

## 1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-bladet beskriver hvordan en undervannsledning av Polyetylen, PE, kan senkes. Den gir også et eksempel på en prosedyre for senking av undervannsledninger.

## 2 BEGRENSNINGER

Bladet omhandler senking av PE-ledninger og senkeprosedyre. For ytterligere informasjon om undervannsledninger henvises det til følgende VA/Miljø-blad:

Nr. 41 «Ledninger under vann. Søknadsprosedyre»

Nr. 44 «Legging av undervannsledninger»

Nr. 45 «Inntak under vann»

Nr. 46 «Utløp under vann»

## 3 FUNKSJONSKRAV

Undervannsledninger må tåle de belastninger de utsettes for uten at skade oppstår innenfor en definert levetid (bør være minst 100 år). Viktige forutsetninger for å oppnå dette er blant annet at undervannsledningen blir riktig installert.

Undervannsledningen skal ikke overbelastes under senkingen. Overbelastning kan føre til skader på kort eller lang sikt.

## 4 LØSNINGER

Etter at grøfter er ferdig opparbeidet og ledning er klargjort og slept på plass, kan selve senkearbeidet foretas.

### 4.1 SENKING AV PE-LEDNING

Det er ulike teknikker man kan benytte for å senke en ledning. Valg av metode er avhengig av flere faktorer, bla.:

- Tilgang på vann (vannledninger bør senkes med vann av drikkevannskvalitet pga. faren for begroing/forurensing).
- Dimensjon, SDR-verdi, lengde og belastningsgrad på ledningen.
- Hvilket vanddyp ledningen skal legges på.
- Tilgang på slepebåter, kompressorer osv.

Senking utføres vanligvis ved å slippe vann inn i ledningen i en ende (som oftest i enden ved land via kum el.l.) samtidig som luft slippes ut gjen-

nom en blindflens med en ventil montert i den andre enden (ytre ende). En kompressor tilkoples i ytre ende av røret for å forhindre at det oppstår undertrykk i sjøledningen, samt ha mulighet til å kunne reversere senkingen om nødvendig. Under senkearbeidet må rørprodusentens krav følges. Det henvises til Fig. 1 for illustrasjon.

De største påkjenningene på PE-røret kommer som oftest under selve senkeoperasjonen av røret. For PE-ledninger bør senkehastigheten ligge mellom 0,1-0,3 m/sek. En ukontrollert senking kan føre til at påkjenningene på PE-røret blir for store. I verste fall kan røret knekke under senkingen og man kan stå ovenfor et totalhavari. Rør med stor diameter og liten godstykkelse er lettere utsatt for knekking når det overbelastes. Rør med større godstykkelse tåler mer før det knekker, men materialet kan overbelastes slik at rørets levetid reduseres.

Det skal alltid påføres strekk i ytre del av ledningen under senking. Strekkrefter påføres for å unngå at krumningsradier på røret under senkingen blir for små. Båter med tilstrekkelig motorstyrke kan påføre strekk i kurvepunkter på røret og i enden av ledningen via lange trosser. Dette gir strekk i lengderetningen og styrer retning for ledningen. Det er viktig at ledningen forankres tilstrekkelig i indre ende før strekk i ledningen påføres.

Betongloddene (på PE-rør) må være fiksert godt nok på ledningen, slik at det ikke oppstår loddras under senkingen. Dette er særlig viktig under senking på dypt vann, hvor ledningens diameter kan bli noe mindre pga. strekk fra vekten på belastningsloddene.

### 4.2 KONTROLL OG KVALITETSSIKRING

En prosedyre for selve senkingen må utarbeides på forhånd av kvalifisert personell. Denne skal inneholde beskrivelse av bla. nødvendig utstyr og personell, tekniske beregninger for senkingen, varsling, beskrivelse av oppstart, gjennomføring og avslutning av senkeoperasjonen. Prosedyren skal gjennomgås i et møte med alle involverte og nødvendige SJA utarbeides.

Et eksempel på en slik prosedyre er vist i avsnitt 4.6.

### 4.3 OPPSTART AV SENKEARBEIDET

Oppstarten av senkearbeidet er avgjørende for en kontrollert prosess. Denne fasen må planlegges nøye. Under følger noen momenter som må være planlagt i denne forbindelse:

- Nødvendig varsling (Havnevesen, aviser, 3.person, mfl.)
- Organisering av senkearbeidet, personell med ansvarsområder, inndeling i arbeidslag, utstyr, båter, kommunikasjon.
- Utsetting av trase (bøyer, moringer i vinkel punkter, etc)
- Rør føres fra riggplass til installasjonssted, evt. oppankring
- Forankring av rør ved land (NB! dersom rør skal kobles til annen konstruksjon må krefter kontrolleres)
- Bruk av oppdriftslegemer/midlertidig belastning under senkingen
- Rekkefølge av montering
- Styring av vannstrøm inn i røret (NB! luft ut på sjøledning må unngås)
- Senkehastighet for røret
- Styring av lufttrykk i ledningen med kompressor, for å unngå undertrykk i røret og hindre ukontrollert senking
- Slepestrekk i røret og hvordan dette appliseres
- Tidsplan for senking.
- Kontrollert etablering av S-kurve i oppstartsfasen, før senking av sjøledningen fortsetter (se neste punkt).

### 4.4 SENKING

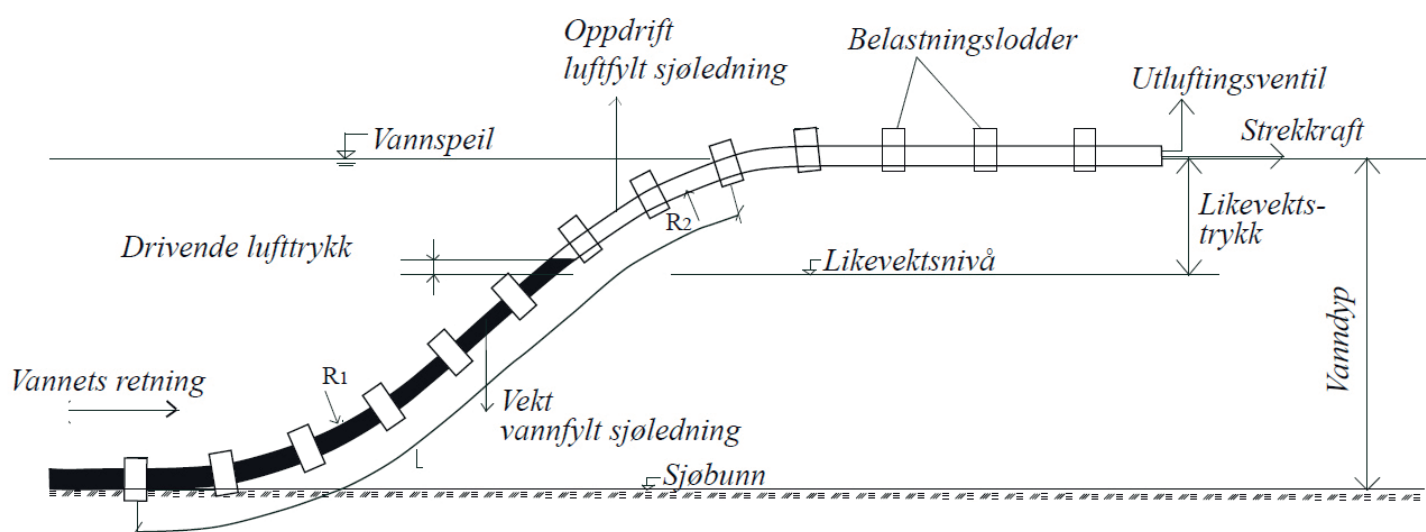
Man senker normalt med en såkalt S-kurve på ledningen (se figur nr. 1). Den etableres ved å balansere mellom krefter som virker nedover (belastningslodd) og krefter som virker oppover (oppdrift i luftfylt del av ledningen og selve PE-røret). Bøyeradiene ved overgang fra S-kurve til sjøbunn (R1) og ved overgang mellom S-kurve og sjøoverflaten (R2) må kontrolleres. Dersom disse bøyeradiene blir for små, vil røret kunne knekke. Man kan oppnå noe avstivning av røret ved å ha kort senteravstand mellom belastningsloddene, men blir belastningsgraden for høy, påfører dette ekstra belastning på røret. Det er viktig at senkeforløpet foregår som en kontinuerlig prosess. Hvis senkingen stopper, vil E-modul i rørmaterialet gradvis synke som en funksjon av aktuell spenning røret blir utsatt for og tiden belastningen virker. Røret blir da svakere og vil lettere kunne knekke.

Det er viktig å få etablert S-kurven på et tidlig stadium i senkeprosessen. Deretter senkes røret ved et kontrollert påslipp av vann i røret, samt et kontrollert påfylling/utslipp av komprimert luft i motsatt ende. Lufttrykket i ledningen er en funksjon av belastningsgrad og vanddyb. En bør derfor ha en tabell over aktuelt balansetrykk i røret i forhold til hvilken seksjon av røret man skal senke.

### 4.5 AVSLUTNING AV SENKEARBEIDET

Avslutning av senking er en viktig fase som må planlegges nøye på forhånd.

Når senkingen nærmer seg slutten, vil S-kurven gå over i en "J-kurve". Det er da svært viktig å redusere senkehastighet og holde korrekt strekk i enden for å unngå ukontrollerte krefter i det siste del av luften forlater ledningen. Retningen for røret styres i denne fasen av fartøy som gir strekk i enden av røret.



Figur 1. S-kurve for senking av PE-rør.

Dersom ledningen skal avsluttes på sjøbunnen, kan man velge om man ønsker å ta av blindlokket før eller etter ledningen er anbrakt på sjøbunnen. Dersom blindlokk tas av i overflaten, må ledningen være tømt for luft. Dette fører til at båt må ta hele vekten av ledningen med belastningslodder ned til sjøbunnen. Dersom lokket fjernes på sjøbunnen, kan man gradvis slippe ut luft i røret på vei ned i dypet, og man får dermed mindre krefter på fartøyet. Ved den siste løsningen må en påregne dykkerarbeid med fjerning av blindlokk.

## 4.6 EKSEMPEL PÅ SENKEPROSEDYRE

I det etterfølgende gis et eksempel på en prosedyre for senking.

Prosedyren gjelder senking av en overføringsledning for vann, hvor dens ene ende er tilkoblet trykkvann i en kum ved ilandføring 1, og den andre enden skal føres til kum ved ilandføring 2.

Rør og belastning:

- PE 100 DN 355 SDR 9, lengde=2000 m, maks. dyp ca.100 m.
- Ledning vektet med betonglodder, luftfyllingsgrad 35 %.

### 4.6.1 ORGANISERING

Før senking starter skal entreprenøren utarbeide en organisasjonsplan hvor ansvarsområdet til nøkkelpersoner fremgår. Det skal minst være en senkingssjef og en senkingsformann som har ansvaret for sine ulike arbeidslag. Før senkingen starter skal alle personer som deltar være informert om sine oppgaver under arbeidet.

### 4.6.2 BEREGNING AV STREKKRAFT OG SPENNINGER I RØR

Beregnet nødvendig strekk i ledning: 5 kN

Totale spenninger i røret = 6,69 MPa

Tillatt korttidsspenning = 15 Mpa

Sikkerhetsfaktor mot overspenning = 2,2

### 4.6.3 UTSTYR/BEMANNING

Entreprenøren organiserer utstyr og bemanning. Følgende sentrale ressurser er aktuelle:

- Slepebåt med trosser med tilstrekkelig dimensjon for å opprettholde nødvendig strekk i ledningen.
- Lettbåter for å kontrollere/justere ledningens posisjon på overflaten før senking
- Kompressor med nødvendige slanger og ventiler, samt manometer for overvåking av trykk i ledningen.
- Nødvendige blindlokk med sluser for påfylling og uttapping av luft og vann
- Kommunikasjonsutstyr (VHF).
- Posisjoneringsutstyr (innmålte bøyer/fester,

overettmerker).

- Tauverk/wirer til moringer eller land for riktig posisjonering av ledning på bunnen.
- Mannskaper - 2 i hver lettbåt, 2 på slepebåt. En mann kontrollerer tilført vann i kum, og en mann kontrollerer kompressor og lufttrykk i røret. I tillegg kommer leder av senkeoperasjonen.
- Liste med nødtelefoner til:
  - Havnevesen
  - Politi
  - Sykehus
  - Lokale fiske/båtforeninger
  - Trafikksentral for sjøfarende

### 4.6.4 FORBEREDENDE ARBEIDER

Dette er arbeider som gjøres før selve senkeoperasjonen starter:

- Det settes ut bøyer ved kurvepunkt, evt. med lys. I tillegg settes ut moringer med tau for å kontrollere at ledningen går ned i riktig posisjon. Evt. brukes tau til land. Lengde på tau tilpasses bunnkontur og vanddyb i traseen.
- Anskaffelse av utstyr og mannskaper.
- Drivstoff, reserveutstyr, sikkerhetsutstyr, kommunikasjon mm.
- Kontakt med værvarslingen (7 dagers, 2 dagers og 1 dags melding).
- Gjennomgang av senkeprosedyre med mannskapene.
- Kontroll av sambandsutstyr.
- Varsling i pressen og radio, løpende kontakt med Havnevesen og øvrig sjøfart.
- Sammenkopling/ sveising av ledningsseksjoner.
- Ledning merkes for hver 100 m med maling på betonglodd/rør.

### 4.6.5 SENKING

Før senkeprosessen skal starte må klargjort ledning bukses fram til traséen.

Ledningen posisjoneres flytende i overflaten i traséen. Det benyttes slepebåt og mindre fartøyer til posisjoneringen. Mellom slepebåt og røret benyttes en trosse for å påføre strekk i ledningen under senkingen. Trosselengden skal være mer enn 2 x vanddybet i aktuelt festepunkt på røret. I horisontalkurver festes tau til land/ moringer som sikrer ledningens riktige posisjon på bunnen etter senking. Det skal påsees at nødvendig strekk i ledningen opprettholdes i alle vinkelpunkter under senkingen. Kompressor tilkoples i endepunktet (motsatt ende av påkobling til trykkvann). Her benyttes en blindplate med 2" rørkopling for

påfylling og avtapping av luft, samt avlesing av manometer (0-10 bar). Under senkingen bør best mulige værforhold være tilstede. Bølgehøyden skal ikke overstige 0,5 m. Det bør være klarvær og stille. Det må kontrolleres spesielt at det er stabil vannforsyning under hele senkingsforløpet.

Senking av ledning utføres deretter iht. følgende punkter:

1. Den indre enden av ledningen tilkoples flens i vannkum i landtaket. Vannkum ligger med topp rør på kote +2,0 i dette tilfellet. Resterende del av ledningen flyter luftfylt på vannet.
2. Ledning løftes ut av vannet ca. 70-80 m fra land til en høyde tilsvarende kote +2,5 (topp rør). Det er her 4,0 m vanddyb. Det løftes i 2 stk. belastningslodder - det påsees at krumningsradiusen på røret ikke blir for liten.
3. 2" servicekran i kummen holdes åpen. Ventil for påfylling av vann åpnes sakte for å fylle vann frem til høybrekket i løftepunktet, og for å evakuere luft ut av ledningen. Man må unngå at man får en blanding av luft/vann med små høybrekk og lavbrekk utover på ledningen.
4. Når vann uten luft kommer ut av 2" kranen i vannkummen, lukkes ventilen for vannpåfylling sakte (luft er evakuert mellom kum og punkt hvor ledningen er løftet ut av vannet). Det unngås at vann renner over i punktet hvor rør er løftet ut av vannet. 2" kran lukkes.
5. Det startes med trykksetting av sjøledningen i løftet posisjon. Et overtrykk på 0,3 bar skal opprettes i sjøledningen før senking startes. Dette er viktig for at det ikke skal oppstå en ukontrollert senking. Lufterventil ved kompressor stenges når ønsket mottrykk er oppnådd, slik at trykket opprettholdes
6. Ledning som er løftet ut av vannet, legges ned i sjøen igjen og ledning innstiller seg i likevekt.
7. Det skal under hele senkingen holdes et jevnt strekk ved ledningens horisontale kurvepunkter. Størrelsen på denne kraften vil være avhengig av vanddyb, senkehastigheten og bølger i området, og generelt kan man si at kraften må være så stor at ledningen ikke blir utsatt for store krumninger. Trekkraft bør ikke være mindre enn 0,5 tonn (ved stille vann og normal senkehastighet). Trekkraften må tilpasses slik at denne overføres til S-kurven på røret. Punktene hvor trekkraften skal være påført må være definert på forhånd.
8. 2 lett båter omdirigerer evt. øvrig sjøtrafikk.
9. Senking kan starte. Dette utføres ved tilførsel av ca. 18 l/sek fra ventil i kummen. Det er viktig å vite hvor stort rattutslag dette medfører.

Man må derfor forsøke med meget forsiktig åpning til å begynne med, og deretter øke åpningen til stabil senkehastighet på 0,1 til 0,3 m/sek. Det er svært viktig at vanntilførselen opprettholdes og ikke hindres under hele senkingen for å unngå at ledning blir utsatt for undertrykk eller trykkslag i senkefasen. Man bør ikke overstige 0,3 m/sek i senkehastighet, men i horisontalkurvene bør hastigheten være mindre, ca. 0,1 m/sek. Senkingen kan kontrolleres visuelt, ved på overflaten å observere eventuelle forandringer av kurvens krumning etter hvert som dypet øker. Der som kurven "løfter" seg minsker bøyeradiusen og senkehastigheten skal da reduseres ved å senke vanntilførsel meget sakte (IKKE STENGE!) eller påføre en større trekkraft. Korte stopp (< 15 minutter) i senkingsprosessen, f.eks. i forbindelse med posisjoneringen, vil ikke bli kritisk hvis man holder en jevn dragkraft i enden av røret. Senkehastigheten beregnes og dokumenteres ved å måle tiden mellom hvert "100 meters lodd" som forlater overflaten.

10. For å unngå undertrykk i ledningen ved senking mot større vanddyb er det nødvendig å etterfylle luft med kompressor i enden av ledningen. Det legges opp til å etterfylle luft slik at trykket inne i røret er like under balansetrykket i ledningen, på aktuelt vanddyb.

Dersom det er nødvendig å stoppe senkingen over lengre tid, spesielt ved store dyp, tung belastning og høy SDR-verdi, bør belastningspunktet flyttes ved å senke og heve ledningen sakte fram og tilbake. Faren for knekking (bukling) vil da reduseres.

Nødvendig overtrykk i ledningen for å kunne stanse (balansere) senkeforløpet ved en gitt vanddybde langs traseen er gitt av forholdet:

$$\text{Balansetrykk } h = H \cdot a/100 \text{ [mVs]}$$

hvor: a = loddbelastning [%]

$$H = \text{vanddyb [mVs]}$$

dvs. nødvendig balansetrykk ved maks. senkedyp:  $h = 35/100 \cdot 100 = 35 \text{ mVs}$

Når balansetrykket oppnås reduseres trykket i ledningen ved at det slippes ut luft langsomt av ledningen i enden ved kompressoren. Hastigheten reguleres slik at selve senkehastigheten av ledningen ikke overstiger 0,3 m/sek. Man må være oppmerksom på at etter at ledningen forlater S-kurven, må retningen på senkingen styres av strekk i trosse fra slepebåten. Det er derfor viktig at ledningen er justert korrekt i traseen ved dette tidspunktet. For å oppnå en kontrollert overgang mellom disse to faser, må senkehastigheten nærmest være stoppet, og enden må være påført en tilstrekkelig stor dragkraft i ledningsendepunkt for å eliminere "whipping" (at ledningen slår rundt og man oppnår en 180 graders løkke på ledningen). Senkingen avsluttes med ledningen liggende i vannet, gjerne luftfylt, og løftes deretter inn i traséen på land.

#### 4.6.6 NØDPROSEDYRE

Dersom det blir nødvendig å reversere senkingsforløpet må kompressor tilføre luft over balansetrykket og evakuere tilstrekkelig med vann i ledningen. Kompressor må ha tilstrekkelig trykkapasitet til å kunne reversere senkingen.

For å kunne reversere senkeforløpet når ledningen er på det dypeste partiet (100m) må kompressoren kunne gi et overtrykk på  $h = 35/100 \cdot 100 = 35$  mVs. På en ledning som er såpass lang som dette (2000m) er det påkrevet med en stor kompressor som gir mange m<sup>3</sup> luft pr. min, for å greie å trykksette hele den luftfylte ledningen på kortest mulig tid.

Balansetrykket for senkingen er avhengig av om man stenger påfylling av vann fra nettet, eller om ventil for trykkvann stenges. Man kan stenge hovedventil (langsomt!!) og åpne lufteventil i kummen for å slippe av trykk og evakuere vann under reversering av senking. Det utarbeides en tabell for balansetrykket, basert på hvor langt ledningen er senket, belastningsgrad og vanddyb.

#### 4.6.7 DOKUMENTASJON

Entreprenøren skriver en kort dokumentasjon av senkeforløpet der tidsforbruk på de ulike operasjonene angis. Senkehastighet og manometertrykk presenteres i tabell for hver 100 m seksjon. Rapporten skal inneholde bilder, evt. video.

ROV benyttes til å filme ledningen liggende på bunnen, fra landtak til landtak. Vanddyb skal påføres videoopptakene. Digitalt opptak på minnepinne overleveres oppdragsgiveren etter filming.

<i>Henvisninger:</i>		<i>Utarbeidet:</i>	<i>august 2007</i>	<i>Cowi AS</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</i>	<i>Revidert:</i>	<i>oktober 2018</i>	<i>Cowi AS</i>
		<i>/2/</i>	<i>Forskrift om dykking. FOR-1990-11-30-944</i>	
		<i>/3/</i>	<i>PTV rapport nr. 26, Veiledning for VA- ledninger under vann</i>	