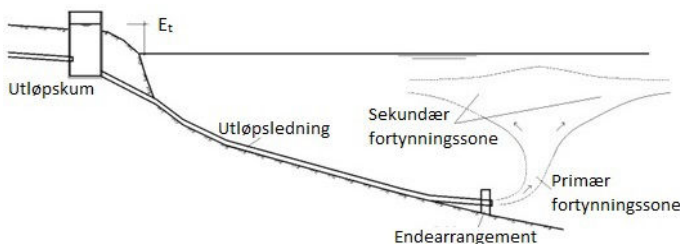


## 1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-bladet skal gi en generell veiledning om legging av utløpsledninger under vann og tiltak for å sikre et godt resultat.



Figur 1. Prinsippkisse for en utløpsledning/utløpskum.

## 2 BEGRENSNINGER

Generelle løsninger og begrensninger for legging og senking av undervannsledninger er omhandlet i VA/Miljø-bladene nr. 44 og 80 /1/. Det henvises også til kravspesifikasjon for rør av PE-materiale, VA/Miljø-blad nr. 11 /1/, ettersom PE er det materiale som benyttes mest i forbindelse med undervannsledninger.

## 3 FUNKSJONSKRAV

En utløpsledning må utformes på en slik måte at den har nødvendig hydraulisk kapasitet samt tilstrekkelig styrke til å motstå indre og ytre belastninger i 100 år.

En utløpskum eller et utløpsbasseng må konstrueres slik at det kan stuves opp tilstrekkelig trykkehøyde for å gi den ønskede hydrauliske kapasitet på utløpsledningen. Kummen eller bassenget må konstrueres slik at luft ikke blir trukket med ut i utløpsledningen.

Et endearrangement må plasseres på en slik måte at partikler fra avløpsvannet ikke sedimenterer like utenfor utløpsenden. Dette kan medføre fare for tilstopping.

## 4 LØSNINGER

Prinsippkisse for en utløpsledning med kum og endearrangement er vist i figur 1.

En utløpskum gir mulighet for:

1. Hensiktsmessig sammenkopling/forankring av landledning og sjøledning.
2. Inspeksjon og vedlikehold/repasasjon av utløpsledningen (pluggkjøring, staking, spyling, frakopling).

3. Evakuering av luft og gass i avløpsvannet i kummen.
4. Utjevning av vannføringsvariasjoner (svingebasseng).
5. Bygging av overløpsarrangement i anlegget som kan tre i funksjon ved overbelastninger, evt. hvis utløpsledningen går tett. Et overløp vil i slike situasjoner forhindre oversvømmelser bakover i systemet på land.
6. Fjerning av sedimenter fra avløpsvannet (opp-samling i kummens nedre del).

Utløpsledningen må legges dykket på et så lavt nivå i utløpskummen at luft evakueres i kummen. Utløpskummen bør i tillegg utformes med et tverrsnittsareal som sikrer nok oppholdstid for avløpsvannet, slik at luftbobler rekker å bli skilt ut fra avløpsvannet. Dette kan resultere i dype og store kummer med dype ledningsgrøfter på land og ut i sjøen. Dette kan medføre høye kostnader.

Normalt er utløpskummen plassert vertikalt som vist på figuren. Hvis terrenget ligger lavt der kummen ønskes plassert, kan en slik utførelse bli visuelt skjemmende. Særlig vil dette forholdet kunne bli gjeldende ved lange utløpsledninger som har behov for flere meter trykkehøyde i utløpskummen. En løsning på et slikt problem, hvis terrenget tillater det, er å bygge kummen inn i terrenget som en "skråkum", se figur 2.

Løsningen baserer seg på bruk av en stor ledningsdiameter fra utløpskummen og ut i sjøen. Ved enden av denne skråkummen tilknyttes utløpsledningen med en overgang. Utløpskummen er forholdsvis grunn, men med nok høyde til å drive avløpsvannet ut. Nødvendig trykkehøyde over høyeste nivå i resipienten er kalt  $E_t$  i figuren. Se neste kapittel for beregning av trykkehøyden  $E_t$ . Det er viktig å huske tidevannsvariasjoner som kan være store i deler av Norge. På toppen av utløpskummen bør det være et ventilasjonsrør, for å unngå trykksvingninger i kummen.

Skråkummen bør være designet utfra følgende kriterier:

1. Ved største vannføring i skråkummen må vannets hastighet være mindre enn 0,3 m/sek.
2. Skråkummen må ligge med kontinuerlig fall mot sjøen.
3. Skråkummen må føres til stort nok vanddyp, slik at all luft evakueres i kummen, og ikke slipper ut på selve utløpsledningen. Man må ta hensyn til laveste vannnivå i resipienten,

nedsvingninger i skråkummen ved evt. pumpestopp og vortex-effekt.

## 4.1 HVORDAN UNNGÅ LUFT I EN UTLØPSLEDNING

Luftansamlinger i utløpsledningen kan forårsake reduksjon i hydraulisk kapasitet samt gjøre utløpsledningen ustabil på bunnen. I verste fall kan ledningen forflyttes langs sjøbunnen eller komme opp til overflaten. Dette kan igjen føre til påkjørsler av fartøyer med påfølgende personskafer. Det kan være ulike årsaker til at man kan få problemer med luft i en utløpsledning:

4. Inntaket til ledningen i utløpskummen er ikke dykket.
5. Det dannes luftsugende virvel i utløpskummen (vortex).
6. Når det pumpes inn på en utløpskum, vil man pga. tregheten i systemet få en oppstuvning av vannspeilet i utløpskummen før vannet i selve utløpsledningen oppnår tilstrekkelig hastighet til å ta unna det som tilføres. Ved pumpestopp vil tregheten i systemet føre til at vannspeilet synker under likevektsnivået i utløpskummen. Det er viktig at utløpsledningen ligger dypt nok slik at det ikke kan komme luft inn i utløpsledningen ved en slik nedsvingning av vannspeilet i kummen. Ulike vannstandsvariasjoner og flom må i denne sammenhengen vurderes.
7. Hvis utløpskummen mangler et ventilasjonsrør kan luft bli presset ut på utløpsledningen.
8. Størrelse og utforming av innløpsrør og utløpskum har stor betydning. Dersom oppholdstid for avløpsvannet i utløpskummen er for liten kan luftbobler oppløst i vannet bli ført med strømmen ut på utløpsledningen. Dersom innløpsledning ikke kommer inn sentrisk eller kum er utformet assymetrisk, vil strømninger i kummen kunne gi virvler som suger luft. Dersom innløp i kummen ikke er dykket, vil det kunne bli innpisking av luft som igjen

kan komme ut på utløpsledningen.

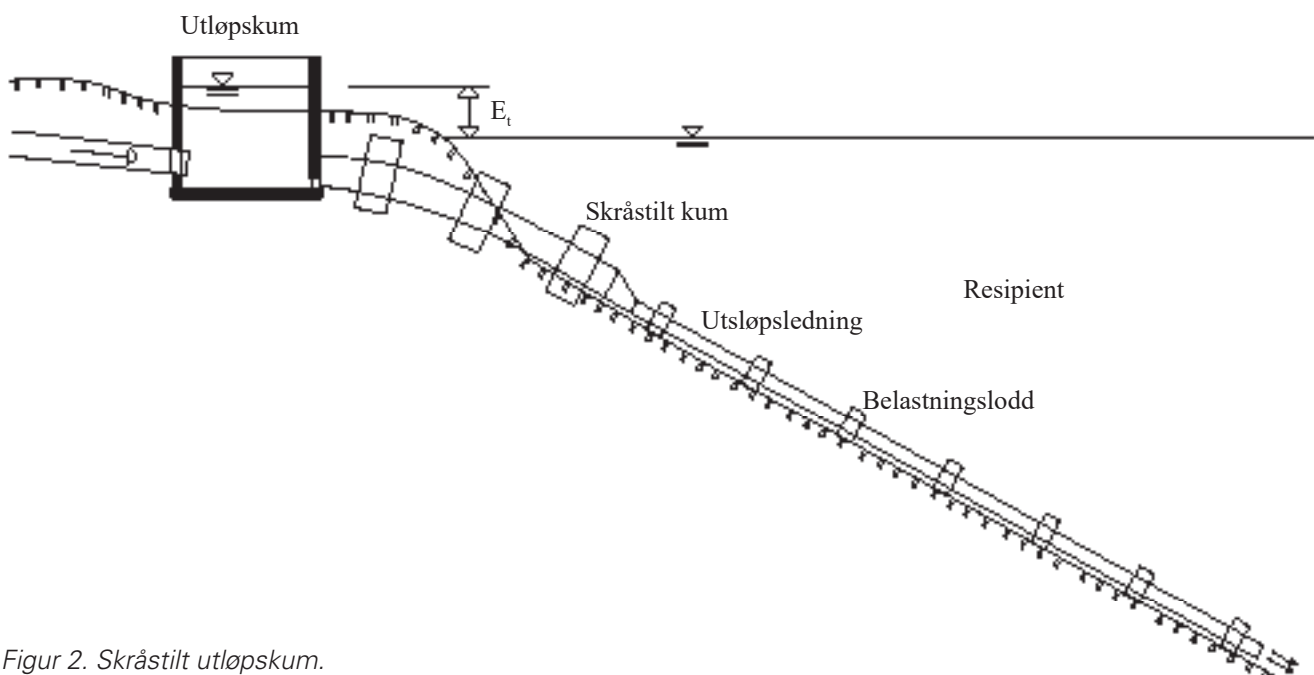
9. Hvis det pumpes direkte ut på utløpsledningen, kan det suges inn luft om vannstanden i pumpe-sumpa blir for lav, f.eks. ved funksjonssvikt på nivåbrytere, ettersuging ved pumpestopp, luftsugende hvirvler i pumpe-sumpen. For tørroppstilte pumper kan det også komme inn luft ved utette pakninger på sugesiden.

For å unngå problemene med luft i utslippsledningen må man:

- Forhindre luften fra å komme ut på ledningen.
- Sikre en høy vannhastighet i ledningen slik at luft/gass drives ut (se VA/Miljø-blad nr. 44).
- Sikre selvrensing i utløpsledningen slik at gassproduksjon i sedimentert materiale unngås.
- Lage luftearrangementer på ledningen.

Trasè for utløpsledningen kan i enkelte tilfeller være ugunstig, med mange lav- og høybrekk. Dersom sedimenter eller luft/gass ikke skilles ut i utløpskummen, kan dette samle seg i lav- og høybrekk på utløpsledningen. Gassen hydrogen-sulfid ( $H_2S$ ) kan også bli dannet i en sjøledning dersom spillvann blir stående lenge i ledningen, grunnet anaerob nedbrytning av organisk materiale. Faktorer som påvirker dannelsen av gass er temperaturen på omgivende vann, oppholdstid av avløpsvann i sjøledningen samt innhold av organisk materiale. Dette betyr at spillvannsledninger med lav vannføring, og som ligger på grunt vann, vil kunne ha stor dannelse av  $H_2S$  i sommerhalvåret.

Fjerning av gassbobler i en ledning er avhengig av vannføring, innvendig rørdimensjon og rørets helning. Jo større fall et rør har, desto større vannføring i røret må til for å fjerne boblene. Dette medfører at luftbobler også kan samle seg i et punkt på et rør i drift hvor røret går fra slakt til større fall.



Figur 2. Skråstilt utløpskum.

Det henvises til VA/Miljø-blad nr. 44 for veiledende verdier for minimumshastighet for fjerning av luft i undervannsledninger. Verdiene forutsetter at det ikke er kontinuerlig tilførsel av luft til luftlommen.

Under senkingsarbeidet kan det forekomme at ikke all luft blir evakuert fra ledningen. Denne luften vil også samle seg i evt. høybrekk. Det er derfor viktig å fjerne luften under senking. Dersom det er mistanke om at luft har samlet seg i et høybrekk etter senkingen av sjøledningen, kan luft fjernes ved å kjøre en renseplugg gjennom utløpsledningen.

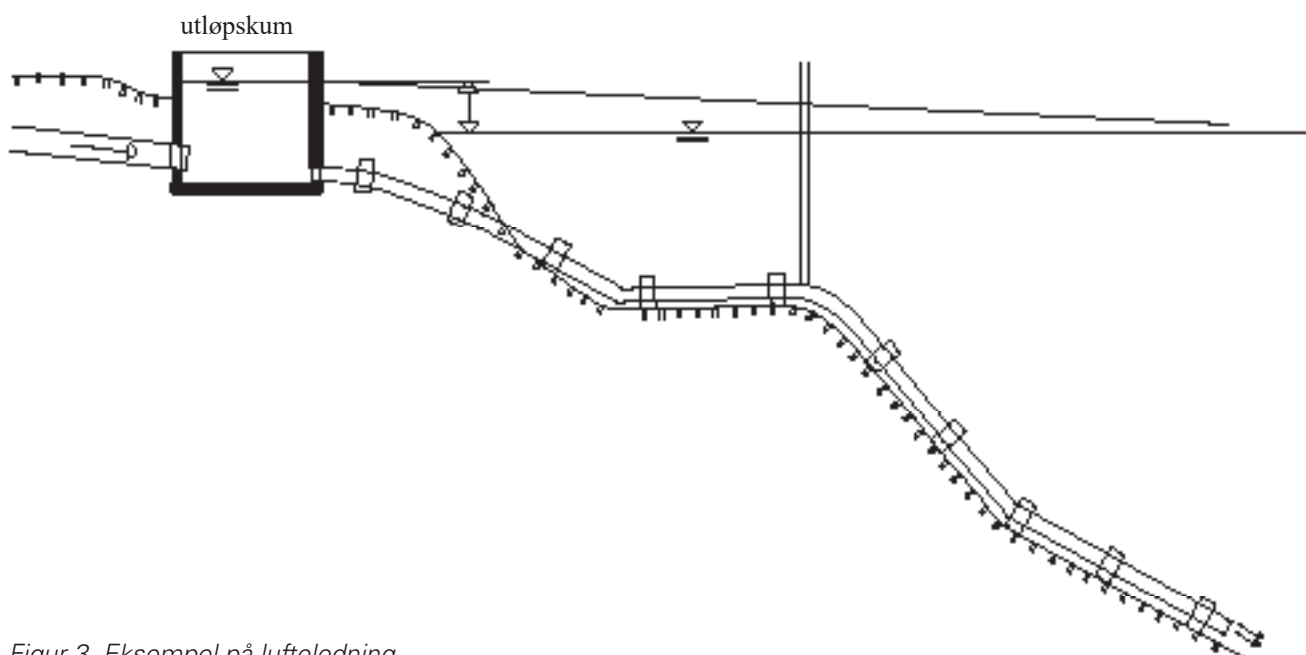
For å unngå sedimentering, er det nødvendig å lage arrangementer i utløpskum eller å bruke en tilstrekkelig stor nok hastighet i utløpsledningen for å bringe sedimentene gjennom utløpsledningen og ut ved enden. For å sikre at sediment ikke samler seg inne i utløpsledningen, bør ledningen være selvrensende. Anbefalt verdi for skjærspenningen er min. 2 N/m<sup>2</sup> (forutsetter lav grad av sand og tyngre partikler).

Det er ikke alltid at man har mulighet til å oppnå høye vannhastigheter i utløpsledningen. Hvis det er vanskelig å få til en pluggkjøring av ledningen, kan det vurderes å lage utluftingspunkter for å evakuere luft/gass på røret. Enkleste metode er å benytte en dykker til å borre hull på toppen av et høybrekk. Dette kan enkelte steder være uaktuelt av forurensingsmessige eller visuelle hensyn. Det kan også monteres en egen utluftingsventil direkte på ledningen, men dette krever jevnlig kontroll av dykkere.

Et annet alternativ kan være å føre en egen lufterledning inn til land, enten over trykklinsen, eller til en egen luftekum. Det er viktig å ikke ha høybrekk eller motfall på denne ledningen og den må beskyttes mot strøm, bølger, is og frost. Diameteren på en lufterledning bør ikke være mindre enn 50 mm pga. fare for tilstopping.

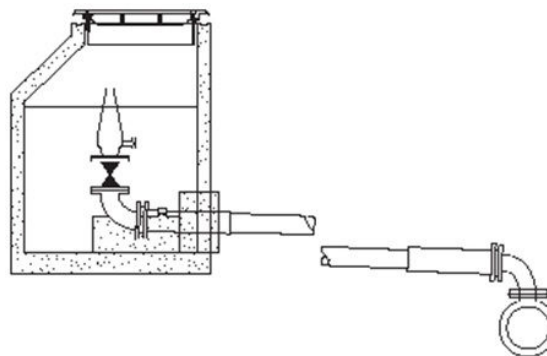
En slik lufterledning er vist prinsipielt på figur 3.

Et eksempel på en luftekum er vist i figur 4. Den automatiske lufteventilen bør brukes for tilnærmet rent vann, ettersom man kan få et driftsproblem



Figur 3. Eksempel på lufterledning.

med ventilen hvis den blir gjengrodd av sedimenter ol.



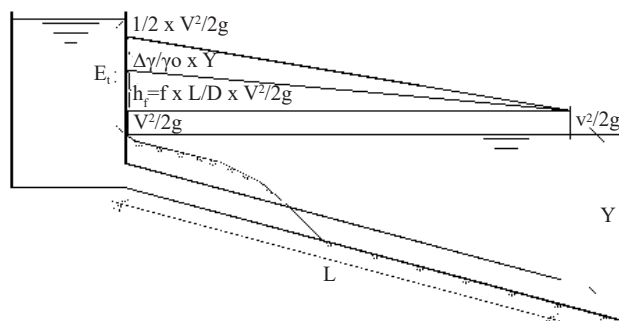
Figur 4. Eksempel på luftekum.

Det henvises også til PRA-rapport nr. 8 /3/ «Luft i utslippsledninger», som omhandler årsaker til luft- og gassdannelse samt tiltak og dimensjonering mot dette. Videre henvises til PRA-rapport nr. 3 /4/ «Bygging og drift av dyputslipp», som gir ytterligere grunnlag for riktig dimensjonering av et utløpsarrangement.

Dersom det ikke er mulig å unngå at ledningen blir utsatt for gass eller luft, kan det vurderes å øke belastningsgraden på ledningen, opp mot 100 %.

## 4.2 HYDRAULIKK

/4/ tar også for seg hydraulisk dimensjonering av et utløpsarrangement. I figur 5 vises prinsippet for beregning av samlet energitap i et slikt arrangement.



Figur 5. Beregning av samlet energitap for en utløpsledning.

Det samlede energitapet er lik summen av friksjonstap, tetthetstap og singulærtap.

Formlene [1] og [2] kan benyttes:

$$E_t = h_f + \Delta\gamma / \gamma_o \cdot Y + K \cdot V^2 / 2g \quad \text{Formel [1]}$$

$$h_f = f \cdot L / D \cdot V^2 / 2g \quad \text{Formel [2]}$$

hvor:

- $E_t$  = totalt energitap
- $h_f$  = friksjonstap
- $\Delta\gamma$  = differanse i egenvekt mellom avløpsvannet og resipientens vann
- $\gamma_o$  = avløpsvannets egenvekt
- $Y$  = vanddyb hvor avløpsvannet slippes ut
- $f$  = friksjonskoeffisienten, se tabell 1
- $L$  = utløpsledningens lengde
- $D$  = utløpsledningens indre diameter
- $V$  = vannhastighet i utløpsledningen
- $K$  = summen av singulærtapskoeffisienter, se tabell 2

Tabell 1. Friksjonskoeffisient  $f$  for avløp. Verdiene for  $f$  er utregnet for temp = 5,0° C.

	Innv. diameter = 150 mm		Innv. diameter = 500 mm	
	1,0 m/s	3,0 m/s	1,0 m/s	3,0 m/s
Vannhastighet	1,0 m/s	3,0 m/s	1,0 m/s	3,0 m/s
Friksjonskoeffisient $f$	0,022	0,020	0,018	0,016

Friksjonskoeffisienten vil bli større enn angitt i tabellen dersom det blir begroing/tilslamming innvendig i ledningen. Dette medfører at anlegget får redusert sin hydrauliske kapasitet. I hvert enkelt tilfelle bør friksjonskoeffisienten bestemmes ved å ta hensyn til at det vil kunne bli en viss begroing/tilslamming.

Hvis en utløpsledning mister en stor andel av sin hydrauliske kapasitet, kan det bli nødvendig med rengjøring med renseplugg. Ved planlegging av et utløpsarrangement bør det legges til rette for slik rengjøring.

Det finnes ulike typer renseplugger, fra de harde som renser rent mekanisk, til de myke som kan gå i opp til 90 graders bend og som renser vha. vannstrømmen rundt pluggen. For PE-rør anbefales myke plugger, med en diameter noe under indre ledningsdiameter. Leverandør av renseplugg vil kunne anbefale hvilken renseplugg som kan benyttes. Pluggen må lades inn i utløpsledningen i pumpestasjon/utløpskum, f.eks. gjennom et T-rør med nødvendige sluser for stenging/styring av vanntilførsel. Vann fra avløpssystemet eller trykkvann kan benyttes for å drive pluggen. Det er viktig å unngå at pluggen drar med seg luft ut på utløpsledningen. Utløpsledningen må derfor være helt vannfylt før innsetting av plugg.

Singulærtapskoeffisienten varierer med ulike installasjoner på ledningen, eks. bend, dimensjonsoverganger, innløp- og utløpstap. Eksempler på singulærtapskoeffisienter er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Eksempel på singulærtapskoeffisienter.

Utløpstap (ende ledning)	1,0
Bend 90 grader	0,3
Bend 45 grader	0,1
Utløpstap (i kum)	0,5

Utforming av kum, utløpsarrangement og bend kan variere, noe som også påvirker singulærtapskoeffisienten. En diffusorordning på enden av utløpsledningen kan gi et stort falltap (i størrelsesorden 1-2 m). Dette må beregnes i hvert enkelt tilfelle. Det henvises forøvrig til PRA-rapport nr. 3/4/, «Bygging og drift av dyputslipp».

Valg av **godstykkelse** for en selvfallsutløpsledning bestemmes sjeldent ut fra innvendig trykk da dette normalt er beskjedent. Påkjenninger i senkefasen og påkjenninger av strøm/bølger/erosjon er som oftest det som bestemmer nødvendig godstykkelse. Vanligvis anbefales ikke bruk av SDR-klasser større enn 17 for PE-rør.

I en utløpskum kan det oppstå en luftsugende virvel dersom avstand fra topp rør til vannoverflaten er for liten. Beregning av vortexhøyden  $H_v$  gis av formel:

$$H_v = 0,73 \cdot v \cdot \sqrt{d}$$

hvor:

$v$  = vannhastighet i røret [m/sek]

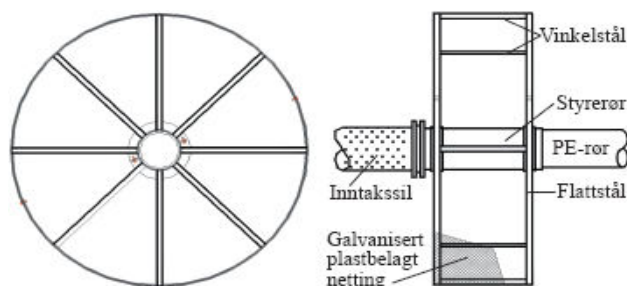
$d$  = indre diameter på røret [m]

### 4.3 ENDEARRANGEMENT

Endearrangementet skal sikre at utløpsenden distanseres fra bunnen for å unngå nedslamming og fare for tilstopping. Endearrangementet må stå stabilt på bunnen. Normalt bør avstanden opp til underkant utløpsledning være min. 0,5 m.

I figur 3 er det vist et forslag til endearrangement, type «Hjulet». Dette monteres på ledningen i overflateposisjon før senking. Konstruksjonen er slik at avstanden til bunn er sikret selv om røret vrir seg noe under senkearbeidet.

«Hjulet» sikrer altså at det ikke er nødvendig for dykkere å etterjustere posisjonen, noe som kan være meget kostnadsbesparende, spesielt ved dype utslipp.



Figur 6. Endearrangement, type «Hjulet».



Det finnes mange løsninger for utslippsarrangement. Ulike materialer kan benyttes; tre, betong, stål med korrosjonsbeskyttelse, mørtelsekker, gabionmadrasser osv. Dersom avstand fra bunnen er stor, kan man legge betongmøringer på hver side av ledningen, påsette oppdrift på ledningen og feste denne med tau til moringene. På denne måten kan man justere høyde på ledningen fra bunnen. Disse endearrangementene krever noe dykkerarbeid, og egner seg derfor best på grunnere vann, dvs. mindre enn 50 meters dyp.

Endearrangementet bør ikke bygges så høyt over bunnen at det blir et lavpunkt på ledningen innenfor endearrangementet. Dette kan bli et punkt hvor man får sedimentering av partikler.

#### 4.4 FORTYNNING OG INNLAGRING AV AVLØPSVANN I EN RESIPIENT

Det man oppnår med et utløp i sjø (saltvann) kan beskrives som følger med henvisning til figur 1.

Primærfortynningen forårsakes av strålens hastighetsenergi idet den kommer ut i resipienten, samt av egenvektforskjellen mellom avløpsvannet og resipientvannet, som vil føre til at avløpsstrålen stiger opp fra utløpspunktet. Under oppstigningen vil avløpsvannet fortynnes med tyngre saltvann, og egenvekten på blandingen vil øke. Finnes det en vertikal egenvektssjiktning (sprangsjikt) i resipienten med lettere vann øverst, vil blandingen av avløpsvann og saltvann kunne nå et punkt under overflaten hvor egenvekten er lik med vannet i resipienten.

Da har avløpsstrålen mulighet for å innblendes uten å nå overflaten som vist på figur 1.

En innblanding er som nevnt avhengig av en viss egenvektssjiktning i resipienten. Denne sjiktningen varierer fra sted til sted og med årstiden.

Tilførsel av ferskvann fra elver og oppvarming av resipienten gir grunnlag for sjiktning. Derfor er denne normalt størst om sommeren og minst om vinteren.

Vanligvis prøver en å oppnå at fortynnet avløpsvann blir innblandet sommerstid. Dette reduserer de estetiske ulemper ved utløpet samt minsker tilgangen av næringsstoffer til algeveksten, som er konsentrert til de øvre vannmasser. Utløpet bør derfor legges dypt nok til at slik innblanding kan skje. Formler og metode for beregning av fortyning og innlagring er beskrevet i PRA-rapport nr. 14, «Dykket utslipp i resipient» /5/. Nødvendig grunnlag for å kunne gjennomføre realistiske beregninger i aktuelle tilfeller, er data om temperatur og vannets saltholdighet på ulike dyp til de ulike årstider. Ved planlegging av utløp bør det settes av tid til målinger i resipienten hvis data ikke allerede eksisterer.

For å øke primærfortynningen, noe som kan redusere krav til utløpsdypet, kan det monteres et spredearrangement (diffusor) på utløpsenden. Et slikt arrangement kan lages ved at det på siste rørstrekning av utløpsledningen lages flere hull i si-

den på ledningen samtidig som enden delvis lukkes med en blindplate. Avløpsvannet spres da ut i resipienten i flere mindre stråler fordelt langs en større del av utløpsledningen. Dersom diffusoren bygges med avtrappende dimensjon ut mot enden, vil man kunne opprettholde selvrensingshastighet i selve diffusorrøret. /5/ inneholder formelgrunnlaget for å kunne dimensjonere en diffusor samt for å beregne fortyning og innblanding ved bruk av en slik konstruksjon.

Man skal være oppmerksom på at bruk av en diffusor medfører et forhøyet falltap for utløpsledningen. For større utløpsledninger kan dette falltapedet være i størrelsesorden 1-2 m.

Sekundærfortynningen av avløpsvannet skjer i fasen etter at det har funnet sitt nivå i resipienten, dvs. etter at hastighetsenergi fra utløpet og egenvektforskjeller er utjevnet. Sekundærfortynningen bestemmes i hovedsak av strømmønsteret i resipienten, som igjen bestemmes av tidevann, vind og lufttrykk. Et bilde av strømmen kan måles ved hjelp av strømmålere som monteres på ulike dyp i utløpsområdet. Også enklere strømkorsmålinger kan gi brukbar informasjon.

#### 4.5 BELASTNING FOR EN UTLØPSLEDNING

På grunt vann bør en utløpsledning belastes og sikres på vanlig måte mot erosjon, strøm, bølger og is.

Hvis det ikke er spesielle strømforhold i resipienten på dypere vann, vil riktig belastningsgrad her i hovedsak være avhengig av traséforholdene. Som rettledning kan benyttes verdier fra tabell 3, men det understrekes at lokale forhold må legges til grunn for en endelig bestemmelse av belastningsgraden.

Tabell 3. Anbefalt belastningsgrad for PE utløpsledninger.

Traséforhold	Belastningsgrad %
Avløpsledning som ligger med jevnt fall mot luftekum/utløp	30 - 40 %
Avløpsledning som ligger med høybrykk uten lufting	Inntil 100 % i høybrykk. For øvrig 30 - 40 %

For undervannsgrøfter og veking forøvrig, henvises det til VA/Miljø-blad nr. 44, «Legging av undervannsledninger» /1/.

#### 4.6 KONTROLL OG VEDLIKEHOLD AV EN UTLØPSLEDNING

En utløpsledning bør ha jevnlig ettersyn i form av ROV- eller dykkerkontroller. En slik kontroll kan forhindre skade på installasjonen før skadene blir for omfattende og kostbare å reparere. Dykking kan foretas ned mot 50 m vandndyp. Tilgjengelig bunn-tid er imidlertid sterkt begrenset på dette vandndypet. I praksis bør man benytte undervannsrobot (ROV) på vandndyp større enn 30-35 m for en lengre inspeksjon.

En inspeksjon bør gi svar på følgende punkter:

- Ledningens beliggenhet og stabilitet på bunnen.
- Evt. luftansamlinger i røret (har ledning lettet fra bunnen?).
- Erosjon rundt ledningen.
- Tilstand på belastningslodder, forankringer, sikringer.
- Tilstand på flenseforbindelser, bolter, muttere og andre ståldeler mhp. korrosjon.
- Tilstand på anoder.
- Gnagskader på rør i svevepartier eller anligg mot stein/fjell.
- Tilstand på tilkoblingspunkter, feks. lufteanordninger.
- Tilstand på ev. overløpsledninger.
- Tilstand og stabilitet på endearrangement.
- Begroing, sedimentering i ytre ende av utløpsledningen.

En utløpsledning krever et viss grad av vedlikehold. Ved å overvåke nivåer i utløpskum eller trykknivåer i pumper koblet til utløpsledningen kan man se utviklingen av falltapet i ledningen. Dersom falltapet øker, kan dette være begroing i utløpsledningen, sedimenter eller gass/luft. Det vil da være fornuftig å vurdere om man skal spyle eller kjøre en renseplugg gjennom utløpsledningen. Luftledninger bør spyles med jevne mellomrom for å unngå at disse går tett.

<i>Henvisninger:</i>		<i>Utarbeidet:</i>	<i>oktober 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. 44, Legging av undervannsledninger Nr. 45, Inntak under vann Nr. 80, Legging av undervannsledninger. Senking av ledning</i>	<i>Revidert:</i>	<i>februar 2018</i>	<i>Cowi AS</i>
		<i>/3/</i>	<i>PRA-rapport nr. 8, Luft i utslippsledninger</i>	
		<i>/4/</i>	<i>Rørbok-yttre rørledninger, ISBN 91-7332-186-9</i>	
		<i>/5/</i>	<i>PRA-rapport nr. 3, Bygging og drift av dyputslipp</i>	
<i>/2/</i>	<i>Forskrift om dykking. FOR-1990-11-30-944</i>	<i>/6/</i>	<i>PRA-rapport nr. 14, Dykket utslipp i resipient</i>	