

Erfaringer ved bygging og drift av dyputslipp

*PRA 5.2. Undersøkelse av eksisterende
dyputslipp i Norge*

AV

SIVILINGENIØR ØIVIND JOHANSEN
SIVILINGENIØR PH. D. PAUL LISETH

Rapport avsluttet mai 1973.

© NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING 1973

Sats: Grafisk kontor, NTNf – Oslo.
Trykk: Intertrykk A/S – Sandvika.

Innhold

| | |
|--|----|
| 1. INNLEDNING | 5 |
| 1.1 Historikk og målsetting | 5 |
| 1.2 Utførelse | 5 |
| 2. SAMMENDRAG AV OPPLYSNINGER OM EKSISTERENDE DYPUTSLIPP I NORGE | 6 |
| 3. BESKRIVELSE AV ET UTSLIPPSARRANGEMENT | 8 |
| 4. TRYKKSISTEM | 9 |
| 4.1 Gravitasjon | 9 |
| 4.2 Pumping | 13 |
| 5. UTLØPSLEDNING | 19 |
| 5.1 Trasévalg | 19 |
| 5.1.1 <i>Traséundersøkelse</i> | 20 |
| 5.1.2 <i>Eksempel på ledningstraséer</i> | 23 |
| 5.2 Rørmaterialer | 24 |
| 5.2.1 <i>Plastrør</i> | 25 |
| 5.2.2 <i>Trerør</i> | 29 |
| 5.2.3 <i>Asbestsementrør</i> | 30 |
| 5.2.4 <i>Støpejernsrør</i> | 31 |
| 5.2.5 <i>Betongrør</i> | 31 |
| 5.3 Krefter på utløpsledninger | 32 |
| 5.3.1 <i>Strøm og bølgekrefter</i> | 32 |
| 5.3.2 <i>Krefter på en utløpsledning p.g.a. luft eller gassansamlinger</i> | 33 |
| 5.3.3 <i>Oppdriftskrefter på en utløpsledning i ned- gravingsfasen</i> | 34 |
| 5.3.4 <i>Krefter på en utløpsledning p.g.a. overdekking</i> | 34 |
| 5.4 Ankring av utløpsledninger | 34 |
| 5.4.1 <i>Ledningen liggende på bunnen</i> | 36 |
| 5.4.2 <i>Ledningen svevende over bunnen</i> | 38 |
| 5.4.3 <i>Ledningen nedgravd</i> | 39 |
| 6. SPREDEANORDNING OG AVLØPSVANNETS PRIMÆR- FORTYNNING | 40 |
| 6.1 Spredeanordning – diffusor | 40 |
| 6.2 Plassering av utløpet | 43 |
| 6.3 Avløpsvannets primærfortynning | 45 |
| 7. HYDRAULISK DIMENSJONERING | 46 |
| 7.1 Beregning av nødvendig energihøyde for utledning av avløpsvann | 46 |
| 7.2 Dimensjonerende hastighet i utløpsledningen | 47 |
| 7.3 Spyling | 48 |
| 8. ØKONOMI | 49 |
| 9. REFERANSER | 52 |
| 10. FOTOPLANSJE | 53 |

1. Innledning

1.1. Historikk og målsetting

26. april 1968 ble det nedsatt et utvalg som fikk navnet Ressursutvalget til å utrede spørsmål om disponering av landets ressurser. 7. mars 1969 la Ressursutvalget fram sin første innstilling: — ”Forskningsprogram for rensing av avløpsvann” — kaldt PRA. Utvalget har sett det som meget viktig å komme fram til praktiske forskningsresultater på dette området så snart som mulig for å motvirke ytterligere forurensninger av våre vannforekomster. Forskningsprogrammet for rensing av avløpsvann, som er tenkt utført over en fem-års periode, omfatter følgende seks forskningsområder:

- PRA 1. Avløpsvannets mengde og sammen-
setning
- PRA 2. Rensing av avløpsvann, stabilisering og
avvanning av slam
- PRA 3. Bruk av terristiske resipienter for slam
og forurenset avløpsvann
- PRA 4. Transportsystemer
- PRA 5. Uslipp av forurenset vann i resipient
- PRA 6. Industriens avløpsproblemer

For å vurdere og prioritere prosjekter under forskningsprogrammet, ble det oppnevnt en prosjektkomite. Komiteen har for hvert forskningsområde oppnevnt en kontaktperson som har ansvaret for å fremme forslag til forskningsprosjekter.

Bakgrunnen for PRA 5: Utslipp av forurenset vann i resipient er at i de senere år har den økende belastning av avløpsvann til våre resipienter og de strengere krav til resipientens renhet, ført til at avløpsvannet må blandes inn i resipientens vannmasser langt mere effektivt enn tidligere. Utslipet er i dag et viktig teknisk anlegg i arbeidet med å redusere forurensningsvirkninger i resipienten.

De siste 10–12 år er det bygd et betydelig antall utslipp som fører avløpsvannet ut på dypt vann i resipienten. Byggingen av disse dyputslipp

har vært preget av at ingeniørene har hatt til dels liten erfaring og få retningslinjer å gå etter. Det er derfor et stort behov for å få utredet nesten alle sider ved utslippsarrangementet fra trykksystemet på land til spredning av avløpsvannet i resipienten. For å avklare behovene innen dette område ble det ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i september 1971 igangsatt et forskningsprosjekt med tittel: PRA 5.2. Undersøkelse av eksisterende dyputslipp. Dette prosjektet hadde følgende målsetting:

1. Sammenfatte eksisterende kunnskaper og erfaringer om dimensjonering, konstruktiv utforming, bygging- og driftsmessige forhold ved utslippsarrangementer.
2. Skaffe oversikt over problemer som bør søkes løst gjennom videre forskning.

På bakgrunn av bl.a. det arbeidet som er utført under dette prosjektet er følgende videre forskningsprosjekter igangsatt eller planlagt:

- PRA—5.1 Ytre krefter på utløpsledninger
- PRA—5.3 Luftansamling i utløpsledninger
- PRA—5.4 Sedimentering, begroing og selvrensing
i rør
- PRA—5.5 Spredeanordning og avløpsvannets primærfortynning
- PRA—5.7 EDB-program for avløpsvannets primærfortynning

1.2 Utførelse

Arbeidet med prosjektet: ”Undersøkelse av eksisterende dyputslipp” er utført i tre perioder.

I første periode ble kunnskap innsamlet ved litteraturstudier og studiereiser. En rekke konsulenter, rørleverandører og entreprenører i Norge og Sverige ble besøkt.

I andre periode besto arbeidet i å sende spørreskjemaer til ca. 200 kommuner fordelt over hele landet, ta imot svar og bearbeide dem. De enkelte kommuner som fikk tilsendt spørreskjemaer ble valgt ut etter kontakt med fylkesingeniørene.

I tredje periode ble 62 dyputslipp i følgende kommuner inspisert av dykkere: Hurum, Rygge, Vestby, Ringerike, Tjøme, Nøtterøy, Horten, Porsgrunn, Kragerø, Tromøy, Kristiansand, Lillesand, Stavanger, Sandnes og Bergen. Ved utvelgelse av ledninger for dykkerundersøkelsen var foruten type utslipp, reisetid og beliggenhet av flere ledninger i samme område bestemmende. Dykkerundersøkelsen ble gjennomført i tidsrommet 18. april – 18. august 1972.

Denne rapporten er en sammenstilling av kunnskaper og erfaringer innsamlet under prosjektet. De emner som skal tas opp i egne delprosjekter er her bare kort behandlet. Under arbeidet har følgende fremdriftsrapporter blitt sendt prosjektkomiteen:

Fremdriftsrapport nr. 1: avsluttet i januar 1972.

Fremdriftsrapport nr. 2: Reiserapport avsluttet i august 1972.

Fremdriftsrapport nr. 3: Sammenstilling av data om dyputslipp i Norge innsamlet ved hjelp av spørreskjemaer tilsendt 200 kommuner. Avsluttet i september 1972.

Fremdriftsrapport nr. 4: Rapport fra feltundersøkelsen av 62 dyputslipp ved hjelp av dykkere. Avsluttet i september 1972.

Foruten de to saksbehandlere har ingeniør Erik Ravdal NIVA og dykker Olav Rusten, deltatt i prosjektet.

Under innsamling av data og erfaringer har de institusjoner, firmaer og enkeltpersoner som ble kontaktet vist stor imøtekommenhet. Vi vil i den anledning uttrykke vår takk til alle som har bidratt i prosjektet.

2. Sammendrag av opplysninger om eksisterende dyputslipp i Norge

Arbeidet med dette prosjektet har vist at det er lite litteratur som omhandler konstruksjonsmessige og driftsmessige forhold ved et dyputslipp. Årsaken er at det først i de siste 10–12 årene har vært særlig aktuelt å bygge denne type utløpsarrangement. Av samme grunn har det vist seg at konsulentfirmaer, rørfabrikanter og entre-

prenører, som har arbeidet med utløpsledninger, ennå i dag har få erfaringsdata å hjelpe seg med.

Spørreskjemaene ble tilsendt 200 kommuner og gjaldt kommunale utslipp på minst 10 m dyp. Skjemaene inneholdt spørsmål om utløpsledningenes lengde, utslippsdyp, type og mengde avløpsvann, rensegrad, ledningsmateriale og dimensjon, belastningsvekter, alder, kostnader etc. 69 av de spurte kommuner har bekreftet at de har dyputslipp og besvarte spørreskjemaene. I alt er det innsamlet opplysninger om 208 dyputslipp. I det etterfølgende gis et sammendrag av de viktigste data.

RØRMATERIALE

180 eller 86,5% er polyeten (PEH eller PEL) ledninger

9 eller 4,3% er polyvinylklorid (PVC) ledninger

8 eller 3,8% er treledninger

4 eller 1,9% er asbestsementledninger

3 eller 1,5% er Noreplastledninger. (Disse ledninger er også av polyeten, men er så spesielle at de ikke tas med blant de 180.)

2 eller 1% er betongledninger

2 eller 1% er støpejernledninger

ALDER

På figur 1 er vist en oversikt over anleggsår for 139 stk. PEH og PEL-ledninger fra 1960 til 1971.

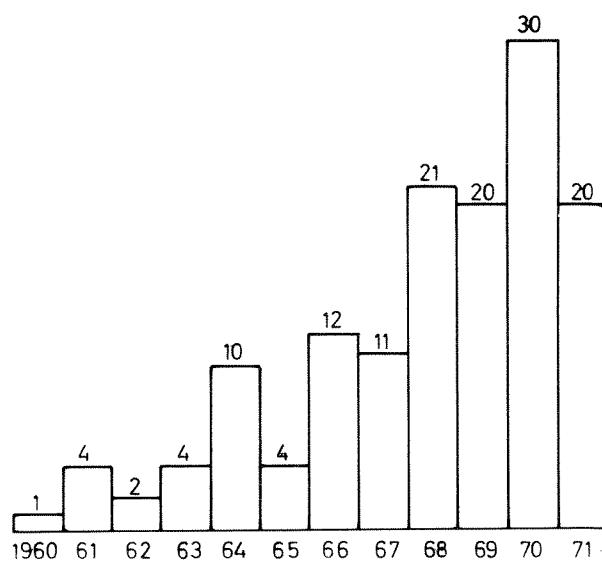


Fig. 1. Oversikt over anleggsår for 139 stk. PEH- og PEL-ledninger.

Figuren viser hvordan leggingen av utløpsledninger økte etter at polyetenledningene kom inn på markedet tidlig i 1960-årene. Det går fram at halvparten avledningene er bygd de siste tre år av denne periode.

DIMENSJONER

For de 180 polyetenledningene
er middellengden = 200 m
Middelutslippsdypt = 18 m
Rørdiamenteren varierer fra 150 mm til 700 mm
og med middel på 300 mm.

VANNMENGDE OG HASTIGHET

Det er foretatt beregninger på mengden avløpsvann i utløpsledningene. Som forutsetninger er satt en avløpsmengde på 300 l/p.d., time- og døgnfaktor lik 1 og ikke noe overvann eller infiltrasjonsvann. Disse forutsetninger gjelder ved tørrværsavrenning, og gir de laveste vannmengder med de ugunstigste forhold i utløpsledningene.

For 123 utløp var opplysningene fra kommunene så gode at det var mulig å regne på vannmengdene. Resultatet ble:

- I 86 ledninger, eller 70% er midl. tørrværs-hastighet < 0.1 m/s
- I 108 ledninger, eller 88% er midl. tørrværs-hastighet < 0.6 m/s

RENSEGRAD

For 148 utløpsledninger var det oppgitt hva slags rensing det er på avløpsvannet.

- For 60 eller 41% er avløpsvannet urenset
- For 50 eller 34% kommer avløpsvannet fra septiktanker
- For 26 eller 17% kommer avløpsvannet fra slamavskillere
- For 9 eller 6% kommer avløpsvannet fra mekaniske renseanlegg
- For 3 eller 2% kommer avløpsvannet fra biologiske renseanlegg

SKADER

Ser en på skadene, viser det seg at blant de 180

polyetenledningene har det vært 57 tilfelle av alvorlige skader hvorav

| | |
|----------------------------|------------------|
| 30 tilfelle av tilstopping | — (16,5% av 180) |
| 23 tilfelle av oppflyting | — (13,0% av 180) |
| 4 tilfelle av brudd | — (2,2% av 180) |

Hvis man i tillegg til disse alvorlige skadene tar med tilfelle av delvis tilstopping eller oppflyting, slamansamling, korrosjonsskader osv., kommer man opp i ca. 70 registrerte skadetilfelle, — (39% av 180). Det gjøres oppmerksom på at det noen steder har vært flere skader på samme ledning. 29 eller 21,5% av de 180 polyetenledningene har hatt driftsstopp en eller flere ganger. Med driftsstopp menes tilstopping, oppflyting eller brudd.

Ser man samlet på de 28 utløpsledninger som har rørmateriale PVC, tre, asbestement, Noreplast, støpejern eller betong, viser det seg at det er registrert 10 tilfelle av alvorlige skader hvorav

| | |
|---------------------------|-----------------|
| 4 tilfelle av tilstopping | — (14,5% av 28) |
| 2 tilfelle av oppflyting | — (7,2% av 28) |
| 4 tilfelle av brudd | — (14,5% av 28) |

I alt er det på disse utløpsledninger registrert tilsammen 14 mer eller mindre alvorlige skadetilfelle, — (50% av 28). 10 eller 36% avledningene i denne gruppen har hatt såkalt driftsstopp en eller flere ganger.

Sammenliknes skadeprosentene for polyetenledningene med de tilsvarende for gruppen av de andre materialene, fremgår det at skadeprosenten for tilstopping er omtrent lik. Dette er rimelig da faren for tilstopping bare i liten grad er avhengig av ledningsmaterialet.

Skadeprosenten for oppflyting er dobbelt så stor for polyeten som for den andre gruppen. Dette skyldes at de fleste materialene i den sistnevnte gruppen er tyngre enn polyeten og derfor ikke så utsatt for å flyte opp.

Skadeprosenten for brudd er minst for polyetenledningene. Dette fordi polyeten er et fleksibelt materiale som har vist seg bedre å tåle de bøyepåkjenningene som en utløpsledning utsettes for.

Årsakene til tilstopping kan forklares ved:

- 1) Lav hastighet uten selvrensing i utløpsledningen i lange perioder.
- 2) Avløpsvannet som går i utløpsledningene er i alminnelighet dårlig rensset.

Årsakene til oppflyting skyldes flere forhold:

- 1) Utløpskummen er slik konstruert og plassert

at luft blir dratt med i inntaket til utløpsledningen.

- 2) Sedimenter og slamansamlinger i ledningen kan avgi gasser.
- 3) Ledningen kan ligge med høybrekk hvor evt. gass eller luft lett samler seg.
- 4) Vektbelastning eller festet av ledningen til bunn er for dårlig.

3. Beskrivelse av et utslippsarrangement

Utslipet av avløpsvann i en resipient må betraktes som en integrert del av et avløpssystem. Avløpssystemet vil omfatte tekniske tiltak innen følgende områder:

1. Oppsamling og transport av avløpsvannet.
2. Rensing av avløpsvannet.
3. Utslipp av avløpsvannet i resipient.

Mens et renselanlegg har til oppgave å fjerne forurensningskomponenter fra avløpsvannet, skal utslippet besørge transport ut i resipienten med spredning og deponering av resterende forurensninger i et område hvor skadevirkningene blir minst mulig.

For få år tilbake nøyde man seg med å la avløpsvannet sive ut i strandsonen. Det forurensede avløpsvann fikk her god anledning til å sette sine uestetiske og skjemmende spor. Strengere krav til resipientens renhet, samtidig med en øket belastning av forurensninger har i løpet av det siste tiår ført til bygging av dyputslipp på en rekke steder for å få blandet avløpsvannet inn i resipientens vannmasser langt mer effektivt enn tidligere. Prinsippet ved virkemåten til et utslippsarrangement er vist på figur 2.

Ledningsnett på land ender vanligvis i en utløpskum som kan ha følgende funksjoner:

1. Trykkbasseng — for at avløpsvannet skal føres ut til utslippsstedet gjennom utløpsledningen er det nødvendig med en trykkehøyde, H , i bassenget.
2. Sedimenteringsbasseng — for å hindre at uønskede gjenstander ledes ut i utløpsledningen.
3. Inspeksjons- og reparasjonskum — for å ha mulighet til å vedlikeholde utløpsledningen ved f.eks. staking, spyling og rensing.
4. Luftebasseng — for at luft ført med av avløpsvannet skal ha mulighet til å unnvike.
5. Utjevningsbasseng — for å dempe vannføringsvariasjoner.

Fra utløpskummen føres avløpsvannet i utløpsledningen ned til utslippspunktet i resipienten. Vanligvis er ledningen nedgravd fra utløpskummen til ca. 3–5 dyp. Derfra ligger den som oftest oppå bunnen. Enden av ledningen er plassert enten direkte på bunnen eller er festet til et arrangement som sikrer utløpet et par meter over bunnen. Avløpsvannet føres vanligvis i dag ut gjennom enden av utløpsledningen. For å oppnå en bedre innblanding av avløpsvannet kan en spredeanordning festes til utløpsledningens ytre ende. En spredeanordning fordeler avløpsvannet gjennom flere stråler ut i et større vannvolum i resipienten. Under denne primærfortynningsfasen vil avløpsstrålens kinetiske energi overføres til omgivelsen i form av turbulens som gir en intens oppblanding av avløpsvannet. Slippes avløpsvannet ut i tyngre omliggende vann, vil gravitasjonskrefter gi en oppadstigende bevegelse av avløpsstrålen med innlagring av det fortynnede avløpsvann ved overflaten eller neddykket i et sprangsjikt. Primærfortynningen kan i stor grad

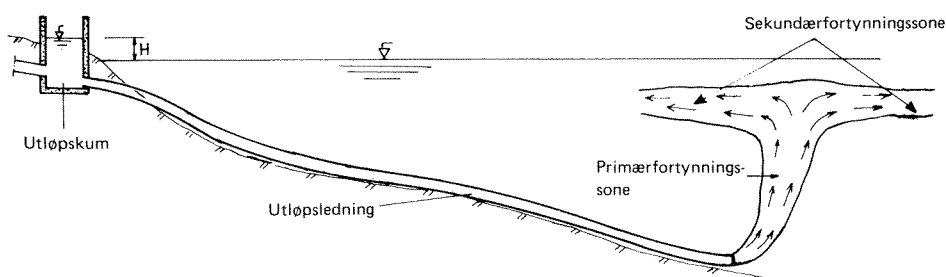


Fig. 2. Utslippsarrangement.

bestemmes ved utforming av utslippsarrangementet fordi hastighet på avløpsstrålen, diameter på utløpsåpningen samt utslippsdyp er avgjørende parametre.

Etter innblanding i resipientens vannmasser vil den videre fortykning være bestemt av de lokale strømmer i resipienten og turbulent diffusjon. Denne fortykningen kalles sekundærfortynning, og den kan ikke påvirkes ved konstruksjon av dypvannutslippet på annen måte enn at utslippet plasseres på det sted i resipienten der de hydrografiske forhold som strøm, tetthet o.s.v. er gunstigst mulig.

4. Trykksystem

Med trykksystem menes den konstruksjon hvorfra avløpsvannet blir drevet inn i utløpsledningen med overtrykkshøyde H – se figur 2. Denne trykkhøyde er nødvendig for at avløpsvannet skal overvinne friksjonen i utløpsledningen, eventuell egenvektforskjell mellom avløpsvann og resipientvann, og for at avløpsvannet skal ha en viss utgangshastighet i det det forlater utløpsledningen.

På figur 2 er trykksystemet vist som en kum bygd på land like ved vannkanten. Hvis kummen sløyfes, slik at landleddningen går direkte over i undervannsledningen, vil dette få lite å si for trykkhøyden. Denne måten å bygge et trykksystem på har derimot andre svakheter som skal omtales senere i dette kapittel.

I over 90% av tilfellene er trykksystemet bygd opp som vist på figur 2, basert på gravitasjon. Topografiske forhold, og lange utløpsledninger der friksjonstapet er stort, krever i enkelte tilfelle at pumper må installeres for å oppnå den nødvendige trykkhøyde for en forsvarlig drift av utslippsarrangementet.

4.1 Gravitasjon

Selv om alle utløpskummene ved gravitasjonsutløpsledninger i prinsipp virker som vist på figur 2, er det mange varianter å finne. Som utgangspunkt for dimensjonering og utforming i forskjellige tilfelle, skal i det følgende de enkelte funksjoner til utløpskummen nærmere beskrives.

SEDIMENTERINGSBASSENG

Om utløpskummen bør virke som sedimenteringsbasseng er helt avhengig av hva slags avløpsvann en har med å gjøre. Hvis vannet har gjennomgått en mekanisk, biologisk eller kje-

misk renseprosess, skal det være så rent at større sedimenterbare partikler ikke finnes, og dermed er sedimenteringsfunksjonen unødvendig. Her i landet er det i dag mest vanlig å finne at avløpsvannet er lite rensert ved siden av at det ofte går overvann i ledningsnett. Det må derfor regnes med at avløpsvannet kan føre med seg slam og faste partikler i betydelig mengder. Hvis utløpsledningen og hastigheten er stor nok, vil dette materialet kunne ledes videre ut i resipienten.

I denne undersøkelsen av eksisterende dyputslipp har det blitt registrert 34 tilfelle av tilstopping. Som en generell regel bør derfor avløpsvannet, før det ledes ut i utløpsledningen, passere et grovsedimenteringsbasseng og ristarrangement. Dette bør bygges i en egen enhet før selve utløpskummen. Hvis dette ikke lar seg gjøre, bør selve utløpskummen utformes som vist på figur 3.

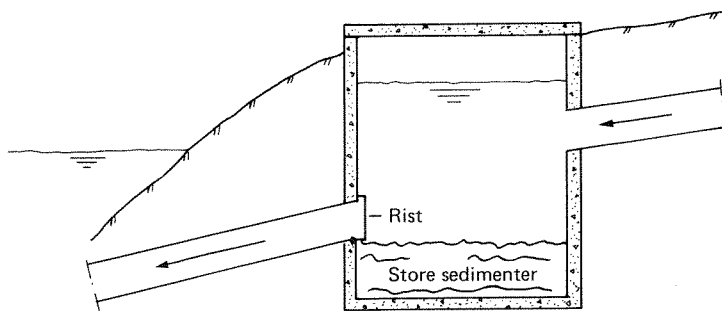


Fig. 3. Utløpskum med sedimenteringsenhet og rist.

Denne løsning krever at kummen jevnlig tømmes for sedimenter, og at risten holdes ren.

Hvis avløpsvannet bare fører med seg mindre partikler og slam som kan føres ut i resipienten, bør utløpskummen utformes i prinsipp som vist på figur 4.

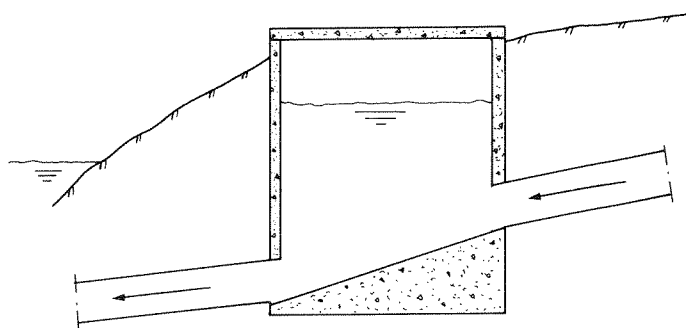


Fig. 4. Utløpskum for avløpsvann som på forhånd minst har passert sandfang og rist.

INSPEKSJONS- OG REPARASJONSKUM

Denne funksjonen er viktig fordi det kan være behov for å kunne rense eller spyle utløpskum og ledning. Et eksempel på en utløpskum med innebygget spylemulighet er vist på figur 5. På utløpsledningen er det påmontert ventil og brannslangekobling. Ved å stenge med ventil (1), koble til trykkvannsledning ved stigerøret (2) og åpne ventil (3), kan utløpsledningen spyles.

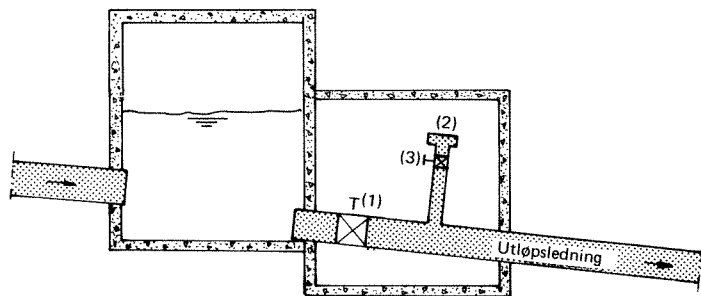


Fig. 5. Utløpskum med arrangement for spyling av utløpsledning.

Denne type er benyttet i flere kommuner med god erfaring. Det er viktig at det settes opp et tidsprogram for spyling. I stedet for å vente til ledningen er tett, bør denne spyles jevnlig.

Hvis utløpsledningen skal repareres, eller hvis det er ønskelig å skjøte på en ny ledning for å forlenge den gamle, kan dette for plastledninger gjøres ved at det blåses luft i ledningen via utløpskummen. I de aller fleste tilfelle vil ledningen da komme opp til overflaten. Man reparerer eller skjøter så ledningen og senker den igjen ved å slippe ut luften.

LUFTEBASSENG

Fjerning av luft i avløpsvannet er en av de aller viktigste funksjoner for en utløpskum, fordi luft som føres inn i selve utløpsledningen er en stor trussel for driften av den. For ialt 180 polyetenledninger er det registrert 23 tilfelle av at ledninger har flytt opp. I tillegg kan en nok regne med at luftlommer som har gitt deler av ledninger motfall, er skyld i noen av de 30 tilfellene som er registrert som tilstopping. Av disse tall går det tydelig frem at luft ikke må tillates å komme ut i utløpsledningen med mindre ledningen med vektbelastning er dimensjonert og lagt med tanke på det.

Landleddingen kan ledes inn i utløpskummen på flere måter. Figurene 6 og 7 viser to eksempler.

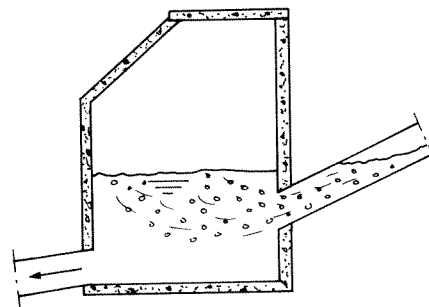


Fig. 6. Utløpskum med dykket innløp.

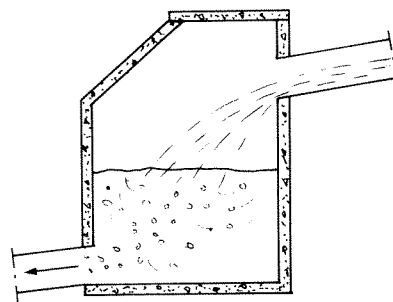


Fig. 7. Utløpskum uten dykket innløp.

På figur 6 er både den innkommende og utgående ledning dykket, mens på figur 7 er den innkommende ledning ikke dykket. I svært mange tilfelle er det terrengforholdene som bestemmer hvor ledningen kommer inn i kummen. Prinsippet vist på figur 6, betyr ofte at grøften på landleddingen blir svært dyp.

Når det gjelder problemet med luft i utløpsledninger og hvordan man best hindrer det, er det ikke tvil om at figur 6 gir den beste løsningen. I tilfellet vist på figur 7, vil store mengder luft kunne bli blandet inn i vannet i kummen og derved ha muligheter for å følge med ut i utløpsledningen. Mengden av innblandet luft samt hvor dypt ned i vannet luften blir blandet, er bl.a. avhengig av vannføring og fallhøyde, og er vanskelig å forutsi. Luftbobler i avløpsvannet vil p.g.a. oppdrift søke å unngå til overflaten. Stigehastigheten er avhengig av boblenes størrelse og form.

I tilfellet vist i figur 6, vil luft kunne være blandet med avløpsvannet, for i overgangen mellom ikke fylt og fylt tverrsnitt på det innkomne rør foregår en innblanding. Det er viktig at vannmassene blir bremsset opp i utløpskummen slik at luften får tid til å unngå før avløpsvannet går videre ut i utløpsledningen. Prinsippet må derfor bli å legge inntak og uttak i utløpskummen lengst mulig fra hverandre og

inntaket så høyt som mulig i forhold til uttaket, men fortsatt neddykket.

Et problem som det ofte ikke blir tatt hensyn til ved konstruksjon av utløpskummer er at virveldannelse kan føre luft inn i utløpsledningen. Prinsippet er vist på figur 8.

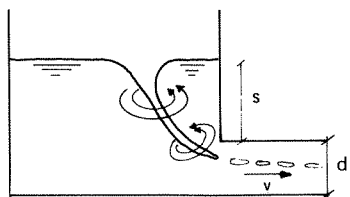


Fig. 8. Luftsugende virvel.

Når slike luftsugende virvler vil danne seg er vanskelig å forutsi, men symmetrien i utløpskummen er her ofte en viktig faktor.

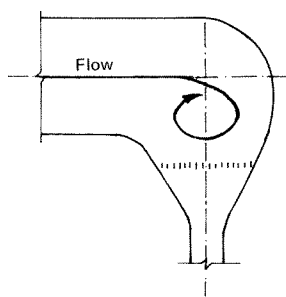


Fig. 9. Usymmetrisk tilstrømning (Horizontalsnitt).

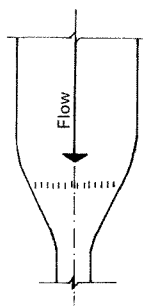


Fig. 10. Symmetrisk tilstrømning (Horizontalsnitt).

Inntaket vist i figur 9 er mer utsatt for virveldannelse enn inntaket vist i figur 10.

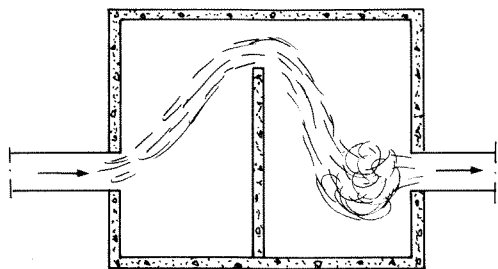


Fig. 11. Delevegg i utløpskum har her ført til usymmetri og virveldannelse (Horizontalsnitt).

I figur 11 er vist et tilfelle hvor man økte oppholdstiden i kummen ved å sette inn en skillevegg. En negativ effekt var at det dannet

seg en permanent luftsugende virvel ved inntaket til utløpsledningen p.g.a. lokal hastighetsøkning.

For en del kraftverksinntak er det foretatt undersøkelser om hvilken neddykking som er nødvendig for å hindre virveldannelse med luftinnsugning, referanse 1. Følgende empiriske formel er fremkommet:

$$s = C \cdot v \cdot (d)^{1/2}$$

s = neddykking, se figur 8.

C = konstant og avhengig av de geometriske forhold.

v = hastigheten i utløpsledning, se figur 8.

d = diameteren i utløpsledning, se figur 8.

Denne formel kan ikke uten videre overføres til å gjelde for utløp i en utløpskum, men den viser hvilke parametre som er av betydning. Det finnes i dag ingen sikre kriterier for hvor stor neddykking utløpet i kummen skal ha. Det er enighet om at utløpet bør være neddykket, og ofte settes en minimumsgrense på ca. 50 cm. Selv om det teknisk er mulig å gjennomføre, kan en løsning med neddykket inntak være urealistisk økonomisk p.g.a. terrengforholdene på stedet eller stor forskjell på høy- og lavvann. Det bygges derfor utløpsledninger der inntaket til ledningen i kummen ikke bestendig er neddykket. I slike tilfelle må en ta hensyn til at avløpsvannet vil føre med seg luft ut i ledningen. Det kan danne seg et vannstandsprang nede i utløpsledningen hvor luft vil bli blandet inn i avløpsvannet. Betingelsene for at en slik utløpsledning skal fungere, er at ledningen hele veien legges med godt fall, slik at luft i ledningen har størst mulig sjanse til å gå motstrøms når vannmengden og vannhastigheten tillater det, og at vektbelastningen på ledningen velges så stor at ledningen vil ligge i ro selv om den enkelte ganger kan være fylt med store mengder luft.

Hva som kan skje i ledninger lagt under slike forhold skal belyses i et eksempel fra et eksisterende anlegg. Figur 12 viser traséen til en utløpsledning der utløpskummen ligger 13 m over resipientnivå.

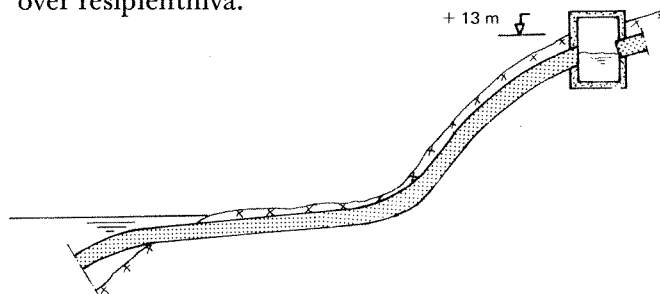


Fig. 12. Utløpsarrangement med utløpskum 13 m over resipientnivå.

Ved befaring på dette anlegget var tilrenningen kraftig p.g.a. langvarig regnvær. Vannet som gikk ut i utløpsledningen med stor hastighet, dro med seg luft. Ledningstverrsnittet var bare 3/4 fylt i kumnivå. Lavere nede gikk ledningen full, og hastigheten ble mindre. Luft, dratt med ut i ledningen, samlet seg et eller annet sted fra det flate partiet og utover og reduserte kraftig tverrsnittet der avløpsvannet kunne gå. Den nødvendige trykkehøyde som trengtes p.g.a. dette, økte kraftig, og oppstuvningen gikk helt opp til kummen på + 13 m. Avløpsvannet var nær ved å flyte over kummen, noe som tydeligvis hadde skjedd før fordi kloakkslam lå rundt kummen og nedover fjell-siden. Den reduserte hastighet og stor ansamling av luft førte til at luften klarte å gå motstrøms igjen. Dette skjedde ved at store luftbobler med kraftig støy kom motstrøms i ledningen og boblet ut i utløpskummen så vannspruten sto. Dermed ble tverrsnittet på ledningen tilgjengelig for vannet igjen, og oppstuvningen helt opp i utløpskummen var ikke nødvendig for den aktuelle vannføringen. Vannstanden sank derfor hurtig, utløpet ble igjen delvis liggende over vann, og luft ble revet med. Dette hendelsesforløp gjentok seg med en periode på ca. 1 minutt.

Problemene i forbindelse med luft i utløpsledninger omtales i et eget avsnitt og skal senere utredes i et eget forskningsprosjekt.

UTJEVNINGSBASSENG FOR VANNFØRINGSVARIASJONER

Vannmengden i et avløpssystem vil variere, særlig hvis ledningsnettets også fører overvann. Dette forårsaker varierende vannføringer i utløpsledningen og varierende nivåer i utløpskummen. Utløpskummens høyde må dimensjoneres på bakgrunn av variasjonene i avløpsmengde og vannnivået i resipienten. Tillates ikke noe overløp fra kummen, må dens høyde bestemmes ut fra maksimal avløpsmengde og høyeste vannstand i resipienten. Normalt vil en utløpskum måtte dimensjoneres for et visst overløp under ekstreme forhold. Egen dykket overløpsledning er derfor ofte nødvendig. Figur 13 viser et eksempel på et overløp. Denne løsningen vil lett medføre at luft blir revet med i overløpsledningen. Kan dette ikke tillates, vil det være nødvendig å bygge egen utløpskum for overløpsvannet.

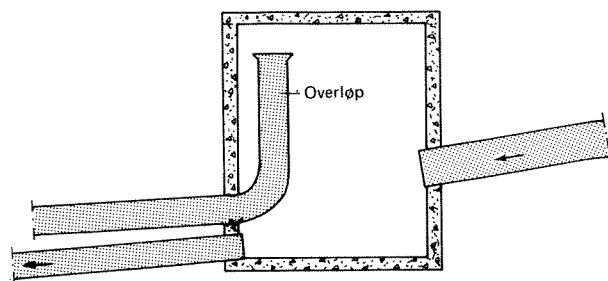


Fig. 13. Utløpskum med overløp.

Er variasjonene i vannføringen momentane og kraftige nok, vil det kunne føre til ekstreme vannivåer i utløpskummen. Dette er særlig et aktuelt problem hvis man har pumpeledning, og problematikken med beregningsgrunnlaget tas opp igjen der.

I det følgende skal vises enkelte eksempler på litt spesielle utløpskummer.

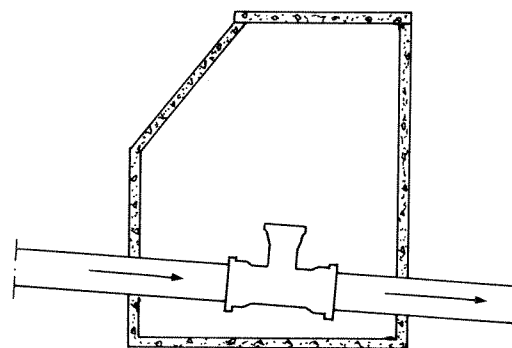


Fig. 14. Innløp og utløp i utløpskummen er koblet sammen.

I figur 14 er det inngående og det utgående rør koblet sammen. Her vil hastigheten på avløpsvannet ikke minske i kummen, men følge korteste vei videre i utløpsledningen. Eventuell luft i vannet vil her ha liten tid til å unnsnippe.

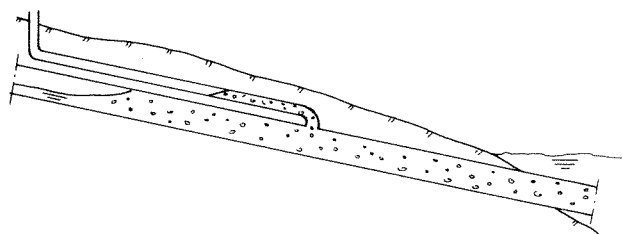


Fig. 15. Lufteør montert på en utløpsledning.

Det samme vil skje i tilfellet vist i figur 15. Vannmassene vil fare alt for raskt forbi utluftningspunktet. Det burde her vært en utvidelse av utløpsledningen for å bremse på vannhastigheten.

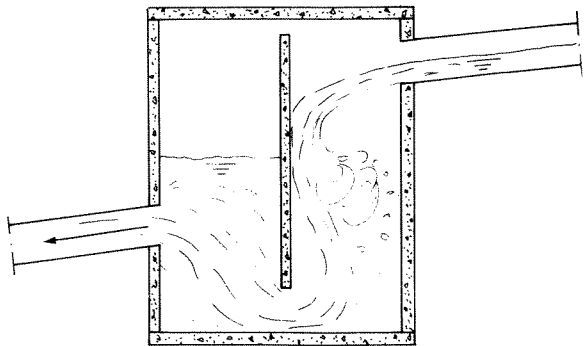


Fig. 16. Delevegg i utløpskum virker som energidreper og øker oppholdstiden til avløpsvannet. (Vertikalsnitt).

Figur 16 viser et eksempel på delevegg i en kum som vil dempe den kinetiske energien på det innkomne vann, samt gjøre oppholdstiden lengre, slik at luft får tid til å unnvike. Oppholdstiden er også øket i tilfellet vist på figur 11, men her har deleveggen ført til virveldannelse.

I figur 17 er det i prinsipp vist hvordan man kan sikre neddykking av inntaket samt unngå store gravearbeider i tilfelle hvor det er langgrunt, og med stor forskjell på høy- og lavvann. Her må advares mot luftansamling i høydepunktet.

For å unngå høye frittstående utløpskummer, evt. reduserer gravearbeidet på land, kan kummen legges på skrå mer i flukt med terrenget.

4.2 Pumping

Som nevnt kan det være nødvendig enkelte steder å bygge pumpestasjon for at avløpsvannet skal få den nødvendige energi for transport ut i utløpsledningen. På figur 18 vises i prinsipp en god løsning for et pumpesystem.

Fra ledningen kommer avløpsvannet inn i pumpesumpen. Derfra pumpes vannet over i et fordelingsbasseng som virker som en vanlig utløpskum for en gravitasjonsledning.

SEDIMENTERINGSBASSENG

Det må stilles krav til renhet på det avløpsvannet som kommer inn i pumpesumpen, fordi en pumpe raskt slites ned eller stoppes til hvis

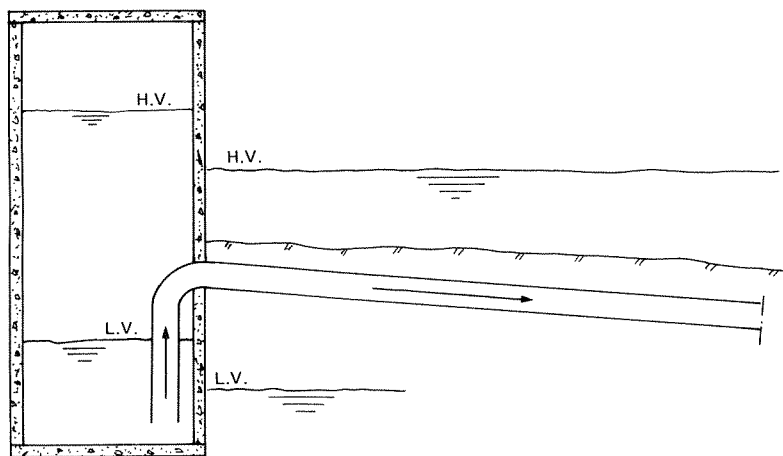


Fig. 17. Arrangement i utløpskum for å sikre neddykket inntak til utløpsledningen.

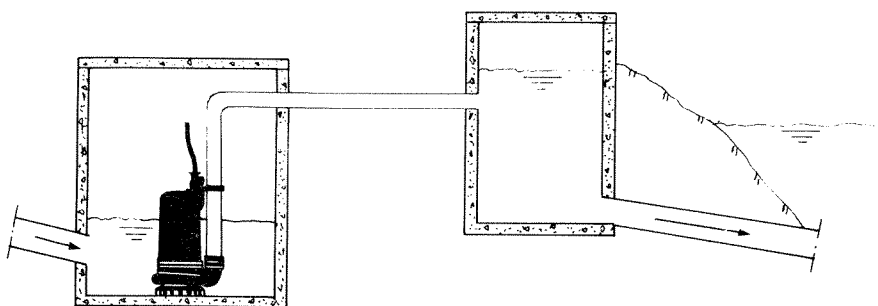


Fig. 18. Pumping via en utløpskum.

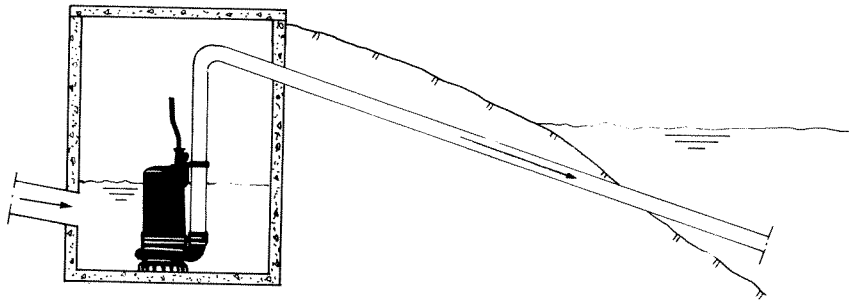


Fig. 19. Pumping direkte på utløpsledningen.

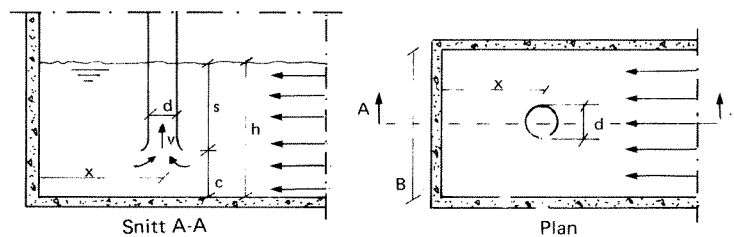


Fig. 20. Inntak i pumpeump.

vannet inneholder mye sand, grus, tøyfiller og liknende ting.

Det er konstruert pumper spesielt beregnet på urensset kloakkvann, men minstekravet bør være at før pumpeumpen må det monteres et sandfang med rist, evt. en kloakkvern. Derfor bør ikke en pumpeump ha noen sedimenteringsfunksjon. I praksis vil imidlertid innsugingen til pumpen skje et stykke over bunnen, og det vil være nødvendig med visse mellomrom å renske opp bunnen i pumpeumpen.

INSPEKSJONS- OG REPARASJONSKUM

Her henvises til det som er skrevet tidligere for gravitasjonsledninger. Utløpskummen vil også her være arbeidsplassen ved rensking, staking og spyling av utløpsledningen.

I mange tilfelle er utløpskummen blitt sløvfet som vist på figur 19. Her pumper avløpsvannet direkte inn i utløpsledningen.

Bruk av redskap i utløpsledningen fra landenden blir på denne måten vanskelig.

LUFTEBASSENG OG UTJEVNINGSBASSENG

Som i gravitasjonsledninger kan luftinnsugning også være et problem i pumpeledninger. Her er det av betydning om pumpeystemet er bygd som vist på figur 18 eller på figur 19. Hvis avløpsvannet blir pumpet direkte ut i ledningen som vist på figur 19, vil eventuell luft sugd inn i pumpen, også gå direkte ut i ledningen, evt. samle seg i høybrekket like etter pumpen. En luftpropp i ledningen vil nedsette pumpeeffekten i vesentlig grad, samtidig som faren for oppflyting er til stede. Det er derfor meget viktig å motvirke at det danner seg luftinnsugende virvler i pumpeumpen. Dette problem er beskrevet tidligere for en utløpskum. Her skal i tillegg taes med noen opplysninger fra litteraturen om pumpeinntak av type vist på figur 20, referanse 2.

Avgjørende faktorer for muligheten for virveldannelse med innsuging av luft er inntakets dybde s , det totale vanddyb h , inntakets diameter d , innsugningshastighet v , samt pumpeumpens geometri.

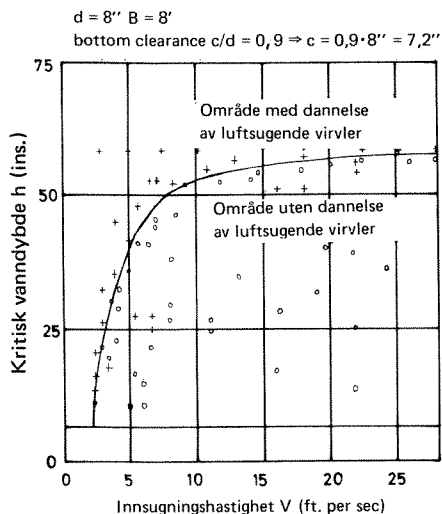


Fig. 21. Data fra forsøk med dannelse av luft sugende virvler.

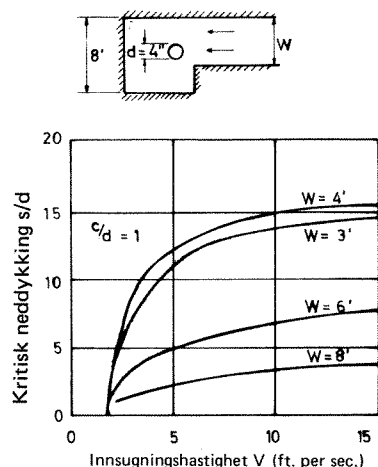


Fig. 22. Betydning av usymmetrisk tilstrømming på dannelsen av luft sugende virvler.

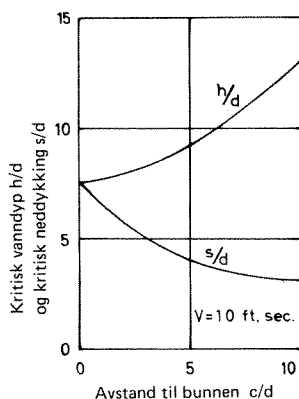


Fig. 23. Betydning av avstand til bunnen på dannelsen av luft sugende virvler.

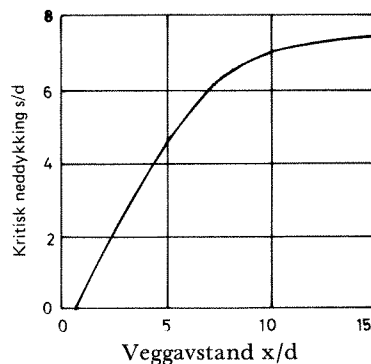


Fig. 24. Betydning av veggavstand på dannelsen av luft sugende virvler. Innsugningsrøret er plassert langs senterlinjen i sumpen.

Figur 21 viser en kurve som gir resultatet av forsøk på å finne hvilken neddykking inntaket må ha ved forskjellige innsugningshastigheter for at luft sugende virveldannelse skal unngås.

Figur 22 viser hvilken effekt usymmetrisk tilstrømming har på nødvendig neddykking.

Figur 23 viser effekten av avstanden mellom bunn og inntak.

Figur 24 viser effekten av plasseringen av inntaket i forhold til endeveggen i pumpesumpen.

Figur 25 viser resultatet av forsøk med forskjellige utforminger av inntaket.

Konklusjonen er at de gunstigste forhold oppnåes hvis hastigheten i innløpet er liten, hvis tilstrømmingen er symmetrisk, hvis inntaket har en god avstand fra bunnen, og hvis inntaket er plassert så nær endeveggen i pumpesumpen som mulig.

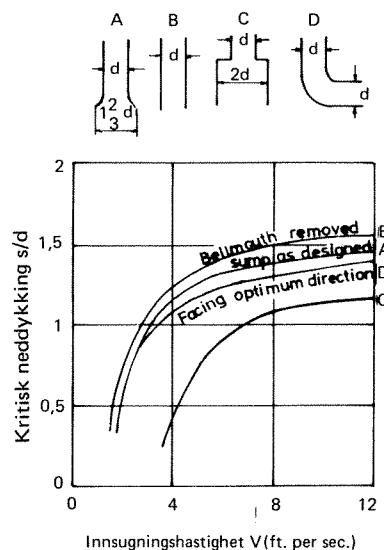


Fig. 25. Effekten av forskjellige utforminger av inntaket på dannelsen av luft sugende virvler.

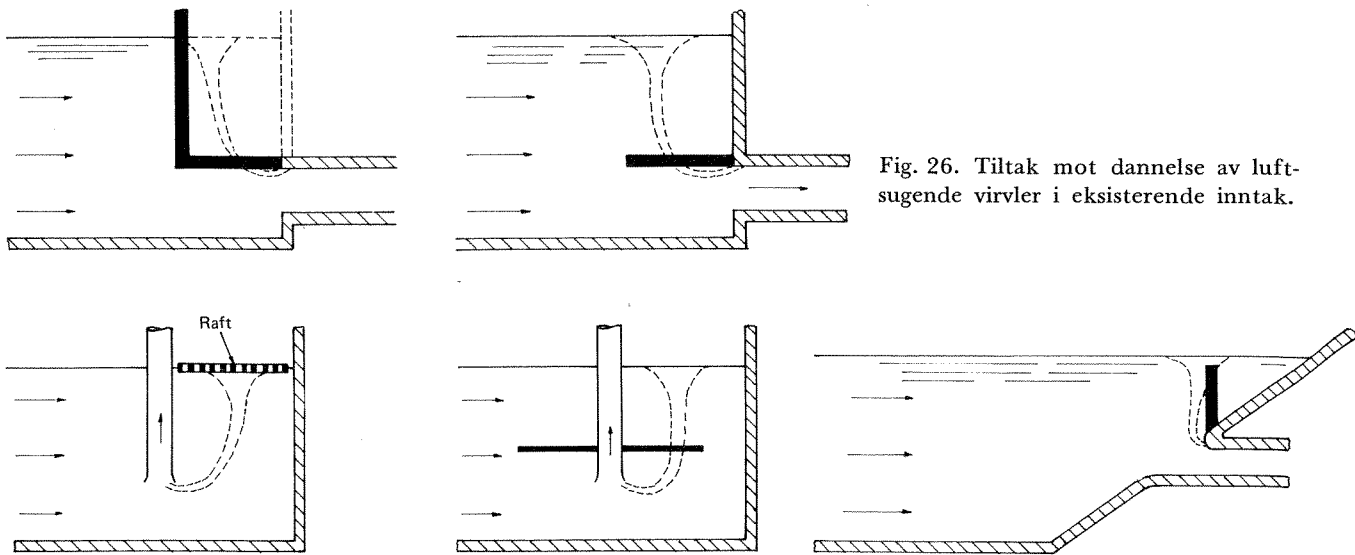


Fig. 26. Tiltak mot dannelse av luft-sugende virvler i eksisterende inntak.

Hvis man i et eksisterende anlegg har problemer med luft-sugende virvler, kan det være vanskelig å gjøre noe med geometrien. Man kan i slike tilfelle forsøke med løsninger som vist på figur 26.

I tilfellet med en pumpestasjon bygd i prinsipp som vist på figur 19, vil pumpen, hvis nivåbryterne i sumpen streiker, snart kunne suge en blanding av luft og vann som føres direkte ut i ledningen.

Ved pumpestart og stopp, kan det ved uheldig konstruksjon av pumpeumpen også være fare for at luft blir ført med ut i utløpsledningen. Det må være en viss avstand mellom det nivå i sumpen som pumpen kobles ut ved og nivået på inntaket til pumpen, fordi vannet i ledningen ved pumpestopp p.g.a. treghet trenger en viss tid på å stoppe opp. I denne retardasjonsperioden vil vann fortsatt suges ut i ledningen fra pumpeumpen.

Det finnes eksempler på pumpestasjoner der det i høybrekket er montert en ventil for manuell utlufting. En bedre løsning er et opplegg som tillater at eventuell luft slipper ut øyeblikkelig. Dette kan oppnås ved at det påmonteres et åpent utluftningsrør som ledes tilbake i pumpeumpen eller over høyeste trykknivå.

Bygger man opp et pumpeystem som vist på figur 18, blir faren for at luft føres inn i utløpsledningen betydelig redusert fordi luften kan unngå i utløpskummen etter pumpeumpen.

Trykkstøt ved på og avslag vil bli vesentlig dempet i utløpskummen, hvor det oppstår svingninger i vann-nivået. Utløpskummen må derfor være så dyp at vann-nivået i den etter pumpestopp ikke synker under innløpet til utløpsled-

ningen. Likeledes må kummen være så høy at den kan oppta nivåøkningen etter pumpestart.

I det følgende skal det vises hvordan svingningene i vannivået i utløpskummen kan beregnes for et utslipp hvor avløpsvannet fritt kan strømme ut av utløpsledningens ende. Avgjørende parametre er vist på figurene 27 og 28.

- Q_I = innkommende avløpsmengde fra pumpe
- Q_U = utgående avløpsmengde i utløpsledningen.
- V_U = avløpsvannets hastighet i utløpsledningen.
- D_U = utløpsledningens indre diameter.
- L = utløpsledningens lengde.
- y = utslippsdyp.
- $\Delta\gamma$ = forskjell i tetthet mellom avløpsvann og resipientens vann.
- γ_o = avløpsvannets tetthet.
- A = utløpskummens areal. (Horizontalsnitt).
- A = utløpskummens areal.
- h = vannivå i utløpskummen over resipientens vannivå.
- h_T = total trykkehøyde nødvendig for vannføringen i utløpsledningen.
- f = friksjonskoeffisient.
- g = gravitasjonskonstanten
- $h-h_T$ = nivåforskjell som oppstår p.g.a. hastighetsforandring i utløpsledningen.

Følgende likninger kan settes opp:

Bevegelseslikning:

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{dV_U}{dt} + h_T - h = 0 \quad 1)$$

$$\text{og } Q_U = \frac{\pi D_U^2}{4} V_U \quad 2)$$

Kontinuitet:

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = Q_I - Q_U \quad 3)$$

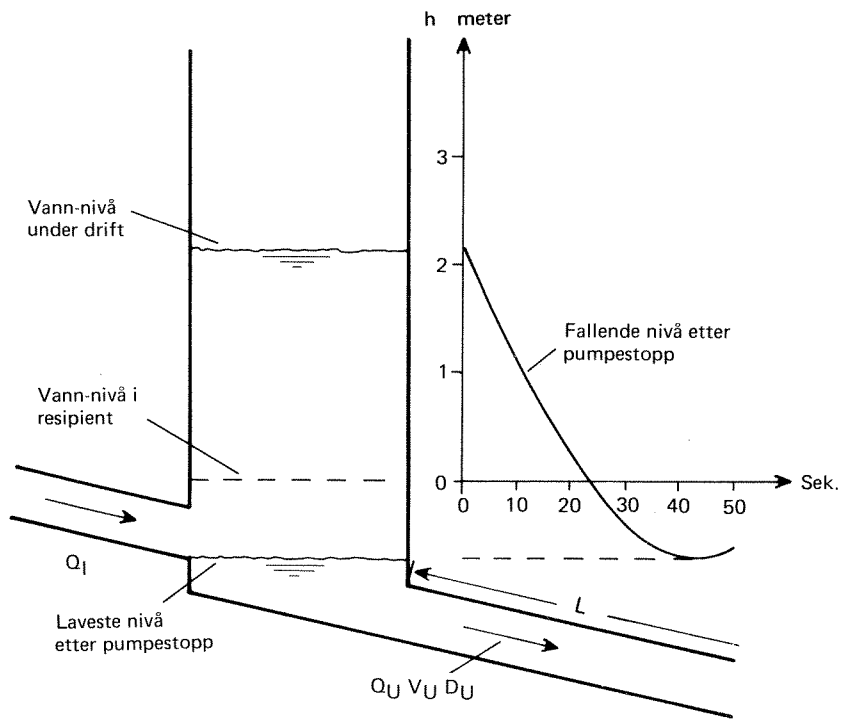


Fig. 27. Fallende vann-nivå i utløpskummen etter pumpestopp.

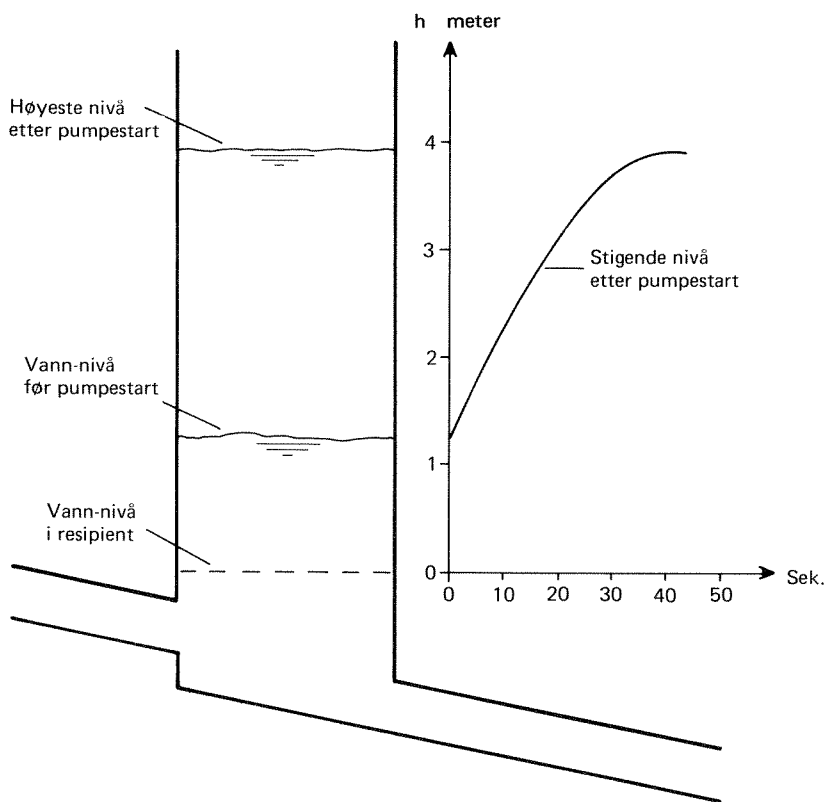


Fig. 28. Stigende vann-nivå i utløpskummen etter pumpestart.

Trykkehøyde:

$$h_T = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_o} \cdot y + h_f + \frac{V_U^2}{2g} \quad 4)$$

hvor $h_f = f \cdot \frac{V_U^2}{2g} \cdot \frac{L}{D_U}$ (friksjon)

I praksis løses disse likninger skrittvis ved valg av endelige tidsintervall Δt , og skrittene nummeres med i .

Likningene kan nå skrives:

$$\Delta V_{U,i} = \frac{g}{L} \Delta t (h_{i-1} - H_{T,i-1}) \quad 1)$$

$$Q_{U,i} = \frac{\pi D_U^2}{4} \cdot V_{U,i} \quad 2)$$

$$\Delta h_i = \frac{\Delta t}{A} (Q_{I,i-1} - Q_{U,i-1}) \quad 3)$$

$$h_{T,i-1} = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_o} y + f \frac{L}{D_U} \cdot \frac{V_{U^2,i-1}}{2g} + \frac{V_{U^2,i-1}}{2g} \quad 4)$$

Er en spredeanordning tilknyttet utløpsledningens ende, må utløpsstrålens større energihøyde taes inn i likning 4. Har utløpskummen variabelt areal, føres dette inn i likning 3.

Likeledes kan gradvis endring i pumpe mengde føres inn i likning 3.

Beregningseksempel:

Gitt:

$$D_U = 500 \text{ mm}$$

$$L = 500 \text{ m}$$

$$y = 50 \text{ m}$$

$$\Delta\gamma = 0,025$$

$$\gamma_o = 1,000 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$f = 0,016$$

Utslipet er i stasjonær drift med 200 l/s i avløpsmengde, da pumpe mengden ved $t = 0$ plutselig reduseres til 0.

I tabell 1 er det fallende vannivå i utløpskummen etter pumpestart beregnet numerisk med $\Delta t = 4$ s. Beregningsresultatene er grafisk vist på figur 27.

Etter at avløpsvannet i ledningen er falt til ro startes pumpe plutselig med 200 l/s ved $t = 0$. I tabell 2 er det stigende vannivå i utløpskummen etter pumpestart beregnet for $\Delta t = 4$ s. Beregningsresultatene er grafisk fremstilt på figur 28.

Tabell 1. Beregning av fallende vannivå i utløpskummen etter pumpestopp.

| t | Δt | h | V_U | $h_T^{4)}$ | h-h _T | $\Delta V_U^{1)}$ | $Q_U^{2)}$ | Q_I | $\Delta h^{3)}$ |
|----------------|------------|--------|--------|------------|------------------|-------------------|------------|-------|-----------------|
| s | s | dm | dm/s | dm | dm | dm/s | l/s | l/s | dm |
| Før pumpestopp | — | 21,5 | 10,2 | 21,5 | 0 | 0 | 200 | 200 | 0 |
| 0 | 4 | 21,50 | 10,2 | 21,5 | 0 | 0 | 200 | 0 | ÷ 4,0 |
| 4 | 4 | 17,50 | 10,2 | 21,5 | ÷ 4,0 | ÷ 0,31 | 200 | 0 | ÷ 4,0 |
| 8 | 4 | 13,50 | 9,87 | 20,95 | ÷ 7,45 | ÷ 0,59 | 193,45 | 0 | ÷ 3,87 |
| 12 | 4 | 9,63 | 9,29 | 19,98 | ÷ 10,35 | ÷ 0,81 | 181,99 | 0 | ÷ 3,64 |
| 16 | 4 | 5,99 | 8,47 | 18,72 | ÷ 12,73 | ÷ 1,00 | 166,07 | 0 | ÷ 3,32 |
| 20 | 4 | 2,67 | 7,47 | 17,34 | ÷ 14,67 | ÷ 1,15 | 146,49 | 0 | ÷ 2,93 |
| 24 | 4 | ÷ 0,26 | 6,32 | 15,97 | ÷ 16,23 | ÷ 1,27 | 123,91 | 0 | ÷ 2,48 |
| 28 | 4 | ÷ 2,74 | 5,05 | 14,71 | ÷ 17,45 | ÷ 1,37 | 98,94 | 0 | ÷ 1,98 |
| 32 | 4 | ÷ 4,72 | 3,68 | 13,39 | ÷ 18,39 | ÷ 1,44 | 72,09 | 0 | ÷ 1,44 |
| 36 | 4 | ÷ 6,16 | 2,23 | 12,93 | ÷ 19,09 | ÷ 1,50 | 43,79 | 0 | ÷ 0,88 |
| 40 | 4 | ÷ 7,03 | 0,74 | 12,55 | ÷ 19,58 | ÷ 1,54 | 14,41 | 0 | ÷ 0,29 |
| 44 | 4 | ÷ 7,32 | ÷ 0,80 | 12,56 | ÷ 19,88 | ÷ 1,56 | ÷ 15,72 | 0 | 0,31 |
| 48 | 4 | ÷ 7,01 | | | | | | | |

1), 2), 3) og 4) henviser til likninger.

Tabell 2. Beregning av stigende vannivå i utløpskummen etter pumpestart.

| t | Δt | h | V_U | $h_T^{4)}$ | $h-h_T$ | $\Delta V_U^{1)}$ | $Q_U^{2)}$ | Q_I | $\Delta h^{3)}$ |
|----------------|------------|-------|-------|------------|---------|-------------------|------------|-------|-----------------|
| s | s | dm | dm/s | dm | dm | dm/s | l/s | l/s | dm |
| Før pumpestart | | 12,5 | 0 | 12,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 4 | 12,5 | 0 | 12,5 | 0 | 0 | 0 | 200 | 4,0 |
| 4 | 4 | 16,5 | 0 | 12,5 | 4,0 | 0,314 | 0 | 200 | 4,0 |
| 8 | 4 | 20,5 | 0,31 | 12,51 | 7,99 | 0,627 | 6,15 | 200 | 3,88 |
| 12 | 4 | 24,38 | 0,94 | 12,58 | 11,8 | 0,93 | 18,44 | 200 | 3,63 |
| 16 | 4 | 28,01 | 1,87 | 12,80 | 15,93 | 1,25 | 36,59 | 200 | 3,27 |
| 20 | 4 | 31,27 | 3,12 | 13,34 | 17,93 | 1,41 | 61,09 | 200 | 2,78 |
| 24 | 4 | 34,05 | 4,52 | 14,27 | 19,77 | 1,55 | 88,67 | 200 | 2,23 |
| 28 | 4 | 36,27 | 6,08 | 15,70 | 20,57 | 1,62 | 119,09 | 200 | 1,62 |
| 32 | 4 | 37,89 | 7,69 | 17,63 | 20,26 | 1,59 | 150,74 | 200 | 0,99 |
| 36 | 4 | 38,88 | 9,28 | 19,97 | 18,91 | 1,48 | 181,93 | 200 | 0,36 |
| 40 | 4 | 39,24 | 10,77 | 22,55 | 16,69 | 1,31 | 211,22 | 200 | |
| 44 | 4 | 39,01 | | | | | | | ÷ 0,22 |

1), 2), 3) og 4) henviser til likninger.

5. Utløpsledning

5.1. Trasévalg

Valg av utslippssted i en resipient, utløpsledningens trasé og den konstruktive utforming av utslippsarrangementet vil ofte kreve inngående kjennskap til avløpsvannets mengde og sammensetning, såvel som kvantitative og kvalitative forhold i resipientens vannmasser og bunn.

Avløpsvannets mengde og sammensetning er av avgjørende betydning for valg av utslippssted, utslippsdyp og hvilket dyp avløpsvannet bør innlagres på. Avhengig av avløpsmengde må varierende mengde fortynningsvann være tilgjengelig i resipienten. Under primærfortynningsfasen vil større avløpsmengde kunne kreve større utslippsdyp for å oppnå nødvendig fortykning og ønsket innlagringsnivå. Forurensingsvirkning i resipienten som følge av avløpsvannets sammensetning må vurderes i forhold til bruksinteresser i resipienten og tilhørende kvalitetskrav til vannet.

Til våre vannforekomster knytter det seg ofte en rekke bruksinteresser. Hver av disse setter sine krav til vannets kvalitet. De bruksinteresser som oftest kommer i konflikt med utslipp av avløpsvann er vannforsyning, vannet og bunnen og strandsonen som livsmiljø for dyr- og plantsamfunn, rekreasjon, bading osv.

Våre resipienter er preget av opprevne strand-

linjer med mer eller mindre avlukkede bassenger. Her bevirker øyer, holmer og terskler en dårlig utskiftning av vannet med derav følgende fare for akkumulering av forurensinger. Ofte er den naturlige avrenning og avløpsvann fra ukontrollerte kilder alene tilstrekkelig til å overbelaste slike begrensede vannvolumer med forurensinger.

Generelt bør avløpsvannet søkes innblandet i det dyp hvor det gjør minst skade, og bør vanligvis slippes ut i mest mulig åpne områder hvor det raskt kan føres ut til større vannmasser for videre fortykning. I utslippsområdet vil de hydrofysiske forhold som tetthetsfordeling, strømforhold osv. være bestemmende for avløpsvannets innlagring, fortykning og fordeling etter utslippet.

Bunnens topografi og beskaffenhet er særlig viktig for valg av utløpsledningens trasé. Ca. 90% av alle alvorlige driftsproblemer ved utslipp skyldes i de senere år problemer inne i utløpsledningene. Først og fremst luftansamlinger og avsetninger av faste stoffer. For å unngå disse problemer, er det avgjørende at utløpsledningen gies en jevnt fallende trasé, uten høydepunkter med motfall. For å oppnå dette, vil det kunne være nødvendig å føre ledningen i bukter forbi høyere partier, grave ledningen ned i bunnen og forankre ledningen flytende i vannet over dypere partier. Er det langgrunt med store

variasjoner i vannivået, kan dette innebære betydelige omkostninger ved at ledningen må graves ned over en lang strekning for å unngå motfall. For å beskytte ledningen mot bølger, is og annen mekanisk påkjenning, bør ledningen graves ned i strandsonen. Hvis det er langgrunt, vil dette kunne medføre at ledningen må føres ut i urimelig stor avstand fra land for å nå ned på tilstrekkelig dyp. Faller bunnen raskt mot store dyp, vil det kunne være nødvendig å forankre ledningen flytende i den ytre del, for å nå tilstrekkelig ut fra land uten at ledningen føres ned på et urimelig dyp.

Blir faste sedimenterbare stoffer ført ut i ledningen, bør utslippet velges slik at de kan deponeres på bunnen under utslippet uten fare for tiltetning av avløpshullene.

Foruten at bunnens beskaffenhet er av betydning når ledningen skal graves ned, skal også bunnen tjene som underlag for den oppankrede utløpsledning. Fjell og store steiner vil gi en punktvis opplagring av ledningen som lett forårsaker brudd. Mindre steiner, sand og leire gir vanligvis et stabilt underlag. Løse muddermasse vil forårsake at ledningen med vekter delvis synker ned i bunnen. I elver, elveutløp og i enkelte kystområder vil det kunne være bevegelig sandbunn som følge av strøm og bølgekrefter. Her kan det være nødvendig å grave ledningen ned under laveste bunnprofil.

En grundig kartlegging av bunnforholdene langs utløpsstraséen er nødvendig for å kunne velge den beste konstruktive utforming av utslippsarrangementet og derved unngå driftsproblemer senere.

5.1.1 TRASÉUNDERSØKELSE

Ved en forundersøkelse av mulige traséer for en utløpsledning vil en søke å skaffe opplysninger om fallforhold, dybdeforhold og bunnmateriale. I det etterfølgende skal redegjøres for metoder og hjelpemidler ved traséundersøkelser.

Bunnkart. I første omgang bør eksisterende kartmateriale over dybdeforhold studeres. I innlandsresipienter er det mange steder foretatt opplodding av lokale bunnforhold som kan finnes i kommunen, bedrifter osv. I sjøresipienter vil de vanlige drafft, utgitt av Norges Sjøkartverk, inneholde mange opplysninger om

dybdeforholdene. Selv om dybdeangivelsene ofte er unøyaktige og ufullstendige, kan kartene være gode nok for å peke ut steder hvor det er tilstrekkelig utslippsdyp og gi et grovt bilde av mulige traséer.

Lodding. Når det på grunnlag av kart er funnet mulige traséer i et område, melder behovet seg for å undersøke fall- og dybdeforhold bedre. Enkelt er det da å lodde fra is eller båt med line. Dybden kan på denne måten måles ganske nøyaktig. Usikkerheten ved metoden er at man ikke vet hva man måler dypet til. Som eksempel kan nevnes et sted der det skulle legges en 600 mm utløpsledning. Arbeidet ble satt igang under antakelse av at en loddeprofil av traséen var riktig. Den viste en jevn trasé. Da arbeidet skulle utføres, var det umulig å legge ledningen der det var planlagt, fordi den jevne bunnen var overstrødd med oppstikkende fjell og steinblokker. Under loddingen hadde loddet sklidd ned fra disse ujevnhetene og lagt seg på bunnen som besto av slam. Feilaktige opplysninger om bunnforholdene forårsaket i dette tilfelle betydelig ekstraomkostning ved legging.

Ekkolodd. Bruk av båt med ekkolodd og etterfølgende dykkerundersøkelse av traséen blir ansett for å være en god forundersøkelse.

Ved bruk av ekkolodd får man tegnet opp bunnprofilen langs traséen. Det er enkelt og raskt å kjøre over flere alternative traséer. Det ekkoloddet først og fremst gir data om, er avstand ned til det øverste bunnlaget. Varierer bunnmaterialet, er det mulig med øvelse å lese dette ut av utskriften eller ekkogrammet. På en hard steinbunn registreres et kraftigere ekko eller signal enn hvis bunnen er bløt. Ved bruk av spesielle ekkolodd som sender signaler i et lavt frekvensområde, kan signalene også trenge ned i bunnmaterialet og gi data om lagenes tykkelse og avstand til fjell.

Selv om ekkoloddet er et meget nyttig hjelpemiddel ved traséundersøkelser, må det konkluderes med at slike målinger vanligvis alene ikke er tilstrekkelige. Dette fordi ekkoloddet ikke kan gi gode nok opplysninger om bunnens beskaffenhet og om ujevnheter som f.eks. steinblokker, synketømmer, vrakgods og andre ting som har betydning for trasévalget.

Dykkerundersøkelser. Etter at det med ekkolodd er funnet en eller flere mulige traséer, bør det foretas en befaring med dykkere. Før så kan skje må traséen merkes slik at dykkerne hele

tiden har noe å orientere seg etter. Det er lett for en dykker å miste retningsorienteringen under vann. Han kan selvfølgelig svømme etter kompass i en på forhånd fastsatt retning, noe som imidlertid begrenser observasjonsmulighetene av bunnforholdene. Under vann er siktforholdene generelt dårlige, og en froskemann ser sjelden lenger enn 10 m i radius rundt seg. En merking av traséen som dykkerne under befaring lett kan følge, er derfor nødvendig. Dette kan gjøres på flere måter, for eksempel ved at det plasseres bøyer med bunnfester i traséen. Avstanden mellom bøyene reguleres etter siktforholdene i vannet, og vil i mange tilfelle bli mindre enn 10 m. En bedre merkemethode er at man fra en båt i nøyaktig posisjon senker en belastet bunnline i traséen. Til linen kan det festes små flytelegemer så dykkerne lett finner linen selv om den har sunket litt ned i bunnmaterialet. Bunnlinen bør videre ha lengdeangivelser for hver 5. eller 10. m så dykkerne hele tiden kan gi opplysninger med samtidig angivelse av avstand fra et fast punkt.

Ved lange ledninger kan det med fordel brukes undervannstelefon. På land eller i en båt kan alt som dykkerne sier tas opp på båndspiller. Dermed sikres alle opplysningene i tillegg til at det er en stor fordel sikkerhetsmessig at dykkerne hele tiden har kontakt med folk i ledsagerbåten.

Dykkerne kan med sin dybdemåler kontrollere dybden med ca. 0,5–1 m nøyaktighet, avhengig av type måler. Særlig viktig er det at dybdemåleren, selv om den ikke gir helt nøyaktig dyp, kan brukes til å kontrollere fallet langs traséen. Et lite motfall på under 0,5 m vil lett konstateres. Videre vil dykkerne se om det ligger ting i traséen som ikke ekkoloddingen viste. Det kan være steinblokker, synketømmer, vrakgods, wireklaser osv. Dykkerne vil også få et inntrykk av forholdene i nærheten av den påtenkte trasé. De kan se om forholdene er slik at senkingen av ledningen krever finmanøvrering for å unngå ujevnheter tett inntil traséen eller om ledningen kan legges innenfor et f.eks. 20 m bredt belte. Viser den merkede traséen seg å være uhensiktsmessig valgt p.g.a. ujevnheter, kan dykkerne til en viss grad på stedet undersøke til sidene.

Som regel er dykkerne utstyrt med en sonderstang fra 0,5 – 2 m lang. Med denne kan de stikke gjennom det vanligvis bløte topplaget og undersøke avstanden til fastere grunn, og videre om det er stein, tømmer eller andre ting som ligger like nedi slamlaget. Dette er viktige og

nødvendige opplysninger for entreprenøren som nær strandsonen skal grave ned utløpsledningen, og som også på dypere vann skal avrette ujevnheter på bunnen. Selv om ledningen ikke skal graves ned, vil den, når det er bløt slambunn, synke noe ned i bunnmaterialet. Det er viktig at ledningen i slike tilfelle ikke blir liggende an på skarpe stener, fordi dette for det første gir utilsiktet tilleggspåkjenning på ledningen og for det andre kan forandre fallforholdene.

Ved de hittil utførte anlegg med utløpsledninger i Norge, har det bare unntaksvis vært foretatt mer omfattende forundersøkelser enn de foran nevnte. For å få bedre kjennskap til grunnforholdene i strandsonen, kan prøvegraving med f.eks. traktorgraver være nyttig. Det kan imidlertid også være aktuelt å supplere med seismiske og geotekniske målinger. Ekstrakostnaden ved slike undersøkelser må sees i forhold til de økonomiske konsekvenser man får hvis det under anleggsarbeidet skulle vise seg å bli uforutsette problemer med grunnarbeidene. Anvendelse av slik undersøkelse bør vurderes på de steder der grunnforholdene er ukjente, og der man på forhånd vet at forholdene er vanskelige.

Seismiske undersøkelser. Ved seismiske målinger detoneres en sprengladning i grunnen, og trykkbølgenes forplantningshastighet måles av hydrofoner plassert på bunnen som registrerer svingninger. Denne hastigheten er avhengig av materialet bølgen går igjennom. For eksempel vil bølgenes forplantningshastighet være ca. 1.400 m/s i sand, ca. 2.500 m/s i morene og ca. 5.500 m/s i fjell. Dette gir grunnlag for å tegne et bunnkart med angivelse av lagdeling og avstand til fjell.

Geotekniske undersøkelser. Ved anlegg med utløpsledninger der det både over og under vann skal foretas omfattende gravearbeider, kan det være nødvendig med nøyaktig viten om grunnforholdene. Her skal kort redegjøres for aktuelle geotekniske målinger og hva de kan gi.

Dreiesondering er en rent orienterende undersøkelse som raskt gir et bilde av løsmassenes relative fasthet nedover i dybden. Undersøkelsen gir grunnlag for mer omfattende undersøkelser som f.eks. prøvetaking og vingeboring. Dreiesondering utføres med 20 mm borstålstenger. Resultatet av dreiesondering angis som vist på figur 29, referanse 4.

Figuren viser et stolpediagram med antall halve omdreininger av boret pr. halvmeter synkning som funksjon av dypet, og som funksjon av

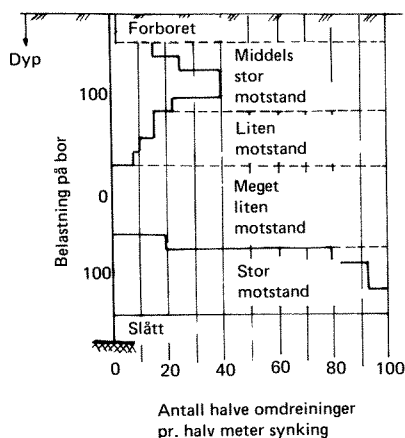


Fig. 29. Framstilling av resultater fra dreiesondering.

vektbelastning av boret under dreiningen. Dreiemotstanden må vurderes i forhold til den med dybden økende friksjonsmotstand langs borestengene. Dreiesondering anvendes i løsmasser med relativt lav fasthet.

Ramsondering er også en orienterende undersøkelse som blir brukt til å måle løsmassenes relative fasthet. Framgangsmåten er at borstålstenger skrues sammen med glatte skjøter, forsynes med firkantspiss og rammes ned i grunnen med et lodd. Resultatet av ramsonderingen angis som vist i figur 30.

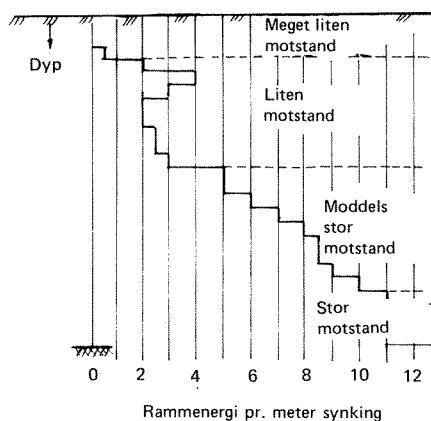


Fig. 30. Framstilling av resultater fra ramsondering.

Figuren viser et stolpediagram med ramenergi pr. meter synkning som funksjon av dybden.

$$\text{Ramenergi} = \frac{\text{Loddvekt} \times \text{fallhøyde}}{\text{Synkning pr. slag}} \text{ (tonn m/m)}$$

Ramsondering anvendes i fastere masser og gir blant annet opplysninger som kan benyttes til å vurdere pelligde og pelramming.

Ønskes såkalte uforstyrrede bunnprøver for undersøkelse i laboratorium er det vanlig å benytte et tynnvegget rør som presses ned i grunnen for prøvetaking. Ved nedpressing stenger et stempel for åpningen i røret. I det ønskede dyp for prøvetakingen dras stemplet tilbake i røret, og en prøve blir innesluttet. Disse uforstyrrede bunnprøvene forsegles ute i marken og sendes til laboratoriet for undersøkelse. Laboratorieundersøkelsen vil kunne omfatte bestemmelse av vanninnhold, humusinnhold, plastisitetsgrenser, romvekt, porøsitet, udrenert skjærfasthet, kornstørrelsesfordeling osv.

Med vingeboring kan den udrenerte skjærfastheten i bunnmassene måles direkte i felten. Vingeboret presses ned ved hjelp av et rør. Vingen er gjerne 4-bladet og står i forbindelse med et måleinstrument gjennom en stålstang inne i nedpressingsrøret. I den ønskede måledybde presses vingen ut av en beskyttelsessko. Den dreies så med lav og konstant hastighet inntil brudd oppstår, og vridningsmoment registreres. Deretter roteres vingen ca. 20–30 omdreininger før man foretar en ny registrering av vridningsmomentet, og den omrørte skjærfastheten kan beregnes.

De nevnte geotekniske målemetodene er først og fremst tilpasset for bruk over vann. I tilfelle med en utløpsledning vil det være aktuelt å foreta målinger på land hvor det ofte er nødvendig med omfattende gravearbeider i forbindelse med bygging av utløpskum. Nær land hvor ledningen er nedgravd til et visst vanddyb, kan det også være behov for å måle geotekniske parametre i bunnmassene. På beskjedne vanddyb under 5 m volder ikke dette spesielle problemer. Boring eller prøvetaking kan f.eks. foretas fra en oppankret flåte. Får man større vanddyb, kan samme framgangsmåte benyttes, men arbeidet blir vanskeligere. På dyp fra 5–20 m kreves det som regel at borstengene beskyttes av hensyn til bøyepåkjennningene som kan oppstå. Prøvetakingsutstyret blir derfor raskt tyngre med økende vanddyb, og dypere enn 10–20 m vil det være nødvendig med kran for å håndtere utstyret.

Hittil har geotekniske målinger i forbindelse med utløpsledninger i liten grad vært utført på dypt vann. Som regel har man stoppet på ca. 5 m vanddyb, fordi videre ligger utløpsledningen oftest oppå bunnen.

5.1.2 EKSEMPLER PÅ LEDNINGSTRASÉER

I det følgende vises noen eksempler på lednings-
traséer som er undersøkt med dykkere.

Figur 31 viser en ledning som ligger med godt fall ned til ca. 11 m dyp. Deretter følger en lang strekning med slambunn som er tilnærmet horisontal. Så følger et område på ca. 50 m lengde, som er overstrødd med store steinblokker. Her er det motfall på traséen. Videre utover er det slambunn, og fallet er jevnt nedover. Ledningen har opprinnelig ligget på bunnen i hele lengden, og i området med steinblokker har den hatt et høybrekk. Etterat anlegget har blitt tatt i bruk, har luft blitt dratt med ned i utløpsledningen og ført utover, men har stoppet opp i høybrekket. Denne luftmengde har vært så stor at ledningen med belastningsblokker er løftet fra bunnen. Dermed har høybrekket blitt mer markert. Luftlommer vil bli stående i et slikt høybrekk og nedsette den hydrauliske kapasiteten vesentlig.

Figur 32 viser situasjonen et annet sted. Her er også utløpsledningen lagt med motfall, men det har ikke samlet seg så mye luft i høybrekket at ledningen er løftet fra bunnen. En årsak til det, er at ved denne ledningen er inntaket helt neddykket i utløpskummen, noe som ikke er tilfelle for ledningen vist på figur 31. Likeledes vil her luft kunne unnvike i utløpet like etter høybrekket, noe som reduserer faren for større luftansamlinger. En annen sak er at motfall er uheldig, fordi stoffer i kloakkvannet vil ha lettere for å sedimentere og stoppe til ledningen.

Større og mindre steinblokker i traséen er ofte et problem. Ved undersøkelse med dykkere ble det registrert flere tilfelle av at utløpsledningene lå som vist på figur 33. Selv om ledningen ikke direkte ligger i motfall er en slik plassering uheldig p.g.a. den ekstra punktbelastning ledningen blir påført. Polyetenledninger har vist seg å tåle slike belastninger relativt godt hvis de får ligge i ro. For ledninger av stivere materiale vil punktbelastninger lett føre til brudd.

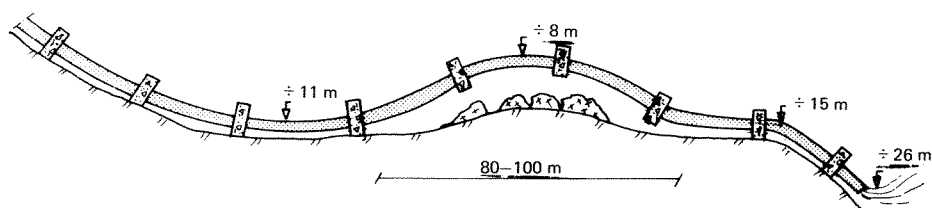


Fig. 31. PEH-ledning løftet fra bunnen p.g.a. luftansamling.

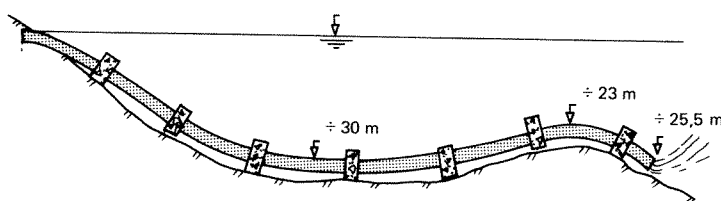


Fig. 32. PEH-ledning lagt med høybrekk.

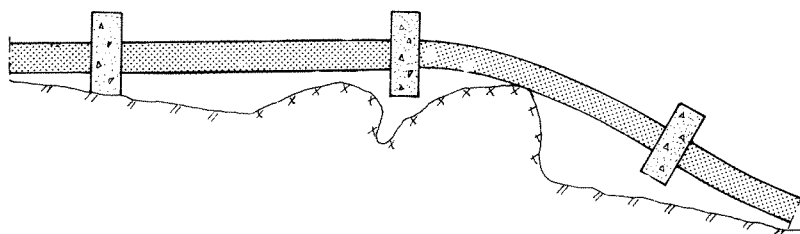


Fig. 33. PEH-ledning lagt over oppstikkende fjell.

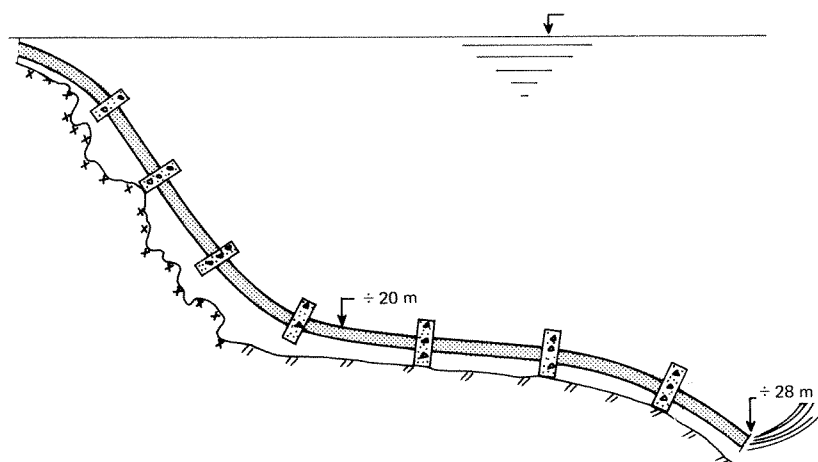


Fig. 34. PEH-ledning lagt i sterkt varierende fall- og bunnforhold.

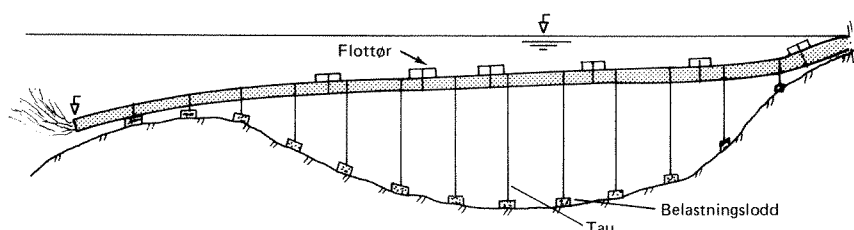


Fig. 35. Utløpsledning plassert svevende over bunnen over et dypparti.

Figur 34 viser traséen til en annen utløpsledning av polyeten. Ned til 20 m dyp ligger den i en bratt uryddig steinur som skråner med ca. 30–45° fall. Deretter avtar fallet sterkt, og bunnmaterialet er slam. Ledningen virket utmerket ved befaringen og har ved sin fleksibilitet tålt de sterkt varierende fall- og bunnforholdene godt.

I tilfelle der strekninger med ujevn bunn-topografi og motfall ikke er til å unngå, har det vært en løsning å la ledningen sveve over dype partier. Et eksempel på dette er vist i figur 35.

Figuren viser dybdeforhold som ofte forekommer med en grunn terskel og et dypere område innenfor.

5.2 Rørmaterialer

En utløpsledning vil under transport, legging og forankret til bunnen være utsatt for spesielle påkjenninger som setter sine krav til rørmaterialet. Avhengig av beliggenhet, transportmuligheter, anleggsarbeider, driftssikkerhet, kostnader etc. velges best egnet rørtipe.

Med hensyn til kostnader og kvalitet på anleggsarbeidet er det en fordel om undervannsarbeid kan unngås i størst mulig grad. Rørtyper som produseres i hele lengder eller som kan skjøtes på land slik at hele utløpsledningen

senkes samtidig, er derfor fordelaktige fremfor de rørtyper som må senkes i seksjoner og skjøtes under vann.

En utløpsledning som skal senkes, vil særlig før senkingen kunne bli utsatt for store bølge- og strømkrefter. Under senkingen vil ledningen være utsatt for bøyepåkjenninger. Disse to fasene, før og under senking, stiller derfor spesielle krav til rørets mekaniske egenskaper. Fleksible rørtyper er her fordelaktige fremfor stive rør.

Vanligvis vil bunnen der utløpsledningen skal ligge være til dels ujevn. Et fleksibelt rør som til en viss grad former seg etter bunntopografien, er derfor langt å foretrekke fremfor stive rør som på lange strekninger kan komme til å ligge uten kontakt med bunnen, slik at store bøyepenninger oppstår. På den annen side må et fleksibelt rør ha tilstrekkelig styrke til å tåle nedgraving. Likeledes må røret tåle nødvendig driftstrykk og trykkstøt forårsaket av pumping eller kraftige vannføringsvariasjoner. Stivheten må også være så stor at ledningen ikke skyter rygg som følge av en mindre luftansamling.

Ledningsmaterialer som ikke påvirkes av korrosjon eller annen tæring fra sjøvann, har store fordeler fremfor rørmaterialer som angripes. Dette er innlysende med tanke på krav om tetthet og levetid.

I det foregående er det stilt opp en del generelle krav til en undervannsledning og dens rørmateriale for at den best skal klare de påkjenninger som oppstår før, under og etter legging. I det følgende vil enkelte rørmaterialer og deres egenskaper bli beskrevet nærmere.

5.2.1 PLASTRØR

Det finnes mange typer plast med varierende egenskaper. De mest aktuelle for utløpsledninger har verdifulle egenskaper, såsom stor bøyelighet, stor korttidsholdfasthet (viktig i fasen før og under senking av ledningen), kan produseres og fraktes i hele lengder uten skjøt, angripes ikke av sjøvann eller av de mest aktuelle væsker og stoffer som forekommer i avløpsvann.

Plast fremstilles som regel gjennom polymerasjon av enkle organiske stoffer. På denne måten dannes lange trådformige molekyler. Disse molekylene kan være frie innbyrdes eller bundet sammen med tverrforbindelser. Plast uten tverrforbindelser mellom molekylene smelter ved oppvarming og kalles termoplast. Plast med tverrforbindelse mellom molekylene smelter ikke ved oppvarming før bindingene brytes og kalles herdeplast.

De mest kjente termoplastene som blir brukt i utløpsledninger er polyeten og polyvinylklorid. Av herdeplaster er glassfiberarmert polyester mest aktuelt. Vanligvis forkortes disse navnene, og man skriver PE for polyeten, PVC for polyvinylklorid og GAP for glassfiberarmert polyester. Polyeten produseres med lav tetthet og betegnes da med forkortelsen PEL, og med høy tetthet og betegnes da med PEH.

PEL er mest brukt ved små dimensjoner (diameter under 100 mm). De produseres gjerne i hele lengder og transporteres på tromler.

PEH brukes mer ved større dimensjoner, og produseres i dag med diametre fra 40 til 1 200 mm. Hele lengder av PEH rør transporteres ofte sjøveien trukket etter en taubåt. Det finnes også mobile rørfabrikker som produserer den ønskede lengde på stedet. Rør av dette materiale kan også skjøtes ved sveising. PEH er uten sammenlikning det mest brukte rørmaterialet i utløpsledninger i Norge, og dimensjonene er vanligvis mellom 200 mm og 600 mm.

PVC rør er stivere og mer tynnveggede enn PEL og PEH. De produseres vanligvis i 6 m lengder i dimensjoner fra 40 mm til 400 mm. Rørene kan skjøtes ved liming eller med muffe og tetningsringer.

GAP rør er meget stivere enn de andre plastrørene, og blir ikke mye brukt som sjøledninger her i landet. Rørene produseres normalt i området 150 mm til 2000 mm, men blir mest brukt i området 500 mm til 1 500 mm.

Tabell 3 viser en sammenstilling av data om de omtalte plasttyper.

De fleste konstruksjonsmaterialer som benyttes innen bygningsbransjen har elastiske eller ganske nært elastiske egenskaper. Dette betyr at uavhengig av belastningens varighet, er forholdet mellom spenning og relativ forlengelse lineært opp til et visst spenningsnivå, dvs. at materialet etter spenningsavlastning atter går tilbake til opprinnelig form. For plastmaterialer gjelder ikke dette, fordi den relative forlengelse ikke er proporsjonal med spenningen og er videre avhengig av belastningstiden. Ved belastning oppstår det en permanent deformasjon i materialet. Plastens deformasjon er temperaturavhengig og øker med økende temperatur. Deformasjonen hos plasten medfører at ved vedvarende belastning, uavhengig av størrelsen, vil det oppstå brudd etter en viss tid. Bruddtiden er omvendt proporsjonal med belastningens størrelse.

Tabell 3. Data om enkelte plasttyper. Referanse 3.

| Plastmateriale | Forkort. | Tetthet | Strekkestyrke ¹⁾ | Elastisitetsmodul ²⁾ | Rørdiameter (mm) |
|----------------------------|----------|----------------------------------|--|--|---------------------|
| | | (kg/m ³) σ | (kp/cm ²) Korttidsverdier | (kp/cm ²) Korttidsverdier | |
| Polyeten | PEL | 910–930 | 100 (39) ¹⁾ | 1 500 | 16– 400 |
| Polyeten | PEH | 940–965 | 200 (65) ¹⁾ | 9 000 (1 000) ¹⁾ | 40–1 200 |
| Polyvinylklorid | PVC | 1 400 | 500 (250) ¹⁾ | 30 000 | 40– 400 |
| Glassfiberarmert polyester | GAP | 1 700 | > 1 000 | 100 000 | 150–2 000 |

¹⁾ Tallene i parentes er langtidsverdier, basert på brudd etter 50 år.

²⁾ Verdiene gjelder ved 20 °C.

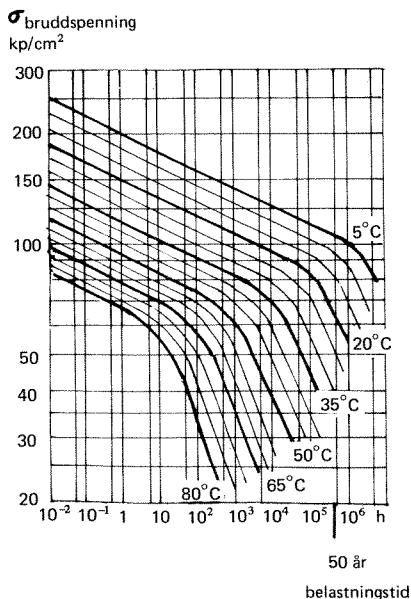


Fig. 36. Spennings-tidskurver for PEH-rør, Hostalen GM 5010.

Figur 36 viser forholdet mellom bruddspenning, belastningstid og temperatur for PEH rør, referanse 3.

Figuren viser bl.a. at ønsket levetid på ledningen direkte bestemmer tillatt langtidsspenning. Vanligvis dimensjoneres plastledninger for brudd etter en levetid på 50 år, og da med de bruddspenningene som er satt opp i parentes i tabell 3. Regner man med en sikkerhetsfaktor på 1,3, blir i praksis tillatt langtidsspenning for PEL = 30 kp/cm², og for PEH = 50 kp/cm² ved en temperatur på 20°C. For PVC settes sikkerhetsfaktoren til 2,5. Tillatt langtidsspenning for PVC ved 20°C blir dermed 100 kp/cm².

For GAP rør er defomasjonen mindre enn for de andre plastmaterialene. Produksjonsmetoden for denne type rør betyr meget for de mekaniske egenskapene, og det kan ikke settes opp almen-gyldige verdier.

Vanligvis produseres PE rør for arbeidstrykk på 2,5, 4, 6 og 10 kp/cm² og PVC rør lages for 4, 6 og 10 kp/cm².

Med grunnlag i de før angitte verdier på tillatte langtidsspenninger, gir tabell 4 oversikt over forholdet mellom minimum godstykkelse og arbeidstrykk. For utløpsledninger er det vanligvis aktuelt å benytte rør med arbeidstrykk på 2,5 eller 4 kp/cm².

Det ble nevnt tidligere at plastmaterialene er fordelaktige å bruke i utløpsledninger, bl.a. fordi de tåler å bøyes. Rørene tåler allikevel ikke ubegrenset, og som kriterium kan settes at minste

Tabell 4. Forholdet mellom minimum godstykkelse og arbeidstrykk for plastrør. Referanse 3.

| Arbeidstrykk kp/cm ² | Min. godstykkelse | | |
|------------------------------------|-------------------|------|--------|
| | PEH | PEL | PVC |
| 2,5 | D/41 | D/25 | |
| 4 | D/26 | D/16 | D/51 |
| 6 | D/17,7 | D/11 | D/34,4 |
| 10 | D/11 | D/7 | D/21 |

permanente krummingsradius er 300 · D (diаметer) for PVC, 120 D for PEH og 30 D for PEL. Er det ikke andre spenninger i røret enn de som er forårsaket av ren bøyning, kan krummingsradiene minskes og settes lik R = 100 D for PVC, R = 33 D for PEH og R = 17 D for PEL. Selv om et PEH rør har spenninger i seg opp imot det tillatte før det bøyes, tåler det allikevel innen visse grenser denne ekstrabelasting fordi PEH og plast forøvrig har den egenskap at spenningene p.g.a. krumming avtar med tiden om krummingen ikke forandres. Dette gjelder også for andre typer belastninger og henger sammen med defomasjonen i plasten ved belastning.

Når det gjelder slitastyrke, har også plastmaterialene gode egenskaper. Tabell 5 viser resultatet av en undersøkelse som gikk ut på å finne hvilken spenningsøkning en får i forskjellige materialer p.g.a. slitasje med reduksjon i materialtykkelse etter at de en viss tid har vært utsatt for det samme slitastarbeid.

PEH- og PEL-rør. 180 eller 86,5% av alle registrerte utløpsledninger her i landet er av disse materialene.

Erfaringene har vist at de sterkere PEH rørene er å foretrekke fremfor PEL rørene, slik at i dag brukes det lite PEL rør til utløpsledninger som er av noen størrelse.

Tabell 5. Relativ spenningsøkning for forskjellige rørmaterialer utsatt for det samme slitastarbeid. Referanse 5.

| Materiale: | Relativ spenningsøkning %: |
|--------------|----------------------------|
| PVC | 3 |
| PEL | 0,3 |
| Asbestsement | 13 |
| Stål | 7 |

Det vanligste er at rørene taues hele fra fabrikk til anleggsplass, men det har også hendt at rørene er fraktet i kortere lengder og sveiset sammen til hel ledning på stedet. Sveisingen skjer ved at buttendene skyves mot hverandre med et visst trykk. Sveisede PEH-ledninger som er undersøkt i forbindelse med dette arbeidet har vist seg å holde godt. Kravene til værforhold, oppvarming, tid og trykk, er så viktig ved sveising at arbeidet bare bør utføres av fagfolk. Ved dimensjonering bør man kunne regne med en sveisefaktor på mellom 0,8–1,0 for normalt godt utførte sveiser. Sveisefaktoren er forholdet mellom sveisens og grunnmaterialets bruddspenning.

En løsning på skjøteproblemet er at det ved fabrikk sveises på en flens ved hver ende med boltehull slik at rørene kan boltes sammen på anleggsplassen. Man slipper derved sveisingen. Dette er likevel en kostbar og tidkrevende løsning, og blir i praksis bare brukt i tilfelle hvor man skal ha en viss avvinkling på røret eller hvor man skal montere på en spesialprodusert diffusor. En annen skjøtemetode som er spesiallaget for plastrør, og som blir mye brukt til utløpsledninger, spesielt i overganger fra utløpskum til utløpsledning, er den såkalte Heinco-muffen, se figur 37.

Gland- og gummipakning føres inn på røret som oppvarmes med varmt vann. Når plasten er myknet, slås foringen inn ved bruk av trekloss og hammer. Deretter kan tilkoplingen foretas. Ved overgang fra utløpskum støpes den ene delen av Heinco-muffen fast i kummen. Denne skjøten fås i diametre fra 80 mm til 600 mm. Det er viktig ved montering av en Heinco-muffe at arbeidet gjøres skikkelig. Varmer man f.eks. materialet opp for mye før foringen slås inn, vil en del av plastmaterialet skyves foran foringen og danne en forhøyning. Erfaringer tilsier at dette må unngås hvis man forlanger en tett og

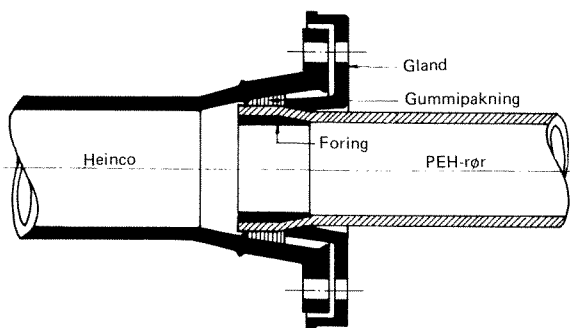


Fig. 37. Ferdig montert Heinco-PEH skjøt.

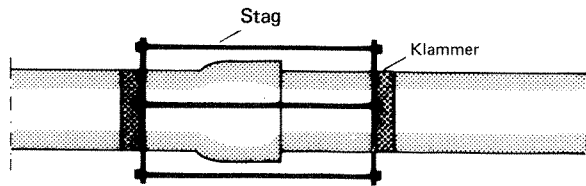


Fig. 38. Fastskrudde klammer og bolter sikrer strekkfastheten til skjøten.

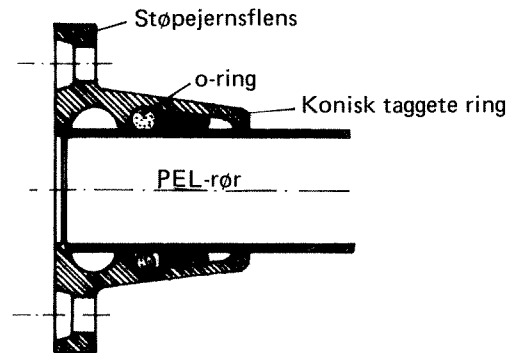


Fig. 39. Hawle-skjøt for PEL-rør.

strekkfast skjøt. I mange tilfelle sikres en slik skjøt ved at man monterer klammer på hver side av skjøten som så koples sammen med stag. Ved kum kan stagene støpes inn i kummen. Figur 38 viser en skjøt sikret med klammer og stag.

For PEL-rør med diameter mindre enn 200 mm, kan en bruke en såkalt Hawle-skjøt som er vist på figur 39. Denne skjøten bør vanligvis også sikres som vist på figur 38, hvis den blir brukt på sjøledninger. En fordel ved denne skjøten er at den er dreibar på røret etter montering.

På grunn av polyetenets lave egenvekt kreves alltid ekstra vektbelastning på ledningen når den skal plasseres under vann. Størrelsen på belastningen varierer og er avhengig av traséens fallforhold, hvilken luftmengde man antar kan opptre i ledningen, bølge- og strømkrefter osv. Kriterier for vektens størrelse og valg av ulike typer vekter, omtales i avsnitt 5.4.

Før senking av utløpsledningen monteres belastningene på ledningen. Figur 40 viser påmontering av betonglodd på land. Ledningen er plassert på ruller slik at den lett trekkes ut på vannet etter hvert som loddene festes. Sjøenden er tettet med en blindflens slik at vann ikke

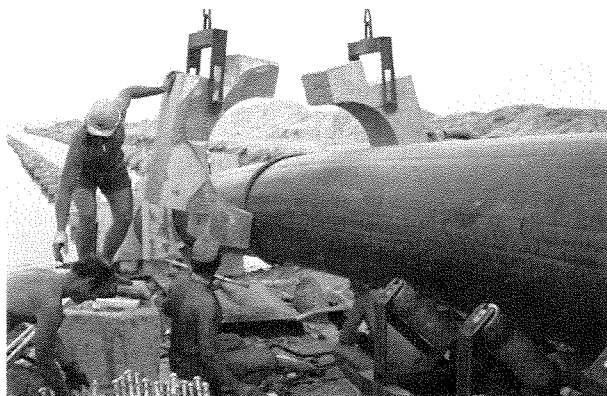


Fig. 40. Montering av betonglodd på PEH-ledning.

kommer inn i ledningen. Påmontering av lodd skjer også ofte fra båt mens ledningen ligger i sjøen.

Traséen bør på forhånd være merket med bøyer, og en eller flere båter sleper utløpsledningen til den ønskede posisjon. I blindflensen på sjøenden av ledningen er det montert en ventil, og selve senkingen kan gjøres på følgende måte:

Landenden monteres i utløpskum under sjønivå. Deretter åpnes ventilen i sjøenden som er festet i vinsjen på en båt, og luft slippes kontrollert ut. Ledningen fylles med vann fra landenden, og den synker etter hvert til bunnen. Figur 41 viser senking. Ønsker man å stoppe senkingen, stenges ventilen i enden.

Etter at hele ledningen er fylt med vann, fjernes blindflensen og enden senkes forsiktig ned til bunnen. Det er viktig at all luften kommer ut under senkingen. Slippes vann inn for raskt, er sjansene store for at det kan bli stående luftlommer i ledningen etter senkingen. En fordel ved å fylle ledningen fra landenden, er at det hele tiden under senkingen vil være lett å

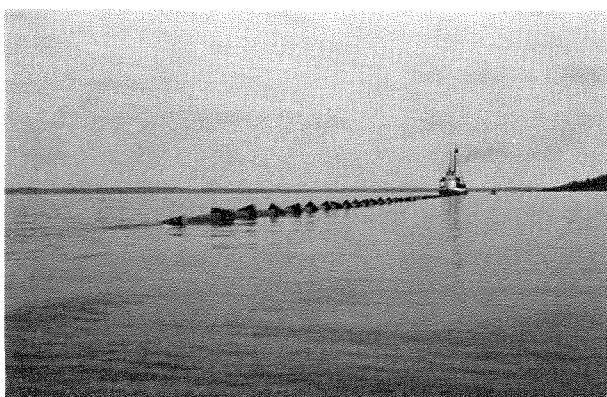


Fig. 41. Senking av PEH-ledning.

korrigere posisjonen til ledningen med båten ved sjøenden.

PVC-rør. 9 eller 4,3% av alle registrerte utløpsledninger her i landet er av PVC. Fordelen denne rørtypen har fremfor rør av PEH, er at den er billigere og har høyere strekkstyrke. En ulempe er at PVC-rør er stivere enn PEH-rør og derfor mer sårbare overfor de belastningene en utløpsledning er utsatt for. Rørene produseres vanligvis i 6 m lengder og må derfor skjøtes. Ved undervannsledninger forlanges strekkfaste skjøter, og det oppnår man for PVC-rør ved liming. Hvert rør har spissende og muffeende. Framgangsmåten er følgende ved liming:

Man pusser med grovt sandpapir på de flater som skal limes. Flatene rengjøres med papir dynket med rengjøringsmiddel. Rengjorte flater må ikke berøres eller utsettes for fuktighet. Deretter strykes lim på flatene, og spissenden presses inn i muffen. Dette må skje raskt, fordi limet tørker meget fort. Limet løser opp en del av plasten som så smelter sammen og deretter tørker. Den sammenlimte ledning kan etter en viss herdetid vektbelastes og senkes som en PEH-ledning. Kravene som må oppfylles for at limskjøten skal bli tilfredsstillende er store og inneholder mer enn det som er beskrevet her. Regelen bør derfor være at slikt arbeid utføres av fagfolk. Figur 42 viser en Hawle-kopling spesiallaget for PVC-rør for diametre opp til 300 mm. Denne skjøten må sikres f.eks. som vist på figur 38 hvis den blir brukt på sjøledninger.

GAP-rør. I Norge er det meget få tilfelle av at GAP-rør benyttes som undervannsledninger. I Sverige er de brukt mer fordi man der ofte har behov for større dimensjoner. Erfaringene er dog at dette materialet skal benyttes med forsiktighet p.g.a. sin stivhet. Fra fabrikk kommer rørene vanligvis i 5–6 m lengder.

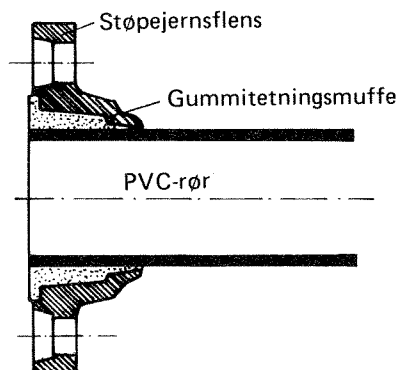


Fig. 42. Hawle-skjøt for PVC-rør.

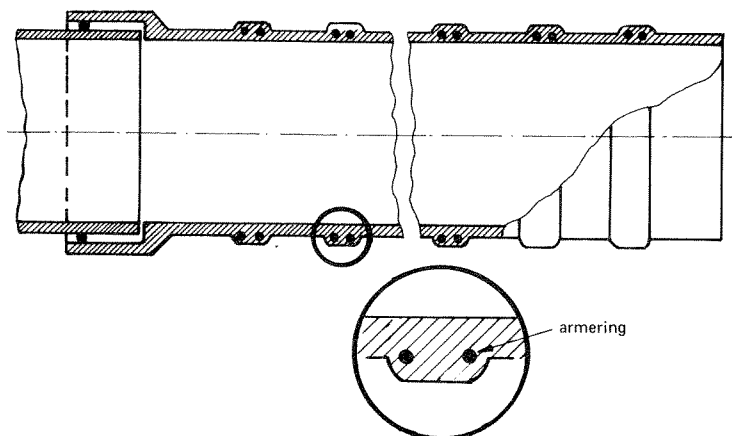


Fig. 43. Lengdesnitt av Nore-rør med innstøpt armering.

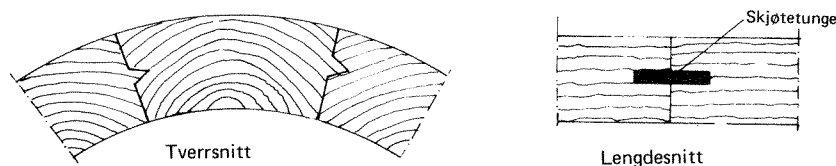


Fig. 44. Snitt av rørveggen i en treledning.

Skjøtingen på byggeplass skjer enten ved at glassfiber og polyester legges på rundt skjøten eller ved muffe og gummiringkopling. Flenser kan også være støpt fast på fabrikk slik at rørene kan boltes sammen. I den senere tid er det utviklet en ny utgave av den vanlige GAP-rørtypen som er kalt forsterkede polyesterrør, FSP-rør.

Norerør. Tre av de registrerte utløpsledninger er såkalte Nore-rør. Figur 43 viser lengdesnitt av denne rørtype, som normalt leveres i 5 m lengder.

Materialet i røret er PEL, men i utvidelser av rørveggen er det lagt inn stålringer som armering. Man har prøvd å forbedre denne rørtype ved å ta bort stålringene, og ved å benytte PEH istedenfor PEL som rørmateriale, men erfaring fra sjøledninger mangler. For å oppnå strekksterke skjøter for denne rørtype, må det brukes klammer og bolter som vist i figur 38.

Polybutanrør. Dette er en plastrørtype som på mange måter kan sammenliknes med PEH-rør. Veggtykkelsen på polybutanrør er mindre enn for tilsvarende PEH-rør p.g.a. større strekkstyrke. Denne rørtype kan sveises på samme måte som forklart for PEH-rør, men en stor ulempe er at det tar lang tid før skjøten har oppnådd full styrke. Uvitenskap om dette forhold har ført til brudd. Ellers er erfaringen med denne rørtype liten her i landet.

5.2.2 TRERØR

8 av de registrerte utløpsledninger er av tre. Tre som rørmateriale har vært brukt til undervannsledninger i mange år, og de aller eldste utløpsledninger vi vet om er av dette materialet. Mulige dimensjoner er fra ca. 150 mm i diameter og oppover til flere meter. Økonomisk er de mer fordelaktige framfor andre typer jo større dimensjonen er, se avsnitt om økonomi.

Figur 44 viser to snitt i en treledning. Rørene består av trestaver, helst furu. Rørstavens tykkelse tilpasses etter størrelsen av rørene. 1½" plank brukes vanligvis i rør med diameter 0,15 m til 0,35 m og 2" plank i rør med diameter 0,4 m til ca. 1,0 m. I større rør brukes 2½" og 3" plank. Rørstavene radialhøvles og forsynes med en liten not og fjær i sidene, se figur 44, tverrsnitt. Stavene kappes i endene og slisses for innsetting av skjøtetunger. Til tunger brukes galvaniserte båndjern eller messingskinner, se figur 44, lengdesnitt. Rørstaver til kloakkrør trykkimpregneres. Endeskjøtene forskyves mellom stavene. Rørene forsterkes utvendig med strammebånd, gjenget i hver ende. Tilstrammingen skjer ved strammesko, muttere og skiver, som leveres med asfaltmaling eller varmgalvanisering. Avstanden mellom strammebåndene er avhengig av indre overtrykk, rørdiameter osv., men er normalt ca. 0,30 m.

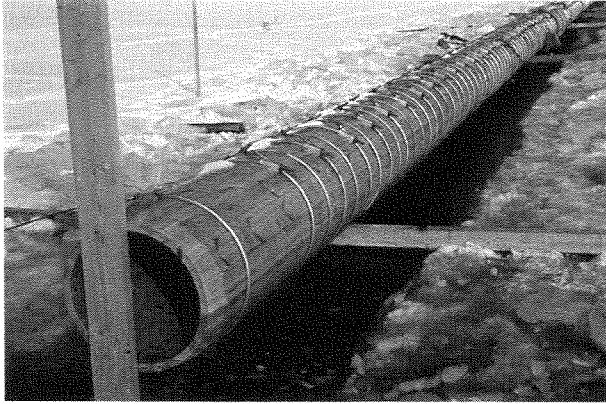


Fig. 45. Treledning klar til senking fra råk i is.

Figur 45 viser bilde av en ferdigmontert treledning. Trerørene kan enten monteres på fabrikk eller direkte på byggeplassen. Vanligvis er det økonomisk fordelaktig å montere trerør med dimensjon større enn ca. 500 mm i diameter på byggeplassen. Rørene settes sammen på land, fløtes ut og senkes i hel lengde. Man foretar ofte dette arbeidet om vinteren, og i så fall bygges ledningen på isen og senkes i en råk.

En treledning er fleksibel og tåler bøyepåkjenningene under senkingen bra. Den kan forme seg i grove trekk til bunntopografien. Treledninger kan uten vanskelighet bygges i hele lengder på 200 m og senkes.

Det er også en mulighet for skjøting av seksjoner. De vanligste løsningene er en skjøtemuffe av tre eller en cordarmert gummimuffe som festes til rørene med spesielle bånd. Skjøtemuffene må strekkavlastes f.eks. ved wirer. På grunn av trerørenes lave egenvekt må de gies en ekstra vektbelastning. Tørt tremateriale har en tetthet på ca. $0,5 \text{ kg/dm}^3$. Trykkimpregnerert har en tetthet på ca. $0,7 \text{ kg/dm}^3$. Vannmettet tre har en tetthet på opptil $1,5 \text{ kg/dm}^3$.

Levetiden av trerør i vann er vanskelig å forutsi. Selve trematerialet angripes ikke av råte mens det ligger i vann. I sjøvann hvor det kan finnes pelemark eller pelelus, er disse en alvorlig trussel mot trematerialet. Trykkimpregnering beskytter noe, men som regel anbefales det ikke å bruke trerør i områder hvor man vet det er pelemark eller pelelus. Strammebåndene kan utsettes for korrosjonsangrep i vann og må derfor være galvanisert. Der hvor faren for rustangrep på metalldelene er ekstra stor, kan man istedenfor eller helst i tillegg til strammebåndene av stål, også montere klaver av tre rundt ledningen som ekstra sikring.

5.2.3 ASBESTSEMENTRØR

Denne rørtype som vel er bedre kjent under navnet Eternit-rør, er benyttet i 4 av de registrerte utløpsledninger. Rørmaterialet er en blanding av asbestfibre, vann og sement. Rørene leveres i 5 m lengder. Det er konstruert en strekkfast skjøt for denne rørtype som vist på figur 46.

Det er dreiet ut et spor på utsiden av røret og et tilsvarende på innsiden av muffen. Strekkfastheten oppnås ved at en wire blir trukket inn i disse spor etter at muffen er montert. Wiren hindrer da røret i å bli dradd ut av muffen. Denne skjøt tillater en avvinkling på $3,5^\circ$, noe som gir ledningen en ganske stor fleksibilitet.

Skjøtene kan monteres på land, og den ferdige ledning skyves ut i vannet. Tetter man enden slik at vann ikke kommer inn, vil rørene flyte. Når alle skjøtene er ferdig, kan ledningen taues på plass og senkes ved at vann slippes inn. Tettheten for disse rørene er 2 kg/dm^3 , og de blir normalt ikke tilleggsbelastet. De mekaniske egenskapene er relativt gode, men erfaringen her i landet er at bøyepåkjenningene under senking av asbestsementrør lett blir for store, slik at det ofte har blitt brudd i skjøtene. Bøyepåkjenningene under senking øker med økende dyp, og derfor viser erfaringen at denne typen rør vanskelig kan benyttes på større dyp enn 7–8 m hvis senkingen skal utføres som for PEH-ledninger.

For å lette påkjenningene, kan en montere på oppdriftsbøyer under senkingen, slik at ledningen er nesten vektløs under vann. En løsning er også å montere rørene under vann, men et slikt opplegg er tidkrevende og kostbart.

Varigheten til asbestsement i sjøvann ansees å være god. Wirene som sikrer skjøtene, bør beskyttes mot korrosjon.

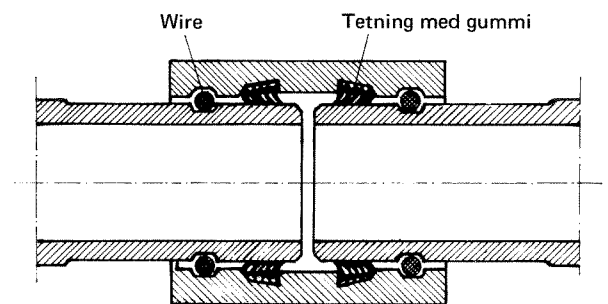


Fig. 46. Asbestsementrør med strekkfast skjøt ZOK.

5.2.4 STØPEJERNSRØR

Støpejernsrør er lite brukt som undervannsledninger her i landet. I andre land, f.eks. Sverige og USA, er anvendelsen større. Fordelen med denne rørtype er den høye mekaniske styrken som kan være nødvendig ved store overdekninger. Rørene leveres normalt i lengder på 6–7 m. Det finnes mange typer skjøter.

Figur 47 viser en strekkfast Express-skjøt for duktile støpejernsrør, som passer for bruk under vann. Den tåler en avvinkling på ca. 3° og strekkfastheten er sikret ved en metallring som vist på figur 47.

Som for plastrør, trerør og asbestsementrør kan hele ledningen monteres på land. Ledningen kan trekkes ut luftfylt på overflaten, evt. med pontonger hvis den ellers ikke flyter, og så senkes ved å slippe ut luft og/eller ta bort pontongene.

I praksis vil man vanligvis unngå for lange enheter med støpejernsrør slik at skjøting også må foregå under vann. På grunn av tyngden på støpejern er det nødvendig med kranutstyr som kan senke rørseksjoner i posisjon på bunnen. Gode værforhold er nødvendig ved slikt arbeid. En metode som er benyttet i Sverige i tilfelle hvor bunnen er jevnt hellende og bunnmaterialet er gunstig (f.eks. sand), er at ledningen på land monteres på en slede som så trekkes ut som vist i prinsipp på figur 48.

Sleden er foran utformet som en ski for at den ikke skal skjære ned i bunnmaterialet. Sleden dras ut ved hjelp av en vinsj plassert på en

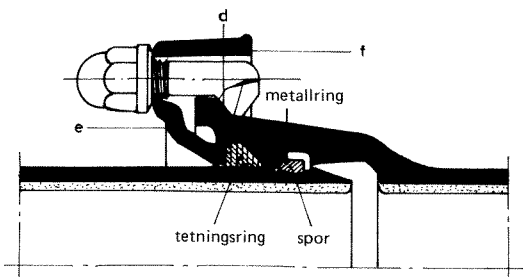


Fig. 47. Strekkfast Express-skjøt for duktile støpejernsrør.

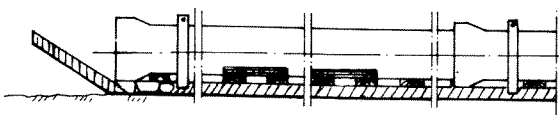


Fig. 48. Utløpsledning montert på slede som trekkes ut langs bunnen.

forankret flåte eller båt. Fordelen ved denne metoden er at skjøting kan foregå på land, og at ledningen i stor grad beskyttes ved legging mot utvendige skader. Denne løsningen på utlegging av støpejernsrør kan med fordel også benyttes til andre rørtyper som har problemet med mange skjøter, f.eks. betongrør.

Støpejernsrør må korrosjonsbeskyttes både inn- og utvendig. Utvendig er rørene vanligvis asfaltert, og innvendig er de enten asfaltert eller har et belegg av metallurgisk sement. Ved å benytte katodisk beskyttelse vil faren for punktangrep reduseres betydelig.

5.2.5 BETONGRØR

Betongrør benyttes lite som undervannsledninger i Norge, men er som for støpejernsrør, atskillig mer brukt i Sverige og USA. I Sverige brukes de særlig i tilfelle der dimensjonen er over 500 mm, og der det er nødvendig å grave ned eller på annen måte dekke over ledningen p.g.a. for eksempel bølge- og strømkrefter eller faren ved oppankring av båter.

De typer som det kan være aktuelt å benytte er sentrifugerte betongrør, forspente betongrør samt betongrør med stålkjerne. Mest benyttet er de forspente rørene. Maksimal lengde er i dag ca. 5 meter. Ved samtlige av disse typer er det fare for korrosjon på armering eller stålkjerne ved rissdannelse. Det må utvises stor forsiktighet under anleggsarbeidet slik at rørene ikke skades.

Utlegging av betongrør skjer ved at hvert rør senkes ned med kran og skjøtes under vann. Leggeprinsippet vist på figur 48, kan også brukes. Ved enkelte anledninger er de vanlige skjøter som benyttes i avløpsledninger på land også benyttet under vann, men dette har vist seg å være utilstrekkelig. Skjøtene begynner å lekke, og rørene glipper fra hverandre, særlig der bunnforholdene er ujevne. Det er utviklet skjøter med tanke på undervannsledninger, og figur 49 viser en slik spesialskjøt.

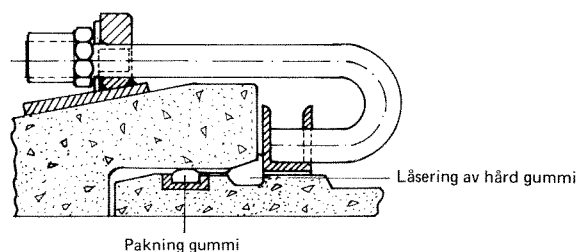


Fig. 49. O-ringtetting med strekkklave for betongrør.

For at betongrør skal kunne brukes som undervannsledning, må underlaget være jevnt uten fare for ujevne setninger. Som regel vil det være nødvendig å grave ut eller mudre en grøft i bunnmaterialet og fylle etter med et trykk-utjevrende pukklag før rørene legges. I og med at rørene vanligvis må senkes fra båt, er værforholdene viktige. Vind og bølger vil vanskeliggjøre arbeidet og kan føre til store forsinkelser og ekstrakostnader.

5.3 Krefter på utløpsledninger

Utløpsledninger er utsatt for varierende krefter både under legging og ankret til bunnen. Påkjenninger på rørledningen under legging vil først og fremst være avhengig av strøm og bølgebevegelse, rørtype, leggemetode og de lokale bunnforhold.

På bunnen vil luftansamlinger i ledningen og ytre krefter som følge av strøm- og bølgebeve- gelser i resipienten vanligvis forårsake de største krefter på utløpsledningen.

For å beskytte ledningen mot is- og bølge- bryting i strandsonen, sandtransport, båttrafikk osv., graves vanligvis ledningen ned i bunnen. Under nedgravingsfasen vil øket oppdrift som følge av væskefylt dekkmasse kunne forårsake betydelige krefter. Likeledes vil overdekking med faste masser utøve krefter på røret.

5.3.1 STRØM- OG BØLGEKREFTER

Strøm- og bølgekrefter vil gjøre seg gjeldende på utløpsledninger under legging og etter at led- ningen er ankret til bunnen. Strømkrefter vil kunne være betydelig i elver, elveutløp, i sund og over terskler, og skyldes vanligvis ferskvanns- avrenning eller vannbevegelser fra endringer i vannivået eller vannets tetthet.

Krefter som følge av en jevn strømbevegelse i rett vinkel på en rørledning liggende på bunnen, se figur 50, kan deles opp i en dragkraft F_D og en løftkraft F_L

$$F_D = C_D \cdot \gamma \cdot D \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot L$$

$$F_L = C_L \cdot \gamma \cdot D \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot L$$

hvor

C_D = dragkoeffisient

C_L = løftekoeffisient

γ = vannets egenvekt

D = rørets diameter

V = vannets hastighet

g = gravitasjonskonstanten

L = lengden av røret

C_D og C_L er en funksjon av Reynolds tall $R_e = \frac{D \cdot V}{\nu}$ hvor ν er vannets kinematiske viskositet. Målinger av strømkrefter på rør med diametre og med strømbevegelser som forekommer ved utløpsledninger har gitt, referanse 6 og 7:

| R_e | C_D | C_L |
|------------------|-------|-------|
| $0,5 \cdot 10^5$ | 0,9 | 1,3 |
| $3 \cdot 10^5$ | 0,55 | 0,8 |

I innsjøer og i innelukkede fjorder vil bølge- krefter vanligvis bare gjøre seg gjeldende i gruntvannsområdet nær opptil land. Bølgebe- vegelsen merkes ned til et dyp tilsvarende halve bølgelengden og blir sterkere jo grunnere det er. I bølgebrytningssonen vil kreftene fra bølger være særlig store, og her graves derfor ledningen ned. I åpne langgrunne kystområder vil bølge- kreftene kunne spille den avgjørende rolle for dimensjonering og utforming av utløpsledning og forankring. Bølger vil i tillegg til en dragkraft og løftkraft også forårsake en akselerasjonskraft (massekraft).

Beregning av krefter fra strøm og bølger utredes i et eget forskningsprosjekt PRA-5.1 Ytre krefter på utløpsledninger. Dette pro- sjekt skal gi en oversikt over ytre krefter på utløpsledninger og hvordan disse kan forutsies og beregnes.

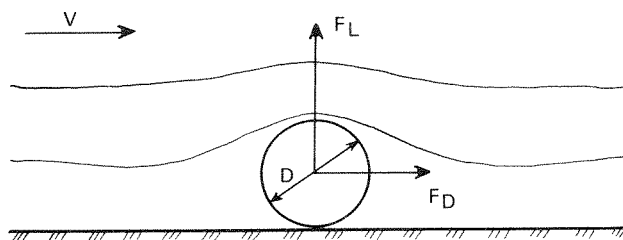


Fig. 50. Krefter på en ledning liggende på bunnen p.g.a. strømbevegelse på tvers av ledningens lengdeakse.

5.3.2 KREFTER PÅ EN UTLØPSLEDNING P.G.A. LUFT ELLER GASSANSAMLINGER

Luft kommer inn i utløpsledningen i utløpskummen. I avsnitt 4 er dette forhold nærmere beskrevet. Erfaringene viser at det alltid vil forekomme varierende mengder luft eller gass i utløpsledninger. Generelt vil det lett oppstå luftproblemer i en utløpsledning der inntaket ikke er neddykket i utløpskummen, der vannføringen varierer sterkt, og der det i tillegg er dårlig fallforhold langs ledningstraséen. Gassdannelse vil forekomme i avløpsvannet og fra slamavsetninger i rørene. Undersøkelsen har vist at her i landet er det vanlig med lav hastighet og dårlig rensegrad på avløpsvannet og derfor store slamavsetningsproblemer. Erfaringer går ut på at gassmengdene som blir dannet kan være store nok til at utløpsledningen flyter opp. Her vil fallforholdene bety meget, for med god helning

på ledningen vil gassboblene etter hvert som de blir dannet kunne gå motstrøms og unngå i utløpskummen.

Oppdriftskreftene som vil virke på en utløpsledning med luft- og gassansamling kan bli meget store. Det er derfor nødvendig å vektbelaste eller forankre rør av de aller fleste rørmaterialer til bunnen. Figur 51 viser hvilken oppdriftskraft pr. meter som virker på ledninger lagt i sjøvann ved ulike grader av luftfylling og ved ulike indre diametre. Figuren viser også omtrent hvilken effektiv vekt ledninger med ulike rørmaterialer får når de er vannfylt og nedsenket i sjøvann. Kurvene er å forstå slik at eksempelvis asbestsementrør ved sin egenvekt vil tåle en luftfyllingsgrad fra 50% ved diameter 200 mm til ca. 30% ved diameter 600 mm. Ledninger av PVC tåler ubetydelig med luft uten ekstra vektbelastning. Ledninger av PEH og tre må

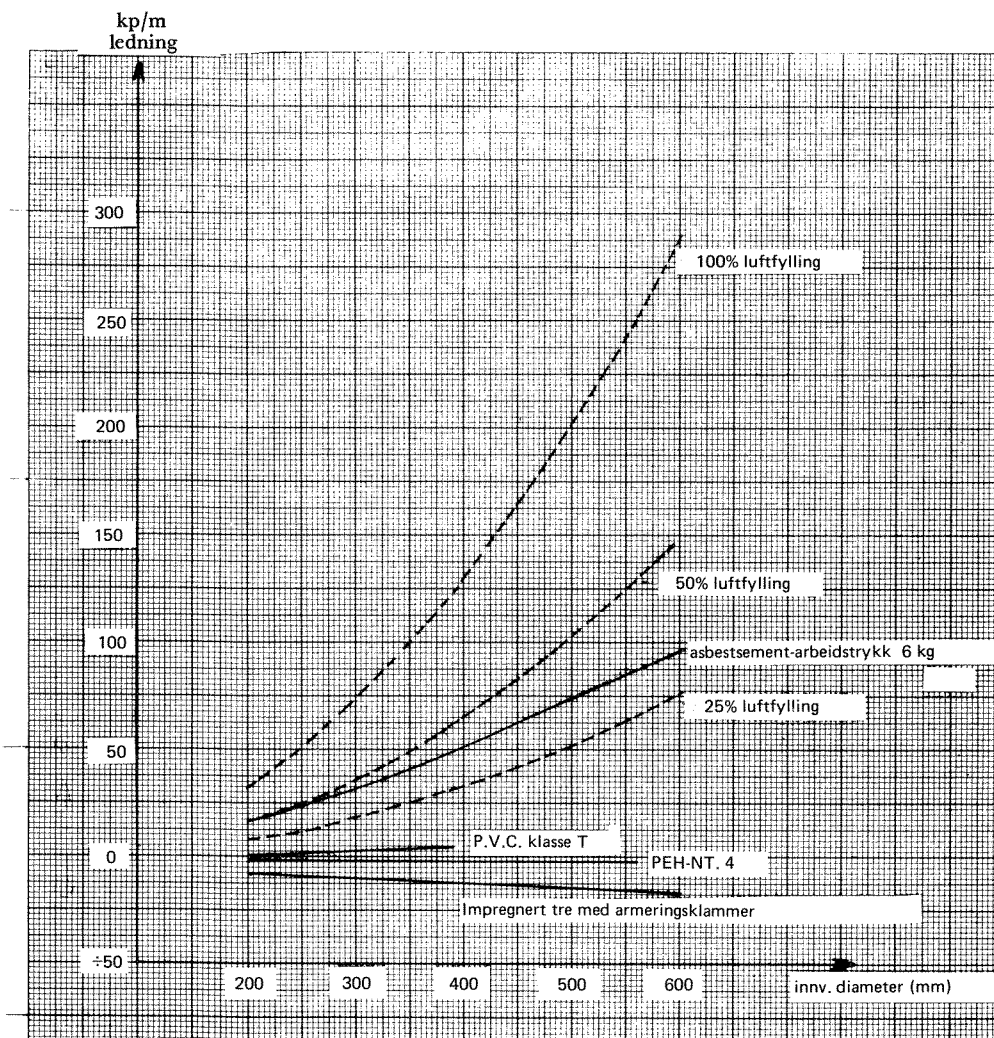


Fig. 51. Stiplede linjer gir oppdriftskraft pr.m ledning når den er nedsenket i sjøvann ved ulike grader av luftfylling. Hele linjer gir effektiv vekt av ulike rørmaterialer når de er nedsenket i sjøvann.

Tetthet av avløpsvann = 1.000 kg/dm³. Tetthet av sjøvann = 1.025 kg/dm³.

vektbelastes før de kan senkes. Nødvendig vektbelastning under vann fremgår som vertikal avstand mellom kurven for det aktuelle rørmaterialiet og kurven for prosentvis luftfylling.

Som tidligere omtalt i kapitlet om trykksystem, er det mange steder her i landet slike terrengforhold at utløpskum vanskelig kan bygges ved sjønivå. Videre kan det være tilfelle der det er aktuelt å la utløpsledninger ligge med motfall. Ved slike forhold må det tas ekstra hensyn til mulige luftansamlinger. Her skal kort omtales mulige tiltak på utløpsledninger for å redusere luftansamlinger.

For eksempel kan det monteres på et lufterør som vist på figur 15. Dette røret føres tilbake til kummen, evt. opp på en øy. En annen mulighet er at det bores et hull i ledningen i høybrekket hvis det kan godtas at en mindre spillvannsmengde slippes ut der. Hvor stort hullet og evt. lufterøret bør være, er avhengig av avløpsvannets rensesgrad. Det må minst være 2–3 cm, og antakelig større når det er urensset avløpsvann som går i ledningen. En skal være klar over at mens tyngre partikler hovedsakelig følger bunnen, så føres lette ting som plast, skum og andre flytestoffer i den øvre delen av ledningen.

For at luften skal kunne unnvike i et lufterør eller et hull, vil det være en stor forbedring hvis tverrsnittet på utløpsledningen kan utvides slik at vannhastigheten minskes i området ved utluftningspunktet. Derved vil luften få lengre tid på å unnvike fra avløpsvannet. En tredje mulighet er at hele utløpsledningen føres på land slik at høydepunktet blir der. Dette kan være en løsning hvis det er øyer i nærheten. Her kan ledningen kuttes i en kum, men slik at både inn- og utløp er dykket. Luften vil dermed kunne unnvike. Hvis det er mulig med jevnlig ettersyn, kan det på ledningen monteres en ventil som luften slipper ut gjennom når den åpnes. Det hadde vært gunstig med en automatisk lufteventil, men det har kun vært prøvd i ett kjent tilfelle p.g.a. faren for tilstopping. I dette ene tilfellet er avløpsvannet relativt bra mekanisk renseset, og dimensjonen er stor på både ledning og lufteventil. Så vidt man vet har denne lufteventil som er plassert i kum på land virket bra.

I et eget prosjekt PRA-5.3 Luftansaling i utløpsledninger, skal det studeres hvordan luftansamlinger oppstår, hvordan disse kan fjernes og hvilke kriterier som må legges til grunn for den konstruktive utforming og drift av utslippet for å unngå luftansamling.

5.3.3 OPPDRIFTSKREFTER PÅ EN UTLØPSLEDNING I NEDGRAVINGSFASEN

Et fenomen som kan opptre under vann i nedgravingsfasen, og som kan føre til komplikasjoner, skal kort omtales. Hvis det graves i løse masser under vann, kan blandingen bli så effektiv at vann og løsmasse en periode opptrer som en suspensjon eller væske med større tetthet enn 1,0. Dette betyr at hvis en ledning senkes ned i denne suspensjonen, vil oppdriften bli større enn om senkingen foregår i rent vann. Figur 52 viser en framstilling av en suspensjons tetthet som funksjon av voluminnhold og tetthet av det oppslemmede materialet.

Hvor stor tettheten til en slik suspensjon i virkeligheten kan bli er usikkert, men erfaringer går ut på at verdier opp mot 2,0 er mulig. Av denne grunn vil det i slike tilfelle være behov for betydelig tilleggsbelastning i nedgravingsperioden for i det hele tatt å få senket ledningen.

5.3.4 KREFTER PÅ EN UTLØPSLEDNING P.G.A. OVERDEKKING

Der en ledning ligger nedgravd eller er overdekket av faste masser som grus, jord og stein vil dette forårsake ekstra belastning på røret. Det må tas hensyn til dette ved valg av rørmateriale og type, slik at utløpsledningen ikke blir overbelastet i denne sonen. Beregningsgrunnlaget for en slik vurdering er det samme som for ledninger lagt i grøfter på land, og vil ikke bli omtalt nærmere her.

5.4 Ankring av utløpsledninger

Vektbelastningen eller forankringen har som funksjon å sikre en stabil plassering av utløpsledningen når den er neddykket i vann. Tidligere er omtalt hva slags krefter som virker på en ledning under vann. Størrelsen på disse kreftene er bestemmende for dimensjonering av vektbelastning eller forankring.

Fra land og ut til 3–5 m dyp er det vanlig å grave ned ledningen for å beskytte den mot is, bølger og båttrafikk. I åpne kystområder kan det være nødvendig å grave ledninger ned til større dyp. Faste masser som grus, fast leire og stein vil som overdekking normalt være en god sikring mot oppflytning. Det kan som tidligere nevnt være nødvendig med tilleggsbelastning av ledningen i nedgravingsfasen hvis det ved graving under vann i løse masser dannes en suspensjon med tetthet større enn 1.0.

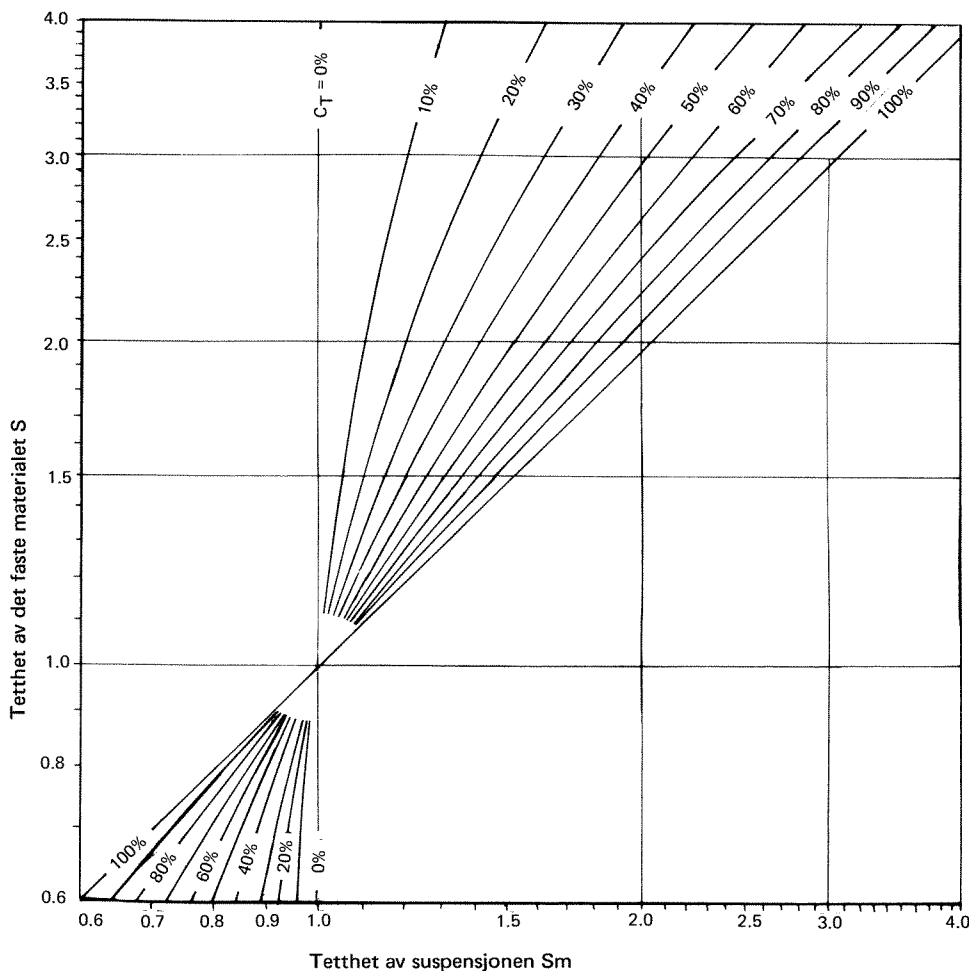


Fig. 52. Tetthet S_m til suspensjoner av vann og fast materiale ved ulike volumkonsentrasjoner C_T og tetthet S av det faste materialet.

Fra 3–5 m dyp er det vanlig at utløpsledningen ligger oppe på bunnen. På dette dyp er bølgekreftene vanligvis av mindre betydning, og det er oppdrift grunnet luft- eller gassansamling som blir avgjørende. Tidligere er omtalt problemet med luft og gassansamling i utløpsledninger og hvordan forholdene kan variere fra sted til sted. Alt etter forholdene må det i hvert enkelt tilfelle vurderes om en utløpsledning på forskjellige steder langs traséen vil kunne bli helt eller delvis fylt med luft. Betydningen av forskjellige grader luftfylling for vektstørrelsen på eksempelvis en polyetenledning, går fram av figur 53. De fleste eksisterende utløpsledninger er dimensjonert for å tåle luftfylling på mellom 25–50% uten å flyte opp.

De forskjellige krefter som virker på en utløpsledning vil kunne variere meget. For dimensjonering av vektbelastning eller forankring, må alle krefter vurderes samlet m.h.t. når de oppstår, hvor store de er, i hvilken grad de virker

samtidig, og hvilke ekstreme belastninger som kan oppstå.

Utforming og vekt av loddene er avhengig av de krefter som virker på ledningen, avstanden mellom loddene og hvorvidt ledningen skal ligge direkte på bunnen, eller sveve i en viss avstand over. Siktemålet ved kombinasjon ledning – lodd, bør være at de to så forskjellige enhetene skal virke sammen som en enhet. Dette oppnås ved at den samlede loddvekt blir fordelt så jevnt som mulig i hele ledningens lengde. Dette gir også store fordeler ved senkingen av ledningen. Det motsatte ytterpunkt som bør unngås, er å plassere få tunge lodd med stor innbyrdes avstand langs ledningen.

For fleksible rørledninger må avstanden mellom loddene være så liten at ledningen som følge av luftansamlinger ikke får anledning til å heve seg nevneverdig mellom loddene. For polyetenledninger er det enighet om at vektene i områder hvor det er fare for luftansamlinger ikke bør ha større avstand enn ca. 5–6 m.

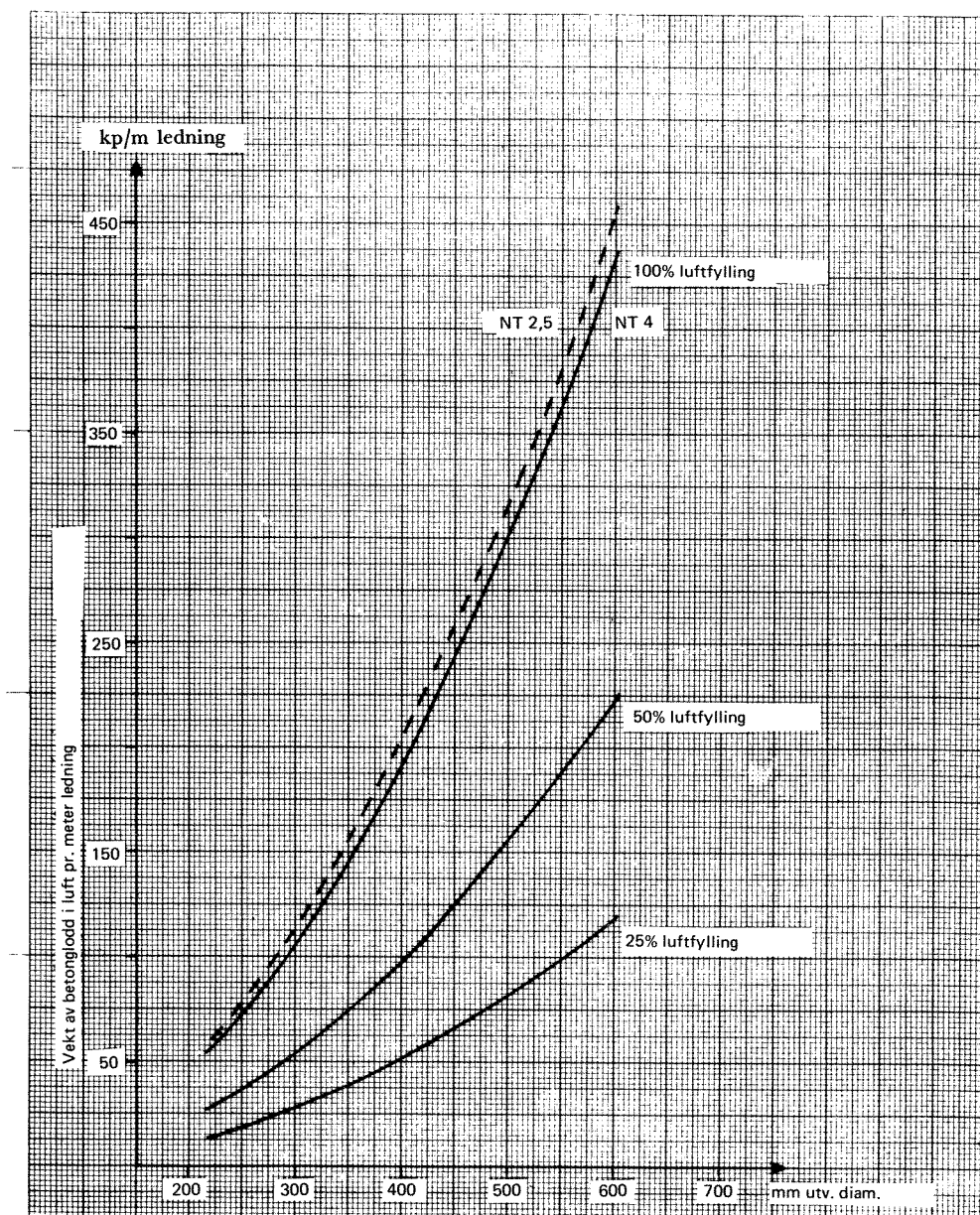


Fig. 53. Diagram for belastning av PEH rørledning NT4 mot luftfylling. Vekten gjelder i luft for belastningslodd av betong med tetthet $2,4 \text{ tonn/m}^3$. Tettheten av resipientvann settes = 1.025 tonn/m^3 . Tettheten til PEH-røret settes = 0.960 tonn/m^3 .

5.4.1 LEDNINGEN LIGGENDE PÅ BUNNEN

Typisk for norske forhold er at stedene der utløpsledningene legges er relativt godt beskyttet. Kysten består av fjorder, bukter og viker med øyer og skjær utenfor. Vanlig er også at dypet øker ganske raskt fra stranden og utover. Disse forhold gjør at den største del av utløpsledningen som regel kan legges ubeskyttet på bunnen.

Vanligvis er det i dette tilfelle brukt støpte betonglodd for å holde ledningen på bunnen, se figur 54 og figur 55 i fotoplansje. Slike betong-

lodd er vanligvis festet på ledningen med ca. 4–6 m avstand.

Betongloddene blir skrudd sammen på ledningen. For å beskytte selve røret og for å sikre mot glidning langs røret, er det ofte benyttet mellomlegg mellom ledning og lodd. Dette kan eksempelvis vær biter av plastslanger eller en plastduk. Ved riktig utforming kan loddene skrues sammen slik at de sitter godt fast på ledningen uten mellomlegg, og det er ikke påvist i slike tilfelle at lodd har skadet ledningen.

Det er mange andre loddyper som er brukt,

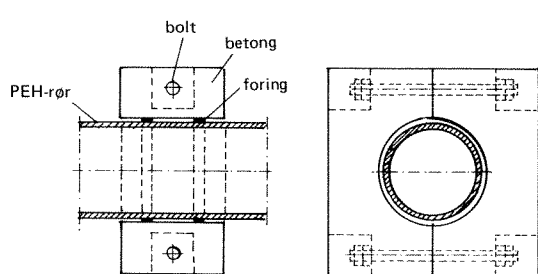


Fig. 54. Vektbelastning av betong.

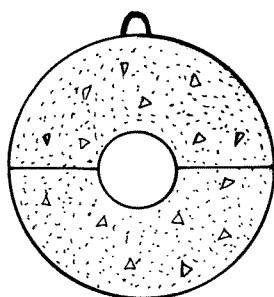
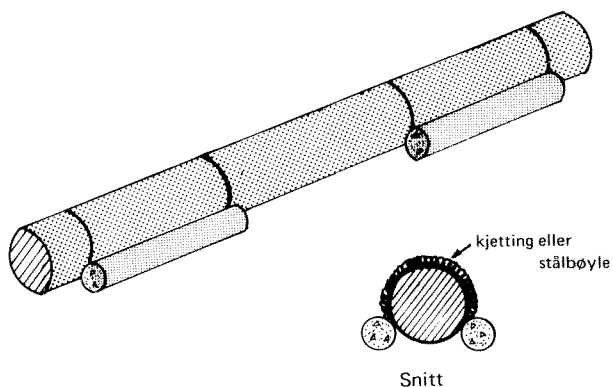


Fig. 56. Rundt belastningslodd av betong.

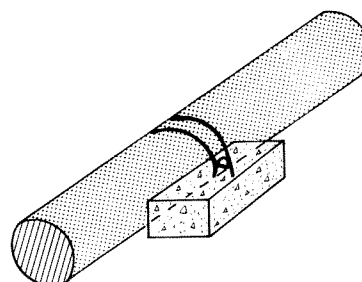


Fig. 57. Vektbelastning med påhengte betonglodd.

og i det følgende er noen av disse beskrevet nærmere.

Figur 56 viser et rundt betonglodd. Denne typen vil ikke stå stabilt på bunnen med mindre den blir delvis tildekket. Bevegelse i vannet vil lett få lodd og ledning til å rulle.

Figur 57 viser eksempler på ledninger belastet med påhengte betonglodd. Hvis de er lagt og festet som figuren viser, vil de lett forskyve seg

eller falle av under senking. De må derfor sikres ved f.eks. et langsgående tau. Denne belastningstypen passer best å plassere etter senkingen.

Figur 58 viser noen varianter av påklamrede lodd. Klammerne må strammes godt over ledningen og beskyttes mot skader.

Loddet på figur 59 må plasseres etter senkingen, og er ikke å anbefale, fordi det lett kan falle av. Figur 60 viser en forbedret utgave.

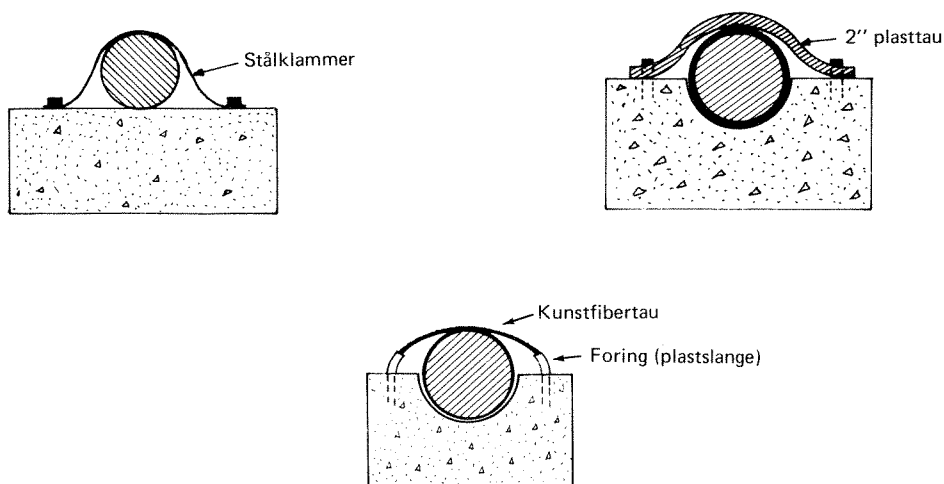


Fig. 58. Vektbelastning med påklamrede betonglodd.

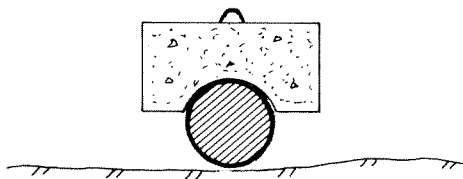


Fig. 59. Tilleggsbelastning senkes ned fra båt etter at utløpsledningen er lagt.

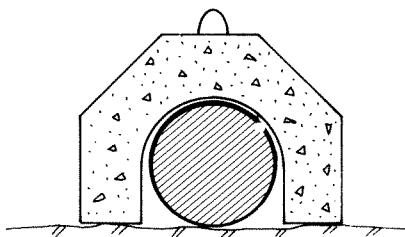


Fig. 60. Tilleggsbelastning senkes ned fra båt etter at utløpsledningen er lagt.

På en del eldre utløpsledninger er det brukt bly som belastning, figur 61 og 62 viser to eksempler.

På figur 61 er det festet blyringer, og på figur 62 er det surret fast blybarrer på ledningen. Bly som belastning blir sjelden benyttet i dag.

Det finnes eksempler på at betongrør har vært brukt som belastning på plastledninger som vist på figur 63.

Denne metoden krever at betongrørene blir festet til ledningen og sikret mot forskyvning ved tau eller wirer.

Av andre belastningstyper er eksempelvis sement- eller mørtelsekker benyttet. Sekkene lar seg delvis forme etter ledningen, og etter at innholdet har herdet ligger sekkene stabilt på ledningen.

Som spesiell belastning nær land og der utløpsledningen graves ned, har det vært benyttet støpejernsrør som utløpsledningen ligger inne i. I tillegg til belastningsfunksjonen virker et slikt støpejernsrør som beskyttelse mot ytre mekaniske påkjenninger fra f.eks. båt, is og jordtrykk.

5.4.2 LEDNINGEN SVEVENDE OVER BUNNEN

Som tidligere omtalt vil det kunne være nødvendig at utløpsledningen svever i vannet i varierende avstand fra bunnen for å unngå ujevnheter og for å sikre gunstige fallforhold. Metodene for å sikre disse ledningene mot å flyte opp må nødvendigvis bli forskjellig i forhold til ledninger som kan ligge direkte på

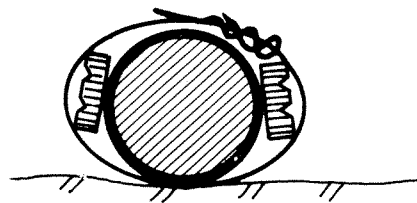


Fig. 61. Vektbelastning med fastsurrede blybarrer.

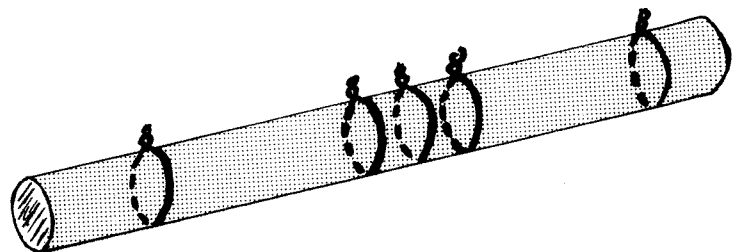


Fig. 62. Vektbelastning med blyringer.

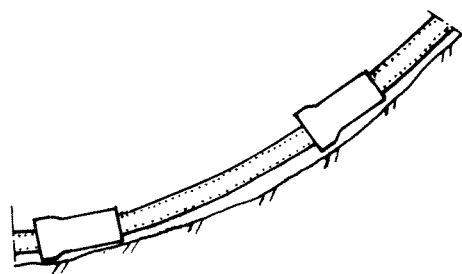


Fig. 63. Vektbelastning med betongrør.

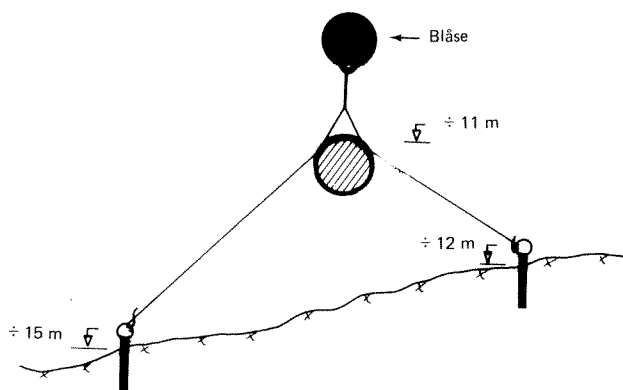


Fig. 64. Utløpsledning montert svevende over bunnen.

bunnen. En del eksempler på dette skal vises i det følgende.

Figur 64 viser et tilfelle der ledningen er festet med tau til fjellbolter. Stabiliteten er sikret ved

at det til ledningen er festet oppdriftsbøyer. Bøyene må tåle det aktuelle vanntrykk, og bør vanligvis være fylte, f.eks. med polyuretanskum. Tauverket, som ofte er det svakeste punkt i arrangementet, bør være kunstfibertau som kan beskyttes ved at de blir tredd inn i en plastslange. Denne og andre liknende løsninger krever omsorgsfullt arbeid av dykkere som må justere taulengdene slik at fallet på ledningen blir riktig.

Videre vil slike arrangement være sårbare overfor anker fra båter, tungt fiskeutstyr osv., og ledningens trasé må merkes skikkelig. Det vil være nødvendig med forbud mot oppankring av båter og fiske i området der ledningen ligger.

Begroing av ledning, tauverk og oppdriftsbøyer vil ofte forekomme. Dette må taes hensyn til når oppankringssystemet skal dimensjoneres, fordi det vil kunne medføre øket vektbelastning og større angrepsflate for ytre krefter. Figur 65 i fotoplansje viser eksempel på begroing på en sveveledning.

Figur 66 viser et liknende arrangement uten oppdriftsblåser som er blitt brukt på noenlunde jevn bunn.

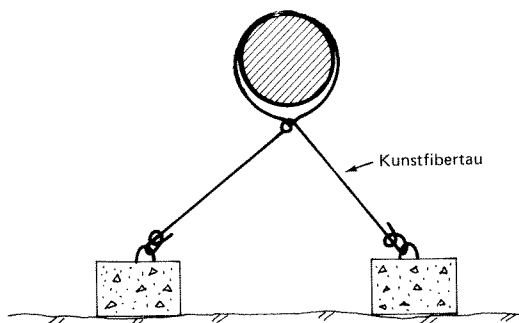


Fig. 66. Sveveledning forankret med tau til lodd på bunnen.

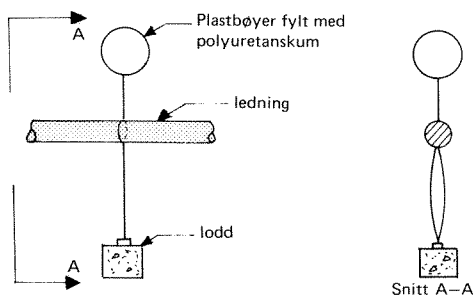


Fig. 67. Sveveledning med oppdriftsbøye og forankring til bunnen.

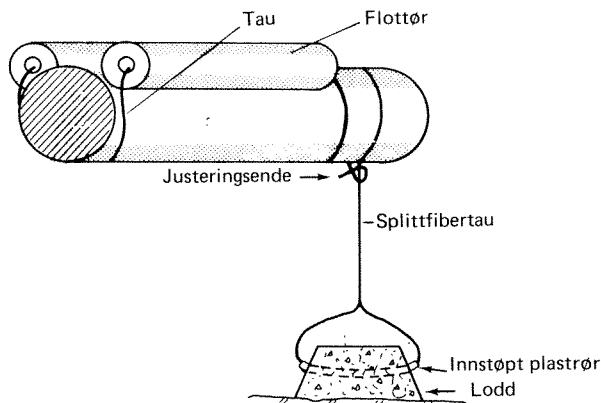


Fig. 68. Sveveledning.

I ett tilfelle hadde det dannet seg store slamsamlinger inne i en slik ledning som tynget den ned. Tauverket var blitt slakt, og ledningen hadde motfall noen steder.

Utløpsledningen på figur 67 er forankret til bare ett lodd på bunnen. Denne løsningen er ikke så god, fordi ledningen ikke er sikret mot sideveis bevegelse.

Løsningen på figur 68 er prinsipielt lik den på figur 67.

5.4.3 LEDNINGEN NEDGRAVD

I åpne kystområder, spesielt der det er langgrunt, vil det kunne være nødvendig å beskytte utløpsledningen mot bølger, strøm, sandtransport osv. over lengre strekninger. I Sverige finnes disse forholdene spesielt på vestkysten, og erfaringer derfra går ut på at bølgekraftene har ødelagt mange sjøledninger.

I slike utsatte områder må ledningen enten graves ned eller dekkes over, se figurene 69 og 70.

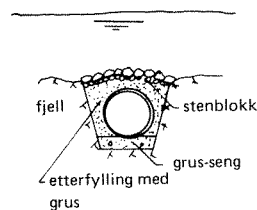


Fig. 69. Utløpsledning lagt i grøft og overdekket.

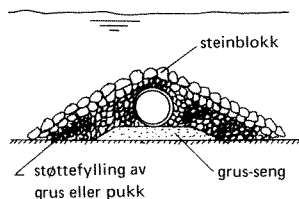


Fig. 70. Utløpsledning lagt på bunnen og overdekket.

6. Spredanordning og avløpsvannets primærfortynning

6.1 Spredanordning – diffusor

Hensikten med en spredanordning er å fordele avløpsvannet ut i et stort volum i resipientens vannmasser og å oppnå en tilstrekkelig primærfortynning med innblanding på det mest egnede sted i resipientens vann. Ved enkelte utslipp vil tilstrekkelig fortynning kunne oppnås ved én avløpsstråle, enten ved direkte utslipp fra avløpsledningens ende eller ved en utløpsdyse. Ved større utslipp vil en betydelig gunstigere primærfortynning kunne oppnås ved bruk av diffusor tilknyttet utløpsledningens ende. En diffusor fordeler avløpsvannet til en serie av små avløpsstråler.

Den konstruktive utforming av en diffusor vil variere avhengig av avløpsvannets og resipientens egenskaper. En enkel, men effektiv diffusor som vanligvis egner seg godt består av en rørledning med runde hullåpninger for horisontale avløpsstråler langs begge sider. For å unngå ustabilitet ved fordeling av avløpsvannet til hullene, er disse plassert annen hver gang til hver side av rørledningen. Denne type diffusor legges vanligvis direkte på bunnen og krever stabile bunnforhold. Hull for avløpsstrålene kan enkelt bestå av runde hull i rørledningens vegg. For å oppnå gunstig fortynning, bør avløpsstrålene rettes horisontalt ut fra diffusoren og hullenes diameter bør være så små som mulig.

For å sikre en jevn fordeling av avløpsvannet

ut av alle hullåpningene, bør summen av hullenes areal være mindre enn utløpsledningens areal. Dette sikrer at utstrømningshastigheten i strålene er større enn hastigheten i utløpsledningen. Erfaringer indikerer her at et totalt effektivt areal av hullene på opptil en halv til to tredjedeler av utløpsledningens areal gir gode utstrømningsforhold i hullene. Hullenes minstestørrelse begrenses nedad først og fremst av faren for tiltetting og er således avhengig av avløpsvannets rensegrad, men ligger normalt i området 50–100 mm. Som minimumskrav må avløpsvannet passere et sandfang og en rist. Større gjenstander som vil kunne sette seg fast i utløpshullene må ikke under noen omstendigheter få passere ut i utløpsledningen.

Avstanden mellom avløpsstrålene bør være mellom 1/5 til 1/10 av utslippsdypet under innlagingsnivået. Dette sikrer en maksimal fortynning av avløpsstrålene, referanse 8.

Hydraulisk dimensjonering og konstruktiv utforming av diffusorer skal utredes i et eget forskningsprosjekt PRA–5.5 Spredanordning og avløpsvannets primærfortynning.

I det følgende skal en del eksempler på bruk av diffusorer her i landet og erfaringer med disse omtales.

Figur 71 viser en diffusor tilknyttet en utløpsledning med indre diameter på 600 mm. De første 22 m av diffusoren har en indre diameter på 600 mm, mens de resterende 18 m av diffusoren har en indre diameter på 400 mm. I enden har diffusoren en sektorformet åpning. Langs sidene i en høyde av $D/2$ fra bunnen er det huller med diameter på 100 mm, rettet annenhver gang til hver side og med innbyrdes avstand på 1,5 m. Til sammen har diffusoren 24 hullåpninger, og er dimensjonert for en maksimal avløpsmengde på ca. $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er mekanisk rensed avløpsvann som blir ledet ut, og det er ikke rapportert driftsproblemer med diffusoren.

Figur 72 viser snitt av en annen diffusor. Hovedrøret og diffusoren har diameter 600 mm. Selve diffusoren er 15 m lang med 7 hull, fordelt langs begge sider og med ett i enden. Hullenes diameter er 200 mm og innbyrdes avstand er 2,5 m. Ved dykkerbefaring av dette utløpet viste det seg at øvre enden av diffusoren ligger på 18 m dyp og den nedre ende ligger på 21 m dyp. Ved senkingen hadde diffusoren lagt seg slik at hullene ikke var rettet horisontalt. Av til sammen 7 hull var det bare det første, det på 18 m dyp som var åpent, og hvor man kunne se strålen

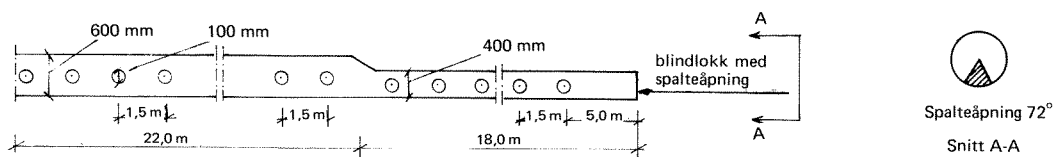


Fig. 71. Eksempel på diffusor.

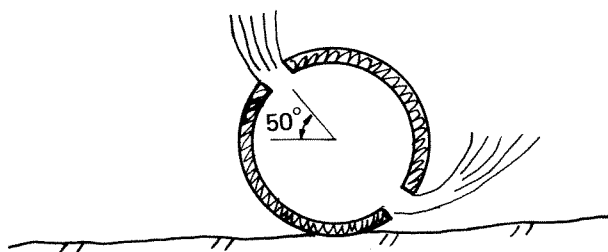


Fig. 72. Feilmontert diffusor. (Snitt).

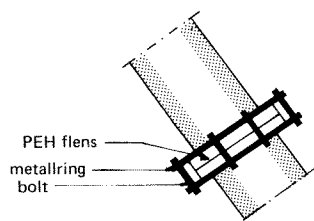


Fig. 73. Dreibar skjøt mellom utløpsledning og diffusor.

av avløpsvann. I de andre hullene kunne man tydelig kjenne kvister, bordbiter og slam som hadde tettet til. Avløpsvannet i denne ledning passerer et maskinrenset ristarrangement, men dette ble montert først etter at urensset avløpsvann en tid hadde gått i utløpsledningen.

Den skjeve stillingen som er vist på figur 72 kan unngås ved at det på selve utløpsledningen og på diffusordelen sveises på flenser som muliggjør dreining av diffusoren av dykkere etter at denne er senket til bunnen. Etter dreining klemmes flensene sammen med omkringliggende metallringer og bolter, se figur 73.

Figur 74 viser snitt av en diffusor med en annen utførelse. På hovedrøret, som avtrappes fra 500 mm til 315 mm i diameter, er plassert 9 stk. 150 mm bunnløpsavstikkere annen hver gang til hver side. Diffusoren ligger med sterkt fall. Ved denne utførelsen har ikke sedimenter så lett for å lagre seg i bunnen av røret. Denne konstruksjonen er dyrere enn den vist på figur 71. Ved dykkerbefaring viste det seg at kun det øverste hull var åpent, og alt avløpsvannet kom der. Hele den nedre delen av diffusoren var tilstoppet. Dykker kjente konturene av et "møkkagreip" ved å stikke hånden inn i det nederste hullet. Avløpsvannet som går i denne ledningen er urensset.

Figur 75 viser eksempel på en diffusor med hullene på toppen av ledningen. Avstanden mellom hvert hull er ca. 1,5 m. Opprinnelig var enden tettet til med en endeplate på denne diffusoren, men da avløpsvannet inneholdt store mengder grus og sand tettet det hele seg snart til. Endelokket ble fjernet, og siden har det ikke vært problemer. En viktig årsak til det er at en hyppig forekommende stor vannføring sørger for god spyling.

Til slutt i dette kapittelet er det på figur 76 vist i prinsipp hvordan man kan lage til en diffusor slik at selve fordelingsrøret hele veien er gravd ned. Denne utførelsen er benyttet i Sverige. Avløpsvannet er i dette tilfellet biologisk rensset.

I avsnitt 7 om hydraulisk dimensjonering fremgår det at driftsproblemene med utløpsledninger skyldes dårlig rensegrad og små vannmengder. Dette er óg direkte årsak til at de fleste diffusorer her i landet i mer eller mindre grad har gått tett.

På samme måte som for utløpsledninger må diffusoren sikres en jevnlig spyling. En daglig minste spylehastighet på 0,6–0,8 m/s antas også her å være tilstrekkelig for selvrensing. Videre bør et minstekrav være at avløpsvannet passerer sandfang og rist før utløpsledningen. Diffusorer

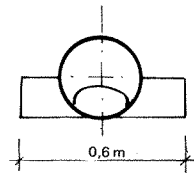
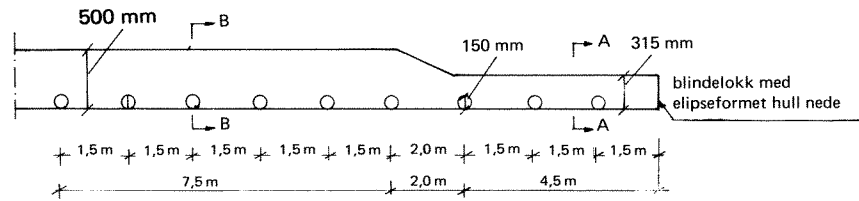


Fig. A-A

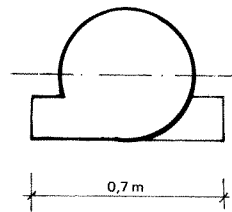


Fig. B-B

Fig. 74. Eksempel på diffusor.

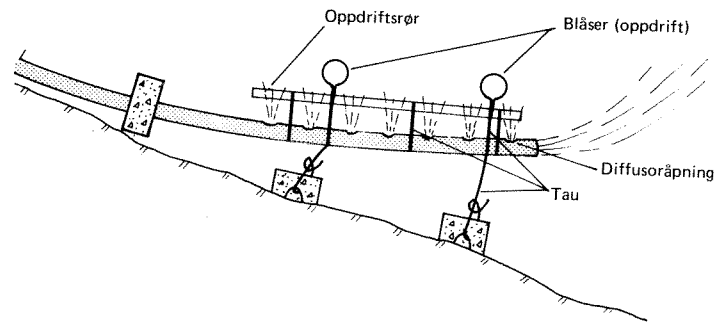


Fig. 75. Diffusorarrangement.

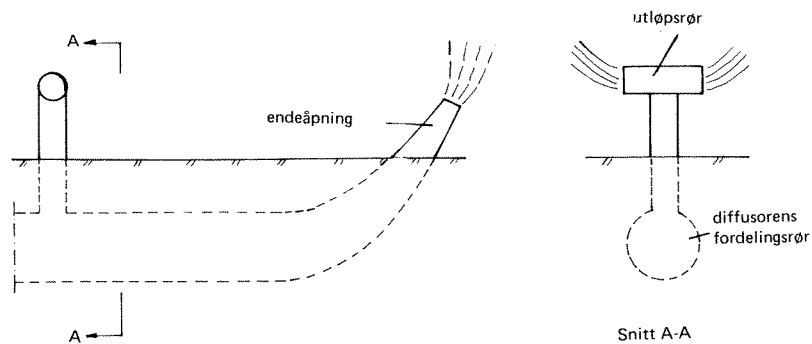


Fig. 76. Nedgravd diffusor.

bør ikke monteres før rensanlegg, ristarrangement osv. virker tilfredsstillende og etter at eventuelle steiner, jord og bordbiter som måtte ligge igjen etter anleggsperioden er fjernet.

6.2. Plassering av utløpet

I praksis plasseres enden av utløpsledningen på mange forskjellige måter, avhengig av bunnforholdene og avløpsvannets innhold av forurensninger. I det følgende skal vises en del eksempler på gode og dårlige løsninger.

Svært mange utløpsledninger er lagt med utløpet direkte på bunnen. På flat bunn og med mye slam i avløpsvannet kan forholdene lett bli som vist på figur 77. Se også figur 78 på fotoplansje. En slik løsning er derfor ikke å anbefale med mindre avløpsvannet er minst mekanisk rensert eller ledningsenden kan plasseres på kanten av en skråning eller et stup.

Generelt anbefales det at utløpet plasseres

1–3 m over bunnen. Dette er også gjort i mange tilfelle.

Figur 79 viser utløpsledninger fastspent i belastede trerammer. Figur 80 viser en ledning som er festet til et enkelt kryss av trepeler. Slike arrangement er enkle å lage og kan anbefales hvis de blir gjort solide, men bruk av trematerialer under vann må unngås i områder med pelemark.

Figur 81 viser en ledning som er festet i et spesielt laget belastningslodd av betong. Fotografiet av dette arrangement er vist på figur 82 i fotoplansje.

På figur 64 i avsnitt 5.4 er vist hvordan man med oppdriftsbøyer og feste med tau ankret til bunnen får til en plassering av utløpet over bunnen.

Figur 83 viser en ledningsende som er plassert oppå en haug med mørtelsekker. Det er også plassert sekker oppå ledningen som belastning. Ved heving av enden over bunnen bør det unngås at ledningen får motfall før utløpet.

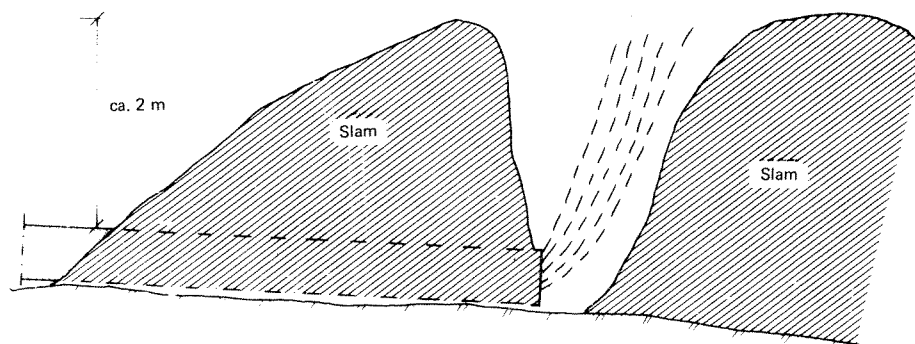


Fig. 77. Slamhauger ved ende av utløpsledning.

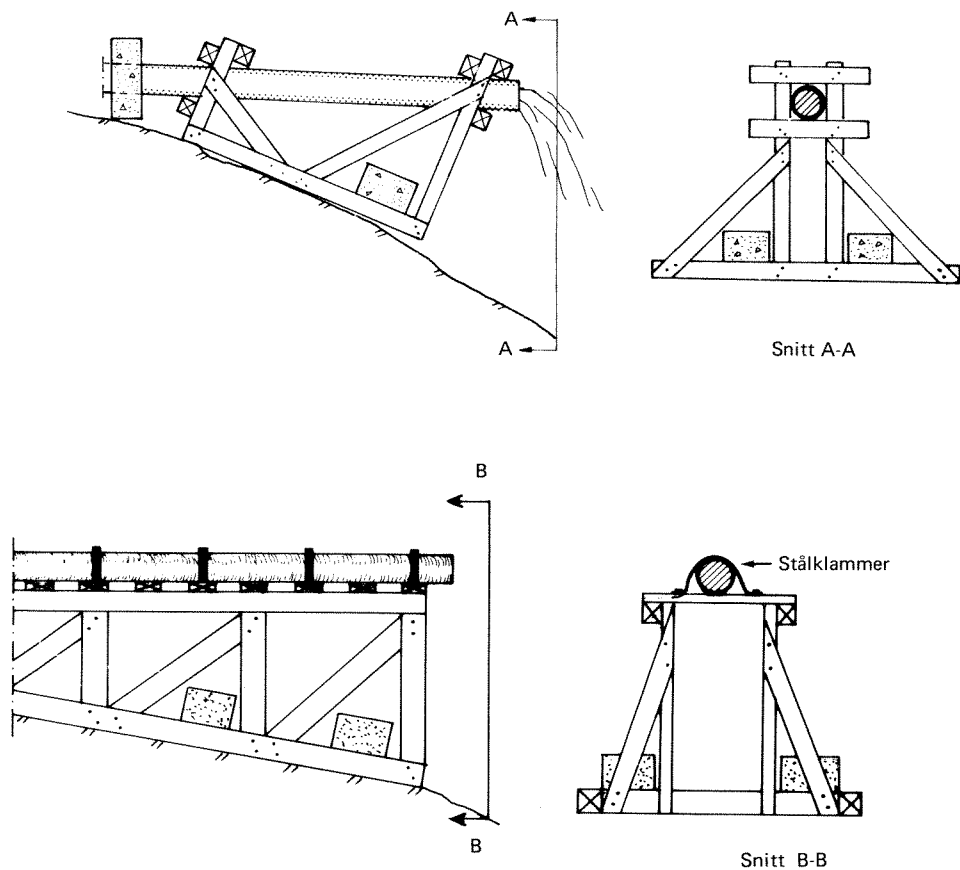


Fig. 79. Ende av utløpsledning montert på belastet treramme.

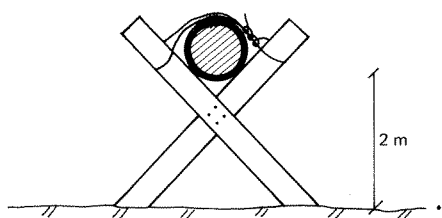


Fig. 80. Kryss av trepeler sikrer utløpet 2m over bunnen.

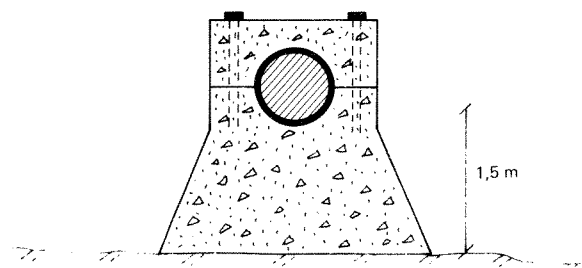


Fig. 81. Spesiallaget loss som sikrer utløpet 1,5m over bunnen.

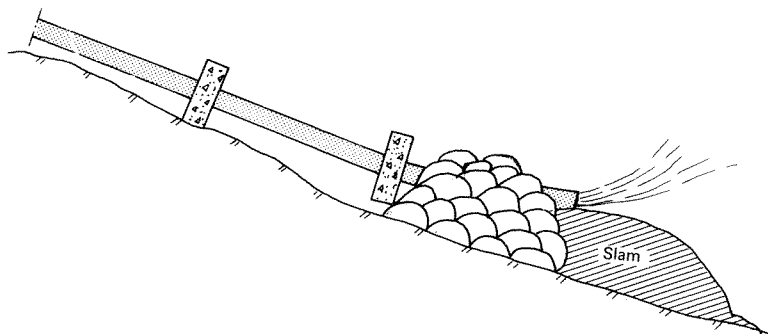


Fig. 83. Ende av utløpsledning plassert på og belastet med mørtelsekker.

6.3 Avløpsvannets primærfortynning

Avløpsvannets fortykning og bevegelse etter utslipp i en resipient kan deles inn i to fortykningsfaser. Den første fortykningsfase, kalt primærfortynning (initialfortynning), omfatter avløpsvannets fortykning og bevegelse fra utslippshullet til en innlagring i resipienten. Primærfortynningen er hovedsakelig bestemt av avløpsstrålens kinetiske energi og gravitasjonskrefter, og er avgjørende for avløpsvannets forurensing av vannmassene i utslippets umiddelbare nærhet. Etter innlagring er den videre fortykning og transport av avløpsvannet bestemt av turbulent diffusjon og strømbevegelse i resipienten. Denne fortykningsfase kalles sekundærfortynning. Avløpsvannets fortykning på de ulike steder i resipienten er hovedsakelig bestemt av sekundærfortynningen og tilgjengelig fortykningsvannmengder i resipienten.

For beregning av avløpsvannets primærfortynning forutsettes at avløpsvannet er homogent og lar seg fortykne i resipientens vannmasser. Denne forutsetning vil sjelden eller aldri være helt tilfredsstillende, men flytestoffer, sedimenterbare stoffer og eventuelt uløselige væsker vil vanligvis ha en ubetydelig innvirkning på avløpsvannets fortykning og bevegelse. Disse komponenter må vurderes spesielt for hvert enkelt utslipp. Strømbevegelser i resipientens vannmasser omkring et dyputslipp forutsettes videre å være så små at de ikke innvirker på avløpsvannets oppblanding og bevegelse under primærfortynningsfasen.

Fortynningsvannet trenger inn i avløpsstrålen fra siden og gir størst fortykning i avløpsstrålens randsone og minst fortykning langs avløpsstrålens senterlinje. Avløpsvannet langs senterlinjen representerer derfor de ugunstigste forhold med de største konsentrasjoner av forurensingskomponenter.

Fortynningen langs senterlinjen betegnes S_m , referanse 8.

$$S_m = \frac{C_o - C_r}{C_m - C_r} = \frac{\gamma_r - \gamma_o}{\gamma_r - \gamma_m}$$

hvor

- C_o = konsentrasjon i avløpsvannet
- C_r = konsentrasjon i resipientvannet
- C_m = konsentrasjon i avløpsvannet i sentrum av avløpsstrålen
- γ_o = tetthet til avløpsvannet ved utslipp
- γ_r = tetthet til resipientens vann
- γ_m = tetthet til det oppblandede avløpsvann i sentrum av avløpsstrålen.

Siden vanligvis $C_r \ll C_o$ og $C_r \ll C_m$, settes

$$S_m = \frac{C_o}{C_m}$$

Betrakter vi avløpsvannets fortykning S_m i et punkt på avløpsstrålens senterlinje, er denne gitt ved følgende variabler:

- s = karakteristisk avstand fra utslipp
- D_o = effektiv diameter på avløpsstrålen ved utslipp
- U_o = avløpsstrålens hastighet ved utslipp
- g' = gravitasjonskonstanten korrigert for opp-

$$\text{drift} = g \frac{\gamma_r - \gamma_o}{\gamma_o}$$

Disse variabler kan sammenfattes i fire dimensjonsløse tall

$$S_m$$

$$\frac{s}{D_o}$$

$$F_o = \frac{U_o}{\sqrt{g'D_o}} \quad \text{Froudes tall}$$

$$R_o = \frac{U_o \cdot D_o}{\nu} \quad \text{Reynolds tall}$$

og fortynningen S_m kan således skrives som en funksjon av tre dimensjonsløse tall.

$$S_m = f(s/D_o, F_o, R_o)$$

Froudes tall F_o angir gravitasjonens relative innvirkning på avløpsstrålen.

Reynolds tall R_o er en karakteristisk faktor for avløpsstrålens grad av turbulens og den relative betydning av avløpsvannets viskositet.

Ved utslipp har vi normalt fullt utviklet turbulens i avløpsstrålen, og Reynolds tall er uten betydning for fortynningen. Fortynningen S_m kan derfor skrives som en funksjon av bare to dimensjonsløse tall

$$S_m = f(s/D_o, F_o)$$

I det følgende skal noen enkle formler angis som muliggjør en rask orienterende beregning av avløpsstrålens fortynning.

Kommunalt avløpsvann vil ha tilnærmet samme tetthet som ferskvann. Ved utslipp i innlandsresipienter, vil utslippsretning derved være avgjørende for avløpsvannets bevegelse i primærfortynningsfasen. Siden avløpsvannet og resipientens vann er av samme tetthet, vil Froudes tall $F_o = \infty$ og fortynningen S_m er bare en funksjon av s/D_o .

$$S_m = f(s/D_o)$$

hvor s som er karakteristisk avstand, settes lik avstand langs senter av avløpsstrålen fra utslipps-hullet.

Ved eksperimentelle studier er S_m , for $s > ca. 6 D_o$, funnet å kunne beregnes etter følgende formel, referanse 9.

$$S_m = \frac{C_o}{C_m} = 0,18 \frac{s}{D_o}$$

Tyngre tetthetshomogent vann finner vi i kyst-områder hvor ferskvannstilførselen ikke makter å påvirke merkbart de tilnærmede konstante tetthetsforhold i sjøvann. Dette er tilfellet hvor havet uhindret gir en hurtig fornyelse av vannmassene og i dypvannet i avlukkede fjordområder. For å oppnå størst mulig fortynning bør avløpsstrålen rettes horisontalt. Etter som av-

løpsstrålen blandes opp med omliggende vannmasser og den horisontale utstrømningshastighet reduseres, vil gravitasjonskrefter mer og mer dominere avløpsstrålens bevegelse. Den lettere avløpsstrålen bøyer derfor av oppover mot overflaten. Av spesiell interesse er det å beregne avløpsvannets fortynning i en vertikal avstand over utslippet. Som karakteristisk avstand, s , velges derfor den vertikale avstand, y , over utslippet.

$$S_m = f(y/D_o, F_o)$$

For dyputslipp av kommunalt avløpsvann i sjøen har man funnet at F_o har relativt liten innflytelse på avløpsstrålens fortynning og at følgende formel kan gi en første orientering om hvilken fortynning S_m som kan oppnås, referanse 10.

$$S_m = \frac{2}{3} \frac{y}{D_o}$$

For en nøyaktig beregning av avløpsvannets fortynning og innlagring vises til forskningsprosjektet PRA-5.5 Spredanordning og avløpsvannets primærfortynning som skal gi en detaljert oversikt over beregningsmetoder ved ulike typer utslipp og ulike resipientforhold.

7. Hydraulisk dimensjonering

7.1 Beregning av nødvendig energihøyde for utledning av avløpsvann

For transport av avløpsvann i utløpsledningen ut i resipientens vannmasser kreves en energihøyde, E_t , lik summen av friksjonstap, trykkdifferanse som følge av ulik tetthet på avløpsvannet og resipientvannet, og avløpsstrålens kinetiske energihøyde, se figur 84.

$$E_t = h_f + \frac{\Delta\gamma}{\gamma_o} \cdot y + \frac{U_o^2}{2g}$$

hvor

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

E_t = total energihøyde, nødvendig for transport av avløpsvannet ut i utløpsledningen, relativt til overflaten i resipienten.

h_f = energitap som følge av friksjon i utløpsledningen

f = friksjonskoeffisient avhengig av rørmateriale

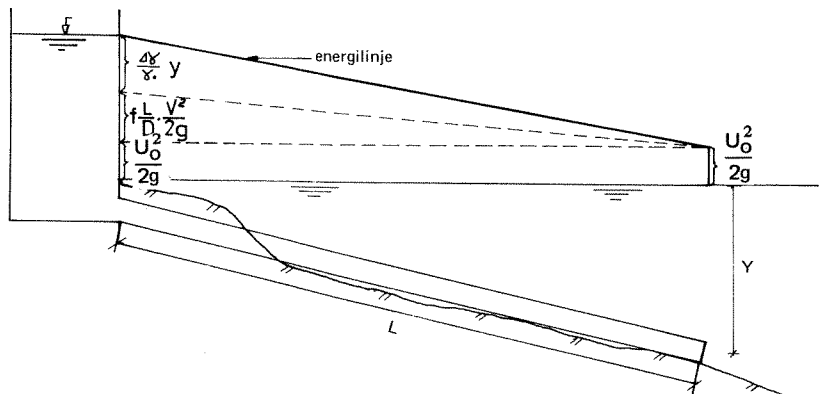


Fig. 84. Utløpsledningens hydraulikk.

- L = utløpsledningens lengde
- D = utløpsledningens indre diameter
- V = vannhastighet i utløpsledningen
- U_o = utløpsstrålens hastighet ved utslipp
- γ_o = avløpsvannets tetthet
- $\Delta\gamma$ = differanse i tetthet mellom avløpsvannet og resipientens vann
- y = vanddyb hvor avløpsvannet slippes ut

$$E_t = 0,016 \frac{300}{0,3} \cdot \frac{0,28^2}{2 \cdot 9,8} + \frac{0,025}{1,0} \cdot 25 + \frac{0,28^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$E_t = 0,064 \text{ m} + 0,625 \text{ m} + 0,04 \text{ m}$$

$$E_t = \underline{0,69 \text{ m}}$$

Det fremgår at ved en liten hastighet på 0,28 m/s i ledningen, er leddet som skyldes ulik egenvekt på avløpsvann og resipientvann det dominerende.

2.) Avløpsvannmengde $Q = 150 \text{ l/s}$

Hastighet i ledningen

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} = 2,12 \text{ m/s}$$

De andre parametre har samme verdi som ovenfor.

Nødvendig energihøyde

$$E_t = 0,016 \cdot \frac{300}{0,3} \cdot \frac{2,12^2}{2 \cdot 9,8} + \frac{0,025}{1,0} \cdot 25 + \frac{2,12^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$E_t = 3,67 \text{ m} + 0,625 \text{ m} + 0,23 \text{ m}$$

$$E_t = \underline{4,53 \text{ m}}$$

Ved en vannføring på 150 l/s vil vannivået i kummen være ca. 4,5 m over vannstanden i resipienten.

Singulærtap, vekst og sedimentering i utløpsledningen vil kunne gi en tilsynelatende øket friksjon. Dette må tas hensyn til ved beregning av den totale energihøyde. Øket energihøyde som følge av sedimentering og begroing i utløpsledninger skal studeres nærmere i et eget forskningsprosjekt PRA-5.4 Sedimentering og begroing og selvreising i rør.

I det etterfølgende er den nødvendige energihøyde beregnet for en stor og en liten vannmengde i et utslipp uten spredeanordning på utløpsledningens ende.

Gitt:

| | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Utløpsledningens lengde | L = 300 m |
| Utløpsledningens indre diameter | D = 300 mm |
| Friksjonsfaktor | f = 0,016 |
| Avløpsvannets tetthet | $\gamma_o = 1,000 \text{ kg/dm}^3$ |
| Resipientvannets tetthet (sjøvann) | $\gamma = 1,025 \text{ kg/dm}^3$ |
| Utslippsdyb | y = 25 m |

1.) Avløpsmengde $Q = 20 \text{ l/s}$

Avløpsvannets hastighet i ledningen

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} = 0,28 \text{ m/s}$$

Nødvendig energihøyde

$$E_t = h_f + \frac{\Delta\gamma}{\gamma_o} \cdot y + \frac{U_o^2}{2g}$$

7.2 Dimensjonerende hastighet i utløpsledningen

Som det framgår av sammendrag, avsnitt 2, er avløpsvannet i utløpsledningene her i landet svært dårlig rensset. Likeledes er vanligvis utløpsledningen overdimensjonert slik at hastighetene er små med stor fare for avsetninger. Dette har ført til at tiltetting utgjør den største gruppe av skader. Opplysninger fra 123 utløpsledninger

viser at hele 86 ledninger eller 70% har en midlere tørrværshastighet mindre enn 0,1 m/s. Inspeksjon av en rekke utløpsledninger med dykkere bekrefter fullt ut forholdene med dårlig rensegrad og små hastigheter på avløpsvannet, se figurene 78 og 82.

Avsetting og begroing i utløpsledninger vil være avhengig av ledningsmateriale, ledningsfall, rensegrad på avløpsvannet og størrelse og variasjoner i avløpsmengde. Urenset eller dårlig renset avløpsvann krever hyppigere og større spylehastigheter enn for høyverdig renset avløpsvann. I dag hersker det stor usikkerhet med hensyn til nødvendig spylehastighet for å hindre sedimentering og begroing i utløpsledninger. Det er imidlertid enighet om at en vannhastighet på 0,6–0,8 m/s en gang i døgnet i jevnt fallende utløpsledning, bør være tilstrekkelig.

Kriterier for å sikre en selvrensing av ulike utslippsledninger for forskjellig kvaliteter på avløpsvannet, skal studeres i prosjektet PRA–5.4 "Undersøkelse av sedimentering, begroing og selvrensing i rør".

Årsaken til overdimensjonering av utløpsledninger skyldes først og fremst ønsket om at anlegget skal dekke behovet ved økende avløpsmengde i mange år fremover. Økonomisk er dette ønskelig fordi avskrivningstiden blir lang. Når det investeres i nyanlegg på vann- og avløpssektoren, er det vanlig å kreve at anlegget skal dekke behovet i 20–30 år. Dette synes også å ha vært praksis ved dimensjonering av utløpsledninger.

I etterfølgende eksempel skal vises hva dette kan bety for vannmengde og hastighet i en utløpsledning:

I et område skal det bygges boliger for i alt 10.000 personer innen år 2.000. I dag bor det 500 personer i området og prognosene går ut på at om ti år er det 3.000 personer. Kreves det at avløpet fra de 500 i dag skal føres ut på dypt vann, samtidig som man vil at dette anlegget også skal være tilstrekkelig i år 2.000, vil prosjekteringen gi, hvis følgende data brukes:

| | |
|------------------|--------------|
| Antall personer | = 10.000 |
| Spillvannsmengde | = 300 l/p.d. |
| Døgnfaktor | = 1,0 |
| Timefaktor | = 1,5 |

Avløpsnettets kloakkeres etter separatsystemet

Maksimal spillvannsmengde i midlere døgnet

$$Q = \frac{10.000 \cdot 300 \cdot 1,0 \cdot 1,5}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 52 \text{ l/s}$$

Legges en utløpsledning med diameter på 200 mm vil det en gang i midlere døgnet – ved full utbygging – opptre en maksimal hastighet (spylehastighet) på 1,5 m/s. De første årene etter bygging med bare 500 personer i området, vil den daglige "spylehastighet" ligge i området 0,1 m/s. For å sikre tilfredsstillende driftsforhold, vil det her være nødvendig med en etappevis utbygging, eller at utløpsledningen spyles jevnlig de første årene.

For å sikre selvspyling, må utløpsledningens diameter vanligvis velges mindre enn i den tilhørende landleiding. Dette fordi at i en landleiding utnyttes bare en del av tverrsnittet, mens en utløpsledning går full. Dette siste er ikke alltid helt riktig for i ytre del av utløpsledningen som vist på figur 82 vil, i saltvannsresipienter ved små vannføringer, avløpsvannet kunne strømme ut i den overste delen av tverrsnittet, mens saltvann trenger inn i den nedre delen. Hvor langt inn saltvannet trenger, er avhengig av hastighet og fallforhold. Faren for sedimentering vil være stor i en ledning med inntrengende saltvannskile, fordi partikler som kommer ned i denne nærmest stillestående kilen, i liten grad vil bli påvirket av det utstrømmende avløpsvann.

Frykt for tilstopping i trange rør har også medvirket til at store diametre er valgt på utløpsledninger. En diameter på 200 mm har ofte vært betraktet som minimum.

Som en sikring mot igjentetting av store gjenstander som stein, røtter, bordbiter og plastartikler, bør det være en eller annen form for sandfang og en rist som avløpsvannet må passere før det går ut i utløpsledningen. Det har ofte vist seg at slike gjenstander finnes i kloakkledninger og skyldes bl.a. skader på ledningsnett, ufornuftig avfallshåndtering og igjenglemte ting fra anleggsperioden.

7.3 Spyling

Grunnen til at ikke langt flere utløpsledninger har tettet seg til, er at i dag er mesteparten av det eksisterende kloakknnett bygd som felles-system, og overvann etter regnskyll er med og spuler ren utløpsledningen. Tendensen i dag er at nye kloakknnett bygges som separatsystem, noe som derfor ikke er til fordel for spyling av en utløpsledning.

Mange steder har man innsett hvilken trusel lav hastighet er mot sikker drift av en utløps-

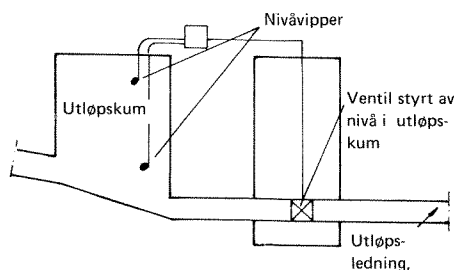


Fig. 85. Hydraulisk styring av ventil på utløpsledningen sikrer spyling.

ledning og har derfor laget til ulike arrangement for å gardere seg.

Figur 5 i avsnitt 4 viser en utløpsledning med påmontert rør for tilkobling til f.eks. en brannpumpe. Det er viktig at spylingen blir utført jevnlig, slik at større sedimentmengder ikke får anledning til å samle seg i ledningen. Spyling kan også utføres ved at det ved pumpe eller på annen måte tilføres ekstra vann i utløpskummen, slik at vannivået stiger og hastigheten i ledningen blir stor nok til at sedimenterbare partikler og slam spyles ut.

En annen måte å sikre en tilstrekkelig spylehastighet på er vist på figur 85.

I utløpskummen er det montert nivåvipper som sender impulser til lukkemekanismen på en ventil plassert på utløpsledningen. Prinsippet er at ventilen skal styres slik at den åpner seg når vannstanden i kummen når øvre vippe og lukker seg ved nedre vippe. På denne måten er en sikret en viss trykkehøyde i kummen og dermed en viss minimumshastighet på avløpsvannet i utløpsledningen. På samme måte virker en pumpeledning som, hvis dimensjoneringen er riktig, sikres spyling hver gang pumpen går.

8. Økonomi

De totale kostnader i forbindelse med bygging av et utslippsarrangement viser seg å variere meget fra sted til sted. Det er flere eksempler på at dyputslipp med 200 mm ledning et sted er blitt dyrere enn dyputslipp med en like lang 500 mm ledning av samme materiale som er lagt et annet sted. På figur 86 er det plottet inn kostnadstall som er oppgitt av kommuner for tilsammen 50 PEH- og PEL-ledninger. De store prisvariasjoner skyldes følgende forhold:

- Meget store forskjeller i vanskelighetsgrad ved bygging av kum og legging av ledning. Avgjørende her er grunnforhold og fallforhold over og under vann samt største leggedyp.
- Forskjell i avstand fra rørfabrikant til anleggssted.
- Forskjellige krav til vektbelastning av utløpsledninger.
- Varierende omfang av forundersøkelser, prosjektering og etterkontroll.

Kurve A på figur 86 viser ca. hvilke gjennomsnittlige kostnader det må regnes med ved bygging av utslippsarrangement med PEH som utløpsledning. Kurven er skjønnsmessig trukket, og prisene kan være rettleidende ved anlegg i Sør-Norge der grunnforholdene er gode, og der det er minimalt med sprengning under vann.

På grunnlag av data fra en del rørleverandører, er det på figurene 86 og 87 satt opp forskjellige typer kostnadskurver med priser gjeldende pr. 1/4-1973.

Kurvene B, C og D i figur 86 gjelder for PEH-ledninger, ca. 300 m lange. Kurve B gjelder kostnad for levering og legging av PEH-utløpsledning NT4 i sjøen i Østlandsområdet. Ledningen er vektbelastet for å kunne tåle 50% luftfylling. Forskjellen mellom kurve A og B angir kostnader for forundersøkelser, prosjektering, tilrigging, utløpskum, gravearbeider og endearrangement. Kurve C har samme forutsetninger som kurve B med unntak av at kravet til vektbelastning er at ledningen skal tåle å være fylt med 25% luft uten å flyte opp. Avstanden mellom kurvene B og C er da ekstrakostnad p.g.a. det strengere krav til vektstørrelsen. Kurve D angir kostnad for levering i Østlandsområdet av PEH-utløpsledning NT4 med belastningslodd for 25% luftfylling. Avstanden mellom kurvene C og D angir kostnader ved montering av vektbelastninger og senking av ledning direkte på bunn.

Materialprisen varierer etter ledningens samlede vekt. I figur 86 kurve B, C og D er det regnet fra kr. 6,75 pr. kg for 200 mm PEH-ledning og ned til kr. 6,20 pr. kg for 600 mm dimensjon.

Fraktprisen er oppgitt av leverandør til å være ca. 30,- kr. pr. sjømil for ledninger med diametre fra 200 mm – 600 mm. I figur 86 er det regnet en fraktlengde på 300 km, og en ledningslengde på 300 m.

Prisen på betonglodd er regnet ut for de to tilfelle at ledningen skal tåle 25%, henholdsvis

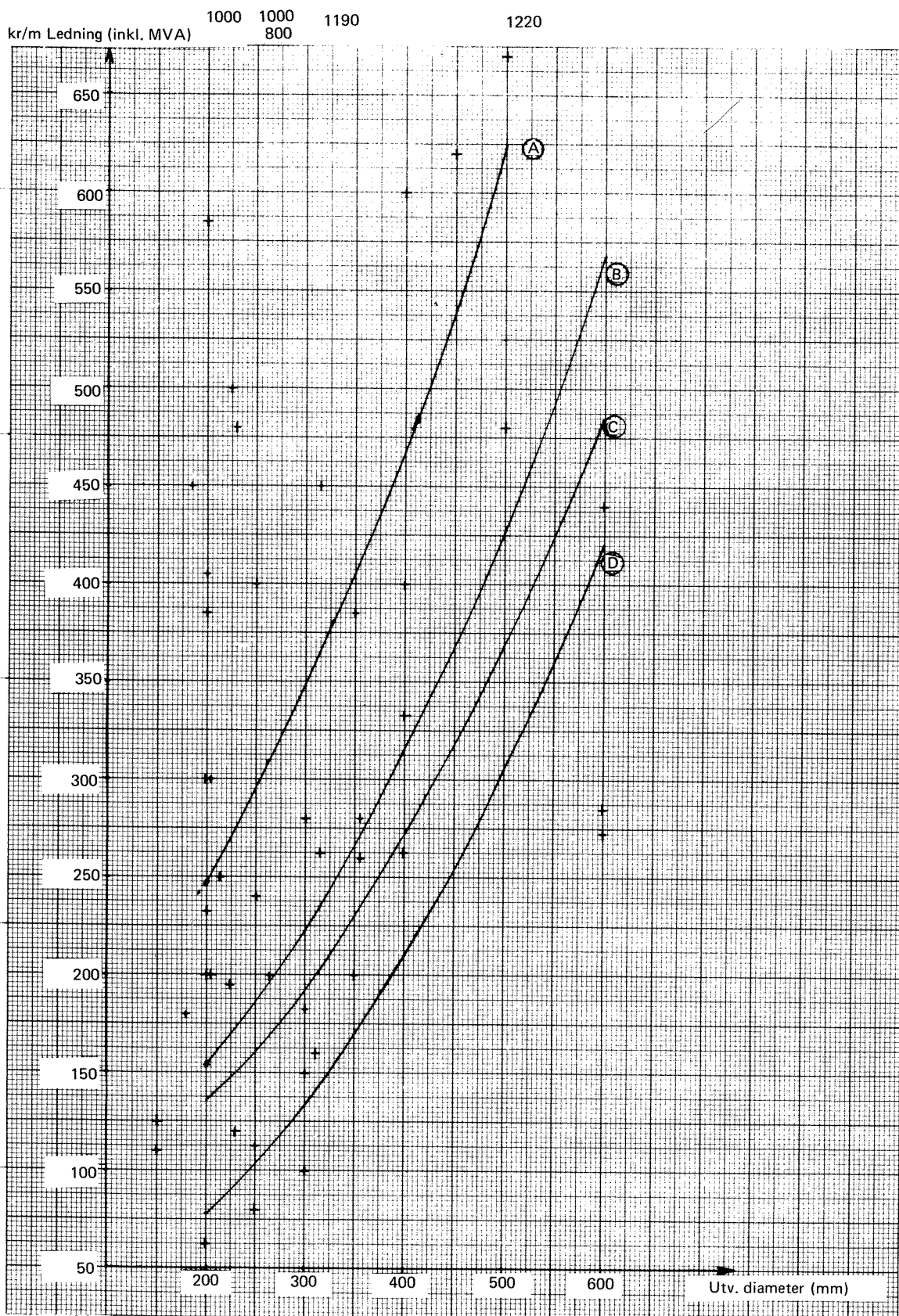


Fig. 86. Oversikt over delkostnader og totale kostnader ved bygging av utløpsarrangement med PEH som utløpsledning. Se tekst side 49 og 51.

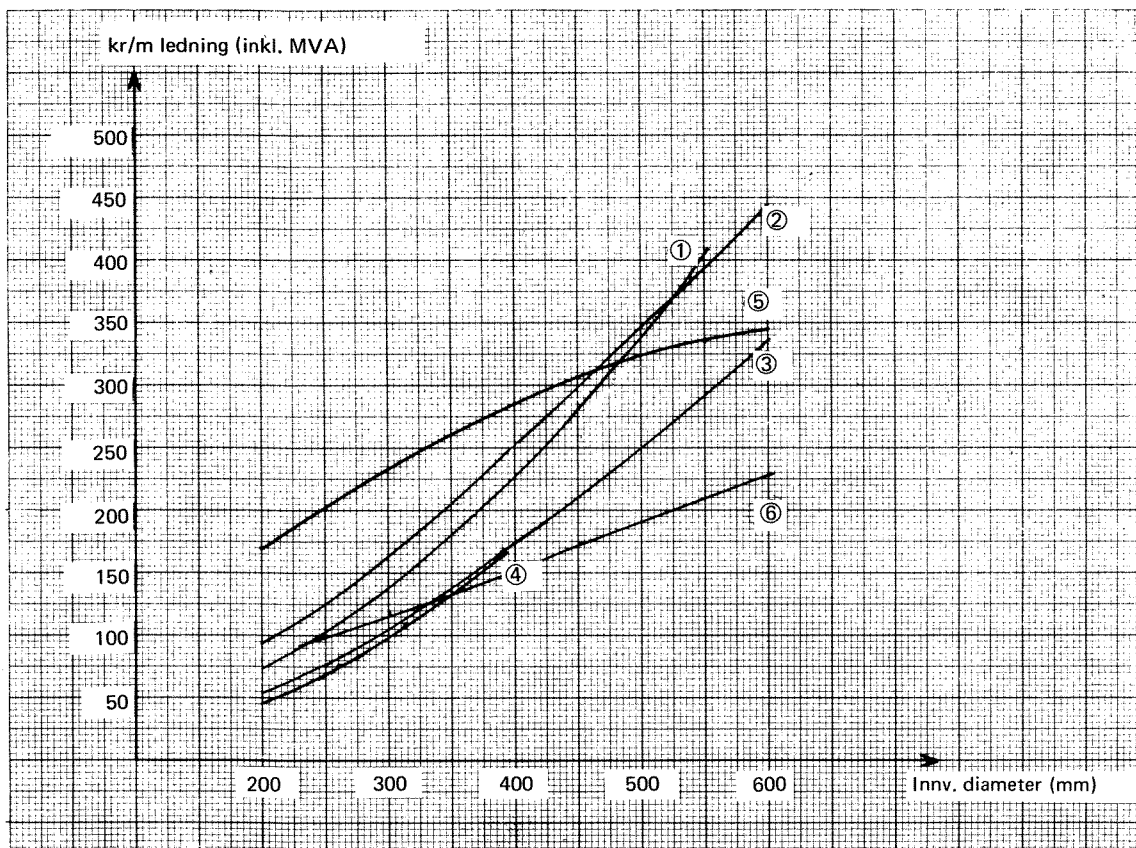


Fig. 87. Kostnadskurver for ulike rørmaterialer med nødvendig tilbehør for bruk som utløpsledning. Prisene gjelder 1/4-73 og inkluderer leveranse fritt levert Oslo.

- ① Kostnader for PEH-rør med vekter for 25% luftfylling. Kurven er basert på en ledningslengde på 300 m og at ledningen blir slept sjøvegen i en lengde.
- ② Kostnader for duktile støpejernsrør, 6 m lange, med strekkfast Express-skjøt. Rørene er innvendig sementert med metallurgisk sement, utvendig sink- og asfaltbelegg.
- ③ Kostnader for asbestsementrør, 5 m lange, arbeidstrykk 6 kg med strekkfast ZOK-kobling.
- ④ Kostnader for PVC avløpsrør klasse T, 5 m lange. Rørene har muffe og spissende for liming. Vekter for 25% luftfylling er inkludert.
- ⑤ Kostnader for monteringsferdig materiell til treledning. Trevirket er impregnert og har tetthet på $0,7 \text{ kg/dm}^3$. Det er regnet 3,3 stk. armeringsjern pr. m ledning. Vekter for 25% luftfylling er inkludert.
- ⑥ Kostnader for tynnveggede viklede PEH rør med ringforsterkning (Videreutvikling av Nore-rør). Rørene er 5 m lange og leveres med klammer og stag for skjøting. Vekter for 25% luftfylling er inkludert.

50% luftfylling uten å flyte opp. Senteravstanden mellom loddene er i begge tilfelle 4 m. Prisen for ferdig støpt lodd er kr. 0,50 pr. kg, og prisen på bolter, skiver og pakninger er i begge tilfelle kr. 20,- pr. lodd.

Prisen på montasje av vektene samt senking av ledning varierer og er avhengig av de lokale forhold og hva byggherren bistår med av ytelser. Under forhold der entreprenøren holder arbeidsfolk og båt kan kurve B og C i figur 86 være veiledende. Prisene inkluderer ikke sprengning

eller gravearbeider. Ledningslengden er basert på 300 m.

Figur 87 viser kostnader for forskjellige rørtypen med nødvendig tilbehør av skjøter og vekter fritt levert Oslo. For PEH-rør, trerør, Norerør og PVC-rør er det regnet med belastningslodd for 25% luftfylling plassert med en innbyrdes avstand på 4 m og ellers samme type og tilbehør. For asbestsementrør og duktile støpejernsrør er det ikke regnet med tilleggsbelastning av lodder.

9. Referanser

1. Gorden, J.L.
"Vortices at intakes".
Water Power Vol. 22 (1970) No. 4, pp 137–138.
2. Denny, D.F. and Young, G.A.J. British Hydromechanics Research Association, Harlow, Essex, England
"The prevention of vortices and swirl at intakes".
c 1-1 – c 1-10.
3. Janson, Lars-Eric
"Plastrør i VA-tekniken".
Sth. 1971, 119 s. ill.
4. Kjølsest, O., Siv.ing. A/S
"Grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering for Arendalsregionens interkommunale vannledning for Aust-Agder fylke".
18 s. + bilag (Rapport 2335.01 4/7-68).
5. Meland, T.
"Undersøkelse av slitasjemotstanden hos fire materialtyper for vannledningsrør".
Rapport. Trondheim, SINTEF, 1967.
6. Brown, R.J.
"Hydrodynamic forces on a submarine pipeline".
American Society of Civil Engineers, Journal of the Pipeline Division Vol. 93 (1967) No PLi.
7. Tørum, Alf
"Bølge- og strømkrefter på utslippsledninger".
Vann Vol. 8 (1973) No. 1, pp. 40–48.
8. Liseth, Paul
"Utslipp i resipient, avløpsvannets utledning og fortykning".
Avløpsteknikk. Utg. av Norske Sivilingeniørers Forening, Norsk institutt for vannforskning og Norges tekniske høyskole, Institutt for vassbygging. Oslo 1971. Pp. 13.1.–13.41.
9. Albertsen, M.L., Dai, Y.B., Jensen, R.A. and Rouse, H.
"Diffusion of submerged jets".
Trans. ASCE 115 Vol. (1950) Pp. 639–697.
10. Liseth, Paul
"Dyputslipp i tilnærmet stagnerende vann".
Kurs i resipienthydraulikk, Geilo 1972. Utg. av Norske Sivilingeniørers Forening, Norges Ingeniørorganisasjon, Norsk institutt for vannforskning, Norsk Kommunalteknisk Forening, Rådgivende Ingeniørers Forening og Norges tekniske høyskole. Vassdrags- og havnelaboratoriet. (NIVA-rapport 0–54/72).

10. FOTOPLANSJE

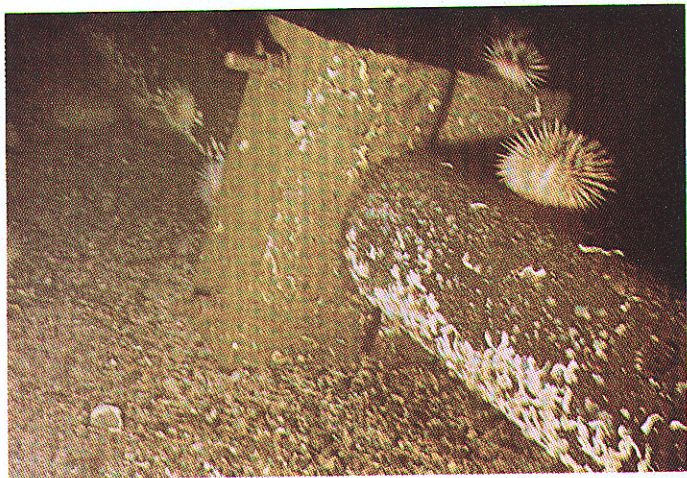


Fig. 55. Vektbelastning av betong.

←

Fig. 65. Begroing på sveveledning.

→



Fig. 78. Slamansamling ved ende av utløpsledning.

←



Fig. 82. Bildet viser liten vannføring og slamavsetning i en utløpsledning.

→

