensjonering og kostnadsberegning av ledningen; f.eks. dybdeforhold, høybrekk/lavbrekk, bunnbeskaffenheter, eksisterende ledninger og kabler, behov for grøfter, sikring, tildekking mm.

En kartlegging av bunnforhold kan utføres med et singelstråle- eller multistråleekkolodd tilkoblet et posisjoneringssystem. Posisjons- og dybde-data bør være i et dataformat som kan overføres til en CAD applikasjon for videre bearbeiding og produksjon av tegninger. Dersom det benyttes en sonar, kan man få videre oversikt over bunnforhold, topografi og eksisterende konstruksjoner eller ledninger. Ønsker man å få registrert f.eks. fjellnivå under sjøbunnen, kan dette utføres med en georadar eller et bunnpenetrerende ekkolodd, som kan gi en indikasjon om endringer i fastheten på bunnmassene i dypere lag.

En dykkerundersøkelse i etterkant av kartleggingen kan gi ytterligere informasjon. En dykker kan utføre sonderinger for å avklare bunnmassens sammensetning, stabilitet i sideskråninger, kryssende kabler og rør, dybdeforhold ved ilandføringer, muligheter for tilpasning og sikring av rør mm. Dersom det er mistanke om forurensing i et område hvor grøfter skal etableres, kan Fylkesmannen forlange at det tas ut prøver av sedimentene. Dette gjøres normalt i forbindelse med traundersøkelsene av dykker iht. krav for opptak av slike prøver. Prøvene sendes inn til analyse og resultater fra disse tas inn i søknad til Fylkesmannen. Alt dykkerarbeid skal følge "Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid)" fra Arbeids- og sosialdepartementet, kapittel 25 og 26, som trådte i kraft 01.01.2013, med endring 01.01.2015. Dykkerarbeid skal utføres av personell med godkjente sertifikater utstedt av Direktoratet for arbeidstilsynet. Sertifikatet må fornyes hvert år i form av en ny legeattest.

Avslutningsvis bør det utarbeides en egen rapport fra traséundersøkelsen som oppsummerer observasjonene og innmålingene som er utført.

Når forholdene under vann er kjent, kan ledningens beliggenhet planlegges nøyaktig. Tegningsgrunnlaget som utarbeides, bør som et minimum inneholde et oversiktskart som viser plassering av trase for undervannsledningen, et lengdeprofil som viser dybde- og bunnforhold, nødvendige sikringer av røret på bunnen, grøftesnitt og evt. detaljer av tilkoblinger, endearrangement ol.

4.1.2 VALG AV LEDNINGSMATERIALE

Undervannsledninger må tilpasses rådende traséforhold, dimensjonerende trykk, vannmengder, nødvendig rørdimensjon, korrosive forhold mm. Av den grunn er det behov for flere alternative materialtyper og kvaliteter. Det er imidlertid klart at ikke alle rørtypene er like egnede under vann. Er bunnen flat over lange partier og ledningsdiameteren større enn ca. 600 mm, kan det i enkelte tilfeller lønne seg å benytte materialene GRP, stål eller støpejern. Ettersom PE-materialet er mest anvendt for undervannsledninger i Norge i dag, vil hovedsakelig installasjoner med dette materiale bli beskrevet i det etterfølgende.

PE-rør

Dersom traséen er svært kupert og setter krav til stor fleksibilitet i materiale, vil sannsynligvis polyetylen-rør (PE-rør) være det mest gunstige. De krav som produsenten setter til minste bøyradius for ledningen må følges. Tillatt krumningsradius varierer med godstykkelse på rørene. Referanse /4/ oppgir som tillatt permanent krumningsradius for en undervannsledning = 60-120 x rørets ytre diameter. Krumningsradien kan kortvarig tillates å bli mindre, men dette må beregnes i hvert enkelt tilfelle.

PE-rør leveres vanligvis i lengder på 12, 16 og 18 m, alternativt spesialtransport med lengder på 20 m. PE-rør med diameter opp til 110 mm kan leveres på kveil. Det er også muligheter for sjøslep av lengre lengder langs kysten. Normale slepelengder kan være opp mot 500 m.

For PE-rør gjøres det spesielt oppmerksom på at:

- Kvalitetskravene i NS-EN12201/1-5 til råvare og ferdig rør må tilfredsstilles.
- Sveising av PE-ledninger skal kun utføres av sertifiserte sveisere, og med kalibrerte og sertifiserte sveisemaskiner.
- Alt sveisearbeide må gjøres i henhold til NS 416-1:2008 og NS 416-2:2008.
- Ansvarlig sveiseoperatør må utføre sveisekontroll etter tillegg C i NS 416-2:2008.

Det er viktig at PE-rør behandles forsiktig, slik at riper og skader unngås i størst mulig grad. Utvendige grunne sårskader i begrensede områder på ledningen kan tolereres når skadens dybde er maksimalt 10 % av diameter (og maksimalt 4 mm for store dimensjoner), samt har avrundet form (konf. NS-EN 12-201). Omfanget må vurderes i hvert enkelt tilfelle under hensyntagen til annen belastning på ledningen og traséforholdene.

Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 11 /1/

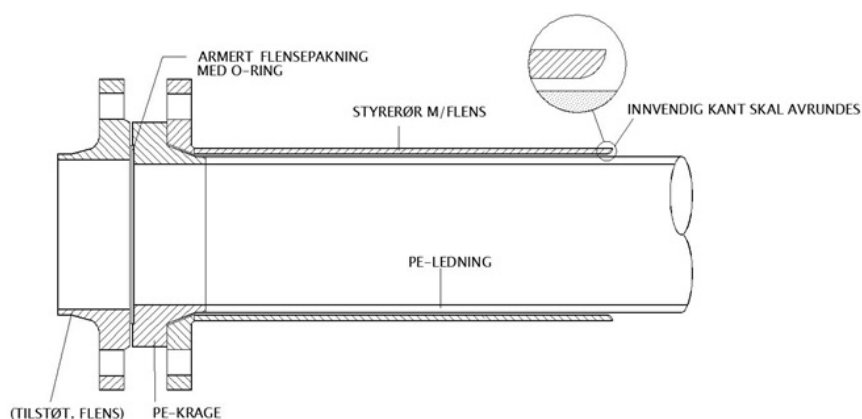
for nærmere beskrivelse av PE-materialet, inkl. krav til sveising.

Skjøting av PE-rør

Skjøting av PE-rør utføres normalt enten ved speilsveis (også kalt buttsveis), ved elektromuffesveis eller med flenseforbindelse. I noen tilfeller har også mekaniske koblinger blitt benyttet under vann. Speilsveis benyttes vanligvis for sveising av leverte ledningslengder på 12-20 m. Disse påsettes belastningslodder og mates normalt direkte ut på vannet etterhvert som nye lengder blir sveiset. Lange sjøledninger med lengder over 500 m lagres i håndterbare lengder i overflateposisjon og skjøtes sammen før senking i traseen. Det benyttes som oftest elektromuffer for skjøting av lange ledningslengder.

I en flenseforbindelse påsveises PE-røret en PE-krage. Kragen gir mothold for en løsfrens. Denne flensen er utstyrt med boltehull, slik at de kan koples til motstående flens med bolter, skiver og muttere. For flensemål henvises til NS-EN1092-1 «Flenser og forbindelser».

Skjøting ved hjelp av flenseforbindelse blir som oftest benyttet i sammenkopling med landkonstruksjoner. I flenseskjøter benyttes pakninger med O-ring og innlagt stålarmring. Det anbefales å unngå flenseskjøter i sjøen, dersom dette ikke er nødvendig for anleggets funksjon, ettersom denne skjøten er å anse som en svekkelse i forhold til et sammensveiset PE-rør. Det har tidligere vært en del skader på PE-rør i flenseforbindelsene. Brudd har oppstått i kanten av kragen, hvor bøy- og montasjespenninger har blitt for store. En kan gjøre en flenseskjøt på PE-rør mer holdbar ved å minske bøyepeninger i sveis og krage, som er de svakeste punktene. Figur 1 viser et såkalt styrerør, som er et stålør påsveiset en løsfrens.



Figur 1. Prinsippskisse styrerør.

Styrerøret blir spesielt brukt ved innfesting av PE-røret mot faste konstruksjoner på land, f.eks. kummer eller pumpestasjoner. Styrerør avstiver forbindelsen og kan også forhindre setningsskader på PE-røret til en viss grad. Styrerøret bidrar også å dempe lekkasjer i flenseforbindelsen ved at det hindrer fri vannstrøm ved brudd i kragen.

Avstanden mellom PE-røret og innerdiameteren på stålørret skal være så liten som mulig, maks. 3 mm, for å forhindre at PE-røret kan bøyes for mye. Anbefalte lengder på styrerøret for noen

rørdimensjoner er vist i tabell 1 under.

| Dimensjon PE-rør [mm] | 90 | 200 | 400 | 600 | 800 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------|------|
| Lengde styrerør [mm] | 400 | 600 | 900 | 1000 | 1600 |

Tabell 1. Lengde styrerør.

Koblinger type Reinert-Ritz HP-flenser, SF-flenser eller tilsvarende kan også benyttes. Fordelen med disse flensløsningene er at man ved riktig montering får en bedre spenningsfordeling i PE-kragen. Ved bruk av SF-flens i en kobling mot feks. et stålrør vil man kunne gå ned på dimensjonen på stålrøret. Det henvises for øvrig til produsentens hjemmeside.

For alle flenseforbindelser må det legges stor vekt på å minske bøyespenningene ved montering. Påføring av store krefter under montering kan føre til at det blir umulig å få flenseforbindelsen tett. Monteringsspenninger kan reduseres ved feks. å montere et 1-2 m langt rør med flenseforbindelse til vegg i kum/pumpe-stasjon, for deretter å sveise på selve PE-røret med en elektromuffe til denne rørbiten. Alle bolter i en flenseskjøter med PE-krager må ettertrekkes flere ganger under installasjonsarbeidene, ettersom spenninger i PE-kragen avtar med tiden.

Vektbelastning for PE-rør

PE-materialet har en egenvekt på ca. 960 kg/m³, som er lettere enn vann. Dette medfører at man må ha vektbelastning på en PE-ledning for å kunne senke denne. Belastningslodd av betong er mest brukt. Det er utarbeidet en standard for betonglodd; NS 3124/2004. Dette er imidlertid en eldre standard som ikke tar hensyn til nyere typer belastningslodd.

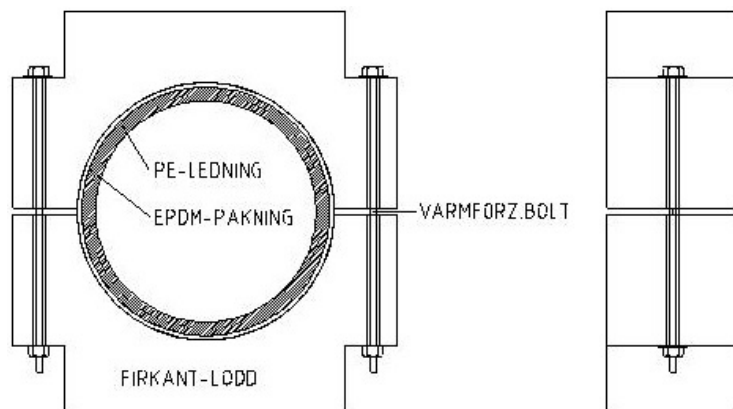
Belastningslodd med bolter og belastningslodd med kiler er de to hovedtypene av lodd som er mest benyttes i markedet i Norge i dag.

Belastningsloddet med bolter kan ha både firkantet form, avrundet form eller være stjerneformet. Eksempel på firkantet og stjerneform er vist i figur 2 og 3. Et belastningslodd med bolter består av 2 halvdelar som påsettes på hver side av røret og klamres fast med 2 eller 4 stk. bolter m/muttere i varmforsinket eller syrefast stål. Syrefast stål er dyrere enn varmforsinket stål, men har bedre egenskaper mot korrosjon. Det benyttes pakninger av gummi rundt omkretsen av PE-røret og belastningsloddet for å forhindre skader på PE-røret. Muttere på boltene må strammes til et angitt tildragningsmoment for å gi nok feste for belastningsloddet på røret, for å forhindre at belastningsloddet forskyves under senking eller senere. Strammes muttere til for hardt, vil dette kunne skade PE-røret.

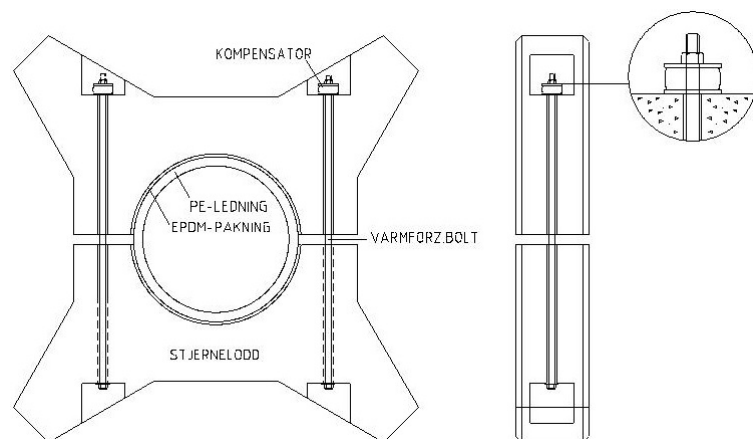
Belastningsloddet med stjerneform har vært benyttet i områder hvor ledningen ligger oppå bunnen og er utsatt for store påkjenninger fra bølger og/eller strøm. En skisse av et slikt lodd er vist på figur 3. Denne loddtypen sikrer bedre mot at en undervannsledning forskyves sideveis på bunnen sammenlignet med det vanlige firkantede eller runde lodder.

Runde belastningslodd benyttes som oftest i områder med fiske. Den avrundede formen er

gunstigere mhp. feste av fiskeredskaper, men har mindre friksjon mot bunnen enn de andre loddtypene.



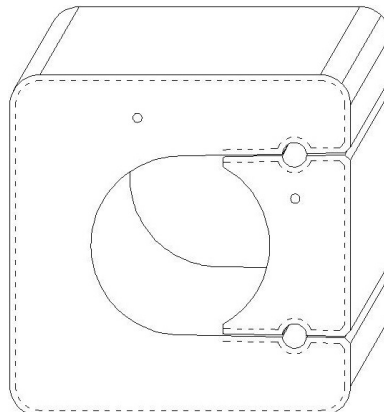
Figur 2. Lodd med firkantet form.



Figur 3. Lodd med stjerneform.

Belastningslodd med kiler (figur 4) består av 2 halvdelar, hvor den ene delen har U-form, og den andre er en betongkile som tres inn i den U-formede delen og låses fast med kiler av hard formbestandig naturgummi. Gummi demperbånd rundt røret må komprimeres for at man skal få inn låsekiler av gummi, og gir dermed en forhåndsbestemt klemkraft rundt røret etter montering.

Belastningsloddet skal være produsert slik at klemkraften rundt røret skal være så stor at loddet ikke sklir langs ledningen etter installasjon. Klemkraften skal heller ikke være så stor at den skader røret. Det benyttes egne hydrauliske verktøy for montering av disse belastningsloddene. Utstyret kan også benyttes for justering av loddene under vann.



Figur 4. Lodd type "kilelodd".

Det finnes i tillegg andre typer belastning for PE-rør. Det er mulig å få levert ferdig vektet sjøledning, såkalt «Synkerør», hvor belastningen er produsert som en tung mineralfylt kappe utenpå medierøret. Rørene leveres foreløpig i dimensjoner fra 32-315 mm. Fordelene med disse rørene kan være enklere installasjon, jevn belastning, mindre fare for feste av fiskeredskaper, smalere og grunnere grøfter. På grunn av sin runde form har ledningen liten friksjon mot bunnen og en bør vurdere sikring i områder hvor røret er utsatt for sideveis strøm og bølger.

For mindre dimensjoner kan belastningslodd festet med nylonstrips (polyamid) være et alternativ. Etter at man har montert lodd og gummidemperbånd med strips på ledning og strammet stripsen for hånd, skal stripsen alltid strammes med et eget monteringsverktøy. Belastningsloddene egner seg best på forholdsvis begrenset vanddyb hvor ledningene ligger stabilt på sjøbunnen, uten svevestrekninger og hvor de ikke er utsatt for store strøm eller bølgepåkjenninger, ettersom loddene ikke sitter like godt festet på røret som f.eks. lodd med bolter eller kiler.

Vektbelastningen på PE-rør bestemmes i hovedsak ut fra følgende faktorer:

- Forventet maksimal luft/gassfylling.
- Strøm- og bølgekrefter.
- Fare for svevepartier for ledningen etter installasjon.
- Muligheter for at røret ligger an på skarpe steinblokker og fjell.
- Krefter under senking (det må være mulig å senke PE-røret uten at dette knekker).

Det er imidlertid ikke nødvendigvis en god ide å påsette ubegrenset med betonglodder for å være sikker på at ledningen ligger stabilt. For det første vil dette medføre store kostnader for tiltakshaver, i tillegg til at ledningen kan bli påført betydelige spenninger under senking og i eventuelle svevepartier etter installasjon på bunnen. Belastningsgrad må derfor beregnes nøyaktig og rørets styrke må deretter tilpasses nødvendig vektbelastning.

PP-rør

Polypropylen-rør (PP-rør) kan være et alternativ til PE-rør da materialegenskaper, produksjon, skjøting og legging er nokså likt. PP-rør er noe stivere enn PE-rør, men tåler bedre høyere temperaturer, noe som kan være viktig i tilfeller hvor en utløpsledning skal lede varmt avløpsvann. Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 12 for nærmere beskrivelse av PP-rør.

GRP-rør

Benyttes i noen tilfeller i undervannsanlegg hvor ledningsdiameter er større enn 600 mm, og hvor bunnforholdene er relativt jevne. Transporteres oftest til anleggsplass med bil i lengder på 6 m eller 12 m. Skjøting utføres med buttlaminering, låseringer eller flenseforbindelse (består vanligvis av GRP-krager og løsflenser i stål).

GRP-rør er forholdsvis stive og setter strengere krav til undervannstraseen, fallforhold og jevnhet enn ved bruk av PE-rør. Dette kan medføre mer undervannsarbeid og innsetting av ekstra bend. GRP-rørens relativt høye egenvekt gjør at de kan senkes uten vektbelastning, noe som medfører enklere senking. Ettervektning av GRP-rørene må da foretas på sjøbunn, med bruk av f.eks. gaffelodd. Som oftest blir dette utført med lodd som fires ned fra båt/lekter. Alternativt legges lodd på hver side av røret. Hvert loddpar sammenkobles da med tau/stropper som legges over røret. Dette kan gi punktlast ved feil installasjon. Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 13 for nærmere beskrivelse av GRP-rør.

Armerte PE-rør

Har vært benyttet ved en del anlegg der det har blitt satt spesielt høye krav til styrke mot utvendige påkjenninger. Rørene er i prinsipp bygget opp som en kabel omkring et PE-rør. Armering består av stålband og ståltråder, som vikles rundt røret. Ytterst påføres rørene en polyetylenkappe for beskyttelse av armeringen mot korrosjon og slitasje. Rørene leveres som hele lengder og skjøtes vha. spesialkonstruerte flenser. Det er normalt ikke nødvendig med ekstra vektbelastning. Senking foretas ellers som for et normalt PE-rør, eller fra et eget leggefartøy hvor røret er viklet opp på en trommel. I denne typen rør kan det legges inn en signalkabel i armeringslaget på ledningen.

Duktile støpejernsrør

Benyttes i noen tilfeller for undervannsanlegg spesielt hvor vanddypet er begrenset (< 5-10 m) og det er høye trykk. Rørene, som leveres i lengder på 6, 7 eller 8 m avhengig av dimensjonen, har høy mekanisk styrke, noe som er viktig ved høyt innvendig trykk og ved store overdekninger i grøft. Det anvendes strekkfaste skjøter som normalt tillater avvinkling på 1-2 grader i hver skjøt, avhengig av dimensjonen. Dette betyr at bunnforholdene hvor denne ledningen skal ligge, må være nokså jevne. Duktile støpejernsrør leveres med ulike typer korrosjonsbeskyttelse. Det vanligste er utvendig PE-kappe. Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 16 for nærmere beskrivelse av duktile støpejernsrør.

Stålrør

Stålrør er blitt benyttet i utstrakt grad av oljeindustrien i Nordsjøen. Stålrør fås i alle aktuelle dimensjoner og er mekanisk sterke. Rørene kan leveres bl. annet i lengder på 6 og 12 m og skjøtes sammen på anleggsplass ved sveising eller ved flenseforbindelser. Stålrør kan være aktuelle i forbindelse med høye innvendige trykk. Rørene er utvendig beskyttet med polyetylenkappe.

Korrosjon av metall under vann

Alle ståldeler i sjø og ferskvann må beskyttes mot korrosjon. Metode for katodisk beskyttelse er avhengig av hvor korrosive forhold metallet utsettes for. Grad av korrosjon er bla avhengig av:

- Kvalitet på metallet.
- Tilgang til klorider, saltinnhold.

- Tilgang til oksygen.
- Tilgang til syrer og H₂S.
- Temperatur.
- pH.
- Spenninger mot annet metall.
- Lekkasjestrøm i jord eller vann.

I sjøen benyttes vanligvis varmforsinkede ståldeler. Det kan også benyttes offeranoder av sink eller aktivisert aluminium eller påtrykt spenning for å beskytte ståldelene. En offeranode settes i elektrisk kontakt med stålet under vann. Anoden beskytter på denne måten stålet ved å avgi elektroner til stålet. Dette kalles katodisk beskyttelse. Metoden forutsetter vedlikehold og utskifting av anoder når disse er brukt opp. Påtrykt spenning er spesielt benyttet på stålrør eller støpejernsrør, hvor en har en metallisk overflate med sammenhengende elektrisk kontakt som skal beskyttes. Rørene påføres i dette tilfelle spenning fra en strømkilde, som avgir elektroner til metallet.

Dersom bedre korrosjonsbeskyttelse ønskes kan man velge å benytte stål i gruppen som kalles «syrefast stål». Dette er flere stålkvaliteter som er mer motstandsdyktige mot korrosjon. «Rustfritt stål» er en gruppe med mer høyverdig kvalitet enn rent «svart» stål, men kan være utsatt for spaltkorrosjon og groptæring, avhengig av salt- og oksygentilførsel.

En generell regel er å unngå sammenkobling av metalleder som har ulike materialkvaliteter og korrosjonsegenskaper. Dette gjelder bla. flenseforbindelser. Feil bruk av metaller kan i slike tilfeller medføre at det dannes et galvanisk element hvor den svakeste del korroderes meget raskt. Dersom man er avhengig av å benytte ulike metaller mot hverandre, må det brukes elektrisk isolerende pakninger.

4.1.3 DIMENSJONERING

Hydraulisk og statisk dimensjonering

Dimensjonering av rørene gjøres basert på bla. ønsket nåværende og fremtidig vannmengde, tillatt trykktap, friksjon og singulærtap. En nærmere beskrivelse av dimensjonering for inntak- og utløpsledninger er gitt i VA/Miljø-blad nr. 45 og 46.

For styrke på røret må en også ta hensyn til hvilke traséforhold som er rådende. Dersom ledningen blir liggende med lengre strekninger uten bunnkontakt eller med anlegg av rørgods mot stein eller fjell må dette tas hensyn til under dimensjonering av rør og belastningsgrad. På samme måte må eventuelle strøm- og bølgekrefter beregnes. Indre trykk i røret vil sammen med de ytre kreftene gi en sammensatt og kompleks spenningsfordeling i røret, som er viktig å kontrollere under dimensjoneringen, slik at riktig SDR klasse kan bestemmes.

Luft/gass i undervannsledninger

Luft eller gass i en undervannsledning kan forårsake alvorlige driftsproblemer. I verste fall

kan ledning flyte opp til overflaten. Det henvises spesielt til VA/Miljø-blad nr. 46 «Utløp under vann», som beskriver noen av utfordringene med luft på utløpsledninger. Men luft/gass kan også være et problem for andre typer sjøledninger. Vannledninger må luftes i høybrekkene på land før sjøføring. Dette gjøres vanligvis med automatisk lufteventil før ledningen føres ut under vann. I pumpeledninger for avløp kan lang oppholdstid og sedimentering medføre utvikling av hydrogensulfid (H₂S) inne i ledningen. Ved lav vannhastighet i røret kan det bli akkumulering av denne gassen, med økt trykktap og havari av ledningen som mulig resultat. Man kan som grov regel regne at en oppholdstid på avløpsvann i mer enn 4 timer i en undervannsledning kan gi fare for utvikling av gass. Dette er også avhengig av temperaturen. Det er derfor viktig at sjøledninger og det tilhørende anlegget på land utformes på en slik måte at det eliminerer muligheten for utvikling eller akkumulering av gass. For utløpsledninger må utløpskum gi avløpsvannet tilstrekkelig oppholdstid og hastighet til avlufting før det sendes ut på sjøledningen. Generelt gjelder at lengre undervannsledninger må være dimensjonert for en vannhastighet for fjerning av luft og sedimenter i røret. Dersom dette ikke er mulig, bør man vurdere kjøring av myk renseplugg med jevne mellomrom. Dette krever et arrangement for innføring av rensepluggen, samt muligheter for mottak av plugg i motsatt ende av ledningen.

Når hydrogensulfid slipper ut av ledningen, vil dette ha en særegen vond lukt som er både helsefarlig og korrosiv. For å unngå luktproblemer kan det derfor være nødvendig med luktreduerende tiltak, med tilsetning av kjemikalier og luktfjerning i mottakskum/pumpestasjon.

Det krever en relativt stor hastighet i større sjøledninger for å transportere luft. Lufttransporten er avhengig av fallet på ledningen og indre diameter. Tabell 2 kan benyttes for verdier for minimumshastighet [m/sek] for å fjerne luft i en undervannsledning, som ligger med et gitt fall (i grader). Dette er imidlertid veiledende verdier, i praksis vil det være en gradvis overgang mot fjerningshastigheten.

| Vinkel [°] | Innvendig diameter rør [mm] | | | | | | |
|------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| 5 grader | 0.69 | 0.98 | 1.20 | 1.39 | 1.55 | 1.70 | 1.83 |
| 10 grader | 0.74 | 1.05 | 1.29 | 1.49 | 1.66 | 1.82 | 1.97 |
| 15 grader | 0.79 | 1.12 | 1.37 | 1.58 | 1.77 | 1.94 | 2.10 |

Tabell 2. Minimumshastighet i [m/sek] for fjerning av luft i undervannsledning.

Beregning av belastningslodd

Undervannsledninger av PE må påsettes vektbelastning for å kunne senkes. I tillegg skal denne vektbelastningen hindre skade eller havari pga. strøm, erosjon, bølger og gassansamlinger i røret. Ved dimensjonering av vektbelastning for PE-rør benyttes ofte begrepet *luffyllingsgrad*.

Luffyllingsgraden angis i prosent og forteller

hvor mye luft/gass som kan være inne i en PE-ledning før den er nøytral (og flyter opp) i vannet. Man må være oppmerksom på at man i tillegg må dimensjonere belastningen for ytre krefter i tillegg til mulig luft/gass i røret. Normalt tas dette inn i beregningen ved å angi en høyere luftfyllingsprosent enn det som er forventet maksimal luftmengde i røret.

For de fleste tilfeller kan en for en PE-ledning bruke følgende forenklete formel for nødvendig vektbelastning:

$$W = 13,5 \times D^2 \times P \quad [\text{kp}] \quad \text{Formel [3]}$$

| | | |
|---|---|---|
| W | = | Nødvendig vekt [kp] av betonglodd i luft pr. meter ledning |
| D | = | Innvendig diameter i PE-rør [m] |
| P | = | Ønsket luftfyllingsgrad i prosent (eks. 20 % vil gi P = 20) |

Beregning av strøm- og bølgekrefter

Strøm- og bølgekrefter på en sjøledning kan bli svært store i utsatte partier. Det må i aktuelle tilfeller utføres en måling eller beregning av strøm- og bølgekrefter for å finne ut om ledning vil ligge stabilt.

Generelt gjelder følgende regler:

Man kan dele en strømkraft på et rør i 2 komponenter: en *løftekraft* og en *skyvekraft*. En bølgekraft har i tillegg en komponent som kan kalles *treghetskraft*. Viktige parametre for å bestemme bølgekrefter er bla. *bølgelengden* og *bølgehøyden*. Dersom målinger av dette ikke finnes, kan man bruke statistikk for å finne *vindstyrke* og *strøklengde*, dvs. hvor lang strekning vinden får påvirke bølger i aktuell retning. Når disse parameterne er kjent kan bølgelengde og bølgeperiode bestemmes.

Følgende hovedregler vedr. strøm og bølgekrefter kan settes opp:

- Strøm og bølgekrefter er størst mot et rør når retningen på kreftene er vinkelrett på rørets lengderetning. Ved en redusering av denne vinkelen vil kreftene avta (med \sin^2 av vinkelen).
- Løftekraften på røret pga. strøm eller bølgekrefter vil minke til ca. 10 % dersom røret er distansert $f=0,5 \times D_v$ over bunnen, hvor D_v er rørets ytre diameter og f er avstand fra sjøbunn til bunn rør. Det er derfor en god ide å benytte belastningslodd for å distansere røret noe over bunnen. Dersom røret og belastningsloddet løftes over bunnen, mister belastningsloddene friksjonen med bunnen og blir ustabil. Røret kan i dette tilfellet bli flyttet sideveis.
- I strøm- og bølgeutsatte områder bør man som hovedregel sikre røret med f.eks. nedgraving, forankring til fjell eller til større stabile steinblokker, tildekking med betongmadrasser eller steinkurvadrasser. Røret bør sikres til et dyp minimum tilsvarende maksimal bølgehøyde.

Det anbefales å beregne opptredende krefter på en sjøledning utsatt for bølger eller strømkrefter, i de områder hvor disse kreftene kan utgjøre en fare for rørets stabilitet.

4.1.4 TILLATELSER, SØKNADS-PROSESS

Legging av undervannsledninger krever godkjenning hos kommune, Kystverket/lokalt havnevesen, Fylkesmann, Maritimt Museum, grunneiere, kabeleiere, båthavner, fiskeforeninger mfl. Søknadsprosess er omhandlet i VA/Miljø-blad nr. 41 «VA-ledninger under vann, Søknadsprosedyre».

4.2 TEKNISKE LØSNINGER

4.2.1 TILKOBLINGSPUNKTER PÅ LAND

Det bygges vanligvis en utløpskum på land for utløpsledninger. Kummen fungerer som et tilkoblingspunkt for sjøledningen samt en mulighet for å kvitte seg med luft før denne kommer ut på undervannsledningen. Det henvises til VA/Miljø-blad nr. 46 «Utløp undervann».

For vannledninger benyttes det automatiske luftekummer i høybrekk på land for å kvitte seg med luften. I pumpeledninger og for utløpsledninger hvor det er fare for enten sedimentering, akkumulering av luft/gass eller innvendig begroing, bør det tilrettelegges for kjøring av myk renseplugg. Dette kan gjøres i en pumpestasjon eller i en kum ved ilandføringen av sjøledningen. Etter innsetting av plugg i ledningen kreves tilførsel av vann for å drive denne fremover i røret. På mottakssiden må pluggen kunne plukkes opp før den fortsetter videre inn i pumper el.l.

4.2.2 GRØFTER UNDER VANN

En undervannsledning graves normalt ned ved ilandføringer både av visuelle hensyn og for beskyttelse mot bølger, strøm, sol og is/kulde. Røret må legges på frostfri dybde dersom det er fare for frysing av vannet i ledningen. Denne dybden varierer fra sted til sted og er avhengig av grunnforholdene. I områder med tykk is må man være oppmerksom på at isen kan fryse fast i belastningsloddene på en ledning, løfte denne, påføre skade eller endre beliggenhet på bunnen. En må også ta hensyn til vannstandsvariasjoner ved vurdering av frosttiltak. Ledningen må være sikret mot frost og is ved laveste vannstand, og det anbefales derfor normalt at ledningen føres ut av grøft på min. 1.2 m under laveste vannstand.

Graving av grøfter under vann utføres som oftest med gravemaskin fra land eller på flåte. Dersom bunnmassene er løse, kan også spyling av grøfter foretas. Man må i mange tilfeller påregne brede grøfter, ettersom grøftesidene kan være lite stabile under vann. Grøfter i homogen blåleire kan imidlertid graves med tilnærmet vertikale grøfteskråninger.

I områder hvor det er fare for spredning av partikler pga. forurensinger, fare for tilslamming av vanninntak el.l. kan Fylkesmannen forlange sikringstiltak. Spredning av partikler kan hindres

vha. en *siltduk*. Siltduken er en permeabel membran som spennes opp fra overflaten og ned til sjøbunnen. Den er til en viss grad permeabel for vanngjennomstrømning, men hindrer partikelspredning til en viss grad. Duken spennes opp i et flytelegeme (f.eks. et PE-rør) i overflaten, og er vektet ned mot sjøbunn med kjetting el.l. På denne måten avgrenses seksjoner av grøfta under opparbeidelse. Siltduken kan ikke spennes opp på tvers av sterkere strøm i elv og sjø, og vil ha en begrenset virkningsgrad ved store bølgebevegelser. Det er også viktig å være klar over at de aller minste partiklene vil kunne penetrere denne duken. Duken vil derfor ikke kunne forhindre at misfarget vann slippes gjennom.

Normalt legges ledningene på et fundament av pukk, og det omfylles med samme masser til ca. 30 cm over topp rør. Det benyttes normalt pukkstørrelser fra 12 mm og opp til 32 mm i sjøen. Dette sikrer at massene rundt ledningen er stabile, og at de ikke inneholder skarpe steiner ol. som kan skade røret. I tillegg hjelper disse massene til med å tyngde ned ledningen. Fylles ledningen over med eksisterende masser som er svært finkornige eller løse, kan man oppleve at massene fortrenger ledningen oppover i grøfttverrsnittet, noe som medfører redusert overdekning. Dersom eksisterende masser er egnede, kan det vurderes å benytte disse til fundament, omfylling og gjenfylling i grøfttverrsnittet.

4.2.3 BORING I LØSMASSER/FJELL

Boring i løsmasser eller fjell kan være et alternativ til tradisjonell grøft for ilandføringer av undervannsledninger. Eksempler på hvor det kan være aktuelt med boring:

- Områder hvor det er ulendt terreng/trafikkerte veier/bygninger på land, hvor det er komplisert å komme til med gravemaskin.
- Områder hvor ledningsgrøfter blir dype.
- Traséer hvor det er forurensede masser i øvre deler, hvor det kan bores under disse massene.
- I vernede områder.
- I sjø/elv hvor bølger/strømkrefter er store, hvor man kan bore og komme ut under sonen for erosjon.
- I elver med stor båttrafikk og fare for skader på ledningen av anker, kan ledning bores under bunnen i hele elvetverrsnittet.
- I sjø eller elver med mye erosjon kan man bore seg under erosjonsmassene.

Det benyttes forskjellig utstyr for fjellboring og løsmasseboring. Det er derfor viktig å få påvist hvor man kan støtte på fjell. Geotekniske undersøkelser kan utføres med sonderinger eller seismikk. Det finnes borerigger i forskjellige størrelser. Generelt kan man si at jo større rigg man benytter, desto større dreiemoment får man på borekronen. Større dreiemoment gjør at man kan bore lenger i fastere masser og lettere passere hinder i form av stein, tømmer osv. Typiske størrelser på boreriggene er fra 50 til 250 tonn.

4.2.4 SENKING

Etter at grøfter er ferdig opparbeidet, ledninger er sammenkopleet og disse er slept på plass, kan senking utføres. For PE-rør gjøres dette ved å slippe vann inn i ledningen i en ende (som oftest i enden ved land) samtidig som luft slippes ut gjennom en blindflens med en ventil montert i den motsatt ende (ytre ende). Som sikkerhet kan en kompressor tilkoples i ytre ende av røret for å ha mulighet til å kunne reversere senkingen om nødvendig. Det er viktig at man holder et visst strekk i ledningens lengderetning under senkingen for å unngå at krumningsradius på ledningen blir for liten. Dette strekket kan beregnes og er avhengig av dimensjon, godstykkelse, senkedyp og belastning.

For PE-ledninger skal senkehastighet ligge mellom 0,1-0,3 m/sek. En ukontrollert senking kan føre til at påkjeningene på PE-røret blir for store. Rør med relativt liten godstykkelse kan i slike situasjoner knekke og totalhavarere. Rør med høyere trykkklasse har høyere sikkerhet under senking, men materialet kan overbelastes slik at rørets levetid reduseres.

Ved bruk av stive rør, som støpejern, stål, GRP ol, kan det med fordel benyttes pontonger eller oppdriftslegemer for å kunne styre senkeforløpet bedre. Ved større vanddyp gjennomføres i enkelte tilfeller senkingen av slike rør med bærebjelke, hvor ledningen løftes i posisjon vha. en kran.

Det advares mot skadene som kan skje under senking. En prosedyre for selve senkingen skal utarbeides på forhånd av senkeleder hos entreprenøren. Denne skal inneholde bl.a. beskrivelse av senkemetodikk, tilrigging og bruk av mannskap og maskiner, nødvendig senkehastighet, tilførsel av vann, nødvendig lufttrykk, nødvendig strekkraft, ekstra oppdrift, samt hvordan disse viktige parameterne skal sikres/kontrolleres. Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 80 for nærmere beskrivelse av senkeprosedyre og senking av undervannsledninger.

4.2.5 SIKRING PÅ BUNN, JUSTERINGER

Dersom ledninger under vann kan bli utsatt for store krefter fra bølger, strøm, erosjon og ankring, kan det være nødvendig med ekstra sikringstiltak. Dette kan utføres med steinplastring, betongmadrasser, steinkurvadrasser, betongelementer, forankringer til fjell, nedgraving ol. Betongmadrasser er formsyde madrasser som fylles med betong, som stabilisering, beskyttelse og ekstra sikring for ledningen og sjøbunnen. Betongmadrassene former seg etter underlaget ved fylling av betong og blir stive når betongen herder inne i madrassene.

Steinkurvadrasser er kasser laget av ståltråd. Det benyttes plastbelagt varmgalvanisert ståltråd med tykkelse min. 2,7 mm. Det benyttes steinkurvadrasser med dimensjoner 3,0 x 2,0 x 0,3 m. Før utlegging skal PE-rør omfylles med pukk, under rør og til 300 mm over topp rør. Steinkurvadrassene legges oppå dette pukklaget. Madrassene legges inntil hverandre og sys

sammen i alle tilstøtende lengder og hjørner. Det sys med maks. avstand mellom sting på 2 masker i nettet. Mattene og tråd som brukes til å sy dem sammen, skal være av plastbelagt varmgalvanisert ståltråd med tykkelse min. 2,7 mm, beregnet for legging under vann. Maskestørrelse i steinkurvadrassene skal være maks. 50 mm. Madrasser skal være produsert for formålet av egen leverandør. Det finnes flere produsenter av steinkurvadrasser. Madrassene skal være fylt med stein dim. 100-150 mm. Det kreves en tilnærmet homogen fordeling av massene i madrassene etter installering på bunnen. Madrassene skal ha 3 innvendige tverrgående vegger for bedre fordeling av steinene. De skal være fylt opp maksimalt med stein, og legges kontrollert og uskadet på bunnen. Det benyttes 8 stk løftekroker (i egen ramme) for utløfting av hver madrass, slik at madrassen legges kontrollert og tilnærmet horisontalt ned på bunnen.

For dykkere i vannet skal det være gjennomgått en sikkerhetsprosedyre før installasjon, for å unngå personskader under nedheising av madrassene. Fordelen med steinkurvadrasser kan være at madrassene er noe mer fleksible enn betongmadrassene. Dersom strøm og bølger eroderer på siden og under madrassene, kan disse legge seg på bunnen og til en viss grad hindre videre erosjon.

Betongmadrasser er også velegnet som erosjonsbeskyttelse. Det benyttes en dukforskaling av polyester, som kan prefabrikeres i ønsket mål og størrelse av produsenten. Duken fylles med betong etter at den er lagt på plass på sjøbunnen eller over ledningen. Betongmadrassen former seg etter underlaget.

Det finnes i tillegg ferdigstøpte elementer som kan legges over ledningen for beskyttelse.

I områder hvor det er sterk strøm eller store bølgekrefter, kan det være nødvendig med nedgraving og tildekking av ledning ut til større vanddyp.

I områder med fjell eller større stabile steinblokker kan ledningen forankres. Forankringer kan f.eks. utføres med fastgysede øyebolter og feste av røret til disse med tau, kjettinger eller lignende. Det kan også benyttes stålklamringer rundt røret, med bolter forankret til fjell. For å unngå at ledning gnager direkte mot fjellet, kan det legges mellom en beskyttelse, f.eks. et bildekk.

Ledninger under vann som ligger an mot skarpe gjenstander, f.eks. fjell, steiner, metalldele ol., kan utsettes for skader. Normalt flyttes ledningen eller den skarpe gjenstanden til side for å unngå slike punkter. På steder hvor dette ikke er mulig, kan det fores mellom ledningen og fjell/stein med feks. skåler/rørbitere av PE eller mørtelsekker. Betong/mørtelsekker med volum på ca. 15 liter legges inni jutesekker og bygges under/på siden av røret. Flytting av belastningslodd kan i noen tilfeller også avhjelpe uheldige anleggspunkter for en ledning.

Etter at ledningen er lagt på plass i traseen, skal den kontrolleres for svevende lodd. Sveg kan føre til ugunstig strekkspenning i ledningen

og forsterket gnag i anleggspunktene på hver side av det svevende partiet. Det bør i slike tilfeller fores mellom rør og stein/fjell. Dette kan utføres med rørsåler av PE eller mørtelsekker. Understøtting av svevende belastningslodd for å hindre ekstraspenninger i røret kan bygges av mørtelsekker dersom avstand til bunnen er mindre enn ca. 25 cm. Er avstanden større kan loddet tas av og en halvdel legges på hver side av ledningen. Ledningen kan i dette tilfellet forankres til disse loddene med kunstfibertau. Man må imidlertid sikre at røret ikke beveger seg og får gnagskader i opplagerpunktene på hver side.

4.2.6 ENDEARRANGEMENT

På enden av utløpsledninger installeres normalt et utløpsarrangement. Mer detaljer om dette gis i VA/Miljø-blad nr. 46. Inntaksledninger bør tilsvarende ha et inntaksarrangement med sil. Det henvises til VA/Miljø-blad nr. 45.

4.2.7 SPYLING, PRØVING OG KONTROLL

Etter legging skal sjøledninger spyles for å fjerne sveisespon og andre fremmedlegemer i røret. Dette utføres til ledningen er ren. Om nødvendig kan en myk renseplugg benyttes.

Prøving av trykkledning utføres etter NS-EN 805:2000. Det henvises for øvrig til VA/Miljø-blad nr. 25 for beskrivelse av prøvingen.

Etter legging og før overtagelse av anlegget skal en undervannsledning filmes. Dette kan utføres med dykker eller undervannsrobot (ROV). Videoopptaket må angi referanse til posisjon og vanddyp. Det finnes ROV med posisjoneringsutstyr. Alternativt kan posisjon noteres ved vinkelpunkter på ledningen, som måles inn på overflaten under kontrollen. Det kan oppleves siktproblemer pga. av flyktige masser og dårlig lys. Dette må entreprenøren ta hensyn til, slik at billedkvaliteten blir tilfredsstillende. Opptaket må være slik at man kan følge hele ledningen sammenhengende, og det må ikke være tvil om ledningen svever over bunnen, eller ligger an mot stein/fjell ol. Tilkoblingspunkter, endearrangementer, forankringer og andre detaljer filmes fra alle kanter slik at det dokumenteres grundig. Filmopptak benyttes for å se på evt. nødvendige justeringer av ledningsanlegget og lagres som dokumentasjon.

4.2.8 MERKING AV UNDERVANNsledNING

Under anleggsarbeidene er det viktig at entreprenør merker alle flytende ledninger i sjøen. Dette kan gjøres med blinkende lys og bøyer. Entreprenør er ansvarlig for nødvendig varsling av Havnevesen, aviser ol. I områder med stor sjøtrafikk må egen varslingsbåt benyttes, hvis det er fare for påkjørsel av rørene.

Kystverket, lokalt havnevesen og Byggningsmyndigheter setter som oftest krav til merking av en sjøledning etter installasjon. De vil i sin godkjenning av anlegget gi nødvendige krav om plassering og type skilt som skal benyttes.

| | | | | |
|----------------------|--|--------------------|---|-------------------------------|
| <i>Henvisninger:</i> | | <i>Utarbeidet:</i> | <i>okt 1999</i> | <i>InterConsult Group ASA</i> |
| <i>/1/</i> | <i>Andre VA/Miljø-blad: Nr. 11, Kravspesifikasjon for rør av PE- materiale Nr. 41, VA-ledninger under vann. Søknadsprosedyre Nr. 45, Inntak under vann Nr. 46, Utslipp under vann Nr. 80, Legging av undervannsledninger. Senkeprosedyre</i> | <i>Revidert:</i> | <i>aug 2016</i> | <i>Cowi AS</i> |
| | | <i>/2/</i> | <i>Forskrift om utførelse av arbeid, kap 25 og 26.</i> | |
| | | <i>/3/</i> | <i>PTV rapport nr. 27, Veiledning for VA-ledninger under vann</i> | |
| | | <i>/4/</i> | <i>NS 3124 Sjøledninger - Belastningslodd av betong</i> | |