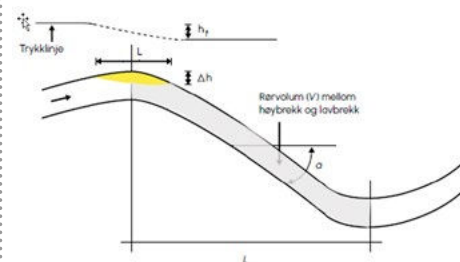
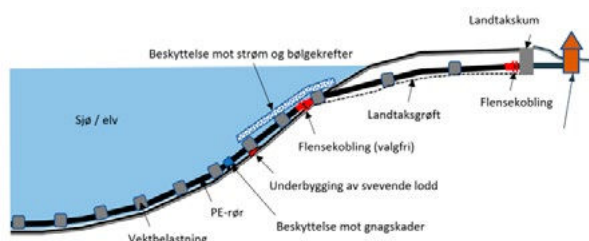
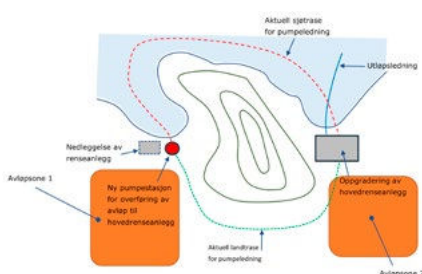




276 | 2023

Lange pumpe- ledninger for avløp på land og i sjø



Norsk Vann Rapport

Det utgis tre typer rapporter:

Rapportserie A

Dette er de opprinnelige hovedrapportene.

Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre.
Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Forsidefotos: COWI AS



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norskvann.no
www.norskvann.no



Prosjekresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjekresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Videre salg/ formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vanns rapporter utarbeides i samspill mellom rådgiver, styringsgruppe og referansegruppe for prosjektet og er ikke behandlet i Norsk Vanns styrende organer. Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.

Norsk Vann Rapport

Ekstrakt

Målsettingen for prosjektet er å utarbeide en veiledning i prosjektering og drift av lange sjø- og pumpeledninger for avløpsvann, slik at anlegg bygges og driftes best mulig. Anleggelse av lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø medfører ofte store og kostbare tiltak. Det er derfor viktig med system-forståelse for et slikt anlegg og dets komponenter, slik at kommuner, rådgivere og beslutningstakere kan fatte gode avgjørelser. Dokumentet er delt opp i de ulike fasene i et anleggs levetid.

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Telefon: 62 55 30 30
E-post: post@norskvann.no
Internettadresse: norskvann.no

Rapportens tittel

Lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø

Forfattere

Tom Arild Karlsen, COWI AS
Olav Solheim, COWI AS
Rune Myra, COWI AS

Rapportnummer: 276/2023

ISBN 978-82-414-0474-0

ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

ISSN 1504-9884 (trykt utg.)

Emneord, norsk

Avløpsledning, pumpeledning avløp, lange pumpeledninger, ledning i sjø

Emneord, engelsk

Sewage lines, long pump lines, pump lines in the sea

Forord



Endringer i rammebetingelsene, deriblant EU-kommisjonens framlagte forslag til revidert avløpsdirektiv, sammen med myndighetenes skjerpede praktisering av gjeldende krav, legger føringer for hvordan mange kommuner bør planlegge for sine framtidige avløpssystemer.

Det kommende avløpsdirektivet, som antas å bli vedtatt i 2024, vil sette strengere rensekraft for utslipp til resipientene. Dersom det foreliggende forslaget

implementeres i norsk regelverk, står vannbransjen foran et paradigmeskifte, med inngripende konsekvenser for de anleggene som til nå har hatt unntak fra det generelle kravet om sekundærrensing. I tillegg til skjerpede krav til renseeffekt for nitrogen (tertiærrensning), kan også flere renseanlegg i sårbare områder få krav om nitrogenrensing, deriblant alle de større renseanleggene i nedbørsfeltet til Oslofjorden.

Statsforvalteren gjennomførte en landsdekkende kontrollaksjon av kommunale avløpssystemer med utslipp fra store tettbebyggelser i 2021, og avdekket alvorlige brudd på gjeldende regelverk. Flere statsforvaltere har skjerpet praktiseringen av gjeldende krav, med en presisering av at det vil være i strid med plan- og bygningsloven § 27-2 å gi rammetillatelse til bebyggelse hvor påkobling skjer til et avløpsanlegg som ikke driftes i henhold til krav satt i forurensningsregelverket og/eller tillatelse.

Sett i lys av et virkelighetsbilde som er i løpende endring, står mange kommuner i dag overfor utfordrende vurderinger, deriblant å legge ned flere mindre og umoderne renseanlegg for å transportere avløpsvannet videre til et større renseanlegg som eventuelt utvides/oppgraderes eller etableres. Omleggingen vil medføre etablering av lange pumpeledninger som enten legges i sjøen, på land, eller en kombinasjon av disse.

Målsettingen med dette prosjektet har vært å utarbeide en veiledning i prosjektering og drift av lange sjø- og pumpeledninger for avløpsvann, slik at ledningsanlegg bygges og driftes optimalt. Prosjektet har samlet teori på området, og har supplert med foreliggende drifts-erfaringer fra eksisterende anlegg som er bygget.

Målsettingen med dette prosjektet har vært å utarbeide en veiledning i prosjektering og drift av lange sjø- og pumpeledninger for avløpsvann

COWI AS har vært rådgiver for prosjektet, med Rune Myra som prosjektleder. Tom A. Karlsen, Olav Solheim og Hans Vebjørn Kristoffersen har bidratt i å utarbeide veiledningen.

Styringsgruppen i prosjektet har bestått av følgende personer:

- Mustafa Dumpor, Kristiansand kommune
- Vidar Dyrnes, Kristiansund kommune
- Fred Magne Johansen, Tromsø kommune
- Henrik Didriksen, Oslo kommune

Styringsgruppen har bidratt med verdifulle innspill og erfaringer fra egne kommuner og har vært aktive i utformingen av rapporten.

Referansegruppen i prosjektet har bestått av følgende personer:

- Steinar Hagelund, Hias IKS
- Chriss Johnsen, Arne Rød & CO AS
- Marit Aase, Bergen kommune
- Inge Dragsnes, Trondheim kommune

Prosjektet har også mottatt gode faglige innspill fra:

- Maria Fjellman, Xylem Water Solutions Norge AS

Norsk Vann ønsker å takke alle som har bidratt med innspill til denne rapporten! Vi håper at denne veiledningen vil være til hjelp når ledningseiere skal foreta vurderinger og velge hvilke avløpssystemer som skal ivareta framtidens behov for oppsamling og rensing av avløpsvann!

Hamar 02.12.22

Astri Fagerhaug, Norsk Vann

Sammendrag

Anleggelse av lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø medfører ofte store og kostbare tiltak. Denne veiledningen gir en oversikt over de ulike fasene av prosjektering og drift av lange sjø- og pumpeledninger for avløpsvann, slik at kommuner, rådgivere og beslutningstakere kan fatte gode avgjørelser. Hvert kapittel oppgir viktige aspekter å vurdere for den spesifikke fasen.

Innledende arbeider

Innvirkning på tekniske løsninger og kostnader er størst i den innledende fasen. Lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø bør være inkludert allerede i hovedplaner og saneringsplaner for langsiktige og behovsprøvde beslutninger. Det er viktig med helhetlige vurderinger med stor geografisk utstrekning. For å ta slike vurderinger, er det nødvendig med godt grunnlag. Det bør utarbeides skisse- og forprosjekter med traseundersøkelser både på land og i sjø (sjøbunntkartlegging). Søknader til myndigheter er av stor betydning, og det bør ved oppstart av prosjektet tas kontakt med kommunens byggesaksavdeling, som vil kunne avklare hvilke andre instanser som skal høres i saken.

Systemoppbygging

Lange pumpeledninger både på land og i sjø er sterkt avhengig av veldimensjonerte og godt driftede pumpestasjoner. Stasjonene kan ha ulik utforming og oppbygging, men de må alltid utformes slik at de er i samsvar med ledningsanleggets utforming. Pumpenes virkemåte, styring og begrensinger må tas hensyn til.

I tillegg må topografien i området vurderes. Lange pumpeledninger i sjø må kunne håndtere utfordringer knyttet til luft- og gassproblematikk. Veiledningen klargjør hvordan et pumpe- og ledningssystem oppfører seg ved høydebrykk og lavbrykk. Det er oppgitt utforming av systemkomponenter basert på erfaring, samt vist enkle formler for å kunne dimensjonere anlegget riktig.

Økonomisk vurdering

Avløpsledninger skal anlegges i et 100-års perspektiv. Dette gjør at økonomiske vurderinger ikke bare kan gjøres med tanke på investeringskostnader for komponent eller ledninger. Det må foretas en økonomisk vurdering som tar hensyn til hele livstiden til anlegget, en nåverdibetraktning. Nåverdibetraktningen gir en oversikt over fremtidige kostnader for utskiftning av komponenter, driftskostnader og energikostnader og fører disse tilbake til «investeringsstidspunktet». Veiledningen oppgir stipulerte kostnader for bygging av ulike typer anlegg som kan være til hjelp ved den økonomiske vurderingen.

Prosjektering

For å prosjektere et velfungerende anlegg, må man ha inngående kunnskap om dimensjoneringskriterier for anleggets komponenter. I dette kapittelet gjennomgås valg av ledningsmateriale og belastning, samt bestemmelse av diameter og trykkklasse. For dimensjonering av andre komponenter kan formler i kapittel 3 og 6 benyttes.

Utførelse

Uansett hvor gode forundersøkelsene er og hvor godt et ledningsanlegg er prosjektert, vil til slutt anleggsutførelsen i stor grad påvirke anleggets levetid. Det er avgjørende at prosjekteringen legger til rette for en enklest mulig utførelse for entreprenøren. Kapittel 6 gir en god forståelse av hvordan pumpeledninger i sjø blir utført i praksis, samt oppgir formler for senking av ledning. Det er også belyst hvordan ledningen kan sikres mot eksterne påkjenninger som den utsettes for.

Drift og driftserfaringer

Lang levetid på et ledningsanlegg forutsetter god drift og godt vedlikehold. I veiledningen gjennomgås ulike hendelser/tiltak som er aktuelle både ved bygging og i driftsfasen. Et konkret eksempel med luktproblematikk i Trondheim kommune er inkludert.

Rapporten bør leses i sin helhet, men kan også brukes som et oppslagsverk for å få en overordnet kunnskap om et spesifikt tema.

English summary

This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).

Address: Vangsvegen 143, NO-2321 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
E-mail: post@norskvann.no
Website: www.norskvann.no

Report no: 276 - 2023
Report title: Lange pumpeledninger for avløp på land og i sjø
Date of issue: December 2022

Author: Tom Arild Karlsen, COWI
Olav Solheim, COWI
Rune Myra, COWI

Construction of long pump lines for sewage on land and in the sea are often complicated and expensive. This guide gives an overview of the various phases of design and operation of long sea and pumping pipes for wastewater, so that municipalities, advisers and decision-makers can make good decisions. Each chapter presents important aspects to consider for each specific phase.

Preliminary works

The impact on technical solutions and costs is greatest in the preliminary work. Long pump lines for sewage on land and in the sea should already be included in master plans for long-term decisions. It is important to have holistic assessments with a large geographical extent. In order to make such assessments, a good basis is needed. Sketches and preliminary projects should be drawn up with route surveys both on land and at sea (seabed mapping). Applications to the authorities are of great importance, and at the start of the project contact should be made with the municipality's building affairs department, who will be able to clarify which other bodies should be contacted in the case.

System structure

Long pump lines both on land and at sea are heavily dependent on well-dimensioned and well-operated pumping stations. The stations may have different designs and structures, but they must always be designed so that they are in accordance with the layout of the pipeline system. The pump's mode of operation, control and limitations must be taken into account. In addition, the topography in the area must be assessed. For long pump lines in the sea, it is also important to ensure that air or gas problems do not arise. The guide clarifies how a pump system behaves in the event of an apex. The design of system components based on experience is stated, as well as simple formulas are shown to be able to dimension the plant correctly.

Economic assessment

Sewage lines must be constructed in a 100-year perspective. This means that financial assessments cannot only be made with regard to investment costs for components or pipes. An economic assessment must be carried out that considers the entire lifetime of the facility, a profitability consideration. The profitability consideration gives an over-view of future costs for the replacement of components, operating costs and energy costs and bring these back to the "time of investment". The guide gives stipulated costs for the construction of various types of facilities, which can be of help in the financial assessment.

Project planning

In order to design a good system, one must have in-depth knowledge of dimensioning criteria for the components of the systems. In this chapter, the choice of pipe material and load, as well as the determination of diameter and pressure class, are reviewed. For the dimensioning of other components, formulas in chapters 3 and 6 can be used.

Execution

No matter how good the preliminary investigations are and how well a pipeline system is designed, in the end the execution will greatly affect the life of the system. It is crucial that the design facilitates the simplest possible execution for the contractor. Chapter 6 provides a good understanding of how pump lines in the sea are carried out in practice, as well as giving formulas for lowering the line. It is also explained how the cable can be secured against external stresses to which it is exposed.

Operation and operating experiences

Long lifetime for a facility requires correct operations and maintenance. The guide presents different events/measures that may arise during construction and operation. A specific example regarding odor challenges in Trondheim municipality is also included.

The report should be read in its entirety, but can also be used as a reference book to gain an overall knowledge of a specific topic.

Summary

The aim of the project is to prepare a guide for the design and operation of long sea and pumping pipes for wastewater, so that facilities are built and operated optimally. Construction of long pump lines for sewage on land and in the sea are often complicated and expensive. It is therefore important to have a system understanding of such a facility and its components, so that municipalities, advisers and decision-makers can make good decisions. The document is divided into the various phases in a facility's lifetime.

Innhold

1. Bakgrunn og målsetting	8	5. Prosjektering av lange pumpeledninger for avløp	46
2. Innledende arbeider	9	5.1. Valg av ledningsmateriale for pumpeledninger for avløp	46
2.1. Grunnlagsinnhenting	9	5.2. Belastning av undervannsledninger	47
2.2. Grunnundersøkelser	10	5.2.1. Belastningslodd	47
2.3. Kartlegging under vann	10	5.2.2. PE-rør med integrert vektbelastning. Belastningskappe /forhåndsvektet rør	48
2.4. Søknader til myndigheter	10	5.3. Bestemmelse av diameter og SDR-klasse på pumpeledning	49
3. Systemoppbygging	11	6. Utførelse	51
3.1. Ledning på land	14	6.1. Senking	51
3.1.1. Trase på land	15	6.2. Heving av ledning for tilkobling og reparasjon i ettertid	55
3.1.2. Høybrekk og lavbrekk	15	6.3. Grøfter under vann, sikring av ledning på bunn	57
3.1.3. Innsuging av luft	18	6.4. Gravefri utførelse (NO-DIG) av landtak	58
3.1.4. Trykkutløsningskum	19	6.5. Sikring av ledning mot strøm- og bølgekrefter	58
3.2. Ledning i sjø	20	6.6. Sikring av svevende ledninger	59
3.2.1. Trase i sjø	21	6.7. Sikring av ledning på bunn	60
3.2.2. Høydebrekk og lavbrekk	21	7. Drift og driftserfaringer	61
3.2.3. Luftfelle	22	7.1. Tiltak oppstrøms ledningstrekket	61
3.2.4. Luftfyllingsgrad	23	7.2. Trykkprøving av ledning med høybrekk	61
3.2.5. Pumping på utløpsledning	25	7.3. Pluggkjøring	62
3.3. Pumpesystemer	26	7.4. Driftsovervåkning og beredskap	64
3.3.1. Prefabrikkerte pumpestasjoner	27	7.5. Drift av pumpeledning	64
3.3.2. Plassbygde pumpestasjoner	29	7.6. Hydrogensulfid – H ₂ S	65
3.3.3. Pumpekurver og driftspunkt	29	7.7. Tiltak mot luktproblematikk	66
3.3.4. Effektforbruket	31	8. Videre arbeid	69
3.3.5. Affinitetsloven	32	Tidligere utgitte rapporter	70
3.4. Drift av pumpesystemer	33		
3.4.1. Dimensjoneringsfasens tilrettelegging av god drift	33		
3.4.2. Størrelse på pumper	34		
3.4.3. Sumpvolum	35		
3.4.4. Sammenkobling av pumper	36		
3.4.5. Turtallsregulering	37		
3.4.6. Kavitasjon	38		
3.4.7. NPSH verdi	39		
4. Økonomisk vurdering	40		
4.1. Nåverdibetraktninger	40		
4.2. Levetid ledning 100 år	42		
4.3. Stipulerte kostnader for bygging	43		
4.4. Trasevalg, sjø eller land	44		
4.5. Driftsøkonomi	45		

1. Bakgrunn og målsetting

Samfunnsutviklingen i Norge fører til at små avløpsrenseanlegg blir lagt ned, og at det blir etablert pumpesystemer på land eller i sjø som skal transportere avløpsvannet til sentrale renseanlegg. Etablering av nye boligfelt i ikke-urbane strøk kan også medføre behov for lange pumpeledninger for å tilknytte avløpet til eksisterende kommunalt nett.

Det finnes noe norsk litteratur om pumpeledninger, men denne er av eldre dato (PRA-serien (Prosjekt Rensing av Avløpsvann) fra 1980-tallet). Siden den gang er det bygget mange nye, lange sjø- og pumpeledninger for avløpsvann. Det finnes derfor et betydelig erfaringsgrunnlag som er lagt til grunn for denne rapporten. For mer inngående teori, henvises det til boka "Undervannsledninger- utfordringer og muligheter" som kan lastes ned på Hallingplast sine nettsider.

Norge har lang erfaring med sjøledninger. I forbindelse med utviklingen av materialet PE (Polyetylen) har bruken av sjøledninger blitt mer utbredt. For lange ledninger er det også relativt nytt med bruk av H₂S-reduserende stoffer, f.eks. Nutriox. Det er etter vår kjennskap manglende dokumenterte erfaringer i bransjen knyttet til dette.

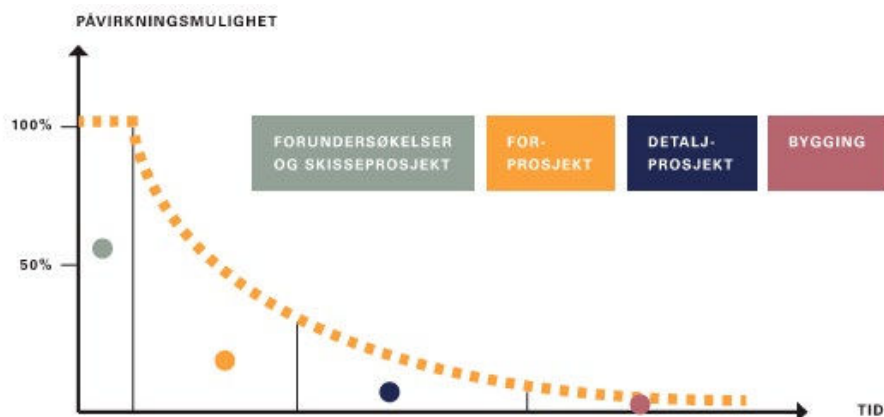
I veiledningen er det satt søkelys på teorier på fagområdet pumping, supplert med driftserfaringer fra eksisterende anlegg.

Likeledes gir rapporten råd med hensyn på å kombinere tekniske og økonomiske løsninger for å gi best mulig bærekraft.

Målet med veiledningen er å gi leseren overordnet forståelse for innledende arbeider, systemoppbygging, prosjektering og økonomiske vurderinger, samt teoretiske forklaringer på reelle problemstillinger ved utførelse og drift av pumpeledningsanlegg på land og i sjø.

2. Innledende arbeider

Det er i den innledende fasen i prosjektet at man virkelig kan gjøre de rette grepene, slik det prinsipielt er illustrert i Figur 2-1. Det gjelder forundersøkelser, registrering, trasevalg og geoteknikk.



Figur 2-1: Prinsipiell fremstilling av påvirkningskraften i et prosjekt som funksjon av planprosess.

I fasen med forundersøkelser og utarbeidelse av skisseprosjekt har man stor påvirkning på teknikk, økonomi, bærekraft og kvalitet. Utover i prosjektløpet og de neste planfasene synker påvirkningsgraden betydelig. Alle beslutninger i en prosess tas på grunnlag av foreliggende opplysninger i saken på det aktuelle tidspunkt. Det må derfor sikres at man har flest mulig og best mulige grunnlagsopplysninger.

Etablering av lange pumpeledninger på land og i sjø krever langsiktige og behovsprøvde beslutninger. Det er viktig å se prosjektet i sammenheng med det eksisterende avløpssystemet og foreta helhetlige vurderinger av avløpssonene over større geografiske områder. Mulighetene for å utføre alternative tiltak i oppstrøms ledningsnett må vurderes, for eksempel kan det være hensiktsmessig å oppdimensjonere eller etablere overføringsledninger fra en avløpssone til en annen for å utnytte selvføllstraseer.

2.1. Grunnlagsinnhenting

I dag har man enkel tilgang til gode topografiske kart¹⁾, laserinnmålinger²⁾ eller digitale kommunale kart. For å få oversikt over grunnforholdene, bør man anvende kvartærgeologiske kart fra NGU³⁾. I en innledende fase kan det være en god strategi å ikke se for mye på detaljer, slik at man mister oversiktsperspektivet. Det bør fokuseres på fallforhold, infrastruktur, hydrologiske elementer og grunnforhold. For å sjekke spesifikk fare for kvikkleireforekomster kan man benytte temakart fra NVE⁴⁾. Har man mistanke om fare for jordskred og ønsker å finne aktuelle sikringstiltak, kan man benytte NGI-verktøyet LaRiMit⁵⁾.

Temakart over annen infrastruktur som VA, vei, kabler, fjernvarme, gass etc. vil også gi nyttige opplysninger for et optimalt trasevalg.

Med disse verktøyene, sammen med befaring og registrering i terrenget, kan man utarbeide forslag til sannsynlige traseer for pumpeledningene. Det er i tillegg viktig å lytte til erfaring fra lokalkjente personer i området. Den aktuelle kommunen kan ha historiske data fra andre eller tilsvarende anlegg som har vært gjennomført.

1) www.norgeskart.no

2) www.hoydedata.no

3) www.ngu.no/emne/kart-pa-nett

4) www.temakart.nve.no/tema/kvikkleire

5) www.larimit.com

2.2. Grunnundersøkelser

Det har de seinere årene vist seg at geoteknikk har gjort sitt store inntog i VA-bransjen. Fokuset på sikkerhet har ført til at der man tidligere gjennomførte gravearbeider og sikret anleggene etter erfaring, er det nå krav til fagkyndig vurderinger og dokumentasjon. Prosjektet må plasseres i riktig tiltaksklasse i henhold til Plan- og bygningsloven, samt korrekt fareklasse etter NVE's regelverk. Det må avklares om prosjektet skal underlegges uavhengig kontroll⁶⁾. For å gi en best mulig besvarelse på disse spørsmålene, må man trekke inn geoteknisk kompetanse i en tidlig fase av prosjektet. I tilfeller der man har usikkert grunnlag, må det foretas geotekniske undersøkelser. Disse undersøkelsene og vurderingene kan ta lang tid på grunn av manglende kapasitet i markedet.

2.3. Kartlegging under vann

For å bedre beslutningsgrunnlaget for hvor undervannsledningen skal plasseres og hvilke anleggsmetoder som skal anvendes, er det helt avgjørende at det gjennomføres traseundersøkelser.

Her har man flere metoder som kan benyttes. Det enkleste vil være å anvende en båt med ekkolodd kombinert med et posisjoneringsinstrument (GPS) for å ta opp koordinater for x, y og z slik at disse kan lastes inn i en terrengmodell for å generere et dybdekart. Denne metoden er gunstig ved grunne traser, samt ved innsjøer med begrenset adkomst, da små bærbare gummibåter kan benyttes.

Mer avanserte metoder anvender multistråle ekkolodd kombinert med sidesøkende sonar. Slike løsninger gir også til en viss grad opplysninger om bunnmassenes beskaffenhet. I tillegg kan man finne eksisterende ledninger, større steiner og andre lokale hindringer.

For å få bedre opplysninger om bunnforholdene med hensyn til graving / sprenging av grøfter i landtakene, kan det være nyttig å foreta dykkerkontroll, benytte undervannskamera eller ROV (fjernstyrt undervannsrobot med kamera). Med ROV er man helt uavhengig av dybdebegrensninger. Her finnes det både enkle og avanserte ROV'er. De avanserte vil f.eks. kunne ta opp prøver av bunnsedimentene og utføre enkle arbeider.

Omfanget av forundersøkelsene og valg av metoder vil være avhengig av prosjektets størrelse og kompleksitet. Som et minimum må undersøkelsene resultere i et kart, slik at man kan plassere ledningen optimalt ut fra topografiske forhold, samt kunne utarbeide plan- og profiltegninger for oppdraget.

2.4. Søknader til myndigheter

Det er en omfattende prosess med søknader for å få godkjent et undervannsanlegg i samsvar med gjeldende lovverk i Norge. Søknader for landanlegg er heller ikke uten utfordringer. Det kan være en god regel å knytte til seg en profesjonell aktør, f.eks. en konsulent som er ekspert innenfor dette fagområdet. Man vil da sikre seg at søknaden har riktig innhold og blir sendt til de aktuelle myndighetene. Det vil spare mye tid og frustrasjon. Det anbefales at det tidlig i prosjektet tas kontakt med aktuell kommunes byggesaksbehandler for nødvendige søknader og instanser i området. Generelt skal følgende instanser gi sin tillatelse⁷⁾:

- Statsforvalteren
- NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat)
- Kystverket og Havnevesenet
- Fylkeskommunen
- Riksantikvaren
- Kommunen (byggesak)
- Norsk Maritimt Museum
- Fiskeridirektoratet
- Kabeleiere, ledningseiere og kraftselskap
- NTNU Vitenskapsmuseum
- Mattilsynet

6) <https://dibk.no/saksbehandling/kommunalt-tilsyn/temaveiledninger/temaveileder-uavhengig-kontroll/>

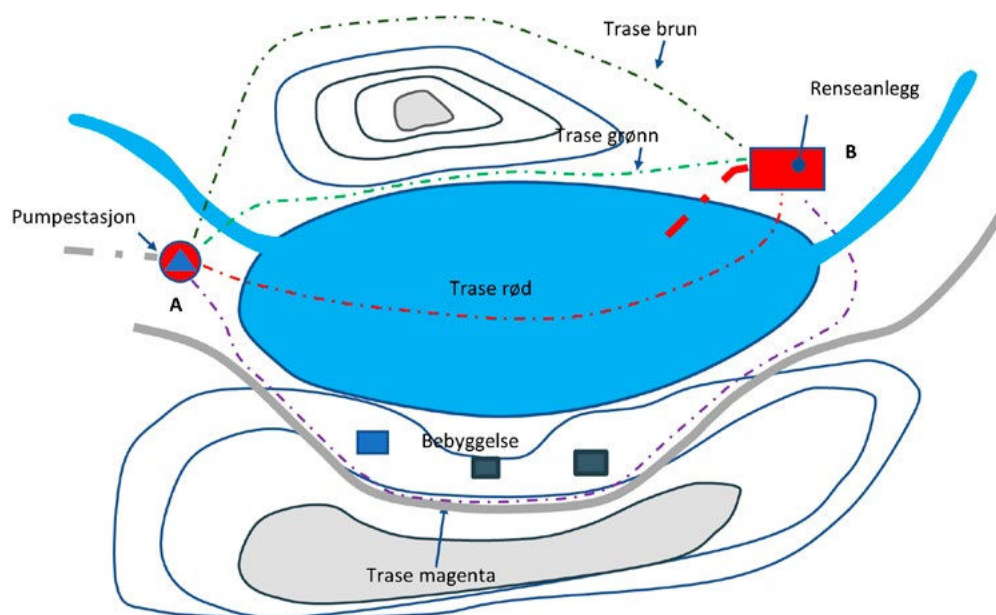
7) Undervannsledning - utfordringer og løsningsmuligheter (2022)

3. Systemoppbygging

I teorien finnes mange løsninger for å pumpe avløpsvann fra pumpestasjon i punkt A til avløpsrenseanlegg i punkt B. Oppgaven er å finne den teknisk økonomisk optimale løsningen når man legger til grunn både investeringer og drift i et langsiktig 100-års perspektiv. Forenklet sett består anlegget av en pumpestasjon og en ledning med eventuelle kummer og rørdeler. Pumpestasjonen er et "punktanlegg", mens ledningen er et "terrengobjekt". Lokaliseringen av begge elementer vil i hovedsak være påvirket av:

- 1) Topografi
- 2) Grunnforhold
- 3) Infrastruktur
- 4) Bebyggelse
- 5) Hydraulikk
- 6) Miljøutfordringer
- 7) Sikkerhet
- 8) Drift og vedlikehold

Figur 3-1 viser et tenkt eksempel på hvilke valg man kan stå ovenfor når man skal vurdere det tekniske systemet for å transportere avløpsvann fra punkt A til punkt B ved pumping.



Figur 3-1: Skisse med problemstillinger knyttet til trasevalg og tekniske løsninger

Ut fra forundersøkelser og erfaring, vil man kunne identifisere mulige optimale lokaliseringalternativer. Aktuelle optimaliseringsfaktorer kan være:

- 1) Kort ledningslengde
- 2) Bærekraft
- 3) Trygge grunnforhold
- 4) Lett tilgjengelighet
- 5) Gode anleggstekniske forhold
- 6) Liten konflikt med mennesker, natur og miljø
- 7) Små varige, synlige terrenginngrep
- 8) Synergieffekter

I det tenkte eksempelet i Figur 3-1 er det indikert 4 traseer man bør vurdere nærmere i et gitt prosjekt. Man kan også tenke seg traseer der man borer gjennom fjell eller løsmasser, men dette er ikke tatt med i det aktuelle eksempelet. Alle traseene er pumpeledninger selv om det ikke er benyttet tradisjonelle tegnsymbol for pumpeledning.

Traseene har følgende karakteristika:

Trase brun: Traseen er helt flat. Den er relativ lang og krysser en elv. Tilgjengeligheten er god.

Trase grønn: Traseen er kort og krysser en elv. Den ligger i et trangt område langs vannkanten med en høy, bratt ås på siden. Tilgjengeligheten er dårlig på deler av traseen.

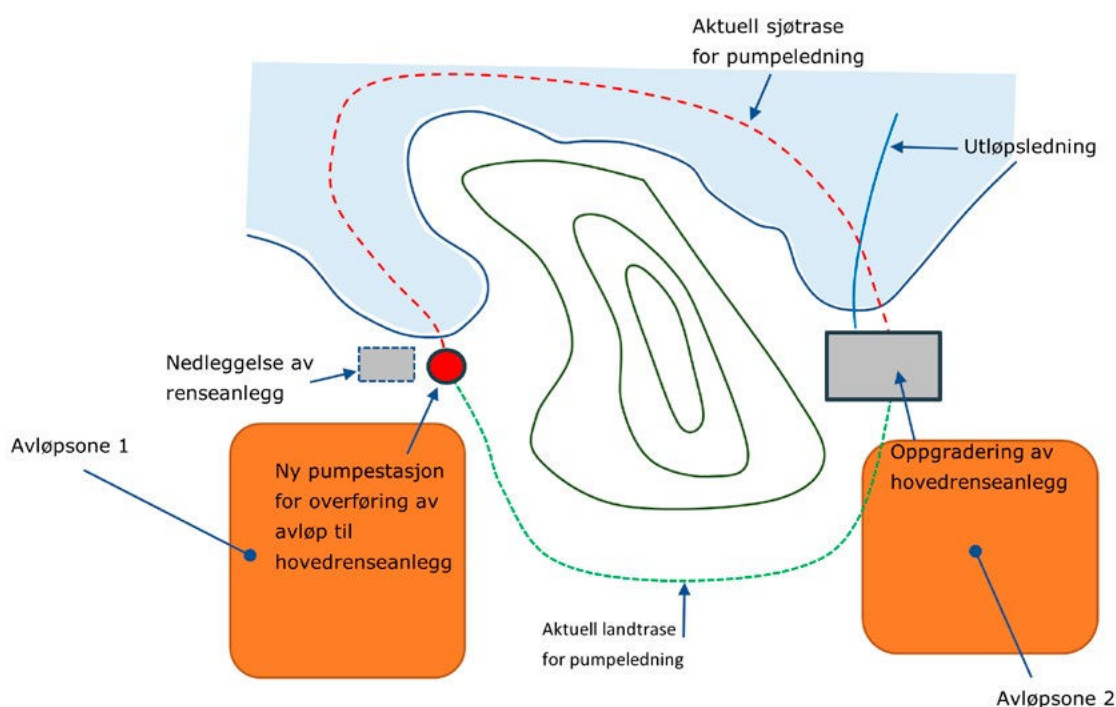
Trase rød: Traseen går gjennom en innsjø. Den er relativt kort. Tilgjengeligheten er god og krever små terrenginngrep. Anleggstiden vil være kort.

Trase magenta: Traseen er lang og går nær bebyggelse. Den følger en vei som gir lett tilgjengelighet. Det vil være et høybrekk på traseen som kan gi hydrauliske utfordringer. Traseen gir god mulighet til å sanere avløp fra eksisterende bebyggelse. Veien vil måtte stenges i anleggsperioden, eller trafikk reguleres. Traseen har en elvekryssing. Basert på erfaringspriser fra tilsvarende type ledningsanlegg, vil man på et tidlig stadium i prosjektet kunne foreta en kostnadskalkyle både med hensyn til investeringskostnader og driftskostnader. De alternativene som har de laveste nåverdiene, vil gi en god indikasjon på hvilke løsninger man bør arbeide videre med i prosjektet.

Til slutt må alternativene analyseres / verifiseres med hensyn til grunnforhold, miljø og sikkerhet.

Ut fra et driftsperspektiv er det viktig at den hydrauliske løsningen fungerer meget tilfredsstillende, slik at behovet for ettersyn, reparasjoner og vedlikehold blir minst mulig.

I mange tilfeller vil man stå ovenfor valget mellom en trase i sjø og en trase på land, jf. Figur 3-2. Særlig oppstår denne analyseutfordringen når man legger ned mindre renseanlegg ved sjøresipienter for å overføre avløpsvannet til et større sentralt renseanlegg med høygradig rensing. Slik har det historisk sett vært i mange kommuner langs kysten og ved de store innlandsresipientene. Strengere rensekrav sammen med skjerpet praktisering av gjeldende krav driver utviklingen videre framover. De små renseanleggene blir erstattet av nye pumpestasjoner og lange overføringsledninger.



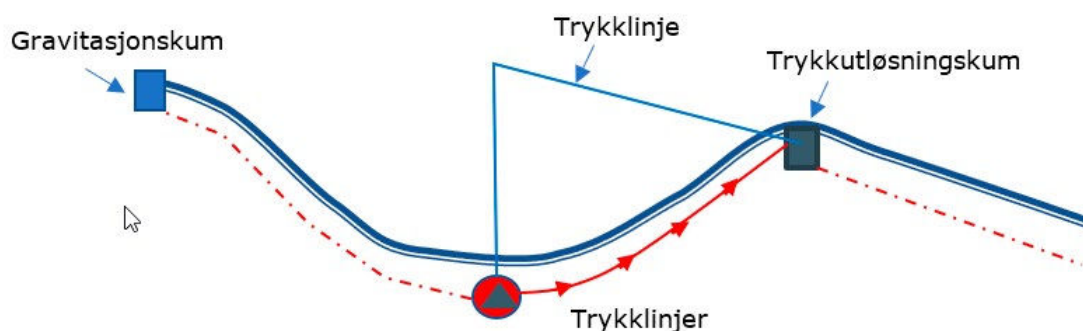
Figur 3-2. Eksempel på behov for lange pumpeledninger ved nedleggelse av gammelt mindre renseanlegg

Det finnes eksempler på pumpeledninger i sjø med lengder opp mot ca. 15 km. I slike tilfeller er det viktig å vurdere oppstrøms ledningsnett og eventuelle utfordringer med overvann som kan føre grus og sand frem til pumpestasjonen. En generell anbefaling er å se bredt på tekniske, hydrauliske, økonomiske og miljømessige utfordringer både oppstrøms og nedstrøms grensesnittene for et prosjekt med en lang pumpeledning.

Pumping av avløpsvann har flere utfordringer enn transport av rent vann på grunn av innholdet av organisk stoff, uorganiske partikler, næringssalter, fett og suspenderte materialer. Bruk av energi til pumping er en nødvendighet. Det er viktig å forstå samspillet mellom ledningsdiameter, avløpsmengde og energiforbruk / bærekraft. Bruk av for lite energi, vil gi driftsproblemer, dersom ikke selvrensende hastighet oppnås i pumpeledningen. Bruk av for mye energi kan ha en negativ miljøeffekt. Optimalisering i prosjekteringsfasen og oppfølging i driftsfasen er kritisk for å få et godt anlegg.

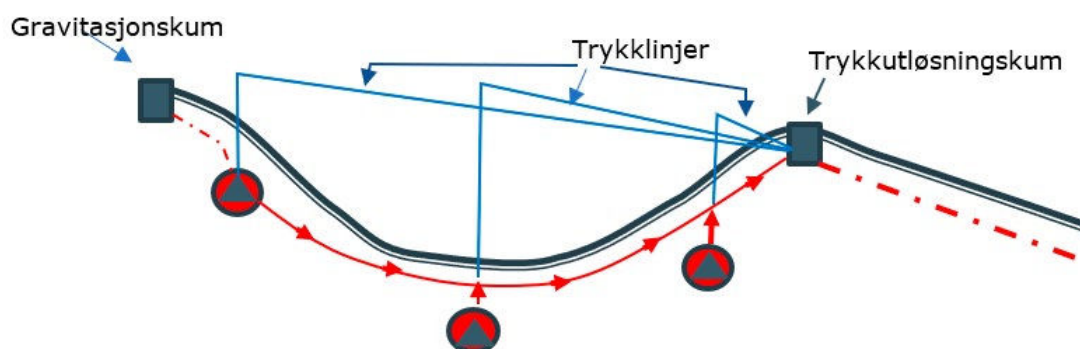
Man kan i prinsippet tenke seg ulike hydrauliske pumpeløsninger. Noen eksempler er vist i det etterfølgende.

Det tradisjonelle pumpesystemet for avløpsvann baserer seg på at avløpsvann samles med gravitasjon til et definert lavpunkt og pumpes derfra i en egen ledning til en trykkutløsningskum som er plassert høyere i terrenget.



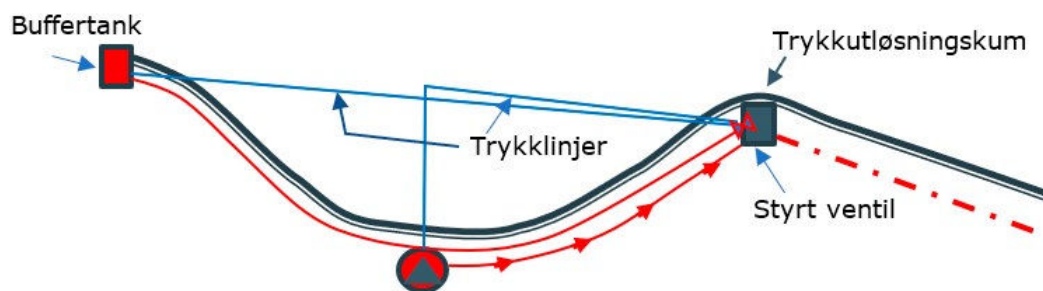
Figur 3-3: Tradisjonelt pumpesystem

Trykkavløpsystemet baserer seg på at flere pumpestasjoner pumper sitt avløpsvann inn på en felles pumpeledning, som ender opp i en trykkutløsningskum nedstrøms.



Figur 3-4: Trykkavløpsystem

Kombinasjonen av "gravitasjonspumping" og tradisjonell pumping baserer seg på å utnytte en høydeforskjell i terrenget til å transportere avløp. "Gravitasjonspumping" innebærer at man har en buffertank i oppstrøms ende av systemet som fungerer som en pumpe. Når vannstanden øker til et definert startnivå, åpner den styrte ventilen i nedstrøms ende ved trykkutløsningskummen slik at buffertanken tømmes til et nedre stoppnivå. Når stoppnivået nås, stenger den styrte ventilen. På denne måten "pumpes" avløpet med gravitasjon på grunn av høydeforskjellen. Avløp som produseres i lavpunktet i terrenget må fortsatt pumpes på tradisjonelt vis. Om ønskelig kan man også kombinere "gravitasjonspumping" med trykkavløp. Motivasjonen for en kombinasjonsløsning ligger i mindre energiforbruk.

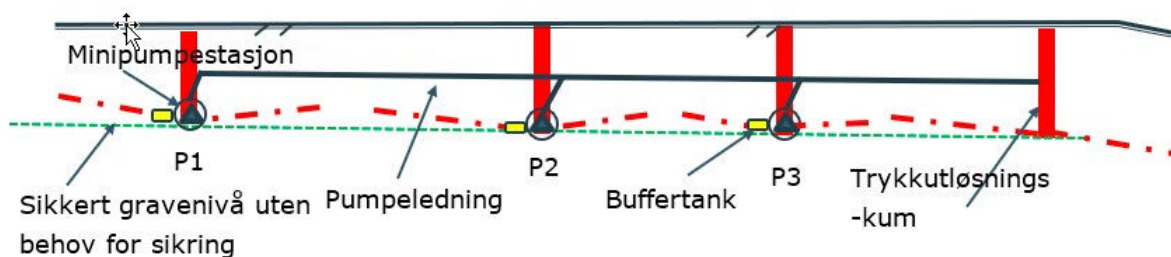


Figur 3-5: Kombinasjon av "gravitasjonspumping" og tradisjonell pumpeløsning

3.1. Ledning på land

Historisk sett har pumpeledninger for avløp benyttet seg av traseer på land, siden fagområdet undervannsledninger i hovedsak er knyttet til utviklingen av ledningsmaterialet polyetylen (PE), som først ble introdusert på 1960-tallet. De topografiske forholdene i Norge bidrar til at alle landets kommuner har mange avløpsumpepestasjoner i sin portefølje.

I utgangspunktet er det en god strategi å redusere antall pumpepestasjoner i et avløpssystem mest mulig og utnytte terrengets og grunnens egenskaper med hensyn til gravitasjon. Pumping vil likevel bli en naturlig løsning på land både i kupert- og i flatt terreng. En stor del av Norges befolkning bor på flate elvesletter under den marine grense. Her vil det være behov for pumping for å redusere grøftedyp og betydelige kostnader ved sikringsarbeider. Prinsippet er illustrert i figur 3-6 som eksempel på kommunale pumpepestasjoner som pumper inn på samme pumpeledning, et såkalt trykkavløpssystem. Minipumpepestasjoner har pumpekapasiteter i området 0,5-1,5 l/s, er gjerne utstyrt med buffervolum og alarmfunksjon, men uten overbygg.



Figur 3-6: Eksempel på trykkavløpssystem i et flatt terreng

Tar man for eksempel utgangspunkt i at gravitasjonsledningene må ha et fall på 5 ‰ og at minimum grøftedyp er 1,5 m, samt at maksimalt grøftedyp ved gode grunnforhold er 4 m, blir avstanden mellom pumpepestasjonene i Figur 3-6. ca. 1000 m og totallengden på trykkavløpsledningen ca. 3 km. I dette tilfellet vil grunnforholdene styre den tekniske løsningen. Slik er det i mange tilfeller.

Historisk sett har det vært ønskelig å unngå fjell i ledningstraseen på grunn av økte kostnader knyttet til sprenging. Med dagens krav til sikkerhet i jordgrøfter kan det faktisk være en fordel å ha ledningstraseen liggende på fjellgrunn, spesielt ved mistanke om dårlige grunnforhold. Således har systemtenkningen endret seg i takt med den teknologiske utviklingen, samt kravene til økt sikkerhet.

3.1.1. Trase på land

Det mest vanlige er at ledningstraseene går på land og installeres i frostfrie grøfter.

Den optimale traseen er generelt sett den som gir lavest økonomisk nåverdi og som er akseptabel ut fra miljø og bærekraft.

Kostnader er ofte knyttet til tilgjengeligheten for anleggsmaskiner. Dermed kan det være en fordel å følge veitraseer der dette er naturlig. Også ut fra et driftssynspunkt har det tradisjonelt vært "etterspørsel" etter tilgjengelighet. Må man velge traseer ute i terrenget, vil det være mer relevant å ligge nede i dalene enn oppe på toppene. Dette kan bli overstyrt av dårlige grunnforhold, spesielt knyttet til kvikkleire. I slike tilfeller vil det være mer gunstig å ligge på fjellgrunn eller i morenemasser.

Traseer på dyrket mark er gjerne gunstige prismessig, men man må regne inn erstatninger til grunneiere og avlingstap. Likevel er den traseen som er kortest, ofte blant de gunstigste.

Det er viktig med et bredt anleggsbelte, slik at entreprenøren slipper å kjøre masser ut og inn av traseen og har plass til å optimalisere bruken av bend ved å utnytte naturlig bøyning av rørene. Større anlegg bør ha et anleggsbelte på $(15+10) \text{ m} = 25 \text{ m}$. Ved mindre anlegg og der man må ta spesielle hensyn til naturmiljø, kan anleggsbredden reduseres. Man må være klar over at et ledningsanlegg alltid vil skape sår i terrenget, men at disse kan bøtes på med den endelige istandsettelsen etter at ledningen er installert. Det er ikke lurt å pålegge entreprenøren store praktiske hindringer slik at han/hun ikke kan gjennomføre anlegget på en effektiv måte.

For pumpeledninger vil de topografiske forholdene ha vesentlig betydning, da store høydeforskjeller gir økte energikostnader.

Av betydning er også områder med forurenset grunn, da dette vil ha både tekniske og økonomiske konsekvenser. Må man transportere massene til deponi, kan kostnadene bli høye. En god regel er å minimere influens fra slike områder når en ledningstrase skal velges sett i et HMS-perspektiv.

Man må være åpen for å benytte No-Dig teknologi som styrt boring i fjell og løsmasser eller etablering av konvensjonell sprengt tunnel. Dette kan gi gevinst sammenliknet med lange omgående traseer eller trase i kupert terreng. For metalliske rør må man være oppmerksom på generell korrosjonsfare i områder under den marine grense. Dette kan i tilfelle kreve ekstra korrosjonsbeskyttelse. Ikke-strekkfaste rør må forankres med forankringsklosser ved bend. Dette gir ekstra kostnader⁸⁾.

Ved valg av trase bør man også ha fokus på drift og vedlikehold. Tilgjengelighet er som nevnt stikkordet. Slik samfunnet har utviklet seg, vil det for større nyanlegg være en fordel å regulere ledningstraseen på land, da det erfaringsmessig viser seg vanskelig å få til minnelige løsninger med grunneiere og samfunnsaktører langs hele traseen.

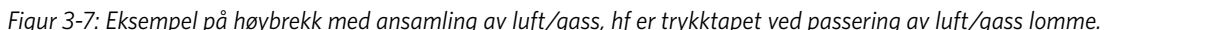
Således må man påregne lang tid for å kunne gjennomføre et pumpeledningsanlegg utover selve anleggstiden. Det er ikke uvanlig at man trenger i størrelsesorden 2 år til godkjenninger og forundersøkelser før entreprenøren kan starte sine arbeider. I noen tilfeller kan det ta enda lengre tid.

3.1.2. Høybrekk og lavbrekk

Ved systemer som har betydelige høy- og lavbrekk, er det viktig å dimensjonere pumper i hovedpumpestasjonen slik at de har tilstrekkelig løftehøyde og kapasitet til å holde pumpeledningen selvrensende med hensyn på luft/gass og sedimenter.

Luft/gass ansamlinger i høybrekk vil gi ekstra trykktap som må overvinnes av pumpa, utover normalt friksjonstap og singulærtap. Det er kritisk at luft/gass boblen som samler seg i høybrekket, blir transportert videre ned utforbakken og unnslipper opp i neste høybrekk i løpet av pumpesyklusen. Vannhastigheten for å kunne fjerne luft/gass vil avhenge av ledningsdiameteren og helningsvinkelen (α). For praktiske formål kan man anta at vannhastigheten bør ligge i området 0,7 m/s til 1,0 m/s. Formel for utregning er vist i avsnitt 3.2.3.

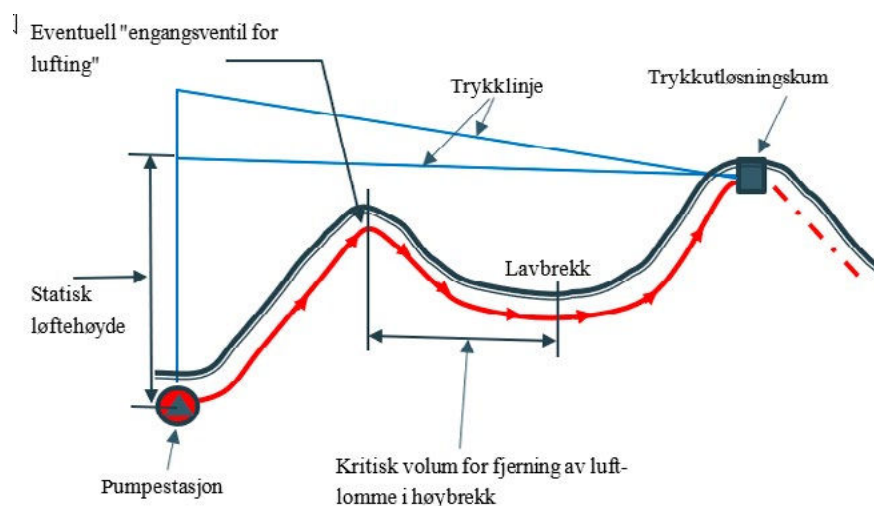
8) VA-miljøblad 96 "Forankring av trykkledninger".



Det hydrauliske profilet viser også (med røde søyler) tilnærmet løftehøyde for minipumpestasjonene (T1-T6) for å kunne bringe avløpsvannet inn på hovedledningen. I tillegg må minipumpestasjonene overvinne den statiske løftehøyden samt trykktapet i egen pumpeledning.

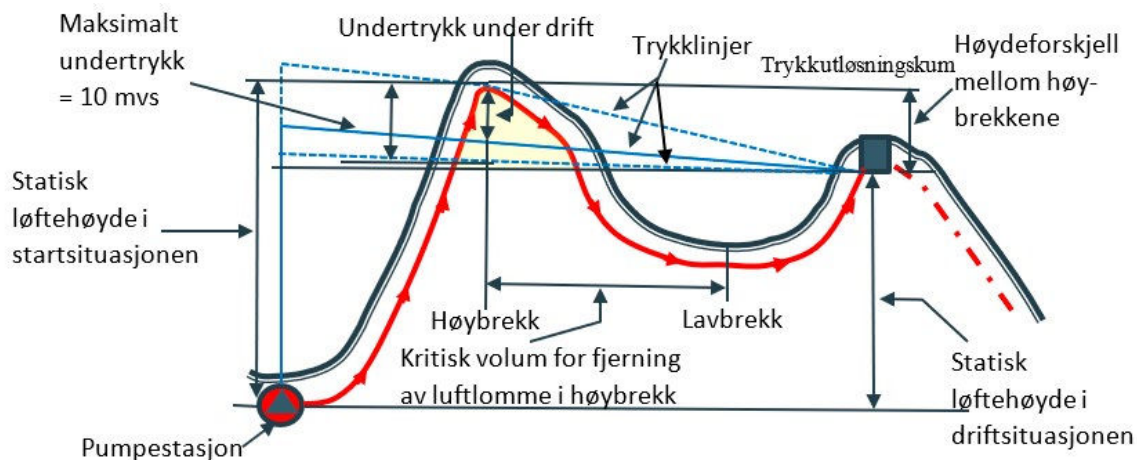
I eksempelet vil den siste kilometeren av ledningen fungere som gravitasjonsledning. Her vil man ha områder hvor ledningen er væskefylt og områder hvor det er innestengt luft. Lengden av gravitasjonsstrekningen vil variere avhengig av pumpetiden, dvs. størrelse på sumpvolumet i hovedpumpestasjonen og tilrenningen (illustrert med rød og grønn farge). Ved en trase som har både høybrekk og lavbrekk må det vurderes ulike hydrauliske utfordringer for pumpeledningen, Figur 3-9 og 3-10 illustrerer to eksempler.

I eksempelet i Figur 3-9 ligger høybrekket under trykklinja både når pumpene er i drift og når de står stille. Hydraulisk sett er dette et enkelt system som gir forutsigbare driftsbetingelser. Historisk sett har det vært vanlig å legge inn en ekstra pumpestasjon nede i lavbrekket og en trykkutløsningskum i det første høybrekket med gravitasjonsledning ned til lavbrekket. Ved riktig dimensjonering av pumpeledningen er det ikke behov for en slik løsning. Skulle det i fremtiden bli behov for å koble til eventuell bebyggelse i lavpunktet, kan det gjøres ved bruk av trykkavløp. Noen ønsker å sette inn T-rør i høydebrekk og ved lavbrekk. Man må da være oppmerksom på muligheten for innsug av luft ved undertrykk. Det vil også kunne medføre fare for lokalt utslipp i lavbrekket. Dersom T-røret settes inn for å ha kontroll på utlufting i anleggsfasen, kan det anlegges en engangs manuell lufteventil.



Figur 3-9: Pumpeledning med høybrekk som ligger under trykklinj

En annen situasjon som kan oppstå er vist i Figur 3-10, der ledningstrase for pumpeledningen har et høybrekk som ligger høyere enn den hydrauliske trykklinja under drift. Dette oppstår når trykkutløsningskummen ligger lavere enn høydebrekket. Er høydeforskjellen mellom høybrekkene større enn 10 mvs (atmosfæretrykket), vil systemet ha en "ustabil" driftssituasjon som ikke kommer i likevekt før det kommer inn luft i pumpeledningen ved pumpestasjonen når pumpene har stoppet. Det er derfor viktig at pumpestasjon og pumpeledning er dimensjonert slik at systemet er selvrensende med hensyn på luft. En alternativ løsning kan være å starte og stoppe pumpene mot stengt ventil for å forhindre hevert og innføring av luft i pumpeledningen.



Figur 3-10: "Ustabil" Pumpeledning med høybrekk over trykklinja.,

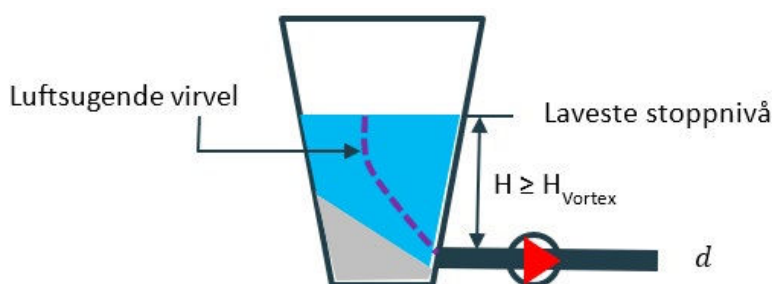
Man ser at trykklinjene vil variere avhengig av hvor man er i pumpesyklusen. De stiplede blå linjene angir trykklinjene ved start og stopp av pumpene. Pumpekarakteristikken må være slik at pumpa er i stand til å løfte vannet over det høyeste punktet i ledningstraseen ved start samt klare trykktapet i ledningen fra pumpestasjonen og frem til høybrekket.

Når pumpene er i stabil drift, vil den heltrukne blå trykklinja angi driftssituasjonen. Her vil ledningen bli utsatt for et undertrykk i høybrekket. I eksempelet er dette undertrykket mindre enn 10 mvs. Når pumpene stopper, vil avløpsvannet i pumpeledningen tilstrebe å komme til ro i en stabil trykksituasjon styrt av atmosfæretrykket. Siden høydeforskjellen mellom høybrekkene er større enn 10 mvs, vil gravitasjonskraften ha et "overtak" i forhold til atmosfæretrykket, hvilket gjør at avløpsvann vil renne mot utløsningskummen etter at pumpene har stoppet. Pumpesumpen vil dermed tømmes for vann helt til luft trenger inn i systemet og samles i høybrekket. Det gulskraverte området i figuren viser hvilket område av ledningen som må fylles med luft før likevekt har oppstått.

Når pumpene starter igjen, må det være nok vannvolum og vannhastighet til at denne luftlommen fjernes som omtalt tidligere i denne rapporten. Det er helt nødvendig at pumpeledningen er dimensjonert for fullt vakuum (10 mvs). Ønsker man å gjøre tiltak for å hindre at luft kommer inn i ledningen, må man ha tilstrekkelig vannvolum i pumpe- sump under stoppnivået og ha en styrt stengeventil i trykkutløsningskummen som lukker og stenger væskestrømmen. Det må etableres en intelligent styring av denne ventilen og pumpene både i startfasen og i stoppfasen. Et annet alternativ er å etablere et stigerør med konstant mottrykk (overløpskant) i trykkutløsningskummen. Dette er beskrevet senere i rapporten.

3.1.3. Innsuging av luft

I Figur 3-11 er det illustrert prinsipielt hvordan luft kan suges inn i pumpeledningen dersom væskenivået i pumpe- sumpen ligger for nært utløpsrøret fra sumpa. Man vil ha samme utfordring enten pumpene er tørroppstilte eller nedsenkede i avløpsvannet.



Figur 3-11: Eksempel på hvordan luftsugende virvel (vortex) kan oppstå i en pumpe- sump

Vortex høyden kan beregnes av Gordons formel:

$$H_{\text{Vortex}} = 0,93 \cdot Q \cdot d^{-\frac{3}{2}} \quad 3)$$

Q = vannføringen inn i sugestussen på pumpa (m^3/s)

d = innvendig diameter på avløpspumpeledningen (m)

Har man f.eks. en utløpsledning med innvendig diameter 257,7mm (Ø315mm PE100 SDR11) og en vannføring på 100 l/s, vil vortex høyden bli:

$$H_{\text{Vortex}} = 0,93 \cdot 0,1 \cdot 0,2577^{-\frac{3}{2}} \text{ m} = \underline{0,7\text{m}}$$

Man ser altså at toppen av pumpeledningen ved utløpet av sumpen må ligge minimum 0,7 m under laveste stoppnivå i dette eksempelet.

Pumpesump og sumpvolum må dimensjoneres slik at vortex ikke kan finne sted. Dette kan medføre at pumpestasjonen blir dypere under terreng. Vanligvis benyttes et 90° bend med trakt på enden for å kunne ha et lavere stoppnivå i stasjonen.

For å sikre løsningen ytterligere, vil det være fornuftig å legge inn et ekstra stoppnivå i styringssystemet, slik at man har en back-up mot at pumpesumpen suges tom.

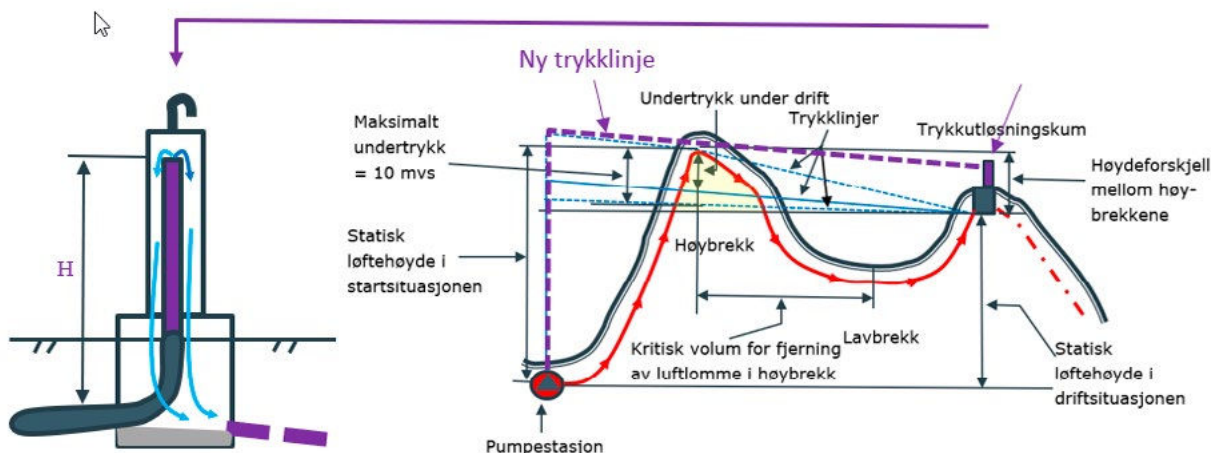
Undervannsledninger av materiale PE100 vil flyte i vannet dersom de ikke har vektbelastning, siden polyetylen har en egenvekt som er mindre enn vann.

Vektbelastningen på undervannsledningen skal i tillegg bidra til stabilitet av konstruksjonene når rørene utsettes for:

- Luft og gassansamling
- Strømkrefter
- Bølgekrefter

3.1.4. Trykkutløsningskum

For å unngå innsug av luft i ledning som beskrevet i kapittel 3.1.2, kan man etablere et stigerør med konstant mottrykk (overløpskant) i trykkutløsningskummen med en høyde som gjør at høydeforskjellen mellom høybrekkene blir mindre enn 10m. Prinsippet er vist i Figur 3-12 med magenta farge. Man øker på denne måten den statiske løftehøyden i systemet og reduserer undertrykket, eventuelt eliminerer det helt, slik at systemet blir som tidligere vist i Figur 3-9.



Figur 3-12: Bruk av stigerør med konstant statisk høyde i trykkutløsningskummen.

Det hydrauliske systemet, som her er beskrevet, er representativt for driften av trykkavløpssystemer, hvor man pumper både i motbakke og utforbakke og håndterer luft og gass som går inn og ut av ledningene. Slike løsninger var ikke tillatt i gamle dager, men den tekniske utviklingen på pumper og ledninger har gjort dette mulig.

Hvis systemet skal fungere, er det avhengig av at det anvendes helsveiste ledninger (PE og stål) som er 100 % tette og ikke slipper inn luft i høybrekket.

Pumpene bør være turtallsregulerte, slik at man kan unngå trykkstøt i forbindelse med start og stopp, samt kunne håndtere kapasitetsendringene som følge av varierende mottrykk under pumpesyklusen. Er høydeforskjellen mellom høybrekket og trykkutløsningkummen mindre enn 10 m, vil man unngå de hydrauliske utfordringene med innsuging av luft.

Erfaring fra de siste 30 år har vist at man i praksis kan pumpe avløpsvann i ulendt terreng med høybrekk og lavbrekk, så lenge man har gjort et hydraulisk design som tar hensyn til de aktuelle utfordringene. Her er det snakk om kompetanse og innovasjon.

3.2. Ledning i sjø

Norge er et land med mye hav, fjorder, innsjøer og elver. Tidligere ble disse elementene sett på som hindringer med hensyn til fremføring av VA ledninger. Pumpeledninger for avløpsvann som undervannsledninger er i dag vanlig både langs kysten og i innlandet. Dette har blant annet gjort det mulig å legge ned mange små renseanlegg og overføre avløpsvannet med pumping til store sentralrenseanlegg på en bærekraftig måte. I tråd med den teknologiske utviklingen av rørmateriale, spesielt PE, har man i dag kommet så langt at undervannsledninger blir sett på som muligheter og ikke utfordringer.

Det fleksible og robuste PE materialet muliggjør installasjon av undervannsledninger med minimal bruk av undervannsarbeider med dykkere. Mesteparten av arbeidsinnsatsen kan gjøres på land og på vannoverflaten. Undervannsledningene er nå konkurransedyktige mot landleidninger, siden de i hovedsak kan installeres direkte på sjøbunnen og gir mulighet for kortere og enklere traseer.

Siden PE-materialet har en egenvekt som er lavere enn vann, vil ledningene flyte opp til vannoverflaten dersom de ikke belastes med vektorer av et annet materiale. I hovedsak har man benyttet betonglodd av ulike typer, men blytråd og stålvekt har også vært anvendt. Siste utvikling i denne sammenheng er rør med integrert belastning i rørveggen type SESU og SESU-XL.

For pumpeledninger under vann er det i hovedsak ansamlinger av luft og gass som er de største utfordringene. Påvirkning fra bølger og strøm må også hensyntas.

I prinsippet kan undervannsledninger legges på dyp ned mot ca. 1000m, siden vanntrykket innvendig og utvendig i røret er tilnærmet det samme. Ved dyp større enn 1000m vil ledningsmaterialet bli "trykket i stykker" på grunn av det isotropiske trykket.

Ved etablering av VA-ledninger under vann er det viktig at det gjøres riktig forarbeid både ved prosjektering, myndighetsbehandling, søknader¹⁰⁾ og utførelse¹¹⁾.

10) PTV rapport 26, "Veiledning for VA-ledninger under vann" NTH 1984

11) PTV rapport 27 "Veiledning for VA-ledninger under vann"

3.2.1. Trase i sjø

Sjøledninger kan være en mulig løsning når traseer for lange pumpeledninger skal velges. Undervannsledninger og mulige trasevalg er knyttet til polyetylens (PE100 RC) styrke og fleksibilitet sett opp mot topografi, naturkrefter og hydraulisk trykk.

Undervannsledninger er gjerne konkurransedyktige i de tilfeller hvor det er behov for lite undervannsarbeider. Der ledningen kan ligge direkte på sjøbunnen, kan man utføre arbeidene fra vannoverflaten uten behov for dykkere. Dette gir gunstige løsninger både med hensyn på økonomi og bærekraft. Det er f.eks. fullt mulig å installere undervannsledninger ned på 1000m vandndyp dersom man har jevne, fine bunnforhold og velger riktig SDR-klasse og vektbelastning på ledningen. Således kan undervannstraseer være et reelt alternativ de fleste steder i landet.

Det er viktig med gode forundersøkelser av topografien og bunnforholdene for å danne seg et bilde av hvor egnet en gitt trase kan være. Med et digitalt undervannskart kan man lage seg lengdeprofiler for ulike traseer og således kan man i prosjekteringsfasen optimalisere traseen med hensyn på svevepartier og anlegg mot fjellkanter og større steiner.

PE100 ledninger har kapasitet til å håndtere betydelige svevepartier, men dette må beregnes i hvert enkelt tilfelle, kfr. f.eks. boken «Undervannsledninger. utfordringer og løsningsmuligheter» utgitt av Hallingplast¹²⁾.

For alle undervannsledninger må det opparbeides landtaksgrøfter ned til et dyp hvor bølger og strøm ikke kan skade ledningene. Avhengig av forholdene kan det være aktuelt å legge undervannsledningene i grøft i dybdeområdet fra ca. 5 m vandndyp til ca. 20 m vandndyp, målt ved laveste lavvann.

Normalt kan man gjenbruke de oppgravde massene til igjenfylling av ledningsgrøften. I tilfelle av fjellgrøft kan det være behov for tilkjørte masser til fundament og igjenfylling, dersom det ikke finnes stedlige masser med egnet kvalitet i nærheten.

Under senkingen av ledningen bør det være krav til bruk av ROV for å overvåke leggestedet (tangeringspunktet) på sjøbunnen. Man har da muligheten til å justere posisjonen av ledningen underveis, alternativt få oversikt over partiene hvor utbedring må foretas etter at ledningen har kommet på plass.

Sjøledninger kan i mange tilfeller være vesentlig lenger enn tilsvarende ledninger på land og likevel være konkurransedyktige både teknisk og økonomisk.

3.2.2. Høydebrekk og lavbrekk

På de fleste avløpspumpeledninger under vann vil det forekomme høybrekk og lavbrekk i traseen. Det er fullt mulig å benytte slike løsninger, men det er viktig å ivareta de hydrauliske utfordringene og sørge for selvrensing av ledningene både med hensyn til sedimenter og luft/gass.

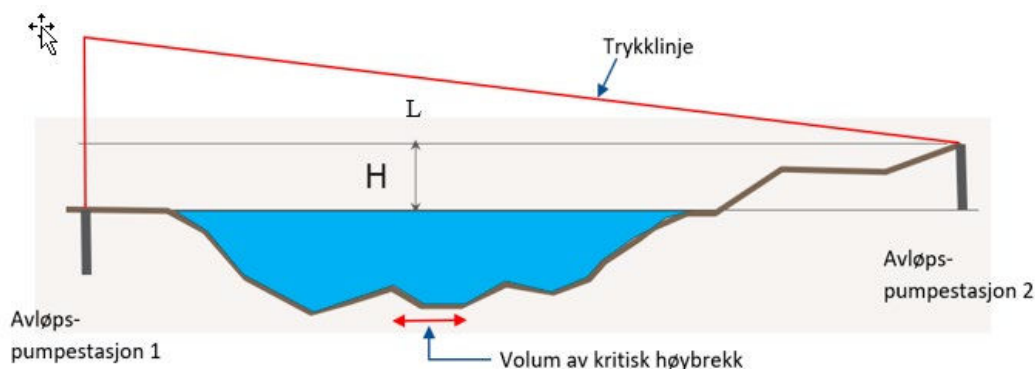
Den absolutt største utfordringen med undervannsledninger er luft. Kommer luft inn i ledningen, vil det kunne føre til at ledningen flyter opp eller forandrer posisjon. Luft vil redusere den hydrauliske kapasiteten og kan bidra til trykkstøt i pumpeledningen. Før en undervannsledning senkes, er den fylt med luft. Det er viktig at man har en senkeprosess som sørger for at all luften er tømt fra ledningen når den er kommet på plass i riktig posisjon på sjøbunnen. Dette er en forutsetning ved overtagelse av en sjøledning.

12) Undervannsledninger. "Utfordringer og løsningsmuligheter" Hallingplast AS 2022

3.2.3. Luftfelle

Utfordringen blir deretter å hindre at luft tilføres ledningen i driftsfasen. På avløpspumpeledninger vil luft kunne komme inn i undervannsledningen via pumpestasjoner. Dette gjelder spesielt for avløpsledninger hvor luft kan suges inn i ledningen via luftsugende hvirvler i pumpesumpa når vannstanden i sumpa er lav eller hvis pumpenes stoppautomatikk svikter¹³⁾.

Et eksempel er vist i figur 3-13, hvor avløpspumpestasjon 1 pumper avløp til pumpestasjon 2 på andre siden av en innsjø.

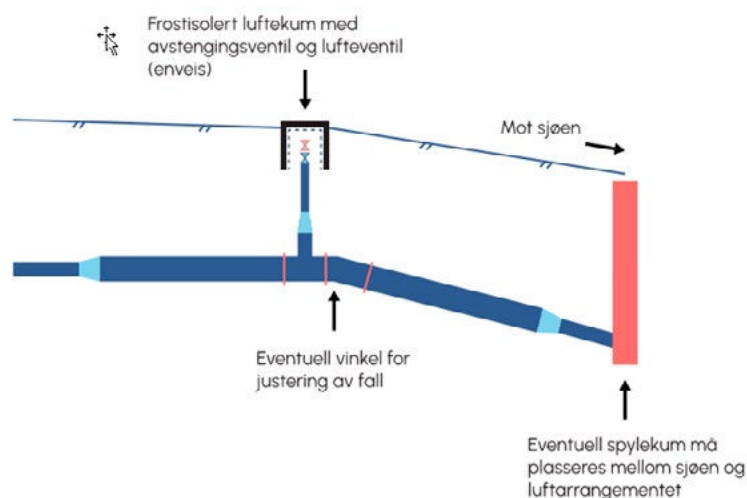


Figur 3-13: Trase hvor det er fare for at luft kan pumpes inn i sjøledningen ved feil i pumpestasjon 1. Angivelse av minimumskrav til teknisk løsning.

For å forebygge problemer med luft i en slik overføringsledning, kan man gjøre flere grep:

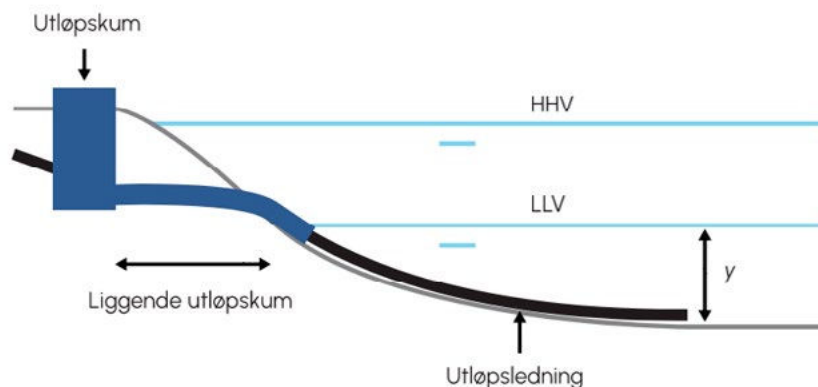
- 1) Sørge for at man har en positiv statisk løftehøyde.
- 2) Etablering av en luftfelle mellom pumpestasjonen og sjøkanten, vist i Figur 3-14.
- 3) Sørge for at vannhastigheten i ledningen er selvrensende med hensyn til luft og at tilgjengelig sumpvolum er tilstrekkelig til å flytte luftlommen i det mest kritiske høybrekket fra høybrekket til nedstrøms lavbrekk.
- 4) Unngå vortex (luftsugende virvel) i pumpesumpen.
- 5) Ha et styringssystem med dobbel sikkerhet på nedre stoppnivå i pumpesumpen.
- 6) Belaste undervannsledningen med en vektbelastning tilsvarende 100 % luftfylting.

Tiltak 1 og 3 må alltid være oppfylt, mens de øvrige tiltakene legges inn avhengig av hvilket sikkerhetsnivå man ønsker.



Figur 3-14: Eksempel på luftfelle ved sjøkanten for å hindre at luft kommer ut på undervannsledningen.

13) PRA 8. "Luft i utslippsledninger" Gunnar Mosevoll 1976



Figur 3-15: Eksempel på bruk av liggende utløpskum ned til under laveste lavvannstand (LLV).

Luftfellen kan lages av PE100 ledninger med overganger som sveises sammen til en enhet, slik som vist i Figur 3-15. Det gjøres oppmerksom på at det ved anleggelse av luftfelle må utføres pluggkjøring fra nedstrøms side. Diameteren (D) på luftfellen bestemmes ut fra et krav om at maksimal vannhastighet (Q_{Maks}) ikke skal overstige 0,4 m/s ved maksimal vannmengde.

$$D_{Min.Luftfelle} = 1,78 \cdot \sqrt{Q_{Maks}} \quad 1)$$

Q_{Maks} = maksimal vannmengde (m^3/s)

Hvis man skal oppnå selvrensing for luft i undervannsledningen, kan man anvende formel 2)

$$v_{selvrens\ luft} \geq (0,45 + 0,4 \cdot \sqrt{\sin \alpha}) \cdot \sqrt{g \cdot d} \quad 2)^{14)}$$

α = helningsvinkelen i det kritiske høybrekket ($^\circ$)

d = innvendig diameter i sjøledningen (m)

g = tyngdeaksellerasjonen (= 9,81 m/s²)

For å kunne fjerne gass fra et høybrekk i en undervannstrase, ref. Figur 3-7, anbefales å ha tilgjengelig et sumpvolum (V) i pumpestasjonen som er minimum 1,5 - 2 ganger volumet av strekningen L .

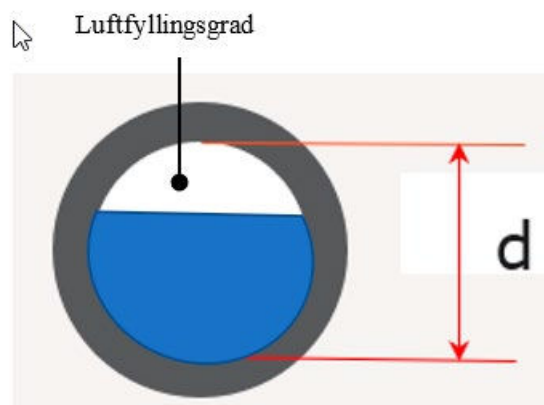
$$V \approx 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad 3)$$

Har man ikke selvrensende hastighet i ledningen og tilstrekkelig sumpvolum, vil luft/gass kunne akkumuleres over tid og undervannsledningen kan komme opp til vannoverflatene. I slike tilfeller vil det være en god ide å belaste undervannsledningen tilsvarende en luftfyllingsgrad på 100 % i høybrekkene.

3.2.4. Luftfyllingsgrad

I Norge angis vektbelastning relatert til innvendig volum av ledningen og begrepet luftfyllingsgrad benyttes. Når det står at ledningen er belastet med en vekt tilsvarende 30 % luftfyllingsgrad, betyr det at ledningen vil begynne å flyte opp fra sjøbunnen dersom tverrsnittet er 30 % fylt med luft. Dette er illustrert i Figur 3-16.

14) PRA rapport 8 "Luft i utslippsledninger" 1976.



Figur 3-16: Illustrasjon av begrepet luftfyllingsgrad i forbindelse med vektbelastning på en undervannsledning.

Det hvite arealet i toppen av røret i figuren viser graden av luft som er dimensjonerende. Det betyr ikke at man forventer at så mye luft skal komme inn i ledningen, men at kraften dette volumet representerer som oppdrift, må motvirkes av en tilsvarende vertikal vektbelastning for å ivareta ledningens stabilitet på sjøbunnen både horisontalt og vertikalt, når den utsettes for kreftene fra luft/gass, strøm og bølger.

Man relaterer andelen til det totale innvendige volumet og angir belastningen i %.

I 1984 utga Norges Naturvitenskaplige forskningsråd rapporten PTV 26 "Veiledning for VA-ledninger under vann". Dette dokumentet har på mange måter vært veiledende for belastningsgradene som er benyttet på undervannsledninger i Norge. Erfaring viser at dette har fungert bra. Svært få skader er rapportert inn i forbindelse med denne type anlegg.

Tabell 3-1: Forslag til valg av dimensjonerende luftfyllingsgrad for undervannsledninger hentet fra PTV 2615).

Type undervannsledning og traseforhold	Dimensjonerende luftfyllingsgrad
Vannledning som ligger med jevnt fall mot luftekummer	20 - 25 %
Vannledning som ligger med høybrekk uten lufting	30 - 40 % i høybrekket. For øvrig 20 - 25 %.
Avløpsledning som ligger med jevnt fall mot luftekum eller utløp	30 - 40 %
Avløpsledning som ligger med høybrekk uten lufting	Inntil 100 % i høybrekket. For øvrig 30 - 40 %.

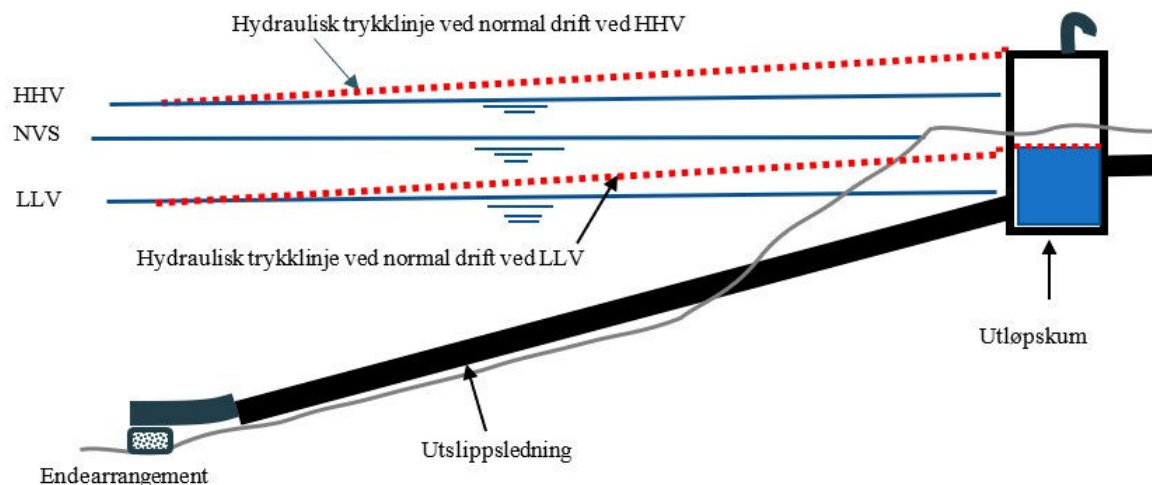
Denne tabellen tar ikke hensyn til strøm og bølgekrefter som må beregnes særskilt der det er behov. Større bølge- og strømkrefter må håndteres med nedgraving av ledningen eller bruk av gabionmadrasser eller tilsvarende. Små bølge og strømkrefter kan kompenseres for ved å øke belastningsgraden oppover fra verdiene i Tabell 3-1.

I de seinere år har det kommet løsninger med undervannsledninger basert på trykkavløp. I disse prosjektene baserer man seg på at luft og gass skal transporteres i avløpsledningen. I slike tilfeller må man ha en dimensjonerende luftfyllingsgrad på ≥ 100 %. Der det er små vannledninger sammen med trykkavløpsledningen, anbefales det at vannledningen har en belastning på ca. 90 %. På denne måten kan man stripse sammen de 2 ledningene og senke dem samtidig på tradisjonelt vis. Ved tradisjonelle pumpeledninger for avløp som er korrekt prosjektert, anbefales det en generell dimensjonerende luftfyllingsgrad på ca. 50 %.

15) PTV rapport nr. 26, Veiledning for VA- ledninger under vann

3.2.5. Pumping på utløpsledning

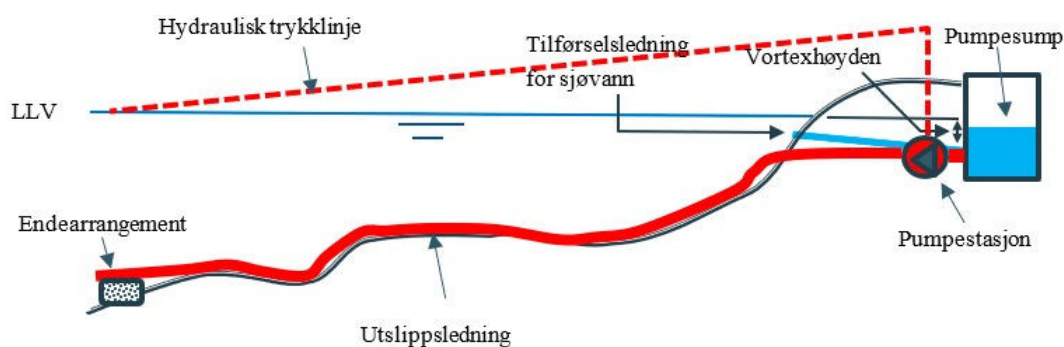
Generelt skal man ikke pumpe avløpsvann ut på en utløpsledning, da risikoen for å få luft / gass på ledningen er overhengende¹⁶⁾. Figur 3-17 viser en normal utførelse av en utløpsledning basert på gravitasjon.



Figur 3-17: Eksempel på normal utløpsledning basert på gravitasjon i prinsipp.

Det viktigste prinsippet er at topp utløpsledning i utløpskummen ligger lavere enn laveste vannstand (LLV) i resipienten. I tillegg må kummen være så høy at trykklinja ved høyeste høyvann (HHV) ligger inne i kummen uten at det medfører kritisk oppstuvning i oppstrøms ledningsnett. Ved brå endringer i tilførselsledningen til utløpskummen, kan det oppstå svingninger i vannstanden inne i kummen. Ledningen må i tillegg være selvrensende.

I noen tilfeller med lang utløpsledning, vil det ikke være mulig å bygge en tilstrekkelig høy utløpskum, slik at vannet kan transporteres med gravitasjon. Man må følgelig basere seg på bruk av pumping, som antydnet prinsipielt i Figur 3-18.



Figur 3-18: Prinsippløsning for lang utløpsledning basert på pumping.

I dette tilfellet må pumpene plasseres minimum vortexhøyden under laveste lavvann, slik at man unngår at luft suges inn i pumpeledning med en luftsugende virvel¹⁷⁾. Det anbefales å vekte ledningen tilsvarende en luftfyllingsgrad opp mot 70 %. Høybrekk vektes opp mot 90 %.

16) PRA 5.1 "Ytre krefter på utslippsledninger" Vassdrags- og havnelaboratoriet 1975

17) PRA 14. "Dykket utslipp i resipient. Utledning og fortynning av avløpsvann" Paul Liseth 1977

Det må sørges for at ledningen er selvrensende for luft / gass når pumpestasjonen er i drift. Det kan også være en god ide å ha et sjøvannsinntak som kan levere sjøvann inn i pumpestasjonen ved behov, slik at man har tilstrekkelig vann til å spyle hele ledningen i en kontinuerlig prosess. Luft / gass fra ledningen kan da fjernes fullstendig, dersom pumpene har riktig kapasitet. Dette forutsetter at pumper og rørapplegg inne i pumpestasjonen er i sjøvannsbestandig materiale.

3.3. Pumpesystemer

Pumpestasjoner for avløpsvann kan i prinsippet deles inn i 2 hovedkategorier:

- Våtoppstilte pumper
- Tørroppstilte pumper
 - med tilrenningstrykk
 - med sugehøyde

Innenfor disse alternativene finnes det igjen undergrupper som:

- Prefabrikkert
- Plasstøpt

Om man skal velge tørroppstilte eller våtoppstilte løsninger, avhenger av hvordan man vektlegge driftsvennlighet. Generelt vil våtoppstilte løsninger være billigere i anleggsutførelse enn de tørroppstilte løsningene, da de bygningsmessige konstruksjonene blir enklere og av mindre omfang.

Erfaringsmessig har man bygget de store pumpestasjonene (f.eks. kapasitet >150 l/s) som tørroppstilte, mens de mindre stasjonene har blitt utført med våtoppstilte løsninger. Teknisk sett er det ingen vesentlig forskjell på driftssikkerheten.

Store pumpestasjoner (f.eks. kapasitet >150 l/s) har normalt vært plaststøpte, siden pumpeumpene blir store. Mindre pumpestasjoner (<150 l/s) leveres som prefabrikkerte løsninger.¹⁸⁾

De seinere årene har mange kommuner valgt selvsugende pumper, med alle bevegelige deler plassert i et tørt rom, av hensyn til enklere og "renere" drift. Tilbake i tid var løsningene nesten alltid våtoppstilte pumper med tilrenningstrykk.

De fleste pumpestasjoner har automatisk overvåking av driften (PLS) og sender driftssignaler til en driftssentral¹⁹⁾. Herfra går signalene til vakthavende driftsoperatør som kan rykke ut på kort varsel, se kapittel 7.4.

Dersom pumpestasjonen settes inn i et område som har fellessystem på avløpet, kan man vurdere forbehandling med stein- og sandfang inntil tilstrekkelig separering er utført i oppstrøms ledningsnett. For små stasjoner bør man være oppmerksom på at arrangementet kan fungere som en slamlomme som krever jevnlig drift.

I det etterfølgende er det illustrert noen aktuelle konstruksjonsløsninger for pumpestasjoner.

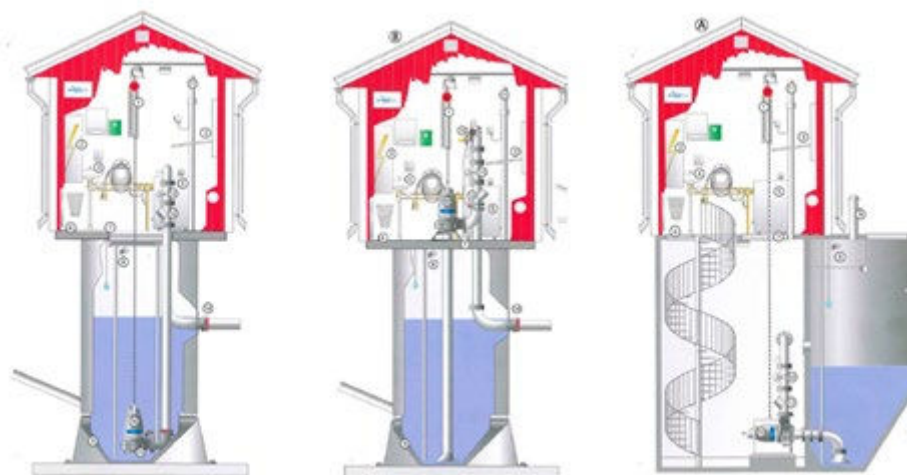
Alle pumpestasjoner må ha forankring mot oppdrift fra høy grunnvannstand. Vanligvis benyttes betongplater til dette formålet.

18) VA-miljøblad nr.78 "Mindre avløpspumpestasjoner. Pumpeump med installasjoner"

19) VA-miljøblad nr.77 "Mindre avløpspumpestasjoner. Overbygg med installasjoner og automatikk"

3.3.1. Prefabrikkerte pumpestasjoner

De fleste avløpppumpestasjoner som ble bygget i perioden 1970 til 2010, var prefabrikkerte pumpestasjoner med våtoppstilte pumper. Disse var billige, hadde god driftssikkerhet og bidro til en rask og effektiv utbygging av avløpsnettet i norske kommuner. Slike pumpestasjoner utgjør fortsatt en betydelig del av markedet, spesielt for mindre kapasiteter. For større prefabrikkerte stasjoner er tørroppstilte pumper mer og mer vanlig. Prinsippet for slike stasjoner er vist i Figur 3-19.



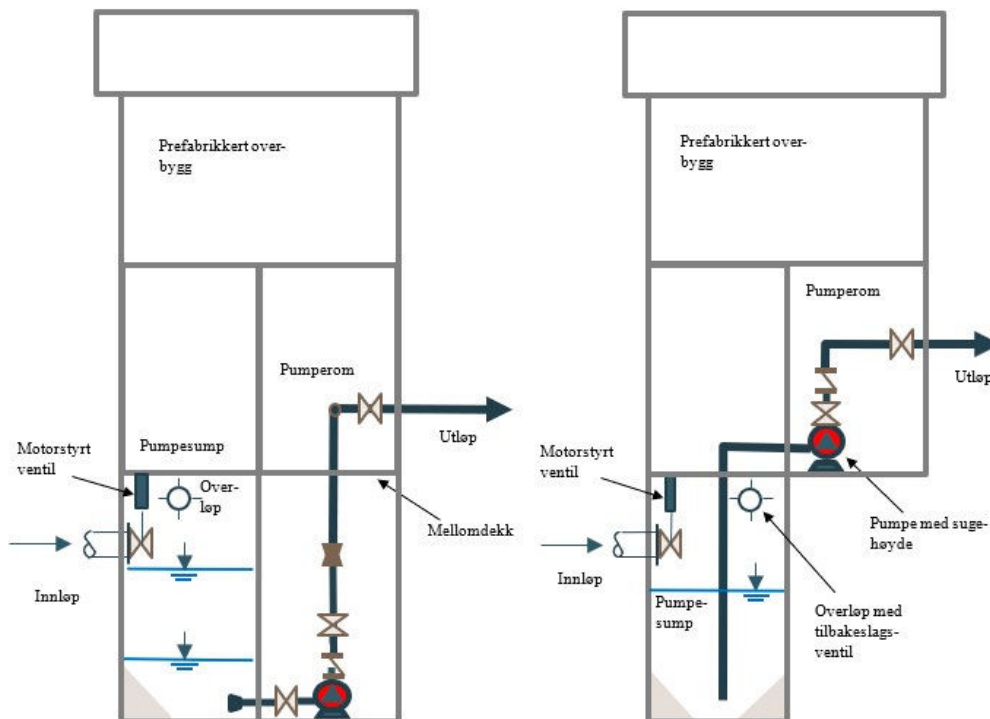
Figur 3-19: Prefabrikkerte pumpestasjoner med våte- og tørroppstilte pumper.

Ventilarrangement kan enten være nede i pumpesumpa eller i overbygget. Vanligvis er det to pumper i stasjonen som alternerer under drift for ekstra sikkerhet.

Nedsenkede pumper er koblet mot pumpeledningen via en automatisk koblingsfot, slik at pumpen kan trekkes opp og ned langs et geiderør ved hjelp av en talje. Driftsmessig kan det være noe mer omfattende og uhygienisk å vedlikeholde en pumpestasjon med nedsenkede pumper. Gode driftsrutiner med HMS i høysetet er en forutsetning²⁰⁾. For store pumpekapasiteter kan man også tenke seg plasstøpte løsninger med nedsenkede pumper, men dette er ikke så vanlig i Norge.

Tørroppstilte pumpestasjoner er generelt sett noe dyrere i anskaffelse enn våtoppstilte pumpestasjoner, men vil normalt ha gunstigere driftsforhold for driftsoperatørene. Prefabrikkerte, tørroppstilte pumpestasjoner bygges vanligvis i glassfiber under bakkenivå og har et tradisjonelt overbygg i tre. Alternativt kan man bygge underdelen i betong. Ved alle tilfeller må pumpestasjonen utformes slik at den er sikret mot oppdrift. Ved separat våsump og maskinsump bør det etableres en felles bunnplate, slik at ikke gjennomløpsrøret mellom sumpene blir utsatt for stress om en av sumpene skulle sige eller bli preget av oppdrift. Store prefabrikkerte konstruksjoner er nå tilgjengelig i GRP (diameter 3-3.5 m) og dette blir mer vanlig (trekammerløsninger).

20) NVR 247 Beste praksis for HMS i vannbransjen



Figur 3-20: Prefabrikkert pumpestasjon med tilrenningstrykk (alternativ 1) og pumper med sugehøyde (alternativ 2).

Tilrenningstrykk til pumpene har vist seg å være en driftssikker løsning.

Prefabrikkert pumpestasjon med sugehøyde har blitt populært i de seinere årene, spesielt blant driftsoperatører. De gir en "renere" løsning der man er mindre utsatt for bakterier og uønskede gasser.

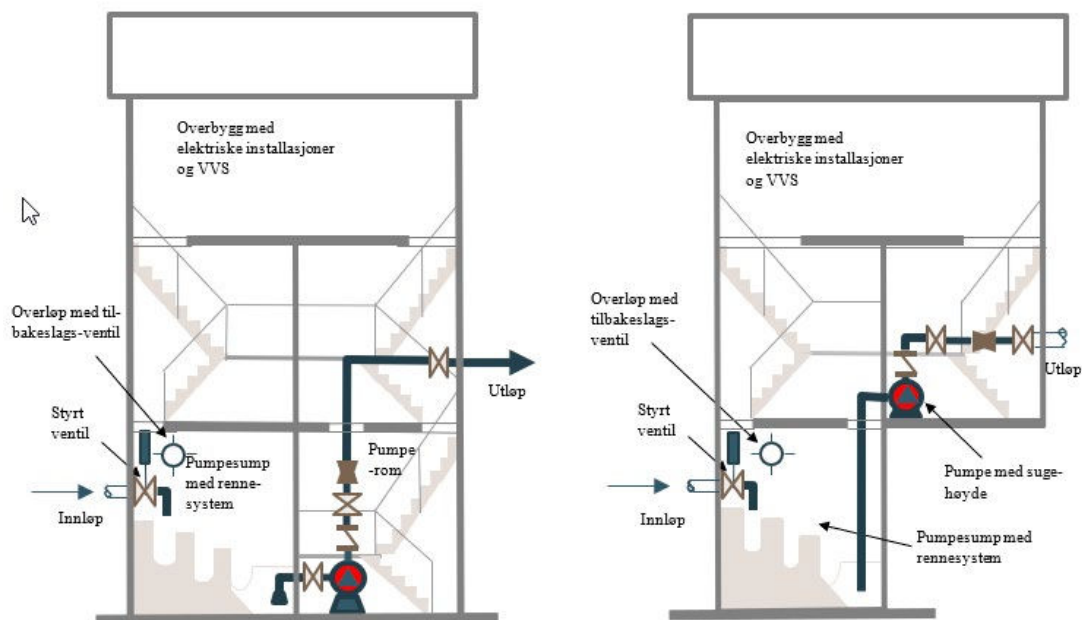
Utfordringen kan være driftssikkerheten med hensyn til "sugefunksjon" som kan svikte dersom det blir lekkasje av luft inn på sugesiden. Det kan også oppstå delvis blokkering i sugerøret ved frekvensregulering samt ansamling av tyngre partikler i bunnen av pumpesumpa.

Erfaringer viser dog at slike pumpestasjoner stort sett fungerer meget bra.

Avhengig av dybden av pumpestasjonen og pumpenes sugekapasitet (NPSH-verdi) kan pumpene plasseres på en plate på terrengnivå eller senkes ned i et eget kammer under bakkenivå, se kapittel 3.4.7 for videre forklaring.

3.3.2. Plassbygde pumpestasjoner

Plasstøpte pumpestasjoner med tørroppstilte pumper, som vist i Figur 3-21, bygges og driftes etter de samme prinsippene som de prefabrikkerte løsningene. De er aktuelle for store pumpekapasiteter, siden sumpvolumet blir så stort at det ikke kan integreres i en prefabrikkert løsning.



Figur 3-21: Plassbygde pumpestasjon med tilrenningstrykk (alternativ 3) og pumper med sugehøyde (alternativ 4).

Utformingen av pumpesumpen er viktig for riktig funksjon av pumper og sikker drift. Det er spesielt selvrensingen i pumpesumpen som krever et rennesystem med fall. Normalt bygges plaststøpte stasjoner med tilrenningstrykk.

Ved dårlige grunnforhold og store geotekniske utfordringer kan det være aktuelt å benytte pumper med sugehøyde for å redusere omfanget av den dype delen av stasjonen.

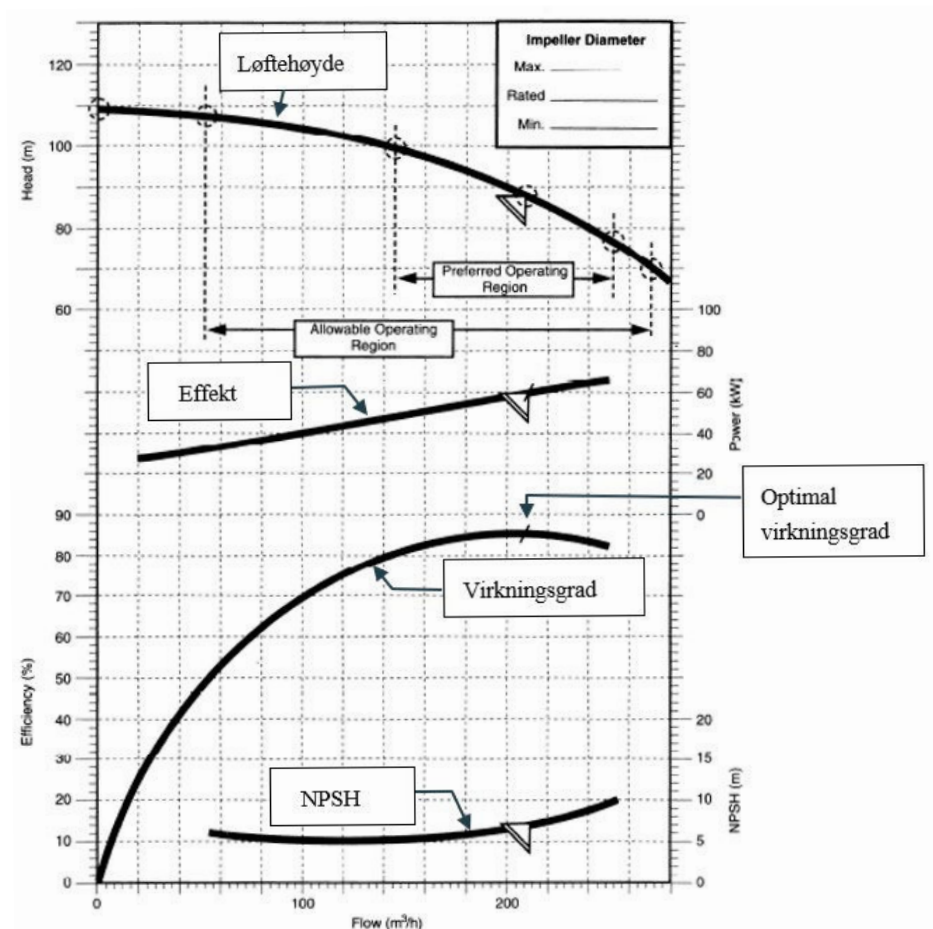
3.3.3. Pumpekurver og driftspunkt

Alle pumper beskrives prestasjonsmessig ved hjelp av såkalte pumpekurver. Horisontalaksen på pumpekurvene er alltid vannmengden (Q).

De mest anvendte kurvene er:

- Løftehøyde (H) mot vannmengde (Q)
- Virkningsgrad (η) mot vannmengde (Q)
- Effektforbruk (E) mot vannmengde (Q)
- NPSH mot vannmengde (Q) (se punkt 3.4.7)

Slike kurver fremstilles gjerne i samme grafiske bilde, siden de alle er en funksjon av vannmengden Q . Dette er vist som eksempel i Figur 3-22. I tillegg fremstilles pumpekurvene for løftehøyde mot vannmengde som funksjon av frekvens (f).



Figur 3-22: Pumpekurver; trykkehøyde, virkningsgrad, effekt og NPSH som funksjon av vannmengde (Q).

Driftspunktet for en pumpe er avhengig av ledningskarakteristikken til pumpeledningen, det vil si det totale trykktapet (H) i pumpeledningen som funksjon av vannmengden (Q). Funksjonen for ledningskarakteristikken kan uttrykkes ved formel 6, der første ledd er statisk løftehøyde, andre ledd representerer friksjonstapet og siste ledd angir singulærtap.

$$H = H_s + f \cdot \frac{8L}{D^5} \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 g} + \sum k \cdot \frac{8}{D^4} \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 g} \quad (6)$$

H = totalt trykktap i ledningen (mVs)

H_s = statisk løftehøyde (m)

f = friksjonsfaktor ($\approx 0,02$)

L = ledningslengde (m)

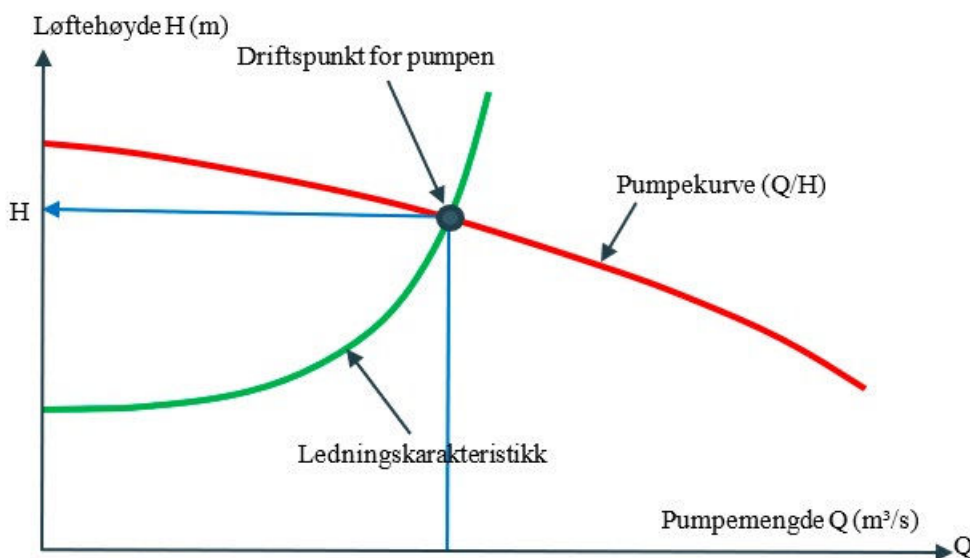
D = innvendig diameter (m)

Q = vannføringen (m³/s)

g = tyngdeaksellerasjonen (9,81 m/s²)

k = singulærtapskoeffisient i pumpeledningen (≈ 5)

Man ser at ledningskarakteristikken blir en parabel som vil skjære pumpekurven. Dette er illustrert i Figur 3-23.



Figur 3-23: Illustrasjon av driftspunkt for pumpe.

Driftspunktet for pumpen blir skjæringspunktet mellom ledningskarakteristikken og pumpekurven, slik det er vist i Figur 3-23.

3.3.4. Effektforbruket

Effektforbruket til pumpen kan uttrykkes:

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\vartheta \cdot 1000} \quad (\text{kW}) \quad 7)$$

ρ = tettheten på avløpsvannet (kg/m^3)

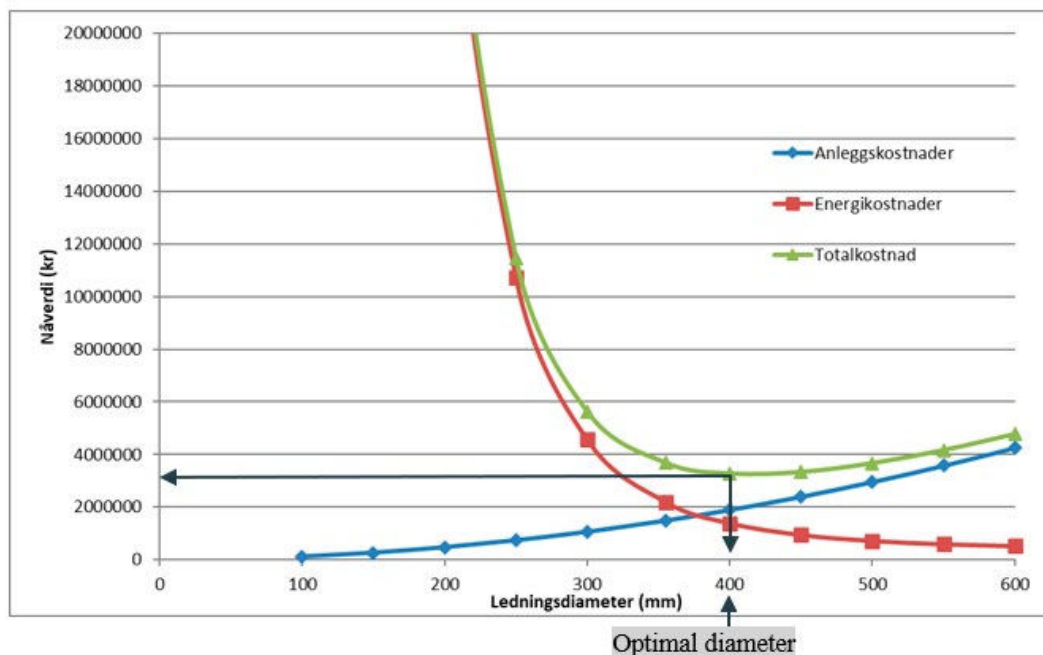
g = tyngdeaksellerasjonen (m/s^2)

Q = pumpemengde (m^3/s)

H = total løftehøyde (mvs)

ϑ = total virkningsgrad på pumpen

Energiforbruket til pumpen finner man ved å multiplisere effekten med pumpens driftstid. Man ser at effektforbruket (energiforbruket), som skal til for å pumpe en viss avløpsmengde, vil være avhengig av den totale løftehøyden og pumpens totale virkningsgrad. Øker man ledningsdiameteren vil friksjonstapet og energikostnaden avta, men kostnadene for ledningen vil øke. I tillegg vil virkningsgraden endre seg som antydnet i Figur 3-22 avhengig av hvor driftspunktet blir liggende. Man kan følgelig slå fast at det for en gitt pumpe vil finnes en optimal ledningsdiameter, som er slik at nåverdien av energikostnader og anleggskostnader blir minst mulig. Dette er skissert i Figur 3-24.



Figur 3-24: Eksempel på optimalisering av diameter for pumpeledning.

Det vil være helt nødvendig i alle prosjekter med lange pumpeledninger for avløpsvann å foreta en beregning av optimal ledningsdiameter både ut fra et kostnadsperspektiv, men også ut fra et perspektiv på bærekraft. Det er viktig at ledningen også er selvrensende. I eksempelet i Figur 3-24 ser man at det kan få store økonomiske konsekvenser dersom det velges for liten diameter på pumpeledningen.

3.3.5. Affinitetsloven

Sammenhengen mellom turtallet (N), pumpehjul diameteren (d), vannmengden, løftehøyden (Q), og effektforbruket (E) på en pumpe er uttrykt i likningene 8), 9) og 10). Disse likningene har fått betegnelsen affinitetslover²¹⁾.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[\frac{N_2 \cdot d_2}{N_1 \cdot d_1} \right] \quad 8)$$

$$h_2 = h_1 \cdot \left[\frac{N_2 \cdot d_2}{N_1 \cdot d_1} \right]^2 \quad 9)$$

$$E_2 = E_1 \cdot \left[\frac{N_2 \cdot d_2}{N_1 \cdot d_1} \right]^3 \quad 10)$$

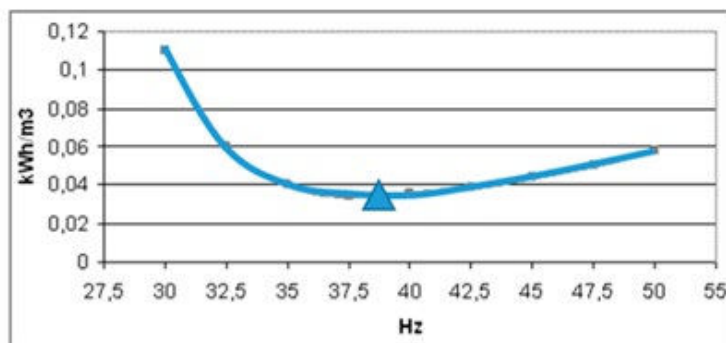
Vi ser at pumpekapasiteten øker lineært med turtallet og lineært med diameteren på pumpehjulet.

I prinsippet vil pumpehjulets diameter være konstant, dersom pumpens kapasitet er riktig valgt, men kan selvfølgelig byttes til en viss grad ved behov. I likningene 8), 9) og 10), kan man derfor vanligvis sette $d_1 = d_2$, slik at pumpehjulets diameter kan forkortes bort i likningene.

Vi ser også at løftehøyden øker med turtallet i 2. potens og at effekten øker med turtallet i 3. potens.

Figur 3-25 viser hvordan energiforbruket endres med turtallet på pumpehjulet. Ved å senke turtallet med en frekvensomformer, senkes hastigheten og mottrykket som strammer fra friksjonstapet i pumpestasjonen. Ved eksempelet vist i Figur 3-25 har systemtapet ved 38 Hz minnet mer enn reduksjonen av pumpas virkningsgrad, hvilket gir det optimale turtallet for pumpeinstallasjonen.

21) Salvesen, F. (1981). Pumper og anlegg for væsketransport, 15.-18. november 1981, Fagernes.



Figur 3-25: Eksempel på spesifikt energiforbruk ved forskjellige frekvenser ²²⁾.

I et bærekraftperspektiv vil det være svært gunstig å anvende turtallsregulering på pumpene dersom friksjonstapet er en vesentlig del av løftehøyden, for å spare utslipp av CO₂. Det er likevel viktig å drive systemet slik at det oppnås selvrens minimum en gang per døgn²³⁾.

Elektromotorer står for ca. 45 % av verdens energiforbruk²⁴⁾. Estimerer tyder på at virkningsgraden på disse motorene kan forbedres i størrelsesorden 20-30 % ved blant annet turtallsregulering. Generelt sett er det gunstig å velge pumper med lavt turtall med hensyn til mindre slitasje og lengre levetid på pumpen.

3.4. Drift av pumpesystemer

3.4.1. Dimensjoneringsfasens tilrettelegging av god drift

I dimensjoneringsfasen må man spørre seg hvilke arbeidsoperasjoner man må forvente i løpet av anleggets levetid. Det bør være en forutsetning at driftsavdelingen i kommunen inviteres til å delta i denne prosessen. Når arbeidsoppgavene er identifisert, må man vurdere hvor stor plass man trenger for å utføre dem, samt hvilket utstyr som må bygges inn i stasjonen for at arbeidsplassen skal bli mest hensiktsmessig.

For eksempel vil en arbeidsoppgave som kjøring av renseplugg kreve en ladestasjon og en mottaksstasjon, samt tilgang på nok vann til å transportere pluggen gjennom ledningen. Denne jobben kan gjøres på flere måter.

Finner man en god løsning, vil det bli et insitament til at man kjører renseplugg oftere og dermed holdes energiforbruket nede.

Andre arbeidsoppgaver kan være rengjøring av pumpe-sumpa, som kan være en utfordring. Dårlig renhold kan gi anaerobe forhold og utvikling av hydrogensulfid, som i sin tur kan være til skade for driftspersonellet. Også her må man bygge inn utstyr som kan lette arbeidet. Dette kan f.eks. være fastmonterte spyleslanger i sumpa, bruk av pumper med spylefunksjon, slanger for lufting, slanger for injeksjon av rensemiddel, kjemikalier og desinfeksjonsmiddel. Det må være tilstrekkelig tilgjengelighet for å komme til med rengjøringsutstyr. En må ikke glemme at stasjonen hele tiden skal være i drift mens vedlikehold utføres.

Riktig justering av start- og stoppnivå i pumpe-sumpa er viktig for å oppnå kortest mulig oppholdstid i pumpe-stasjonen og dermed redusere luktutfordringer. Man kan også ha dynamisk startnivå for å redusere fettrand.

22) Danva.nr. 15 Energiriktig og sikker vandforsyning, 2010

23) NS-EN1671 «Utvendige trykkavløpssystem»

24) ABB Pressemelding 03.02.2021

[ABB: Økt bruk av høyeffektive motorer og frekvensomformere kan redusere det globale strømforbruket med 10%](#)

Det bør alltid være et dobbelt sett med pumper, slik at den ene pumpen kan repareres og vedlikeholdes mens den andre er i drift. Tilstrekkelig plass på gulvet til å kunne kjøre jekketraller fra et løftepunkt til et annet er viktig ved store pumpestasjoner og ved frakt av tunge gjenstander.

Lysforholdene på pumpestasjonen skal være godt tilpasset arbeidet som skal utføres. Det elektriske anlegget må være robust nok med mulighet til å koble inn nødstrømsaggregat på de store stasjonene, enten permanente eller mobile.

Pumpestasjoner må være utstyrt med rent vann og minimum en vaskeservant for driftsoperatøren. Spyling og rengjøring av pumpeump med rent vann må være utstyrt med tilbakeslagssikring slik at forurensning ikke kan tilføres drikkevannsnettet.

Ventilasjonsanlegget i stasjonen må dimensjoneres riktig så arbeidsmiljøet blir tilfredsstillende for dem som periodevis skal oppholde seg på stasjonen. Det bør derfor være god overkapasitet. Oppholdsareal skal ha overtrykk slik at lufta fra pumpene ikke lekker opp til arealer der folk oppholder seg. Når det gjelder inneklime skal det være en avfukter i pumperommet med avkast ut og friskluftinntak med inntaksrist. Det skal også ved behov være lukt-reduksjonsanlegg fra sump, avhengig av plassering og klimatiske forhold.

HMS-forholdene for driftsoperatørene må settes i høysetet. Det må være mulig å løfte og kjøre samt transportere tunge gjenstander med minimal bruk av muskelkraft. Således må det prosjekteres løfteanordninger som jekketaljer (riktig posisjonert), traverskraner eller tilsvarende løfteanordninger i pumpestasjonen og sørge for at disse står i brukbar arbeidshøyde.

Alle stasjoner må fjernovervåkes på sentrale driftsparametere, slik at driftsavbrudd oppfanges raskt uten at store mengder avløpsvann går i overløp. I tillegg må pumpeledning og pumpe være tilpasset hverandre, slik at man oppnår selvrensing i pumpeledningen for både luft / gass og sedimenter. Se for øvrig Figur 3-24, hvor driftsøkonomi og investeringer er optimalisert.

Godt arbeidsmiljø er viktig jfr. Arbeidsplassforskriften § 8-2 – krav til desinfeksjons- og vaskemuligheter for arbeidstakere som utsettes for biologiske faktorer. For å minimere smittefare, skal alle som arbeider på pumpestasjonen vaksineres mot typiske sykdommer som kan smitte via avløpsanlegg. Til syvende og sist er det driftsoperatørens kompetanse og interesse som avgjør kvaliteten på driftsarbeidet og som bidrar til å påvirke levetiden på pumpestasjonen og ledningsanlegget.

3.4.2. Størrelse på pumper

Det finnes en rekke leverandører av avløpspumper. Ved å besøke firmaenes hjemmesider får man god oversikt over kapasiteter, løftehøyder og produktbeskrivelse. Leverandørene har også egen programvare for å dimensjonere den aktuelle pumpen.

Grovt sett kan man anta at kapasitetene ligger i området 1 l/s til 2000 l/s med løftehøyde 10m til 50m.

De mest brukte pumpene til pumping av avløpsvann er sentrifugalpumper. Disse pumpene kan ha pumpehjul med forskjellig antall kanaler. Pumpehjulene bør ha en geometri som hindrer gjentetting, dersom større partikler skulle havne i avløpsvannet. Pumpene må ha en teknologi som gjør dem blokkeringsfrie for alt som naturlig forekommer i avløpsvannet. Pumpene i hovedpumpestasjonene bør være turtallsregulerte.

Som tidligere nevnt, er det viktig å velge pumper med høy virkningsgrad og lavt turtall. Man må også påse at motoren har god kapasitet og at start og stopputrustning er av høy kvalitet. Utgangspunktet er at avløpspumpen er hjertet i ledningsanlegget og at dette vektlegges når man skal velge pumpe.

Ved enkelte tilfeller, som gradvis utbygning av et boligfelt eller kombinasjon av husstander og hyttefelt med sterk sesongvariasjon, kan det være praktisk å ha pumper av ulik størrelse som samarbeider for å være tilpasset ulik tilrenning. Det er i kapittel 3.4 beskrevet sammenkobling av pumper, men ved samkjøring av ulike pumpestørrelser

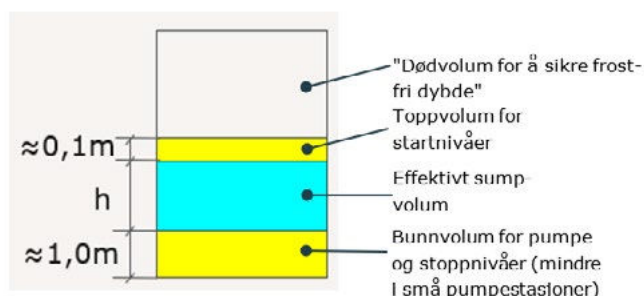
kan det være vanskelig å forutse belastning på de ulike pumpene. Det anbefales at pumper av ulik størrelse kjøres hver for seg, eller at det avklares med pumpeleverandør at det ikke er problematisk med tanke på NPSH verdi, varmgang eller tørrkjøring for de løftehøydene og volumstrømmene som kan oppstå.

3.4.3. Sumpvolum

Felles for alle avløpspumpestasjoner er at driften styres av nivået i pumpesumpen. Ulike typer av nivåfølere anvendes, slik som trykklølere, elektriske staver, ekkolodd, radar, nivåvipper etc²⁵⁾.

Pumpene driftes mellom et øvre startnivå og et nedre stoppnivå. Volumet mellom disse nivåene må være tilstrekkelig til at tiden mellom to starter av en og samme pumpe blir stor nok til at den ikke blir termisk overbelastet. Vanligvis er det også et nedre nødnivå for å sikre at pumpene stopper dersom automatikken svikter.

Alle pumpestasjoner for avløp trenger et sumpvolum for å kunne styre driften av stasjonen. Prinsippet for inndeling av volumet i pumpesumpa er vist i Figur 3-26.



Figur 3-26: Prinsipp for inndeling av volumene i en pumpesump.

I bunnen av sumpa må det være et volum som tar hensyn til at nedsenkable pumper skal ha tilgang på kjølevann (delvis neddykket) ved laveste vannstand, at vortex ikke skal medføre innsuging av luft i pumpeledningen og at man skal ha plass til skille mellom stoppnivå for de ulike pumpene. Noen pumper leveres med kjølekappe for intern sirkulasjon, slik at behovet for nedsenking i vann blir redusert. For praktiske formål vil man trenge en høyde på ca. 1 m for å ivareta disse kravene, men bunnvolumet vil variere med pumpestørrelsen og ledningstørrelsen. Det effektive pumpevolumet, som tømmes og fylles i hver pumpesyklus, kan beregnes av formel 11).

$$V = \frac{Q_p \cdot T}{4 \cdot n} \quad 11)^{26)}$$

Q_p = pumpekapasitet (m³/s)
 T = tid mellom 2 starter på samme pumpe
 n = antall pumper som er med i alternerende drift

Som veiledende verdi, kan man sette , men dette vil kunne variere fra pumpe til pumpe. Har man for eksempel en stasjon med 2 alternerende pumper, hver med kapasitet 100 l/s, blir det effektive sumpvolumet:

$$V = \frac{0,1 \cdot 300}{4 \cdot 2} \text{ m}^3 = 3,75 \text{ m}^3$$

Høyden (h) som dette volumet utgjør, finnes ved å dividere på sumpens tverrsnittsareal.

I noen tilfeller vil det være nødvendig å gjøre det effektive sumpvolumet større for å kunne drive luft-/ gasslommer fra et høybrekk til neste høybrekk, som tidligere beskrevet under punkt 3.2.2. Da må man som regel benytte horisontale tanker (rør) som tilleggsvolum for å unngå dype gravegroper. Over det effektive volumet ligger et styringsvolum som må være tilstrekkelig til å få plass til startnivåer for pumpene. For praktiske formål kan dette settes til en høyde

25) NORVAR rapport 95 "Veileder for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA- teknikken" 1999

26) Tom Arild Karlsen, 1978

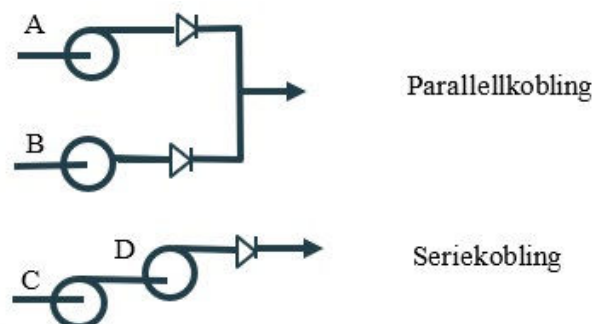
på 0,1m, avhengig av hvilket system man velger for registrering av nivået (vipper, radar, ekkolodd, trykkløyer, elektriske staver osv.). Til slutt kommer et uunngåelig "dødvolum" som følge av lokale forhold som dybde på eksisterende innløpsrør, frostutfordringer og topografiske forhold.

Nødoverløp med tilhørende nivåregistrering og eventuell mengdemåling kan plasseres i dette volumet. Bunnen av pumpesumpa må utformes med fall mot et lavpunkt så pumpene kan suge ut sedimentene, slik at man unngår sedimentering med gassutvikling og vond lukt. Noen pumper har utstyr for sumpspyling. De fleste større pumpestasjoner har også et nødoverløp som trer i drift dersom pumpene skulle havarere. Det er en egen nivåføler som registrerer nødoverløp og gir varsel til driftssentralen. Her bør man i tillegg ha en mengdemåler som kan registrere total mengde som går i overløp.

3.4.4. Sammenkobling av pumper

I noen tilfeller ved store variasjoner i væskemengden (Q) og ved store løftehøyder (H), kan det være nødvendig å velge flere pumper som skal gå samtidig. Av sikkerhetshensyn er det også vanlig å velge dobbelt sett med pumper. Pumper kan i prinsippet kobles sammen på 2 ulike måter;

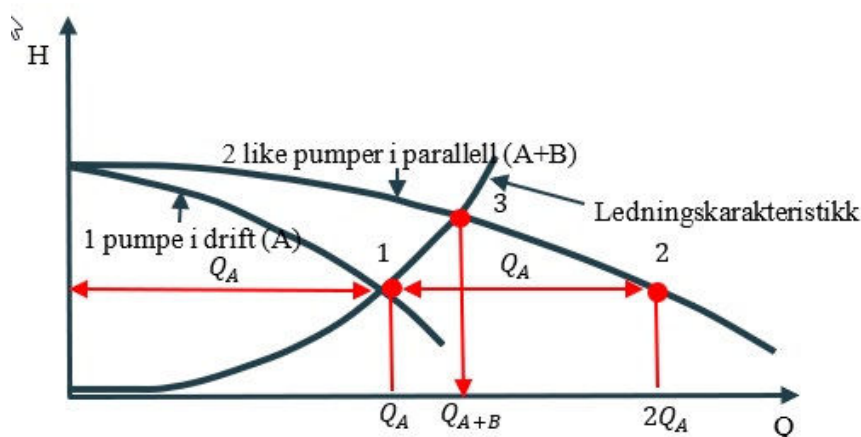
- Parallellkobling
- Seriekobling



Figur 3-27: Parallellkobling og seriekobling av pumper i prinsipp.

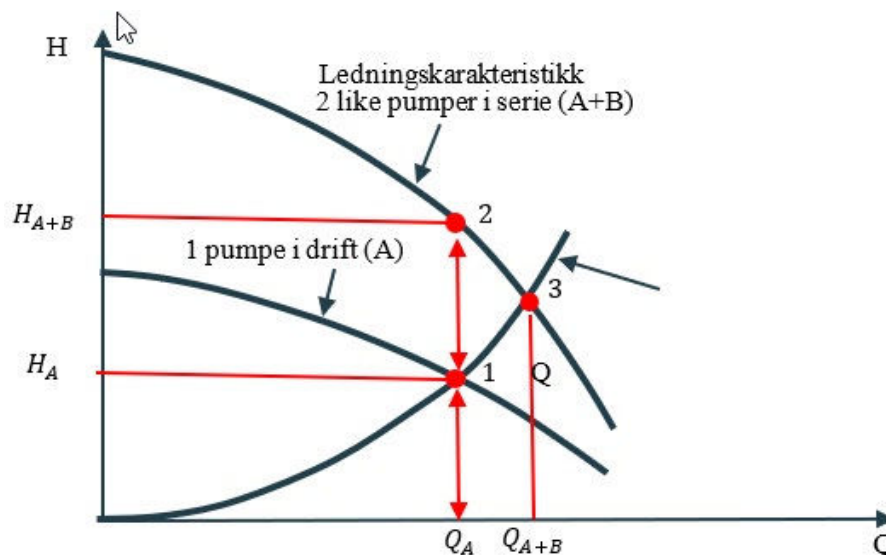
Ved parallellkobling øker man pumpestasjonens væskemengde (Q), men opprettholder maksimal løftehøyde. Pumpekurvene adderes horisontalt som vist i Figur 3-28. Her er pumpene A og B like store. Prinsippet blir det samme selv om pumpekurvene skulle være forskjellige. Ledningskarakteristikken er også vist i figuren. Driftspunktene er markert med tallene 1 og 3. I dette eksemplet er den statiske løftehøyden lik 0.

Vi gjør den observasjonen at Q_{A+B} alltid er mindre enn $2 \cdot Q_A$, siden ledningskarakteristikken er en parabel. To pumper i parallell drift gir altså mindre kapasitet enn den dobbelte væskemengden.



Figur 3-28: Eksempel på summering av pumpekurver horisontalt ved sammenkobling av 2 like pumper A og B i parallell.

Figur 3-29 viser kurver for to like pumper A og B som kobles i serie.



Figur 3-29: Eksempel på summering av pumpekurver vertikalt ved sammenkobling av 2 like pumper A og B i serie

Vi ser at væskemengden Q_A øker til Q_{A+B} og løftehøyden øker fra H_A til H_{A+B} etter at pumpene er koblet i serie. På grunn av ledningskarakteristikkens form blir ikke løftehøyden fordoblet (driftspunkt 3).

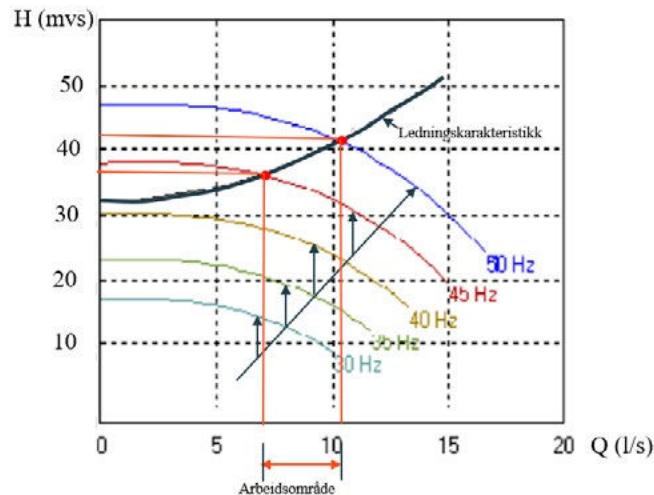
Avløpspumper har generelt liten løftehøyde sammenliknet med vannpumper, på grunn av pumpehjulenes utforming. Avløpspumpene må ha hjul med stor åpning for å hindre at større gjenstander i avløpsvannet stopper pumpen. Normalt bør man ikke regne med at avløpspumper har større løftehøyde enn 50 m. I tilfeller hvor det er behov for å løfte avløpsvann høyere enn 50 m inkludert friksjonstap og singulærtap, må man koble pumpene i serie.

3.4.5. Turtallsregulering

De seinere årene er det blitt mer og mer vanlig med turtallsregulering av pumpene, slik at de kan tilpasses tilrenningen til stasjonen og dermed redusere mengdevariasjonene nedstrøms i ledningsnett. En slik drift vil kunne gi noe redusert energiforbruk. Det er dog viktig at kapasiteten i perioder sørger for selvrensing i ledningsnett. Turtallsregulering er også en effektiv metode for å redusere stress på ledning som kan oppstå ved trykkstøt. For å hindre trykkstøt som oppstår ved hurtig avstenging av væskestrømen, har det tidligere blitt benyttet svinghjul på motor, eller trykktank. Ved bruk av trykktank er det svært viktig at den utformes slik at lufttrykket ikke når inn på ledningstrekket.

I mange tilfeller kan det være gunstig å tilpasse pumpens kapasitet til tilrenningen inn i stasjonen. Dette gjøres ved å turtallsregulere pumpene ved hjelp av en frekvensomformer²⁷⁾. For en gitt pumpemotor er det en sammenheng mellom frekvensen på den elektriske strømtilførselen og turtallet (omdreininger av løpehjul per minutt) på pumpen. Situasjonen er vist med pumpekurvene i Figur 3-30.

27) "Pump handbok" Grundfos, 2004



Figur 3-30: Eksempel på pumpekurver for en og samme pumpe ved ulike frekvenser på strømtilførselen (bruk av frekvensomformer).

I dette tilfellet varierer tilrenningen til stasjonen mellom 7 l/s og 11 l/s. Ved å variere frekvensen mellom 50 Hz og 45 Hz, kan man pumpe eksakt den mengden som kommer inn i pumpestasjonen. Det vises at man ved 7 l/s har redusert løftehøyden ned til 37 mvs, sammenliknet med 42 mvs for en tilrenning på 11 l/s.

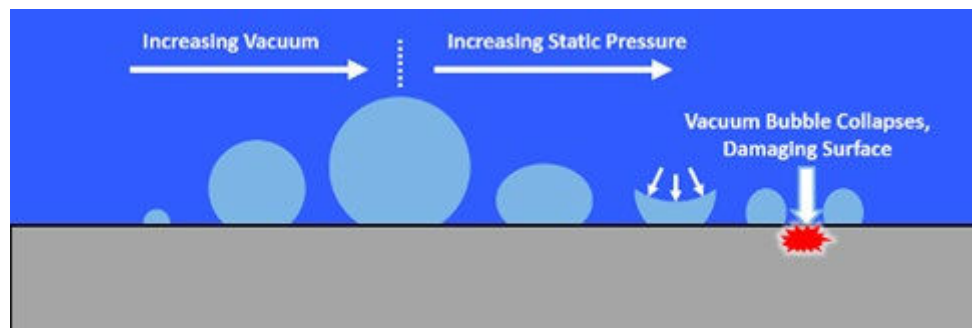
Typiske fordeler med turtallsregulering er:

- Reduksjon i effektbehov (energikostnader)
- Mindre slitasje (samlet sett reduseres midlere turtall på pumpehjulet)
- Lavere belastning på strømmettet
- Mindre støy ved start og stopp av pumper
- Reduserer støt inn på nedstrøms ledningsnett / renseanlegg

En annen parameter som påvirker pumpens kapasitet og løftehøyde er diameteren på løpehjulet innvendig i pumpen. Det må alltid sjekkes at driftspunktet ved turtallsreguleringen ikke forskyves for langt til venstre i pumpediagrammet, slik at virkningsgraden reduseres. I et slikt tilfelle vil man ikke oppnå den ønskede reduksjon i energiforbruket og muligens kunne pådra seg driftsproblemer.

3.4.6. Kavitasjon

Et pumpesystem med undertrykk i høybrekk kan medføre kavitasjon på pumpeledningen nedstrøms i høybrekket. Kavitasjon kjennetegnes med dannelsen av gassbobler som deretter imploderer i vannet, som vist i Figur 3-31.



Figur 3-31: Prinsipiell fremstilling av fenomenet kavitasjon²⁸⁾.

28) <https://dienerprecisionpumps.com/de/pumpenkavitation-wie-vermeidet-blog/>

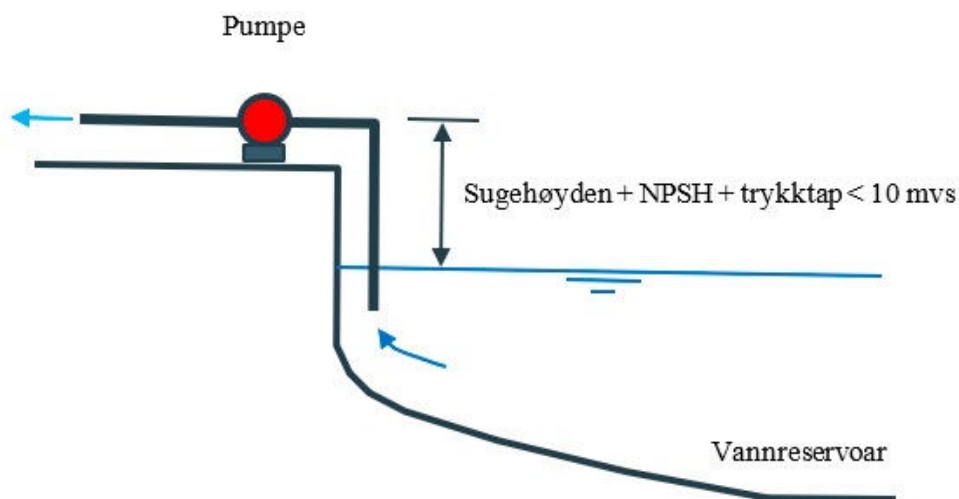
Fenomenet opptrer dersom trykket i vannet synker til under damptrykket i væsken. Dette fører til en faseovergang, slik at små gassbobler dannes. Når trykket igjen stiger til over væskens damptrykk, vil gassboblene implodere (spaltes opp i små bobler (stadium 4 i Figur 3-31) som utløser trykkenergi i form av slag. Dersom gassboblene imploderer ved en overflate, oppstår det lokalt svært høyt trykk. De høye lokale trykkene kan føre til skade på overflaten i form av groperosjon.

Implosjon i et rør vil normalt foregå i selve væskestrømmen, men kan også forekomme ved røroverflaten. I uheldige situasjoner kan dette skade rørveggen over tid. Myke ledningsmaterialer som f.eks. PE, vil generelt sett ha bedre motstandsdyktighet enn hardere rørmaterialer med hensyn til kavitasjon. Generelt sett kan det være en god ide å unngå undertrykk større enn 9,8 mvs, hvis man fullt ut skal eliminere kavitasjon.

3.4.7. NPSH verdi

NPSH verdien er en indirekte verdi som beskriver pumpens sugeevne, som illustrert i Figur 3-32. Sugeevnen til pumpa er definert som atmosfæretrykket (tilnærmet 10 mvs) minus pumpens NPSH-verdi og minus trykktapet. Således har en pumpe med NPSH-verdi på 6 m og et trykktap på sugesiden på 1 m, en teoretisk sugehøyde på $(10 - 6 - 1) = 3$ mvs, kfr. Figur 3-32. Ønsker man pumper med god sugehøyde, må man velge pumper som har en lav NPSH verdi i nærheten av sitt driftspunkt.

Den praktiske sugehøyden defineres av anleggets utforming på sugesiden med rør, rørdeler og armatur. Hvorvidt det blir problemer, defineres av anleggets sugehøyde pluss pumpens NPSH-verdi. Man må også inkludere friksjonstap, singulærtap, temperatur på medium og væskens egenvekt i beregningen for tilgjengelig NPSH. Det er fornuftig å legge inn en god sikkerhetsmargin for pumpeanlegg som baserer seg på bruk av sugehøyde.

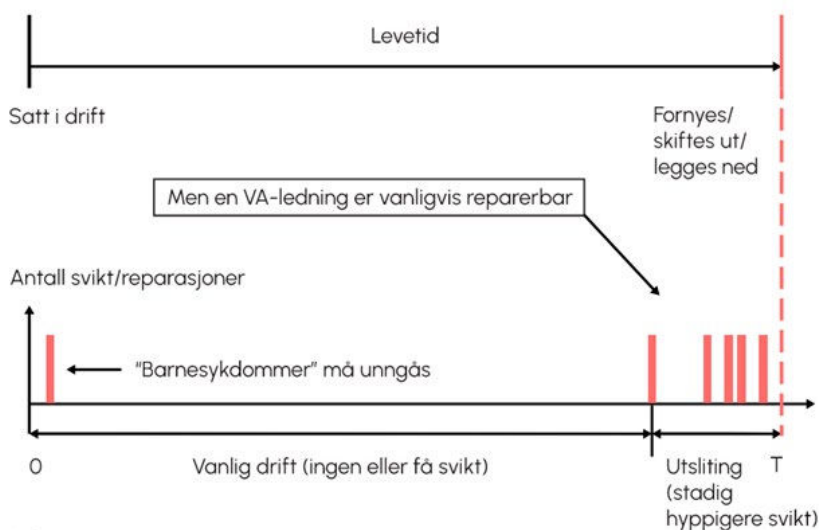


Figur 3-32: Illustrasjon av sammenhengen mellom NPSH-verdi og pumpens sugehøyde.

4. Økonomisk vurdering

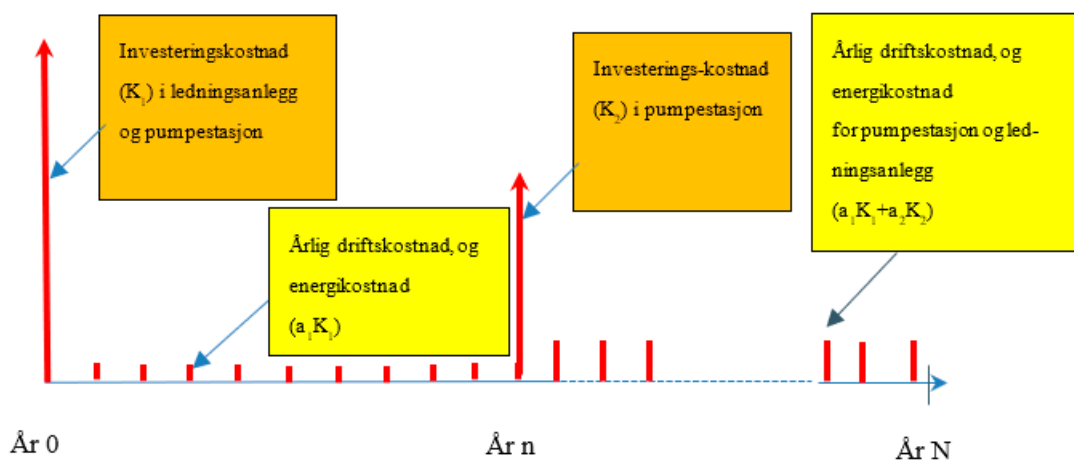
Avløpsledninger bør ha en levetid på minimum 100 år for å være bærekraftige. Det er viktig at den økonomiske analysen foregår over hele denne tidsperioden. Pumpestasjoner vil vanligvis ha levetider på ca. 25 år for elektro-mekanisk utstyr og 50 år for bygninger. I den samfunnsøkonomiske analysen må man ta hensyn til både investeringskostnader, driftskostnader og energikostnader. Analysen kan også benyttes til å vurdere utbedringer av eksisterende nett og restlevetid opp mot et nytt anlegg.

Man får således en kjede av kostnadselementer som inntreffer på ulike tidspunkt i anleggets levetid. For å kunne sammenlikne ulike alternativer, må man beregne nåverdien av kostnadskjedene. Det alternativet som får lavest nåverdi, vil totalt sett være det gunstigste fra et samfunnsøkonomisk ståsted. Figur 4-1, viser i prinsipp hvordan man betrakter levetiden til en VA-ledning.



Figur 4-1: Illustrasjon av levetid for en rørledning ²⁹⁾.

4.1. Nåverdibetraktninger



Figur 4-2: Generell kostnadskjede for et ledningsanlegg med teknisk levetid på (n) år for pumpestasjon og en teknisk levetid (N) år for ledningsanlegg.

²⁹⁾ Norsk Vanns rapport 232 "Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?" (2018)

Man fører en fremtidig kostnad (K) i et gitt år (T) tilbake til nåverdi ved å benytte formel 12):

$$K_{\text{Nåverdi}} = \frac{K}{1,0r^T} \quad 12)$$

R = realrente

Erfaringsmessig kan årlige driftskostnader relateres til investeringskostnaden for det aktuelle objektet. F.eks. kan man anta at årlige driftskostnader for et ledningsanlegg vil ligge i størrelsesordenen 0,5 % til 1 % av anleggskostnaden. Tilsvarende årlige driftskostnader for en pumpestasjon vil være fra 3 % til 5 %. Energikostnaden for pumping av avløpsvannet beregnes særskilt basert på veiledningen foran i kapittel 3.3.4.

Når kostnadselementene er kjent, kan man legge de inn i et Excel-regneark hvor man beregner nåverdien for hvert eneste år basert på formel 12) og summerer alle kostnadselementene opp til en total nåverdi for alternativet. Excel har også egne funksjoner til hjelp for den som skal sette opp regnestykket.³⁰⁾

Eksempel på beregning av nåverdi for en avløpspumpeledning i mill. kr.									
Alternativ	Nr. 1	Realrente:	3	%	Andel driftskostnader av investering for ledningsanlegg: Andel driftskostnader av investering for pumpestasjon:			0,5 3	%
Anlegg:	Investeringer:		Driftskostnader:						
	Kostnad	År	Kostnad pr. år		Nåverdi for alternativet		84 Mil. kr.		
Ledningsanlegg	34,34	0	0,8868						
Pumpestasjon	10	0	0,8868						
Renovering pumpestasjon	4	25	0,8868						
Ny pumpestasjon	10	50	0,8868						
y renovering pumpestasjon	4	75	0,8868						
					Driftskostnad pumpestasjon og ledningsanlegg	Energikostnad	Sum	Nåverdi	
År	Investering ledningsanlegg	Investering pumpestasjon	Renovering pumpestasjon	Drift Ledn. 1					
0	34,34	10		0,8868	0,8868	0,18751	45,41431	45	
1				0,8868	0,8868	0,18751	1,07431	1	
2				0,8868	0,8868	0,18751	1,07431	1	
3				0,8868	0,8868	0,18751	1,07431	1	

Figur 4-3: Eksempel på oppbygging av regneark for beregning av nåverdi for pumpestasjon og avløpspumpeledning over en periode på 100 år.

Eksempel på utskrift av en slik beregning er vist i Figur 4-3. Her har ledningsanlegget en levetid på 100 år, mens pumpestasjonen renoveres med nytt elektromekanisk utstyr etter 25 år og bygges komplett ny igjen etter 50 år. Det er vanlig å anta at den elektromekaniske andelen av totalkostnaden for en pumpestasjon utgjør ca. 40 % og den bygningsmessige andelen ligger på ca. 60 %. Legg merke til at man i beregningen ikke skal justere opp kostnadene for identiske fremtidige anlegg med prisstigning. Realrenten vil ta seg av disse forholdene.

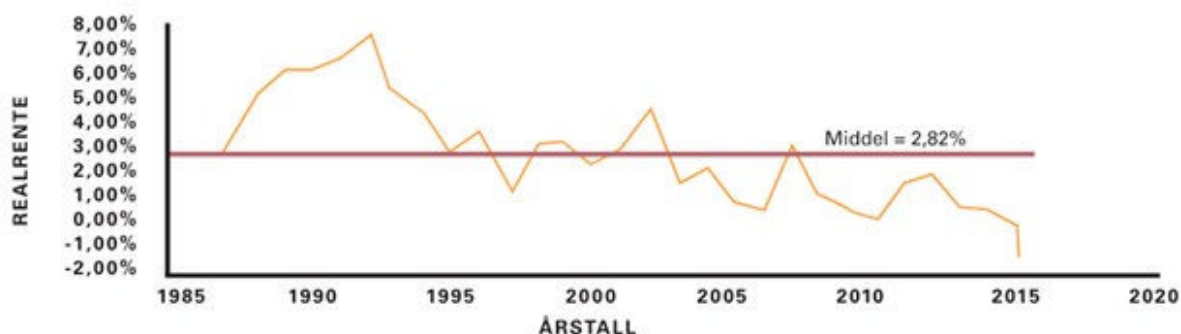
For praktiske formål kan realrenten betraktes som lånerenten minus inflasjon. Figur 4-4 viser realrentens utvikling i Norge i perioden 1987 til 2015. Midlere rente i denne perioden ligger i området 2 % til 3 %.

En lav realrente betyr at driftskostnader og energikostnader vil få større innflytelse på nåverdien og således valg av alternativer. For eksempel kan en pumpe med høy virkningsgrad komme ut med en gunstigere nåverdi, selv om den er vesentlig dyrere i innkjøp. Forebyggende vedlikehold reduserer energiforbruk og bidrar til å hindre driftsstans, som er en vesentlig bidragsyter i kostnadsregnskapet. Her vil også valg av pumpeløsning kunne være avgjørende.

30) Nåverdi funksjoner i Excel:

<https://support.microsoft.com/nb-no/office/n%C3%A5verdi-funksjon-23879d31-0e02-4321-be01-da16e8168cbd>

REALRENTENS UTVIKLING I PERIODEN 1987 TIL 2015



Figur 4-4: Realrentens utvikling i Norge i perioden 1987 til 2015³¹⁾.

4.2. Levetid ledning 100 år

Norge har et stort etterslep på rehabilitering av ledningsanlegg i VA bransjen. Fornyelsestakten for avløpsledninger i Norge ligger i størrelsesordenen ca. 0,6 % pr. år, mens behovet er ca. 1 %. Dette betyr at etterslepet stadig øker. For å snu denne trenden, må det sørges for at de anlegg som bygges i dag vil ha en levetid på minimum 100 år. I praksis betyr dette at de beste ledningsmaterialene på markedet må velges, de beste skjøtemetodene benyttes og ledningene må installeres korrekt i grøfta. Det må stilles krav til entreprenørene slik at det endelige resultatet blir som ønsket. Ledningene må i tillegg dimensjoneres for alle tenkelige belastninger innenfor sin levetid, med tilstrekkelige sikkerhetsfaktorer. Enkelte kommuner krever at ledningsanleggene skal ha en levetid på ca. 200 år. Med et slikt tidsperspektiv må det velges "fra øverste hylle" kvalitetsmessig. Lang levetid er synonymt med bærekraftighet. I forbindelse med avløpsledninger er det tre ulike levetider:

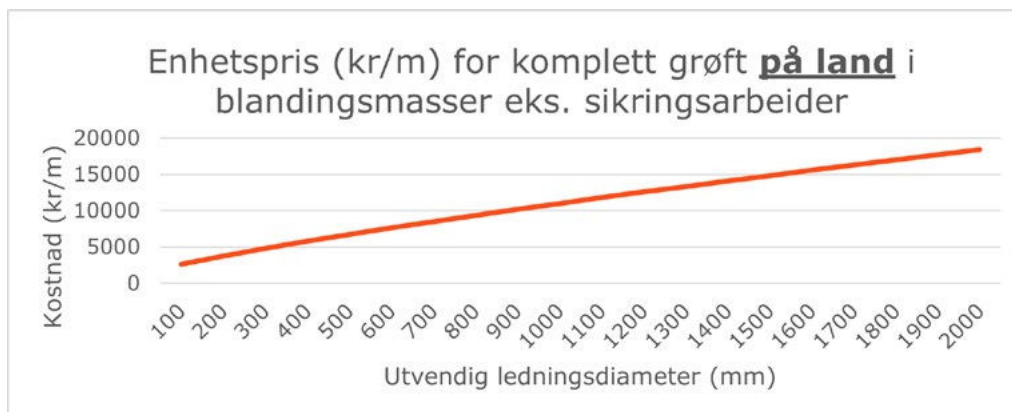
- Økonomisk levetid
- Hydraulisk levetid
- Teknisk levetid til material og installasjoner (pumper, elektriske komponenter og ventiler)

Den økonomiske levetiden er den tiden det tar for ledningseier å betale ned det lånet han har tatt opp for å bygge anlegget. Vanligvis vil den økonomiske levetiden ligge i området mellom 30 til 40 år. Det mest vanlige er å ta opp et serielån, som er å foretrekke framfor et annuitetslån. Den hydrauliske levetiden er den tiden den valgte ledningsdimensjonen er i stand til å transportere avløpsmengden. Blir befolkningsveksten større enn antatt, vil ledningen bli "oppbrukt" tidligere enn hva den er dimensjonert for. Dette kan være et problem hvis man har for kort dimensjoneringsperspektiv sett i forhold til den reelle tekniske levetiden på produktet. Her må de prosjekterende heve blikket og se inn i "fremtidskula". Det bør ikke dimensjoneres for en situasjon i år 2050, hvis ledningen fysisk sett vil leve til 2150. Alternativet blir at man må dublere ledningen etter relativt kort tid, hvilket ikke er gunstig hverken samfunnsøkonomisk eller bærekraftig.

Ideelt sett burde den hydrauliske levetiden samsvare med den tekniske levetiden. Den tekniske levetiden er tidligere definert ut fra Figur 4-1, og kan kort sagt defineres som den tiden ledningen kan "oppfylle sine forpliktelser" på en bærekraftig måte.

31) <https://www.ssb.no/300692/gjennomsnittlig-utlans-og-innskuddsrente-i-bankene.per-31.desember.prosent-sa-454>

4.3. Stipulerte kostnader for bygging



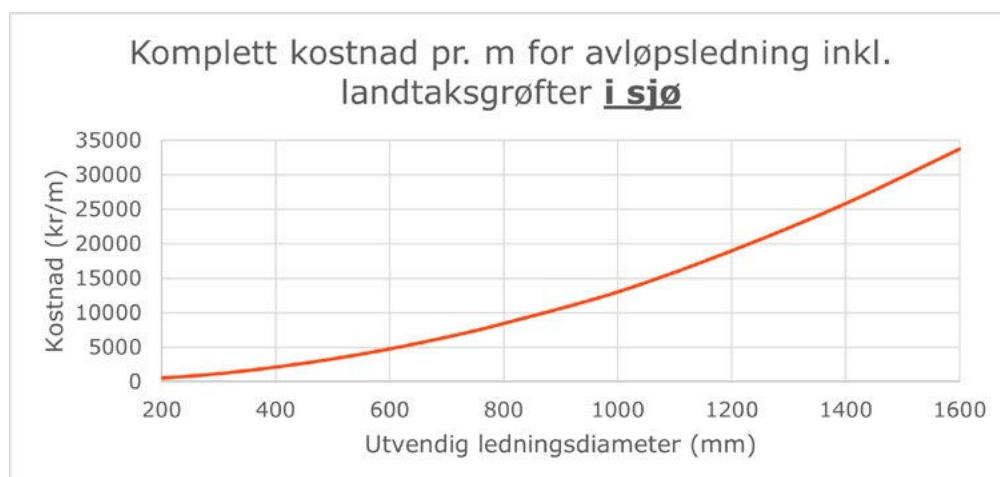
Figur 4-5: Veiledende enhetspris for komplett grøft inkl. ledning eks. mva og eks. geotekniske sikringsarbeider.

I de fleste tilfeller er det ikke nødvendig å foreta detaljerte kostnadsberegninger når man skal velge alternative løsninger ut fra økonomi i en tidlig fase av prosjektet. Erfaringsmessig viser det seg at man med god treffsikkerhet kan utarbeide kostnadskurver basert på erfaringspriser.

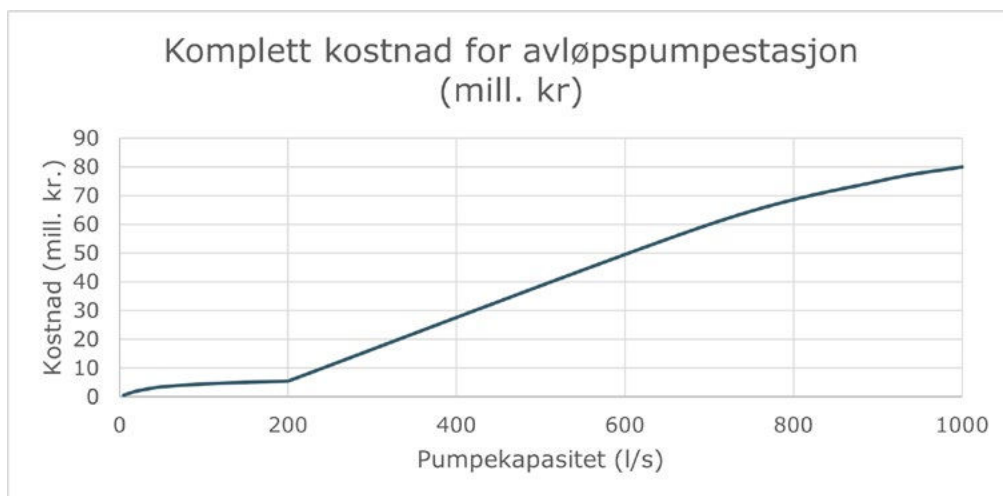
Horisontal-aksen i grafen kan eksempelvis være ledningsdiameter eller avløpsmengde. Figur 4-5 viser et eksempel på komplette kostnader for et ledningsanlegg uten behov for sikring av ledningsgrøfter. Prisene er eks. mva.

Geotekniske sikringsarbeider kan være svært kostbare. Må f.eks. grøften sikres med komplett spunting, må man beregne minst kr 2500,- pr. m² spunt som veiledende pris (i Oslo kan man oppleve spuntpriser på 4000 kr/m²). Benytter man f.eks. 8 m lange spuntnåler, blir tilleggsprisen pr. meter spuntet og avstivet grøft lik $8 \cdot 2500$ kr/m = kr. 40.000,- pr. m.

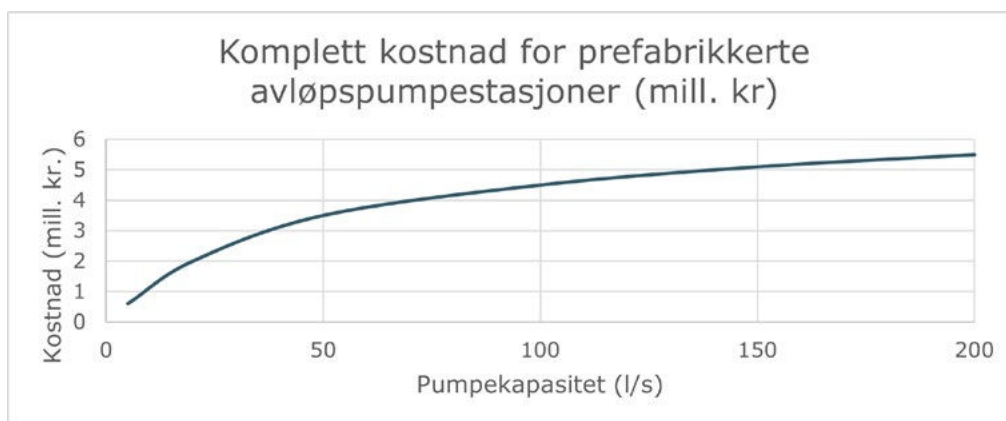
Figur 4-6 viser komplette veiledende kostnader per meter for avløpsledning i sjø inkludert landtaksgrøfter. Tilsvarende kan man lage kostnadskurver for avløpspumpestasjoner, som vist i Figur 4-7 og Figur 4-8.



Figur 4-6: Komplette veiledende kostnader pr. m for avløpsledning i sjø inkludert landtaksgrøfter uten geoteknisk sikring.



Figur 4-7: Veiledende komplette kostnader for avløpsumpepestasjoner som funksjon av pumpekapasitet.



Figur 4-8: Veiledende komplette kostnader for prefabrikkerte avløpsumpepestasjoner som funksjon av pumpekapasitet.

Med et slikt sett av kostnadskurver, kan kostnader enkelt anslås for ulike tekniske alternativer. Med det som er sagt om energikostnader og driftskostnader tidligere i rapporten, har man nå et komplett verktøy for å beregne nåverdi av lange pumpeledninger for avløpsvann. Kostnadskurver må oppdateres regelmessig i takt med verdier fra nylig gjennomførte prosjekter og korrigeres for prisstigninger. Det skal også bemerkes at grunnforhold og konstruksjonsløsning for stasjonene vil ha stor innvirkning på prisen.

4.4. Trasevalg, sjø eller land

I mange tilfeller står man i en situasjon med en lang pumpeledning hvor det kan velges mellom en ledningstrase på land eller i sjø. Det er flere faktorer som spiller inn. En ting som er viktig å ta med i regnestykket, er om sjøen/vassdraget er forurensset eller ikke. Forurensede masser kan ikke legges til side på sjøbunnen og tilbakefylles, men må graves opp og håndteres umiddelbart iht. Forurensningsloven. Dette arbeidet kan være kostbart og det kan ta lang tid å få tillatelse fra Statsforvalteren. Det er i starten av kapittel 3 berørt hvilke faktorer som bør analyseres for å ende opp med et optimalt valg, hensyntatt med både investeringer og drift.

Det er også en nødvendighet at man sammenlikner alternativene med hensyn til bærekraft og klimaavtrykk³²⁾.

I denne sammenheng kan sjøledninger ha et fortrinn, siden man unngår å grave grøfter i hele traseen. Normalt er det tilstrekkelig med en landtaksgrøft i hver ende av traseen. Resten av ledningen vil ligge fritt på bunnen belastet med betonglodd eller annet vektmateriale. Man sparer følgelig energi og utslipp i anleggsperioden sammenliknet med en landtrase. Imidlertid må man ta hensyn til vektbelastningen (betong, barytt, olivin) og sjekke hvilket klimaavtrykk dette innebærer.

På den annen side vil traseer på land kunne medføre betydelige terrenginngrep og gi behov for graving, sprenging og massetransport. Man kan også komme i konflikt med sårbare naturtyper, dyr og kulturminner etc.

Behovet for vedlikehold og ettersyn av pumpeledningen blir noe forskjellig om man velger sjøledning eller landledning. En undervannsledning kan inspiseres utvendig med dykker eller ROV, mens en landleiding i prinsippet ikke kan vurderes visuelt, med unntak av innvendig inspeksjon med TV-kamera nær pumpestasjonen og ved endepunktet (alternativt ved kummer). Erfaringsmessig er det lite behov for å vedlikeholde pumpeledninger under vann, men i noen tilfeller kan bølger, strøm, anker og fiskeredskap gi skader. En inspeksjon f.eks. hvert 5 år kan være en nyttig investering.

Til syvende og sist bør det være nåverdien og bærekraften i trasealternativet som må avgjøre valget mellom land og sjø. Dette krever at man beregner nåverdien, slik det er beskrevet i kapittel 4.1.

Likeledes bør man benytte klimakalkulator for å få et objektivt mål for miljøpåvirkningen. Ved å sette en verdi på CO₂ utslippet, kan man omgjøre forskjellene til pengeverdier, som kan tas inn i beregning av nåverdiene i alternativene. Man ender dermed opp med en klimakorrigert nåverdi som kan benyttes til å rangere alternativene på bakgrunn av klimapåvirkning³³⁾.

4.5. Driftsøkonomi

Med den lave realrenta som statistisk har forekommet de siste 70 årene, vil driftskostnadene ha stor innvirkning på økonomien for VA-anlegg som skal ha en forventet levetid på minst 100 år. For lange pumpeledninger er det energikostnadene for pumping samt ettersyn og vedlikehold av pumpestasjonen og pumpeledningen som genererer driftskostnadene.

Vedlikehold kan f.eks. være å kjøre renseplugg i pumpeledningen, skifte olje på pumpa, bytte løpehjul på pumpa, justere klaring i hydraulikken for å opprettholde virkningsgrad og funksjon, generell rengjøring i pumpestasjonen, kontroll av pumpekapasiteten, analyse av driftsdata eller tiltak mot hydrogensulfid (H₂S).

Jo mindre tid driftsoperatørene må bruke på stasjonen og jo mindre energikostnader stasjonen konsumerer, jo bedre blir driftsøkonomien. Nøkkelen er å velge robuste pumper med høy virkningsgrad og god evne til å håndtere avløp, samt installere rørdeler og ventiler av høy kvalitet.

32) NVR A251 Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen

33) Norsk vann rapport 190 "Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer" 2012

5. Prosjektering av lange pumpeledninger for avløp

Prosjekteringen vil være avgjørende for et vellykket resultat når man skal bygge en lang pumpeledning og kunne opprettholde en stabil drift med minimale kostnader gjennom hele levetiden. Dimensjonering og økonomisk optimalisering er tidligere behandlet under hovedkapitlene 2 og 3 i rapporten.

5.1. Valg av ledningsmateriale for pumpeledninger for avløp

Det stilles ofte spørsmål om hvilke rørmaterialer en bør velge til VA-ledninger. Noen kommuner har forhåndsbestemt dette via sine VA-normer, men de fleste kommunene velger forskjellige rørmaterialer fra prosjekt til prosjekt. Man har i utgangspunktet følgende ledningsmaterialer som benyttes i Norge.

Tabell 5-1: Mulige rørmaterialer til VA-ledninger.

RØRMATERIALE	FORKORTEELSE
Polyvinylklorid uten mykner	PVC-U
Polyetylen	PE
Polypropylen	PP
Glassfiberarmert plast	GRP
Duktilt støpejern	SJK
Stål	ST
Betong	BTG

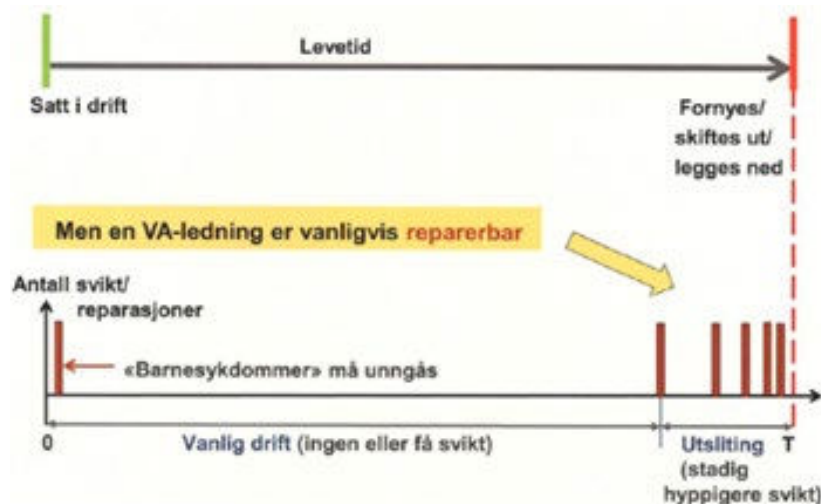
I pumpeledninger for avløpsvann vil betongledninger i dag ikke være et alternativ, selv om man i en periode benyttet forspente betongrør i store dimensjoner til dette formålet. Innvendig korrosjon på grunn av H₂S har vært en stor utfordring.

Foruten rene fysiske og kjemiske påkjenninger, vil temaer som bærekraft, anleggsutførelse, HMS, urbaniseringsgrad og samordning med andre aktører kunne påvirke egnetheten til det enkelte rørmateriale. For mange rørmaterialer med muffeskjøter vil tetningsringer av gummi være en del av røret og begrense røranleggets levetid. Foreliggende rapporter fra blant annet Svensk Vatten³⁴⁾ antyder at man ved de moderne materialene i dagens tetningsringer vil kunne oppnå en levetid på 100 år, dersom pakningene installeres korrekt med riktig kompresjon. Gjeldende standarder for tetningsringer i gummi stiller derimot ikke strenge nok krav til at levetid på 100 år kan dokumenteres per i dag.

Ledningsmaterialet skal være motstandsdyktig mot alle indre og ytre påkjenninger av fysisk, kjemisk og miljømessig art innenfor en dimensjonerende levetid på minst 100 år. Man må ta utgangspunkt i hvilke funksjonskrav som settes, samt hvilke krefter rørene utsettes for gjennom sin levetid.

Levetiden er sterkt knyttet til funksjonskravene som skal oppfylles. Figur 5-1 gir en illustrativ fremstilling av et rørs levetid basert på svikt i ett eller flere funksjonskrav. Over en viss periode kan man akseptere reparasjoner og utbedringer så lenge hyppigheten av "skadene" er liten. Til slutt er skadehyppigheten for stor og ledningen må skiftes ut.

34) Livslängdsbedömning av gummiringfogar hos VA-ledningar Kristian Thörnblom Jan Henrik Sällström Gunnar Bergström. Rapport Nr 2014-04.



Figur 5-1: Illustrasjon av levetid for en rørledning³⁵⁾.

Ved valg av ledningsmateriale, vil det være viktig å gjøre en samfunnsøkonomisk beregning av nåverdien for de ulike alternativene, som beskrevet under punkt 4.1.

Det er på det rene at sveisede rør, som er riktig dimensjonert, vil ha lengre levetid enn ledninger med elastiske tetningsringer i skjøtene. Dette må legges inn i regnestykket.

Det anbefales å benytte "Valg av rørmateriell"³⁶⁾ for å komme frem til en gunstig løsning for et gitt prosjekt.

5.2. Belastning av undervannsledninger

Polyetylen (PE) har mindre egenvekt enn vann. Det må anvendes vektbelastning for å hindre oppdrift selv av vannfylte PE-rør. Det er ulike hensyn å ta ved valg av type vektbelastning på undervannsledninger. Under gis en oversikt over fordeler og utfordringer med henholdsvis tradisjonelle PE-ledninger med betonglodd og nye PE-ledninger med integrert belastningskappe (SESU og SESU-XL)

5.2.1. Belastningslodd

Tradisjonelt er den mest vanlige løsningen å anvende belastningslodd av betong, som monteres med en viss senteravstand. Avstanden avhenger av både oppdrift og de kreftene ledningen vil bli utsatt for under sin levetid. Større krefter kan sikres med tyngre lodd eller tettere senteravstand. Loddets utforming har også noe å si for sikringsevnen til loddet. Friksjon fra loddet mot sjøbunnen har betydning for stabiliteten til røret når det utsettes for strøm og bølgekrefter.

Som veiledende verdier med hensyn på friksjonskoeffisient (μ), kan man anta³⁷⁾:

- Sirkulær form $\mu = 0,2$
- Rektangulær form $\mu = 0,5$
- Stjerneformet form $\mu = 0,8$

Det er plass- og tidkrevende å montere betongloddene på ledningen og krever ekstra logistikk, sammenliknet med rør med integrert belastning. På større dimensjoner kan tradisjonelle løsninger være mer gunstige rent økonomiske.

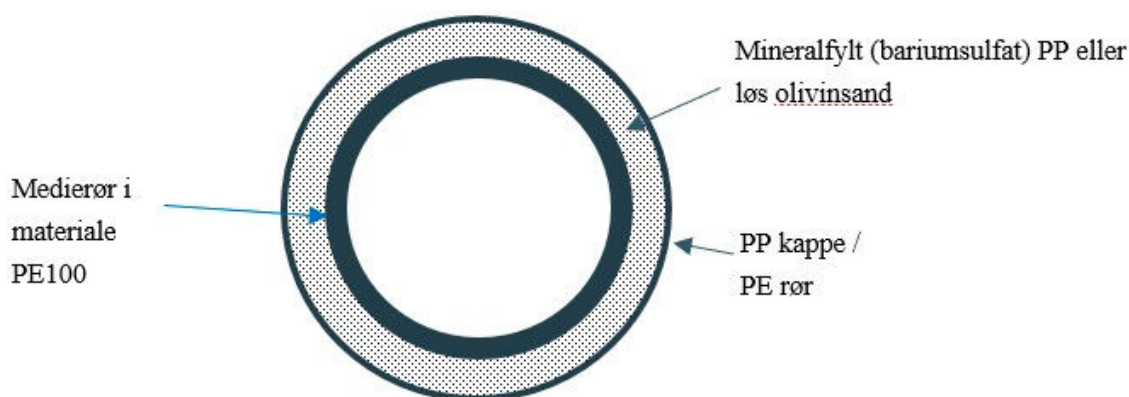
35) Norsk Vann rapport 232 "Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?" 2018

36) "Valg av rørmateriell", NKF's fagkomité for vann og avløp – transportsystemet" 1993/revidert 2010

37) Undervannsledninger – utfordringer og løsningsmuligheter» 2022

5.2.2. PE-rør med integrert vektbelastning. Belastningskappe / forhåndsvektet rør

Et alternativ til bruk av betonglodd, er PE-rør med integrert vektbelastning i rørveggen til bruk som undervannsledninger. Det kan også kalles forhåndsvektet rør eller rør med belastningskappe. Oppbygningen av et slikt rør er vist i Figur 5-2.



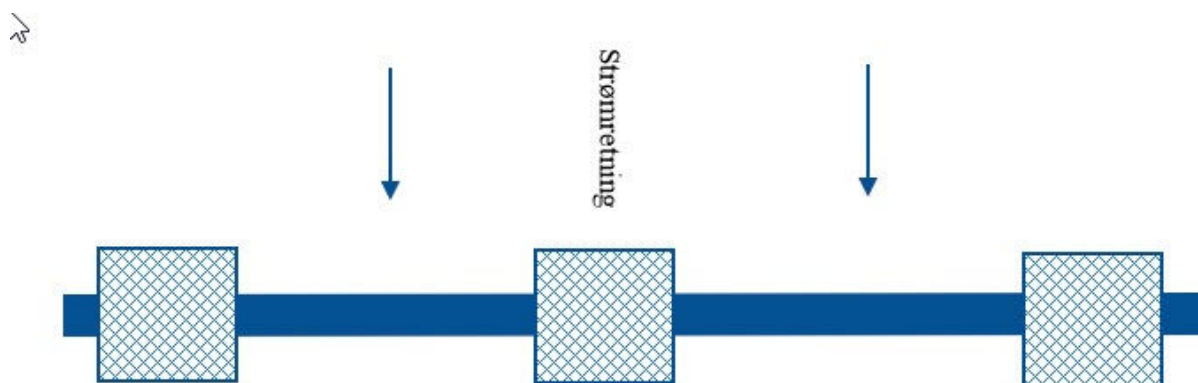
Figur 5-2: Prinsipp for konstruksjon av SESU pipe med integrert vektbelastning til bruk som undervannsledninger.

Rørene kommer ferdig fra fabrikk og det er kun behov for å sveise dem sammen på anleggsplassen. Man sparer dermed tid for montering av belastningsloddene, som veier opp noe for større innkjøpskostnad. Det totale regnestykket varierer i hvert prosjekt. Ved å variere tykkelsen på belastningslaget (diameteren på kapperøret), kan man skreddersy belastningsgraden til beregnet luftfyllingsgrad.

Røret har lavere byggehøyde enn rør med betonglodd og egner seg til skånsom legging i ømfintlig naturområder eller kryssinger av eksisterende infrastruktur på sjøbunn. Rørets oppbygning gjør at røret har en større stivhet, sammenlignet med et vanlig PE rør. Dette må vurderes i senke-fasen for å unngå bukling i områder der det ikke er vektbelastet (i sveiseområdet). Rørets ytre kappe i PP/PE gir en ekstra beskyttelse og rørene er regnet som svært robuste og med lang levetid.

PE-rør med integrert belastningskappe har imidlertid en ulempe i strøm og bølgeutsatte områder med hensyn til mindre friksjon mellom rørledning og sjøbunn på grunn av sin sirkulære geometriske form.

I stedet for å øke vektbelastningen på SESU røret, for å kompensere for en påført strøm eller bølgekraft, kan det være økonomisk å punktbelaste SESU røret med stabile gabionmatter som vist i Figur 5-3. Slike tilleggsbelastninger kan også benyttes på tradisjonelle vektbelastede undervannsledninger der det er behov, se mer informasjon i kapittel 6.5.



Figur 5-3: Prinsipiell løsning for tilleggsbelastning av SESU pipe med gabionmatter i områder med sterk strøm.

5.3. Bestemmelse av diameter og SDR-klasse på pumpeledning

Den innvendige ledningsdiameteren til avløpspumpeledningen bestemmes ut fra dimensjonerende avløpsmengde og tillatt trykktap. Det må også tas en vurdering av oppholdstid, anleggets oppbygning og pumpekarakteristikk. Anlegget må ses på som en helhet. Vi vil ikke gå nærmere inn på hydrauliske beregninger i denne rapporten, utover å vise en veiledende Tabell 5-2. Tabellen forutsetter en ledningslengde på 1000m.

Har man som eksempel behov for å transportere 100 l/s gjennom en pumpeledning i materiale PE100 med dimensjonerende trykk på 12,5 bar (SDR11), og har til disposisjon et trykktap på 50 mvs (5 bar) over en strekning på 5 km, kan man benytte tabellen på følgende måte:

- 1) Trykktapet korrigeres til 1000 m ledningslengde = $\frac{50 \cdot 1000}{5000}$ mvs = 10 mvs
- 2) Man går inn i tabellen på en vannmengde på 100 l/s
- 3) Man går vertikalt nedover i den aktuelle kolonnen for 100 l/s til man får et tap som er mindre enn 10 mvs.
- 4) Fra denne cellen går man horisontalt mot venstre for å finne den innvendige ledningsdiameteren.

I dette eksempelet blir svaret ca. 300mm.

For å regne om fra innvendig diameter (d) til utvendig diameter (D), kan man benytte formelen:

$$D = \frac{d \cdot SDR}{(SDR-2)} \quad 13)$$

Setter man inn de aktuelle verdiene i eksempelet får man:

$$D = \frac{300 \cdot 11}{(11-2)} \text{ mm} = 367 \text{ mm}$$

Man runder opp til nærmeste standard diameter etter NS12201, som er 400mm.

Tabell 5-2: Veiledende verdier for sammenhengen mellom innvendig ledningsdiameter, avløpsmengde og trykktap.

Rørlengde = 1000 m. For andre rørlengder varierer trykktapet lineært

Innvendig diameter (mm)	Vannmengde (l/s)										
	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400	500
100	4,25	17,00	68,00	153,00							
150	3,07	2,24	8,95	20,15	35,82	55,97					
200	1,60	0,53	2,13	4,78	8,50	13,28	53,13				
250	0,44	0,17	0,70	1,57	2,79	4,35	17,41	69,63	156,67		
300		0,07	0,28	0,63	1,12	1,75	7,00	27,98	62,96	111,93	174,90
350			0,13	0,29	0,52	0,81	3,24	12,95	29,13	51,79	80,92
400			0,07	0,15	0,27	0,42	1,66	6,64	14,94	26,56	41,50
450				0,08	0,15	0,23	0,92	3,69	8,29	14,74	23,03
500				0,05	0,09	0,14	0,54	2,18	4,90	8,70	13,60
550					0,05	0,08	0,34	1,35	3,04	5,40	8,44
600							0,22	0,87	1,97	3,50	5,47
650							0,15	0,59	1,32	2,34	3,66
700							0,10	0,40	0,91	1,62	2,53
750							0,07	0,29	0,64	1,15	1,79
800								0,21	0,47	0,83	1,30
850								0,15	0,34	0,61	0,96
900								0,12	0,26	0,46	0,72
950								0,09	0,20	0,35	0,55
1000								0,07	0,15	0,27	0,43

Den hydrauliske kapasiteten forventes å bli redusert over tid som følge av innvendig begroing. Dette kan til en viss grad forebygges ved kjøring av renseplugg ved behov. Det anbefales at man loggfører trykkehøyden eller volumstrømmen i ledningen for å kunne planlegge pluggkjøring ut fra behov, altså når verdiene faller under eller over en viss verdi.

Man må i tillegg kontrollere at ledningen er selvrensende ved å beregne skjærspenningen (τ). Formel 14) kan anvendes med god tilnærming.

$$\tau \approx 2,55 \cdot v^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad 14)$$

$v =$ vannhastigheten (m/s)

I eksempelet foran blir $v = 1,19$ m/s og $\tau = 3,6$ N/m². Kravet til selvrensing for spillvann er en skjærspenning på 2 N/m² og tilsvarende for fellesavløp er 3 N/m².

SDR-klassen ($\frac{\text{Utvendig diameter}}{\text{Godstykkelse}}$) for en pumpeledning angir, sammen med ledningsmaterialet, rørets styrke. SDR-klassen må dimensjoneres ut fra alle påkjenninger som røret utsettes for i installasjonsfasen og driftsfasen. Dette er:

- Driftstrykk
- Trykkprøving
- Trykkslag
- Undertrykk
- Jordtrykk
- Trafikklast
- Temperaturkrefter
- Tverrkontraksjon

For undervannsledninger vil man i tillegg ha påkjenninger i senkefasen for røret, som ofte gjør at man må gå ned en trykkklasse. En god regel er å dimensjonere pumpeledningen for fullt vakuum (-10 mvs) og minimum 10 bars trykk. For PE100 ledninger vil SDR klasse 11 være et godt rørvalg, alle forhold tatt i betraktning.

6. Utførelse

Uansett hvor gode forundersøkelsene er og hvor godt et ledningsanlegg er prosjektert, er det til slutt anleggsutførelsen som i hovedsak bestemmer anleggets levetid³⁸⁾. Det er avgjørende at prosjekteringen legger til rette for en enklest mulig utførelse for entreprenøren.

For sveiste rør som PE100 og stål, er det viktig med oppfølging av kvaliteten på sveisene. Det må tas ut sveiseprøver for å dokumentere at kvalitetskravene er tilfredsstillt. Det må også påses at utførende har nødvendige sertifikater og godkjente maskiner for å utføre jobben. Likeledes må man kontrollere grøftenes utførelse med hensyn på plassering, geometri og materialbruk. For rør med elastiske tetningsringer (muffeskjøter) må man kontrollere at avvinklingen i skjøtene er innenfor kravene. For alt materiell som tilføres anlegget må det foretas en mottakskontroll som bekrefter at riktig materiell er levert og er uten skade.

Trykkprøvingen til slutt vil dokumentere om røret tilfredsstillt funksjonskravet. Det bør utarbeides sjekklister for byggherren til bruk under kontroll av anleggsarbeidene. Det må også påses at entreprenøren har sine sjekklister og KS-system for oppfølging og dokumentasjon av anlegget. Bruk av bilder og video kan være nyttig som supplerende dokumentasjon.

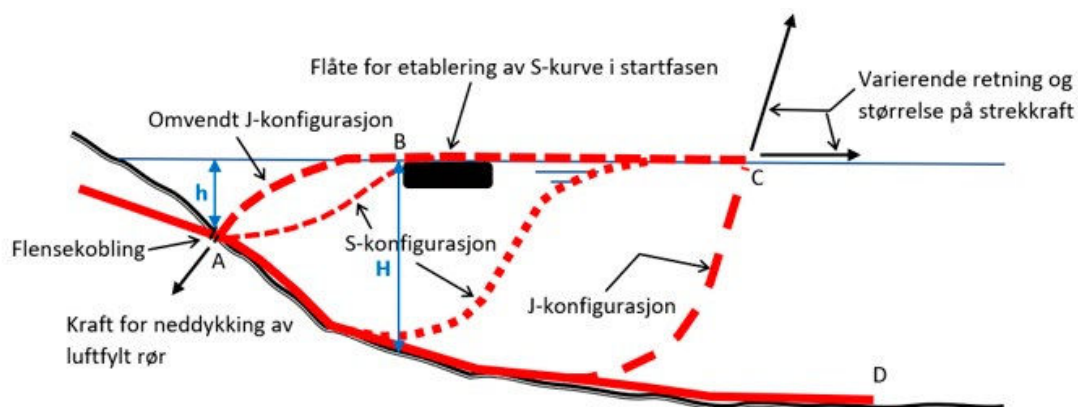
6.1. Senking

Senkingsfasen for en undervannsledning kan være kritisk og er ofte bestemmende for valg av SDR-klasse. Det må også tas hensyn til bøyeradius, lufttrykk, strekk-krefter og stedlige forhold.

Under senking vil ledningen utsettes for både strekkrefter og bøyekrefter samt hydrauliske krefter (undertrykk). I tillegg kan det oppstå krefter fra bølger og strøm dersom værforholdene er ugunstige. Hovedregelen er at ledningen kun skal senkes ved gode værforhold, slik at man slipper å ta hensyn til miljøkrefter som strøm, bølger og vind.

Alle sjøledninger av PE100 senkes med utgangspunkt i en flytende stilling på vannoverflaten. Ledningen posisjoneres i en på forhånd bøyelegt trase. Prinsippet for senkingen er at vann ledes inn i den ene enden av ledningen og luft evakueres kontrollert i den andre enden.

Under senkingen kan ledningen innta 3 ulike "geometriske fasonger", som antydnet i Figur 6-1. I figuren er det forutsatt en flensekobling ved utgangen av undervannsgrøfta, og at grøfta er gjenfylt før senkingen starter. En slik kobling kan i prinsippet ligge flere steder, f.eks. inne ved landtakskummen eller ved flåten. Ligger den ved flåten eller på tørt land, kan flensekoblingen erstattes med speilsveis eller elektromuffe. Slike utførelser krever høy kompetanse. Det er helt avgjørende for en vellykket senking at man klarer å etablere en S-konfigurasjon før senkingen starter.



Figur 6-1: Ulike konfigurasjoner (geometriske fasonger) av en utløpsledning under senking.

38) PRA rapport 3 "Bygging og drift av dypslipp" Øivind Johansen, Paul Liseth. 1975

En undervannsledning kan enten senkes med gravitasjonstilførsel av vann eller ved innpumping av vann. Bruk av trykkvann fra drikkevannsnettet er også mulig. På avløpsledninger kan resipientvann benyttes dersom det ikke er annet vann tilgjengelig.

Eksempelen i Figur 6-1 viser en løsning med gravitasjonsenkning ved bruk av vann fra sjøen. Det viktige er at tilført vannmengde (Q) er tilnærmet konstant, og så liten at senkingshastigheten (v) ikke overstiger 0,3 m/s. Senkingshastigheten må heller ikke bli for lav ($>0,15$ m/s) for å unngå ovalisering av røret som følge av lang oppholdstid i S-kurven og tilhørende relaksasjon i PE-materialets elastisitetsmodul.

I Figur 6-1 er det tenkt at den flytende rørledningen trekkes langsomt ned mot flenskoblingen i punkt A hvor vanddypet er lik (H), mens vann slipper inn i røret via en kuleventil i blindlokket. Røret vil i denne posisjonen få en omvendt J-konfigurasjon. Her kan man alternativt bruke kraft fra grabben på en gravemaskin på flåte som assistanse. Man kobler sammen flensene, men sørger for at det er en liten åpning mellom flensene (f.eks. ved bruk av trekiler), slik at vann fra resipienten kan renne inn i ledningen. Alternativt kan man benytte et flense T-rør med ventil i koblingspunktet.

Før senkingen bør røret påføres et innvendig overtrykk tilsvarende minimum balansetrykket (p) for vanddypet i punkt B ($p = a \cdot H$, der a = dimensjonerende luftfyllingsgrad).

I motsatt fall vil senkingen starte med selvkompimering av luften i ledningen som eneste brems. Man oppnår da ikke likevekt i systemet før en lengde ($L_{\text{Selvkompimering}}$) av ledningen blir fylt med vann. Selvkompresjonslengden for et gitt dyp og en gitt dimensjonerende luftfyllingsgrad kan beregnes av formel 15).

$$L_{\text{Selvkompimering}} = L \cdot \frac{a \cdot H}{p_0 + a \cdot H} \quad 15)$$

L = total lengde av undervannsledningen (m)

a = dimensjonerende vektbelastning som luftfyllingsgrad (%/100)

H = vanddypet i startpunkt A (m)

p_0 = atmosfæretrykket (10 mvs), alternativt ledetrykket dersom ledningen trykkes før senking

Er f.eks. startdypet $h=5$ m, sluttdypet $H_{\text{Maks}}=40$ m, ledningslengden $L=500$ m og luftfyllingsgraden $a = 50$ % (0,5), vil teoretisk 100 m av ledningen bli senket før man har oppnådd kraftbalanse og kontroll med utgangspunkt i punkt A og formel 4). I praksis vil dog en større lengde bli senket, siden balansetrykket ($p = a \cdot H$) øker suksessivt med vanddypet. Er dypet i punkt B 100m fra punkt A, f.eks. 10m, blir nødvendig kompresjonslengde 166m. Det er følgelig ikke balanse i kreftene og senkingen fortsetter ukontrollert inntil kompresjonslengden er tilnærmet $500 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 40}{10 + 0,5 \cdot 40} \right) \text{ m} = 333 \text{ m}$.

Man kan imidlertid hindre en slik hendelse ved å løfte ledningen over vannflaten ved flåten i punkt B. Dette forutsetter at flåten har tilstrekkelig løftekapasitet til å holde vekten av den vannfylte neddykkede ledningen mellom punkt A og B. Flåten B er en viktig sikkerhetsforanstaltning for å sikre etableringen av S-kurven før senkingen starter og hindre at luftlommer kan bli "innelukket" i ledningen under senkingen. I et slikt tilfelle kan man også fjerne blindlokket på ledningsenden i overflateposisjon.

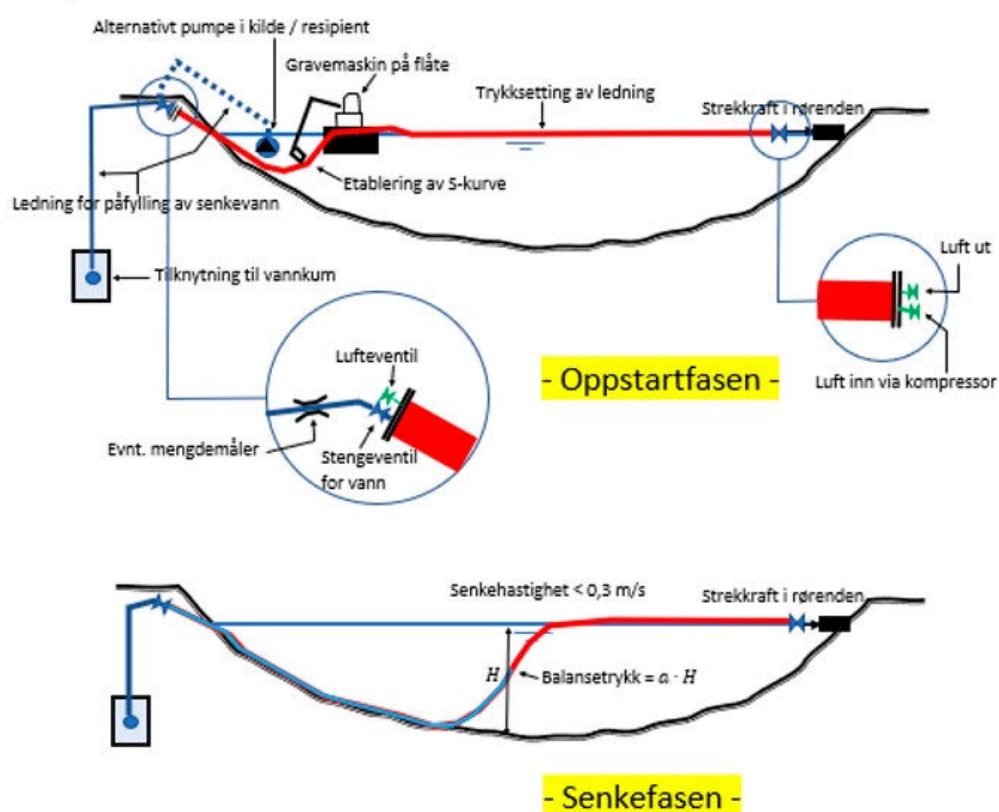
Når S-kurven er på plass, og nødvendig mottrykk er etablert, kan senkingen fortsette ved at luft evakueres via ventilen i nedstrøms ende. Senkehastigheten kontrolleres med lufttrykket i ledningen. Entreprenøren har på forhånd laget en tabell som viser det riktige trykket i ledningen som funksjon av ledningslengden. Man skal også under senkingen kontinuerlig overvåke senkingshastigheten ved å benytte klokke opp mot merkede streker på ledningen for f.eks. hver 50m. Går senkingen for fort, må entreprenøren strupe / stenge utluftingsventilen i nedstrøms ende av ledningen og i verste fall starte kompressoren.

Ved store ledningsdimensjoner (>315 mm) og lange lengder, vil det ta lang tid å endre lufttrykket på grunn av stor treghet og vanligvis begrenset kapasitet på kompressoren. Det er derfor helt avgjørende å holde lav senkingshastighet for å kunne håndtere endringene i balansetrykket på grunn av økende dyp. Det er store masser i bevegelse, slik at betydelige dynamiske krefter vil forekomme dersom det oppstår akselerasjoner eller retardasjoner på ledningen under senkingen.

I Figur 6-1 ender man til slutt opp med en J-konfigurasjon, der ledningen henger ned i vannet balansert av trekraften i røret. Fra denne posisjonen fires ledningen ned til sitt endelige leie på sjøbunnen. Strekkraften i enden av ledningen må opprettholdes også i denne fasen av senkingen. Er dette på dykkbart dyp (vanligvis <30m), går dykkeren ned og fjerner blindflensen. Ligger endepunktet av røret dypere, må man benytte ROV med passende verktøy til denne jobben. Det kan i mange tilfeller være mulig å heise opp ledningen i endepunktet til et dykkbart dyp dersom man samtidig kan opprettholde strekket i enden.

I de seinere år er det blitt mer vanlig å benytte innpumping av vann eller trykkvann fra rentvannsnettet i senkefasen. Slike løsninger er vist prinsipielt i Figur 6-2.

Fordelen med denne typen senking er at man kan kontrollere senkehastigheten eksakt ved å måle vannmengden Q som tilføres undervannsledningen. Når vannhastigheten er liten (<0,3 m/s), vil friksjonstapet for å transportere vannet frem til "senkefronten" bli lite, selv når mesteparten av ledningen er fylt med vann.



Figur 6-2: Opplegg for senking av undervannsledning med vann fra vannledningsnettet eller via pumpe fra sjøen.

"Friksjonsmotstanden" (ΔH) kan tilnærmet beregnes av formel 16).

$$\Delta H = 0,02 \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad 16)^{39)}$$

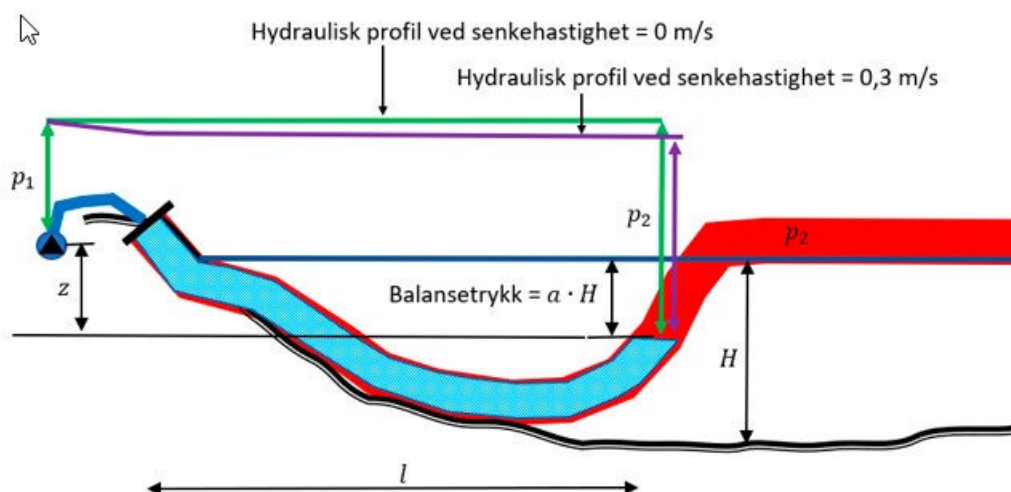
L = vannfylt lengde av ledningen (m)
 v = senkehastigheten (m/s)
 d = innvendig diameter av ledningen (m)
 g = tyngdeaksellerasjonen (m/s²)

39) Norsk Vann Rapport 193 "Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem" (2012)

Denne friksjonsmotstanden vil være 0 i starten av senkingsprosessen og øke lineært med den vannfylte lengden av røret. Som eksempel vil en 500 m lang ledning, som senkes med en hastighet på 0,3 m/s og har en innvendig diameter på 257,7 mm (Ø315mm PE100 SDR11), få et maksimalt friksjonstap på:

$$\Delta H = 0,02 \cdot \frac{500}{0,2577} \cdot \frac{0,3^2}{2 \cdot 9,81} \text{ mvs} = 0,18 \text{ mvs}$$

Vi ser at dette for praktiske formål er helt neglisjerbart. Det vil følgelig være trykkforholdene i den luftfylte delen av ledningen under senkingen som vil påvirke vannleveransen inn i røret i senkefasen (driftspunktet på pumpekurven). I Figur 6-3 er trykkforholdene illustrert prinsipielt i denne sammenheng med utgangspunkt i Bernoullis likning.



Figur 6-3: Prinsipiell illustrasjon av hydrauliske forhold ved senking av undervannsledning med trykkvann fra pumpe eller vannledningsnett.

Det hydrauliske profilet for transport av vann inn i undervannsledningen er vist med fargene grønn og magenta. Det vises at trykket (p_1) og høydeforskjellen (z) på landsiden må overvinne trykket p_2 innvendig i den luftfylte delen av ledningen ute i sjøen. Når disse størrelsene er like ($p_1 + z = p_2$), vil det ikke strømme vann inn i ledningen og senkehastigheten blir lik 0 m/s, som vist i det hydrauliske profilet med grønn farge.

For at senkingen skal fortsette må trykket (p_2) i den luftfylte delen av ledningen senkes (magenta profilet) eller pumpetrykket (p_1) på landsiden økes. Har man en pumpe med "overkapasitet", kan man regulere dette ved hjelp av en ventil på pumpeledningen. Som antydnet i det hydrauliske profilet, vil friksjonstapet i systemet ligge på tilførselsledningen og ikke i undervannsledningen.

Hensikten med en kontrollert senking av undervannsledningen, er å unngå at krumningsradien på rørledningen blir så liten at den bukler, og sørge for at sammenstøt mot bunnen blir så skånsomt som mulig. Avhengig av SDR-klassen på røret vil brudd kunne forekomme enten som radiell bukling eller som rent strekkbrudd i ytterkurven.

Det kritiske bøyetallet med hensyn på begrensninger kan settes til $\left(\frac{R}{D}\right)_{\text{Minimum}} = 18$. Ved senking av undervannsledninger anbefales det at det legges til grunn en sikkerhetsfaktor på 1,6, slik at minimum bøyetall (R/D) blir ca. 30.

Før senking av en undervannsledning må entreprenøren utarbeide en senkingsinstruks som inneholder en detaljert beskrivelse av prosessen med ressursbehov og nødvendige beregninger av balansetrykk og strekkraft i enden av røret.

Ved senking kan man med ROV observere hindringer og snu senkeoperasjonen før hindringer påtreffes. Overvåking under senking kan også utføres med støtte av multistråle ekkolodd for mer nøyaktig posisjonering, og ha muligheter for en skånsom legging på sjøbunn. Eventuelt etter legging bør trase gjennomgå med ROV for å sjekke krysningspunkt med annen infrastruktur.

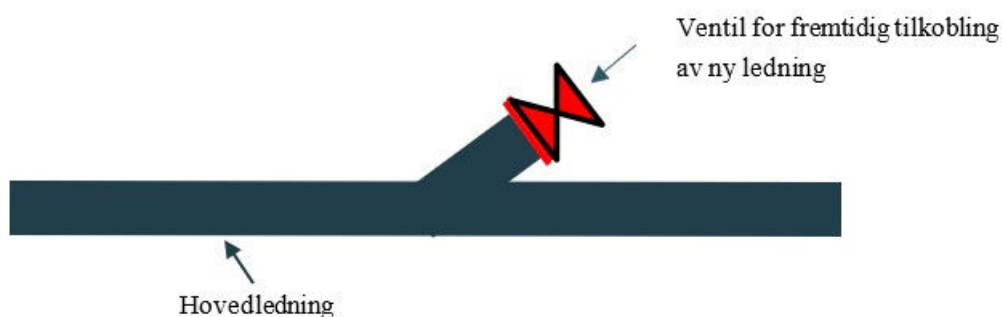
6.2. Heving av ledning for tilkobling og reparasjon i ettetid

Reparasjon av skader i pumpestasjon og på pumpeledningen må utføres av kompetent personell. I mange tilfeller vil det være behov for å utføre en «ad hoc» reparasjon umiddelbart og følge opp med en mer permanent løsning på sikt, når man har funnet årsaken til skaden.

Det må til enhver tid foreligge en oppdatert liste over aktører som kan utføre de ulike reparasjonene.

I noen tilfeller kan det være behov for å heve en undervannsledning for å tilkoble nye abonnenter. Erfaringer viser behovet for dette for eksempel i forbindelse med utbygging av trykkavløpsystemer i hytteområder som foregår over lang tid. Det beste er dog å sette av tilkoblingsmuligheter på ledningen allerede under planleggingen og første gangs bygging, slik at man slipper å heve ledningen i ettetid.

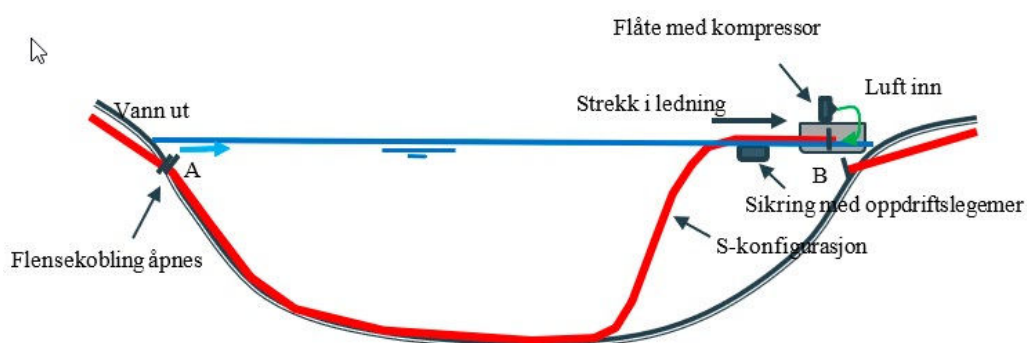
Et tilkoblingspunkt kan f.eks. være et y-rør med ventil, som skissert i Figur 6-4.



Figur 6-4: Undervannsledning forberedt for fremtidig tilkobling.

Skal man heve pumpeledningen til overflaten, må man reversere senkingsforløpet, slik det er beskrevet i kapittel 6.3. Man fører følgelig luft inn i ledningen med en kompressor i den ene enden og presser vann ut i den andre enden. Etter hvert som ledningen kommer opp til overflaten, kan det være nyttig å sikre den ved å sette på oppdriftslegemer.

Ved heving av ledningen må man også sørge for strekkraft i røret og opprettholdelse av S-konfigurasjonen (kfr. Figur 6-5), slik at man unngår bukling av ledningen. Hevehastigheten må være $\leq 0,3$ m/s.



Figur 6-5: Prinsipppløsning for heving av undervannsledning.

Heveoperasjonen starter ved at ledningen frakobles i flensekobling B. Det settes på en blindflens med 2 ventiler, den ene for innføring av luft og den andre for innføring / evakuering av vann. Flensekoblingen i punkt A åpnes, slik at vann kan evakuere denne veien når luft blåses inn i punkt B.

I starten vil røret få en J-konfigurasjon (kfr. Figur 6-1). Det er derfor behov for å plassere en flåte nær land for å kunne transformere J-konfigurasjonen til en S-konfigurasjon. Det bør også etableres en strekkraft via wire / tau inn til land.

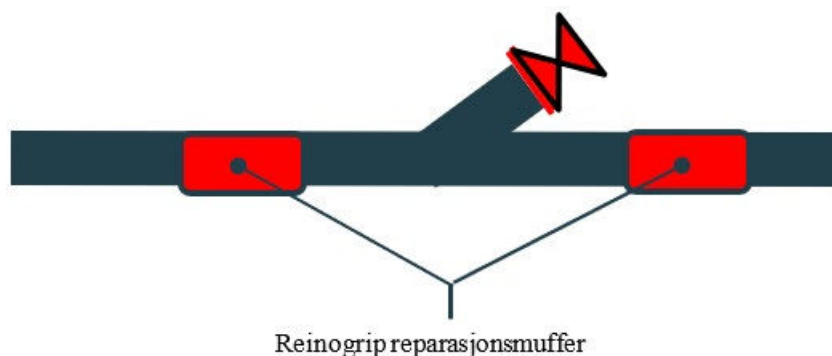
Ved å pumpe luft kontrollert inn i røret, vil det kontinuerlig heves langsomt til vannoverflaten. Til slutt settes et blindlokk med ventiler på flensekoblingen i punkt A.

Når ledningen er stabil i overflateposisjon, må den løftes opp på en flåte i punktet der T-røret eller Y-røret skal etableres. Ledningen kappes i 2 deler og stabiliseres på flåten. Den må få anledning til å tørke i sårflatene. Deretter sveises rørdelene inn på ledningen på vanlig måte. Ledningen som skal tilknyttes, kan enten tilknyttes via flensekobling eller via sveising.

Benytter man flensekobling, kan den om ønskelig tilkobles på sjøbunnen i etterkant (kfr. Figur 6-4).

Anvender man sveisekobling, må den tilkobles mens ledningen er oppe på flåten. Når alle koblinger er på plass, senkes undervannsledningen igjen, slik det tidligere er beskrevet i kapittel 6.1.

Er det dykkbart dyp der tilkoblingen skal installeres (<30 m) og er ledningsdimensjonen i intervallet 90mm til 600 mm, kan man installere koblingen ved hjelp av Reinogrip strekkfaste reparasjonsmuffer eller tilsvarende produkt direkte på sjøbunnen uten å heve ledningen.



Figur 6-6: Innsjøting av Y-rør på dykkbart dyp ved hjelp av Reinogrip reparasjonsmuffe eller tilsvarende for ledningsdimensjon $\leq 225\text{mm SDR11}$.

I et slikt tilfelle kapper man ut en del av røret tilpasset lengden på T-røret / Y-røret. Man faser av endekantene på sjøledningen og trekker innpå Reinogrip muffene på hver sin rørende. Deretter måler man eksakt avstanden mellom muffene for å se at rørdelen får plass. Rørdelen plasseres mellom muffene som trekkes tilbake til riktig innstikkingslengde. I denne posisjonen skrues 3 skruer i hver muffe til riktig moment for å gjøre koblingen strekkfast.

Reinogrip muffen er laget av 100 % ikke-korroderende materialer og finnes i SDR klasse 11. Løsningen er illustrert i Figur 6-6. Reinogrip reparasjonsmuffer kan også benyttes hvis ledningen skal heves til overflaten ved luftinnblåsing og det ikke er flensekoblinger ute i sjøen som tidligere beskrevet. I et slikt tilfelle kappes ledningen utenfor grøften i punktene A og B i Figur 6-5. På hver ende monteres en Reinogrip muffe med en bit PE-ledning, krage, løslens og blindflens. Når dette er på plass, heves ledningen som tidligere beskrevet.

Når ledningen til slutt er tilbake i sin opprinnelige posisjon etter at tilkoblingen er etablert, skjøtes ledningen med 2 Reinogrip strekkfaste reparasjonsmuffer og tilpasset rørbit i punktene A og B.

Det er vanlig at man benytter et fundament av pukk i bunnen av grøfta. Omfylling til 0,3 m over toppen av rør kan foretas med oppgravde masser dersom maksimal steinstørrelse er mindre enn 40 mm.

Videre igjenfylling kan skje med oppgravde masser. I fjellgrøfter må røret omfylles med pukkmasser til minimum 0,3 m over topp rør, før videre igjenfylling med eksisterende masser.

Det er avgjørende at grøfta benyttes som en sikring mot strøm og spesielt bølgekrefter i landtakssonen. I området der bølgene bryter og ca. 10m dypere kan det oppstå så store krefter at ledningen vil kunne ødelegges. Det er anbefalt at ledningsgrøften benyttes til å stabilisere ledningen i bølgesonen i stedet for å øke belastningsgraden over 100 %. I typiske bølgeutsatte prosjekter kan ledningsgrøfter bli etablert ned til 5 m, 10 m og 15 m vanndyp før ledningen kommer ut på sjøbunnen.

6.4. Gravefri utførelse (NO-DIG) av landtak

Ved landtak som er vanskelig fremkommelig eller geoteknisk utfordrende, kan det benyttes gravefri utførelse ut i sjø. I mange tilfeller benytter man i dag styrt boring i løsmasser eller fjell under elver⁴¹⁾. Ved en slik utførelse trenger man ikke en vektbelastet ledning, men en SESU pipe ledning kan gi ekstra beskyttelse mot utvendige skader og bidra til å redusere trekkekreftene ved luftfylt ledning under installasjonen. Benytter man tradisjonelt PE-rør, anbefaler man å anvende PP kappe på røret.

6.5. Sikring av ledning mot strøm- og bølgekrefter

I bølgeutsatte områder kan det være behov for ytterligere sikring av ledningen til større vanndyp. Typiske steder med behov for ekstra beskyttelse kan være elver med sterk strøm og ledningsanlegg ved bølgeutsatte kyststrøk⁴²⁾. Enkelte ganger kan det ut fra økonomiske hensyn være gunstig å kombinere en gravbar grøft frem til et grunt dyp, der fjellet kommer til syne, med "sikringskonstruksjoner" på ledningen ned til aktuelt dyp.

Aktuelle sikringskonstruksjoner kan være som vist i Figur 6-9:

- Klammer med bolter til fjell
- Gabionmadrasser
- Betongmatter
- Fabriform madrasser (dukforskaling som fylles med tyntflytende betong under vann)

Disse konstruksjonene må dimensjoneres i hvert enkelt tilfelle. Ofte kan leverandørene gi gode anbefalinger om bruk. I Norge har man benyttet mest gabionmadrasser, som er plastbelagte nettingkasser som fylles med stein. Det er vanlig å anvende tykkelser på 0,3 m og en bredde i området 5-10 ganger rørets diameter.

Fabriform "forskalingen" kan spesialsys, slik at den i praksis kan festes rundt utløpsledningen som et slags betong-lodd. Dermed kan man "etterbelaste" ledningen til ønsket belastningsgrad. Man kan også gyse fast forankringsjern ned i fjellet og inn i "Fabriform loddet" for å få en mer hardfør løsning. Dette krever bruk av dykkere og kan være en praktisk løsning ned til ca. 30 m vanndyp. Som alternativ til disse løsningene kan man benytte styrt boring der det er praktisk mulig ut fra foreliggende grunnforhold.

41) "ABC for gravefrie metoder" Olimb AS 2015

42) "Hydromekanikk" NTH, O. Faltinsen, O.G. Houmb. 1974



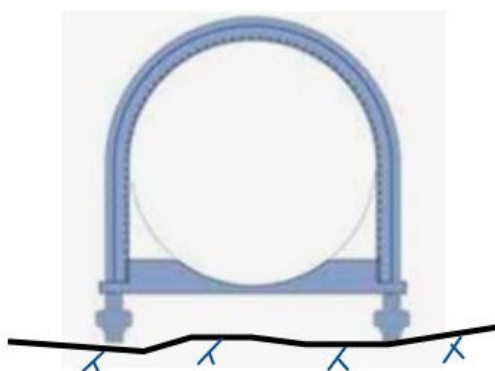
Fabriform matter



Betongmatter



Gabionmadrasser



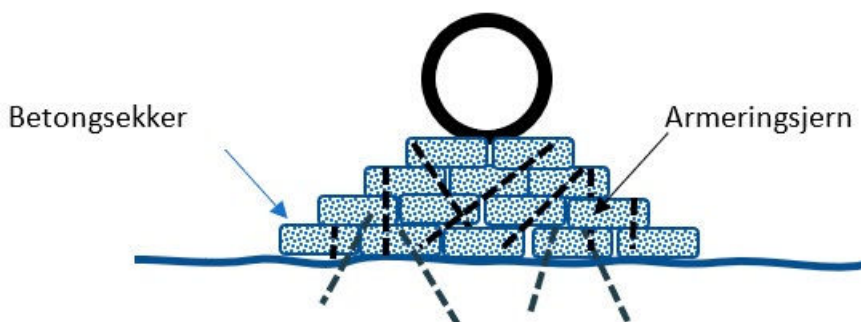
Bolting til fjell

Figur 6-9: Ulike konstruksjoner for sikring av undervannsledninger mot strøm- og bølgekrefter.

6.6. Sikring av svevende ledninger

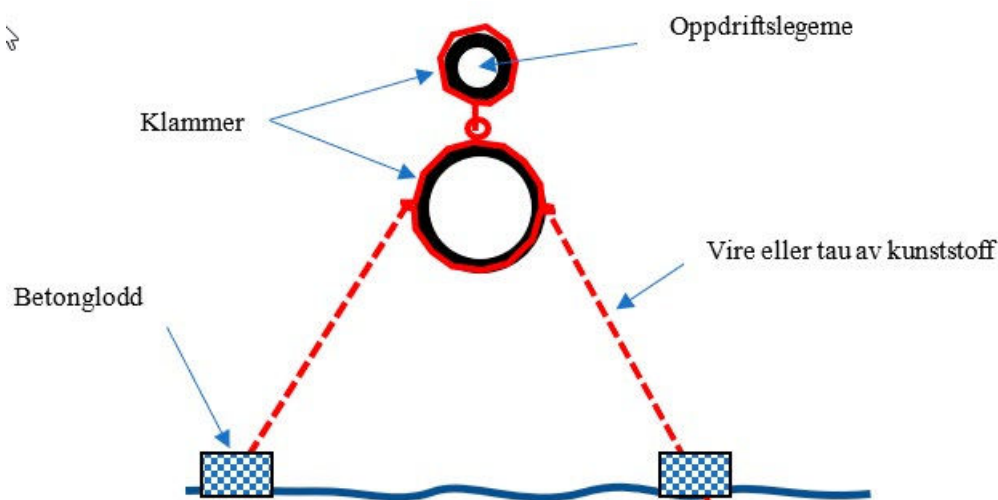
Selv om man finner en god trase for undervannsledningen, vil man i mange tilfeller oppleve at ledningen blir svevende i vannet mellom opplagspunkter. Normalt vil en svevende PE ledning med belastning tåle lange svev. Det er begrensninger på hvor lange svevene kan være uten at det oppstår for høye spenninger i rørveggen. Dette må beregnes i hvert enkelt tilfelle enten som en "bjelkebelastning" eller som en "svevende kabel".

Dersom avstanden fra ledningen til sjøbunnen ikke er for stor (<1 m) kan man bygge opp en understøttelse med betongsekker som legges i forbandt og forbindes med armeringsjern, som vist i Figur 6-10.



Figur 6-10: Underbygging av svevende ledning med betongsekker.

I tilfeller hvor avstanden til sjøbunnen er større, kan man avlaste ledningen ved bruk av klammer og oppdriftslegemer, som antydnet i Figur 6-11. Oppdriftslegemene kan enten være trålkuler eller luftfylte rørelementer. Man må forsikre seg om at oppdriftslegemene tåler trykket fra det aktuelle vanddypet uten å bukle. Som eksempel vil et luftfylt PE100 SDR11 rør med atmosfæretrykk kunne bukle på ca. 20 m vanddyp etter 100 år. Tilsvarende for SDR9 er ca. 40 m vanddyp.



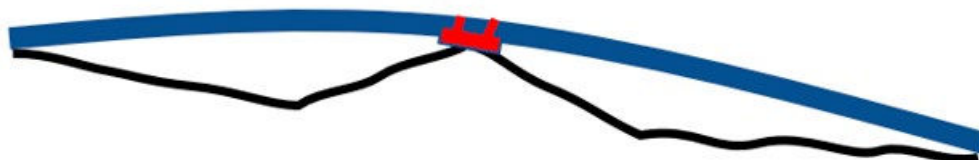
Figur 6-11: Bruk av oppdriftslegemer på partier der ledningen har lange svev.

Klammer som anvendes på rørene i forbindelse med oppdriftslegemer kan være i varmforsinket utførelse. Alternativt kan klammerne og boltene lages i PE. Virer og metalliske innfestinger må være i syrefast utførelse.

6.7. Sikring av ledning på bunn

I noen tilfeller kan en undervannsledning bli liggende på en ujevn fjelloverflate etter at den er senket på plass i ledningstraseen. Hvis det samme punktet blir utsatt for bevegelse som følge av bølger eller strøm, kan det over tid bli en slitasje i rørveggen. PE100 RC er et meget slitesterkt materiale i denne sammenheng. I tillegg kan det anvendes en utvendig PP kappe til beskyttelse, dersom man frykter at et slikt tema kan være aktuelt i et gitt prosjekt.

Skulle man havne i en situasjon med usikkerhet knyttet til slitasje i et eller flere gitte punkt på ledningen, kan det være en løsning å klamre på et halvt rør av PE100 RC i de aktuelle punktene. I noen tilfeller kan det også benyttes en gummimatte som festes med bolter til fjell under kontaktpunktet.



Figur 6-12: Montering av halv rørdel som beskyttelse mot gnageskader.

7. Drift og driftserfaringer

Lange pumpeledninger vil normalt ikke ha behov for mye ettersyn med unntak av pumpestasjonen som må besøkes og kontrolleres regelmessig, f.eks. én gang pr. uke. Normalt vil lange avløpspumpeledninger være fjernovervåket med hensyn på nivåer i pumpesumpen, trykk i pumpeledningen og pumpet avløpsmengde. Man kan følgelig se den historiske utviklingen over tid for disse parameterne og om uforutsette hendelser har inntruffet.

Erfaringsmessig vil det etter hvert bli begroing innvendig i pumpeledningene, slik at trykktapet og energiforbruket øker. Det vil også kunne bli dannet hydrogensulfid i nedstrøms ledningsnett. Slike hendelser vil medføre behov for tiltak. Uønsket sedimentering og begroing i pumpesumpa fjernes med manuell spyling / rengjøring etter behov.

Vedlikehold og service på pumpene utføres i henhold til pumpeleverandørens anbefaling og etter stasjonens driftsinstruks.

7.1. Tiltak oppstrøms ledningstrekket

En pumpestasjons oppgave er å transportere videre det avløpsvannet som renner inn i stasjonen. Avløpsvann kan inneholde så mangt. I områder med fellessystem vil man kunne få sand og grus inn i avløpsledningene⁴³⁾. Slike materialer sliter på pumpehjulet og øvrig armatur. Det er følgelig viktig at man installerer sandfang og at disse tømmes regelmessig⁴⁴⁾. Det er gunstig om man kan separere eller sanere ledningsanlegg oppstrøms en pumpeledning, for å minske fremmedvannsmengdene.

Norske forbruksvaner og kosthold har gradvis endret seg gjennom årene. Større mengder fett finner veien til pumpene i forhold til tidligere tider. Dette vil normalt ikke være noe problem for pumpene, men fett blir flytende i pumpesumpa uten å komme videre i pumpeledningen. Her må fett fjernes regelmessig. Det bør derfor påses at gatekjøkken, restauranter og tilsvarende bedrifter har fettutskillere og at disse tømmes regelmessig⁴⁵⁾. Det er ikke tilstrekkelig å ha de installert, det må føres en form for kontroll av slike installasjoner⁴⁶⁾.

Fra mindre bedrifter og bensinstasjoner med oljeutskillere⁴⁷⁾ kan det komme olje dersom utskillerne er underdimensjonert eller ikke tømmes for olje regelmessig.

Oppstrøms kummer må kontrolleres for lekkasjer slik at de ikke tar inn fremmedvann⁴⁸⁾. Abonnenter bør generelt informeres om at de ikke kan kaste hva som helst i toalettene. Våtservietter, Q-tips, vaskefiller, tekstiler osv. kan skape utfordringer i ledningsnettet og i pumpestasjonene.

7.2. Trykkprøving av ledning med høybrykk

Utfordringen for en nybygget pumpeledning med høybrykk, er å fylle opp ledningen med vann i startfasen for å gjennomføre trykkprøving, siden man ikke får evakuert luften i høybrykket. Dette kan løses ved at man har en manuell "engangsventil" i høybrykket som lukkes og forsegles etter at luften er evakuert fra høybrykket.

Det vil ikke være praktisk mulig å foreta trykkprøving med vann for en pumpeledning med flere høybrykk og lavbrykk, da man ikke kan evakuere luften under oppfylling av ledningen. Det er ikke aktuelt å etablere luftekummer i høybrykkene av hensyn til lukt og miljøforurensning.

43) Prosjektrapport 50 "Sandfang i avløpsledninger fra gater og veier". NTNF, Mosevoll, G. og Lindholm, O. 1986.

44) Prosjekt-rapport 69 "Hydraulisk dimensjonering av gatesandfang". NTNF, .Lunde, T. 88.

45) Norsk Vann rapport 185 "Fett i avløpsnettet. Kartlegging og tiltaksforslag" 2011

46) Norsk Vann-Rapport 183 "Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri" 2011

47) NORVAR-rapport 156 "Veiledning for oljeutskilleranlegg" 2007

48) VANN nr. 1, "Store fremmedvannsmengder i norske avløpsrenseanlegg". Lindholm, O. og Bjerkholt, J. 2011.

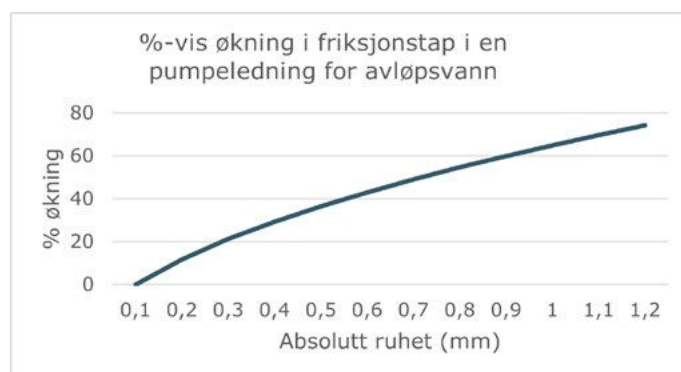
I et ledningsanlegg som er riktig hydraulisk dimensjonert, vil luft i høybrekket bli transportert ut av ledningen under drift på grunn av vannhastigheten som river med seg luftlommen. Luftlommen blir også komprimert til et mindre volum når trykket øker.

7.3. Pluggkjøring

Kapasitet på pumpeoverføringer går ned etter en tid. Kjøring av renseplugg gjennomføres når trykktapet i pumpeledningen overskrider en gitt verdi angitt i driftsinstruksen. Avhengig av anleggets og avløpsvannets karakteristikk kan det være behov for kjøring av renseplugg fra 1 til 4 ganger i året. Her kan man også legge inn grenseverdier/varsling i automatikken ved redusert kapasitet på pumpene. Pumpestasjonen må være tilrettelagt for at dette kan utføres på en enkel måte både med hensyn på lading av pluggen og fanging av pluggen. Det må sørges for en utforming som evakuerer luft fra innsetnings-punktet før pluggen kjøres gjennom, slik at ikke luft tilføres ledningen.

Pluggkjøring må foretas på en måte som medfører at minst mulig avløpsvann går i nødoverløp. Det må også sørges for at man har tilstrekkelig med vann for å kunne gjennomføre en kontinuerlig kjøring av rensepluggen hele veien gjennom pumpeledningen. Her kan eksternt tilført vann måtte benyttes, f.eks. tilført med tankbil.

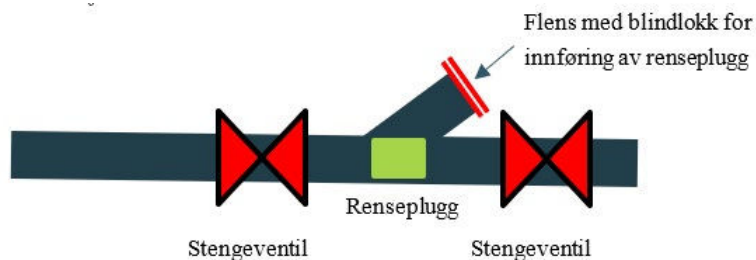
Dersom den innvendige biofilmen fjernes i pumpeledningen, vil man kunne redusere dannelse av hydrogensulfid, for en tid. Avhengig av anleggets oppbygning og avløpsvannets karakteristikk kan det hende at tilsetning av Nutriox må gjøres i tillegg. I dialog med leverandøren av renseplugg er det viktig å velge en plugg med riktig stivhet og dimensjon i forhold til de spesifikke forutsetningene i prosjektet. En huskeregel er at sveisevulster i skjøtene på PE-ledninger vil redusere tverrsnittet på røret. En pumpeledning for avløp vil være gjenstand for innvendig begroing over tid. Denne begroingen vil øke friksjonstapet i ledningen og således medføre større energiforbruk til pumping. Figur 7-1 viser et eksempel på en normal utvikling av friksjonstapet.



Figur 7-1: Eksempel på økning i friksjonstap som følge av innvendig begroing i en pumpeledning for avløpsvann.

For å motvirke disse negative effektene, vil det være en god praksis å kjøre renseplugg i anlegg der det er praktisk mulig⁴⁹⁾. Kjøring av renseplugg krever en ladestasjon for pluggen i pumpestasjonen eller på røret utenfor pumpestasjonen, samt et arrangement for å fange pluggen i trykkutløsningskummen. Det er viktig at arrangementet er tilpasset lengden til rensepluggen. Prinsippet for en ladestasjon er vist i Figur 7-2.

49) NORVAR rapport nr. 62, "Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring" 1995

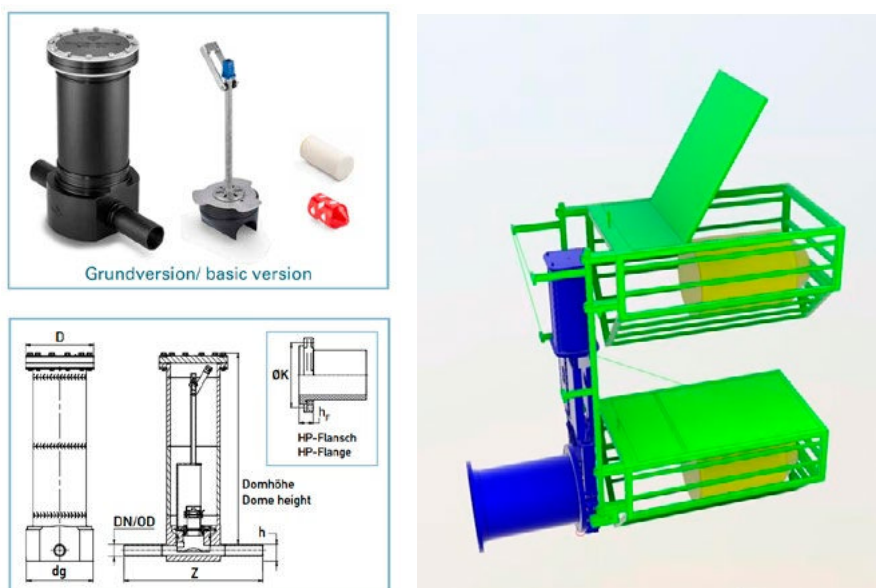


Figur 7-2: Prinsippløsning for ladestasjon for innføring av renseplugg.

For å kunne føre inn rensepluggen, må man stenge begge stengeventilene for å gjøre ladestasjonen trykløs. Deretter fjerner man blindlokket på flensen, suger ut avløpsvannet med en egnet pumpe og fører inn rensepluggen i riktig posisjon i hovedrøret. Blindlokket monteres tilbake på flensekoblingen. Rørstrekket bør fylles med vann, for å hindre at luft dyttes ut på ledningen. Deretter åpnes begge stengeventilene. Når pumpen starter, vil pluggen drives gjennom ledningsnett. Det er viktig at man under spylingen har tilgang på nok vann til å kjøre rensepluggen kontinuerlig frem til trykkutløsningkummen. Vann kan f.eks. skaffes til veie med tankbiler, fra vannledningsnett (husk krav om tilbakeslagssikring) eller ved oppsamling av regnvann i buffertanker. Det er også mulig å skaffe vann fra nærliggende elver, bekker og sjøer.

Det anbefales å benytte myke renseplugg for å unngå at de setter seg fast i sveisevulster og innsnevringer. Myke plugg vil følge vannstrømmen gjennom 90° bend, T- rør o.l. Plugg av myk skumgummi vil også passere ganske store innsnevringer, opptil 75 % av nominell rørdiameter. I spalten eller mellomrommet som oppstår mellom pluggen og rørveggen vil vannhastigheten øke. Vannet strømmer raskt (raskere enn pluggen) og «vasker» rørveggen. Ved myke renseplugg er det vannet som skal rengjøre ledningen og ikke selve rensepluggen. Det løsrevne materialet vil følge pluggen og vannet til utspylingspunktet.

I trykkutløsningkummen må man ha en anordning (f.eks. nettingkasse) som fanger pluggen, slik at den ikke driver videre med vannstrømmen i gravitasjonsledningen. Det finnes også prefabrickerte ladestasjoner og mottaksstasjoner som kan settes direkte inn på pumpeledningen, f.eks. løsningen fra det tyske firmaet Reinert-Ritz eller tilsvarende, som vist i Figur 7-3.



Figur 7-3: Quick-Pig prefabrickert ladestasjon og mottaksstasjon for renseplugg fra Reinert-Ritz eller tilsvarende, samt prosjektert forslag til kurv for pluggmottak og løfteanordning.

7.4. Driftsovervåking og beredskap

Driftskontrollanlegget formidler fjernstyring og lokalstyring, samt overvåking av bassenger, pumpestasjoner og ledningsnett⁵⁰⁾. På denne måten gir driftskontrollanlegget blant annet grunnlag for:

- Driftoptimalisering – nattsinking av trykk
- Vedlikehold – overvåking av pumpe virkningsgrad
- Funksjonsstatus – overløpsdrift
- Styring – simulering av konsekvenser ved ulike styringsalternativer
- Statistikk og historikk – analyse av årsak til driftsstans eller tilsvarende

Pumpestasjoner skal fjernovervåkes kontinuerlig. Det skal være alarmverdier for kritiske parametere som varmeutvikling, virkningsgradsfall og nødoverløp. Alle hendelser skal loggføres, og det bør settes opp et system som videregirer viktige avvik til vakthavende driftsoperatør for å sikre rask respons. Slik loggføring kan også benyttes for å sjekke om det er inn/utlekking i resipient. Nye pumpestasjoner bør være tilrettelagt for å måle mengde avløpsvann i overløp.

Stasjoner av stor viktighet kan utstyres med permanent strømaggregat som starter automatisk ved spenningsfall eller strømbrudd. Mindre stasjoner bør klargjøres for mobile nødstrømsaggregat. Tilkoblingen bør være på utvendig vegg med tilfredsstillende tilgang til biloppstillingsplass. I tilfelle strømbrudd, må kommunen sørge for tilstrekkelig kapasitet på nødaggregatet. Strategi for bruk av mobile nødstrømsaggregat kan beskrives i en beredskapsplan eller i en overordnet risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse)⁵¹⁾.

Det må utarbeides en beredskapsplan for avløpspumpestasjoner. Den skal beskrive alle uønskede hendelser og hvordan de skal løses både med hensyn på ressurser og personell.

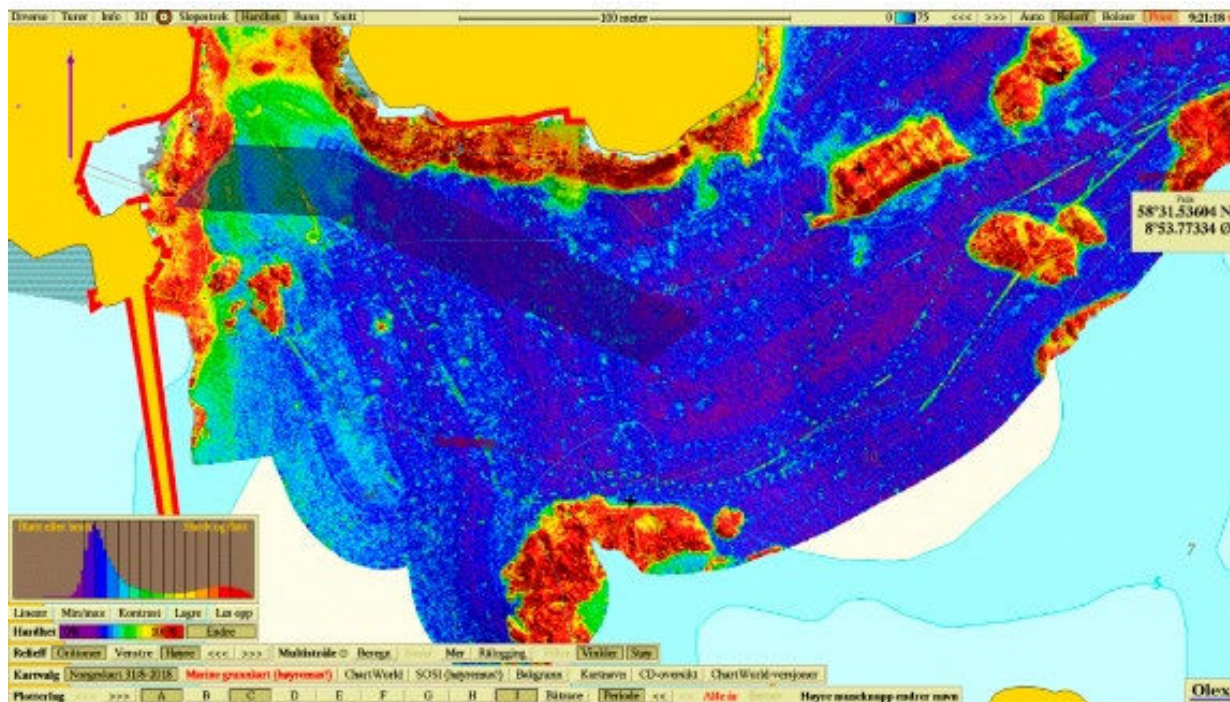
7.5. Drift av pumpeledning

Traseen for pumpeledningen på land bør befares en gang pr. år for å se om det har vært aktivitet i traseen, noe som kan være ugunstig for ledningens levetid. På landleddninger registreres tegn på lekkasjer manuelt (lukt eller vannutslag). For undervannsledninger kan det være aktuelt å benytte ROV, dykker eller multistråle ekkolodd, alternativt en kombinasjon av disse for å kartlegge ledningene. Dersom ledninger har forflyttet seg på sjøbunn, bør kartgrunnlag oppdateres. Dersom forflytningen er betydelig, bør det sjekkes om ledningen nå er utsatt for stress i form av strekk-krefter eller gnaging. Det bør også sjekkes at senteravstand mellom betongloddene er jevn, og slik den er prosjektert. Eventuelle loddras som oppdages, må utbedres.

Inspeksjon av undervannsledninger bør ut fra erfaring utføres regelmessig med intervaller i området 2 til 5 år avhengig av anleggets beliggenhet og miljøkreftenes påvirkning.

50) Norsk vann rapport 017 Driftskontrollanlegg for VA-transportsystem 1992

51) Risiko og sårbarhetsanalyse – oversiktsnotat - Sintef 2016 (Camilla Amundsen, Jon Røstum)



Figur 7-4: Eksempel på kartlegging: Se lokasjon av Ø160 og Ø110 ledning på sjøbunnen i grønt⁵²⁾.

7.6. Hydrogensulfid – H₂S

I alle pumpeledninger med lang oppholdstid over 4 timer (i noen ugunstige tilfeller ned mot 2 timer) kan det oppstå dannelse av hydrogensulfid. En vanlig misforståelse med tanke på denne problematikken er at det kan motvirkes ved å la pumpene pumpe inn mindre mengder jevnlig, men dersom man ikke får byttet ut volumet i pumpestrengen har dette ingen effekt. Det er total oppholdstid i ledningen som gir problematikken, gjerne som følge av overdimensjonering for 100 års levetid. Det vil være mer effektivt å tilføre en hjelpevannmengde fra ekstern kilde.

Hydrogensulfid vil kunne dannes ved bakteriell nedbrytning av organisk materiale under anaerobe forhold, i pumpeledninger. Gassen kan skape luktutfordring i trykkutløsningskummen i nedstrøms ende. Hydrogensulfid har ingen negativ effekt på selve plastrøret.

Utfordringen oppstår når H₂S-gassen slippes fri i trykkutløsningskummen og eventuelt videre i nedstrøms selvfallsledninger. Her kan gassen utgjøre en HMS-risiko, samt forårsake korrosjon på betong og metalliske materialer.

H₂S-gass er tyngre enn luft og kan fortrenge oksygenet i trykkutløsningskummen. H₂S er en giftig gass og har en fremtredende lukt, både ved toksiske og ikke-toksiske konsentrasjoner, men den kan også framstå som luktfri ved svært høye konsentrasjoner. Risikoen for helsefarlige gasskonsentrasjoner er størst i og ved trykkutløsningskummen, men lukten kan være meget sjenerende i et relativt stort område, avhengig av værforholdene.

Det finnes flere tiltak både for å hindre dannelse av H₂S og for å rense luften som inneholder gasskomponenten når den er blitt dannet. Luktreduksjonsanlegg fra sump skal være på plass.

52) <https://www.agder-dykk.no/scanningsbat/>

Strategien bør først og fremst være å hindre at gassen dannes, men samtidig ta høyde for at man må ha lukt-reducerende tiltak nedstrøms pumpeledningen. Følgende tiltak kan være aktuelle for å hindre dannelse av H₂S i pumpeledningen:

- Tilsetting av nitrat (Nutriox)
- Kjøring av renseplugg
- Dosering av jernsalter
- Spyling av ledninger
- Tilsetting av oksygen / lufting av avløpsvannet i pumpestasjonen

Dersom H₂S-gassen drives fram til trykkutløsningskummen, kan gassen renses. Aktuelle prosesser i denne sammenheng er:

- Kullfilter og UV
- Tilsetting av ozon

For å kunne rense luften, trengs et meget godt fungerende ventilasjonsanlegg som skaper overtrykk i stasjonen og et luktreduksjonsanlegg som renser luften før den slippes ut av stasjonen. Det kan også være aktuelt å flytte utslippspunktet for den rensede luften ved å legge en ventilasjonsledning til et mer gunstig utslippssted sett i forhold til nærliggende bebyggelse.

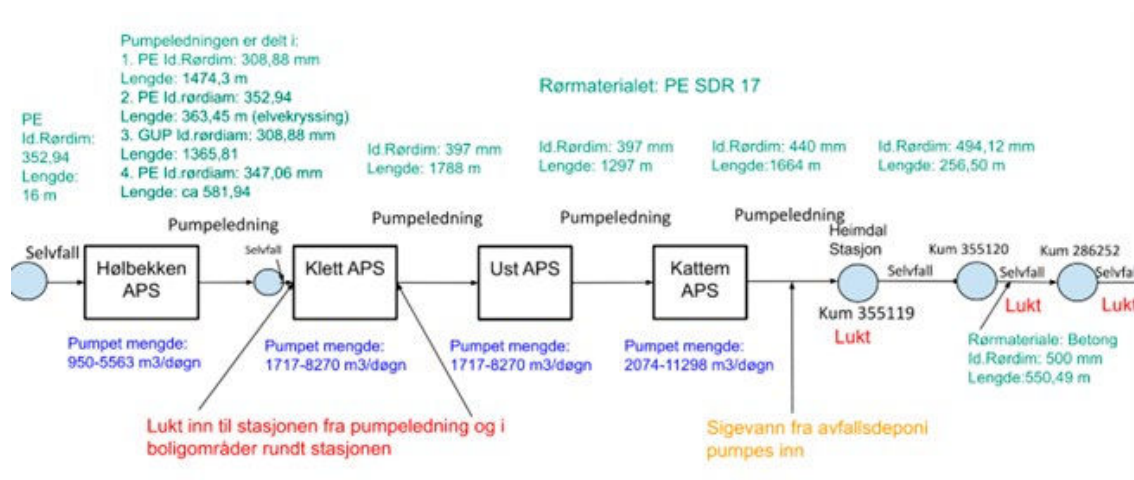
Hvis lukt som følge av dannelse av H₂S er et problem, kan kjemikalier anvendes, for eksempel Nutriox. Dette middelet inneholder nitrat (NO₃) som hindrer dannelse av hydrogensulfid i ledninger og pumpestasjoner. Bakteriene i ledningen kan anvende det kjemisk bundne oksygenet (O₃) i nitraten i sin metabolisme i stedet for fritt oksygen fra vannfasen.

Stoffet er langtidsvirkende etter at det er tilsatt. Ulempen ved å tilsette Nutriox er at dersom det tilsettes for mye av stoffet, vil stoffet koagulere og legge seg i ledninger og pumpesummer. Riktig dosering er essensielt, slik at restmengden i endepunktet av pumpeledningen vil være tilnærmet lik 0. Restmengden sjekkes ved bruk av nitratstrips, eller sanntidsmålere. Doseringsmengde avhenger blant annet av årstider, avløpsmengde, stasjonens dimensjon og pumpeens kapasitet. Her må man prøve seg frem. Kapittel 7.7 beskriver et prosjekt med Nutriox tilsetting.

7.7. Tiltak mot luktproblematikk

Trondheim kommune har, sammen med Melhus kommune, et ledningsanlegg som inkluderer flere pumpestasjoner før utløp til selvfallssystemet. Ved oppstart av prosjekteringen ble oppholdstid og luktproblematikk tidlig belyst. Det ble lagt inn tiltak på anlegget for å redusere luktproblematikk, som basseng med lufting etter det lengste rørstrekket. Tiltaket ble i ettertid stoppet, da det førte til store luktproblemer ved stasjonen.

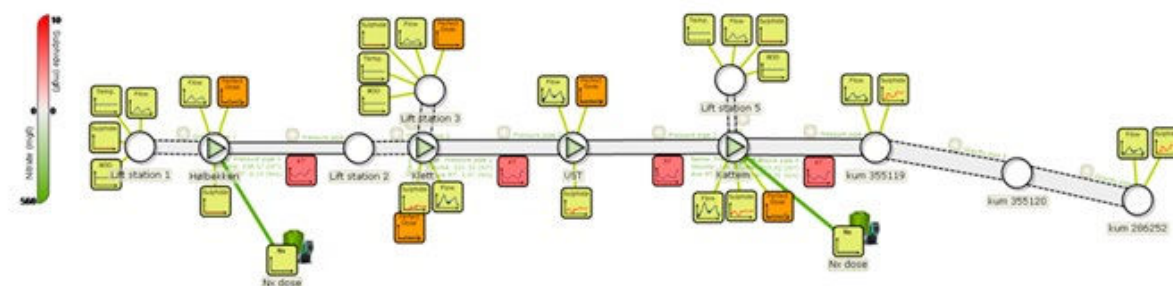
Avløpsvannet i anlegget har en litt annen karakteristikk enn det som normalt finnes ved en avløpstasjon. Ved start Hølbekken kommer avløpsvannet hovedsakelig fra husholdninger, men inkluderer også rejeckt vann fra septikmottak fra Melhus. Ca. 900 000 m³ avløpsvann per år renner inn i Hølbekken APS og ca. 0,3 % av dette er rejeckt vann fra septik. I tillegg er det sigevann fra et eldre avfallsdeponi som pumpes inn på ledningen før første kum. Her er det problemer med lukt. Anlegget er vist skjematisk i Figur 7-5.



Figur 7-5: Oversikt over anlegget⁵³⁾.

Det ble i 2019 satt i gang et prosjekt for å redusere luktproblematikken ved pumpestasjonen på Klett og ved flere av kummene på selvfallsstrekket. Leverandør av kjemikalier (Yara) ble engasjert for å kartlegge behovet for kjemikalier på anlegget. Arbeidet er beskrevet i rapport for H₂S simulering Hølbekken fra 01.11.2019. Tilbakemeldingen var at anlegget hadde lang pumpeledning med gjennomsnittlig oppholdstid på ca. 15 timer totalt. Det ble derfor dannet en større mengde H₂S. Det ble vurdert at man kan forvente konsentrasjoner på ca. 70 ppm i luften ved de mest utsatte plassene.

På selvfallsledningen ble Nutriox funnet å være godt egnet til å forhindre H₂S. Anbefalt doseringsmengde av Nutriox er avhengig av mange faktorer. Det ble anslått at doseringen vil være oppe i 220 liter i døgnet på det meste og ned mot null når det er kaldt, mye nedbør eller ved snøsmelting. Totalforbruket for anlegget etter ett år vil ligge på ca. 30 tonn. Figur 7-6 viser oppbygging av pumpestasjoner, målepunkt og tilsetningspunkt for Nutriox. Anbefalingen ble å dosere på to punkter, Hølbekken og Kattem. Det ble først iverksatt dosering på Hølbekken for deretter å utvide til Kattem etter hvert.



Figur 7-6: Oppbygging av pumpestasjoner, målepunkt og tilsetningspunkt for Nutriox⁵⁴⁾.

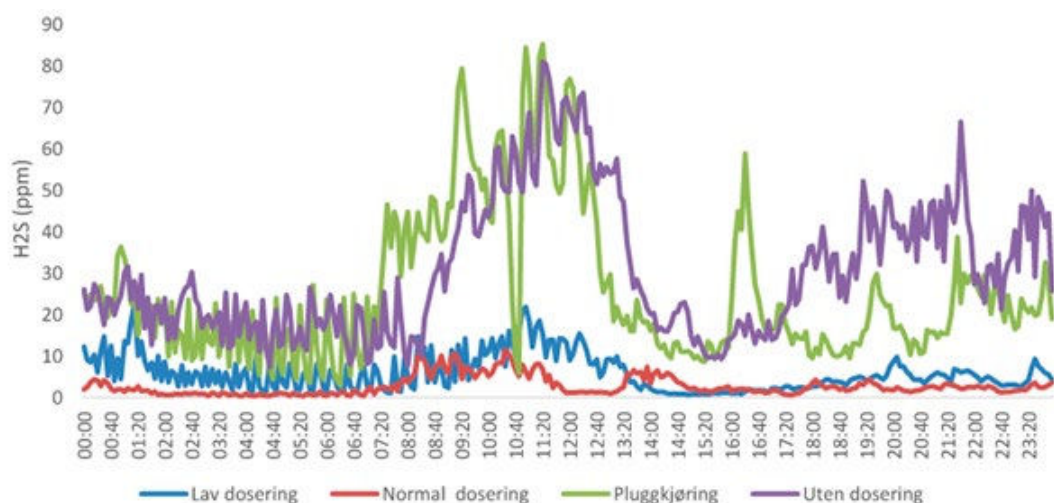
Videre ble det anbefalt at lukt på pumpestasjoner fjernes lokalt med luktfjerningsanlegg, helst i kombinasjon med kull og UV. H₂S fører derimot til raskere metning av kullet. UV vil bryte ned noe av H₂S-gassen og dermed redusere belastningen på kullet. UV genererer også ozon som vil regenerere kullet og forlenge levetiden ytterligere.

53) Rapport H₂S simulering Hølbekken, 01.11.2019. Trondheim Kommune

54) Rapport H₂S simulering Hølbekken, 01.11.2019. Trondheim Kommune

Figur 7-7 og Tabell 7-1 viser H₂S-nivå gjennom et døgn under ulike doseringer av Nutriox, samt pluggkjøring. Lav dosering reduserte H₂S-nivået, men ikke tilstrekkelig, da det fortsatt var luktproblemtikk. Pluggkjøring ga ikke ønsket effekt. Det var lagt opp til jevnlig pluggkjøring for å unngå H₂S dannelse, men denne rutinen ble gått bort fra etter at de startet med kjemikalietilsetning.

Trondheim kommune har fortsatt med tilsetning av Nutriox. Dette tiltaket, sammen med lutfjerningsanlegg på pumpestasjoner, har fungert godt med tanke på luktproblematikk. Ved stopp i dosering av Nutriox har kommunen mottatt luktklager.



Figur 7-7 Viser H₂S-nivå gjennom et døgn, under ulike doseringer av Nutriox og pluggkjøring⁵⁶.

Tabell 7-1: Viser effekt av Nutriox dosering og pluggkjøring under forskjellige forhold, med dosering, dobling av dosering og uten dosering, men med pluggkjøring⁵⁵.

Dato	Nutriox (liter)	Avløp (m3)	Nutriox/avløp (mL/m3)	Gjennomsnittlig H2S (ppm)	Maks H2S (ppm)
15.08.20	85	2028	42	5,4	20
16.08.20	86	2043	42	5,9	22,5
17.08.20	161	2334	69	3,2	12,8
18.08.20	183	2322	78	2,8	11,5
21.08.20*	0	2300	0	25,6	85,2
22.08.20	0	2244	0	30,7	80,9

* Pluggkjøring

55) Rapport H₂S simulering Hølbekken, 01.11.2019. Trondheim Kommune

8. Videre arbeid

Problematikk knyttet til lang oppholdstid i ledninger og utfordringer med dannelse av H_2S er lite dokumentert.

Det anbefales at mulige tiltak mot H_2S og effekten av disse undersøkes og dokumenteres. Kost/nytte, bærekraft og drift vil være viktige vurderingskriterier. Reduksjon i mengden fremmedvann i avløpssystemet, kombinert med økt belastning, vil øke risikoen for dannelse av H_2S i ledninger.

Anlegg med mulighet for Nutriox-tilsetning bør gjennomføre pilotforsøk, slik at man får bedre kunnskap om effekten av kjemikaliyet. HIAS og Ullensaker kommune har lange pumpeledninger med slik mulighet. Andre forhold som bør belyses er bruk av tilført vann ved pluggkjøring, rensing av luft (kullfilter/UV/lufterør) med mer.

TIDLIGERE UTGITTE RAPPORTER

2022	274	Korrosjonsbeskyttelse - erfaring og ny kunnskap
	273	Veileder i samfunnsøkonomiske analyser for vannbransjen
	272	Åpen fordrøyning - Veileder
	271	Åpen fordrøyning - Etablering av anlegg for permanente og midlertidige vannspeil med dybde over 20 cm
	C15	Digitalisering av VA-sektoren i Norge - status, utfordringer og behov
	270	Helsemessig sikker drift av vannledningsnett
	269	Risikovurdering av bergsprengte drikkevannsmagasin
2021	268	PFAS i råvann og drikkevann fra Norge
	267	Veiledning for utarbeidelse av kommunale forskrifter på avløpsområdet
	266	Vannbransjens erfaringer med kommune-sammenslåinger
	265	MEMiNOR: Membranfiltrering for fjerning av Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
	264	Alternativ til akkreditert prøvetaking
	263	Trykkoptimalisering på vannledningsnett - beste praksis
	262	Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning
2020	261	Omfyllingsmasser
	260	Innovative anskaffelser i vannbransjen
	259	Kommunalt finansieringsbehov i vannbransjen 2021 - 2040
	258	Rekutteringsbehov i vannbransjen - status og prognoser 2020 - 2050
	257	Etablering og drift av mindre avløpsanlegg
	256	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	255	Bærekraftig fremmedvannsandel - Modell for vurdering av riktig nivå
2019	254	Forvaltning av nedbørsfelt for overflatevannkilder
	B26	Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpasning
	B25	Forprosjekt - Digital Vannstatistikk
	253	Mikroplast i avløpsvann, avløpsslam og jord
	252	Kummer - Klassifisering og tilstandsvurdering
	B24	Primærrens - Status og renses effekter 10 år etter
	C14	Bærekraftig fornyelse av ledningsnett
2018	251	Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen
	250	Kommunens roller, rettigheter og fremgangsmåter i private utbyggingsområder
	249	Veiledning i nedvannsforsyning
	B23	Evalueringsprosjekt - Norsk Vanns prosjektsystem
	248	Organic Pollutants in Norwegian Wastewater Sludge
	247	Beste praksis for HMS-arbeid i vannbransjen
	246	Regulering og organisering av vann- og avløpssektoren i utvalgte europeiske land
2017	245	Veiledning for tilstandsvurdering av infiltrasjonssystemer
	244	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsplan for drikkevann
	243	Verdiforvaltning av vann- og avløpsinfrastruktur
	242	Praktiske råd ved valg av ledningsmateriale
	241	Mapping microplastic in Norwegian drinking water
	240	UV-desinfeksjon av drikkevann
	B22	Vann og avløp i arealplanlegging og byggesaker
2016	239	Beregning av bærekraftig lekkasjenivå
	238	Informasjonssikkerhet og skybaserte tjenester
	237	Dataflyt for GIS-informasjon i VA-prosjekter
	236	Akseptkriterier - Vurdering av nye og nyrenoverte avløpsledninger ved rørispeksjon
	235	Dataflyt
	234	Rørispeksjon av hovedledninger for vann og avløp
	233	Veiledning for bruk av betongrør og kummer
2015	232	Plastrør for vannforsyning og avløp: Hvordan skal vi oppnå minst 100 års levetid?
	231	NOMiNOR: Natural Organic Matter in drinking waters within the Nordic Region
	230	NOMiNOR: Naturlig Organisk Materiale i Nordiske drikkevann
	229	Sikring av vannforsyning mot tilsiktede uønskede hendelser
	228	Tilførsel av industrielt avløpsvann
	227	Beregning av forurensningsutslipp fra avløpsanlegg
	226	Tømming av slam
2014	225	Trykkavløp i spredtbygde og urbane strøk
	224	Eierskap til stikkledninger
	223	Finansieringsbehov i vannbransjen 2016-2040
	222	Dokumentasjon av utslipp fra avløpsnett
	221	Smart ledningsfornylse - bruk av NoDig-metoder
	B21	Utvikling av studietilbud i bachelor i vann- og miljøteknikk
	B20	Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk
2013	220	Kritiske ledninger for vann og avløp - klassifisering og tiltaks vurdering
	219	Eksempler på implementering av bærekraft i vannbransjen
	218	Vann til brannslukking og sprinkleranlegg
	217	Videreutvikling av beregningsmetodikk for gjenanskaffelsesverdi og investeringsbehov
	216	Tilbakestrømssikring - veiledning til vannverkseiere
	215	Forslag til ny sektorlov for vanntjenester
	214	Sikkerhetsstyring for vannbransjen
2012	213	Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg
	212	Erfaringer med ozon-biofiltrering for behandling av drikkevann
	211	Veiledning for praktisering av selvkost
	210	Veiledning i mikrobiell barriere analyse
	209	Sikring av kvalitet på ledningsanlegg
	208	Stikkledninger - ansvar og teknisk utforming
	207	Biostabilitet i drikkevannsnett
2011	206	Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene
	205	Åpne flomveier i bebygde områder
	204	Fra driftsassistanter til regionale vannassistanser
	203	Microbial barrier analysis (MBA) - a guideline
	202	Anskaffelser i vannbransjen
	201	Håndtering av overvann fra urbane veger
	200	Etablering av gode VA-løsninger i spredt bebyggelse
2010	199	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam - Resultater fra undersøkelsen i 2012/13
	198	Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportsystemer
	197	Avløpsanlegg Vurdering av risiko for ytre miljø
	196	Sikkerhet og sårbarhet i driftskontrollsystemer for VA-anlegg
	195	Varmepumper i drikkevannsforsyningssystem
	194	Kranvannets kokebok for kommunikasjon
	193	Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren
2009	192	Energiriktig design og prosjektering av avløpsrenseanlegg
	191	Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem
	190	Veiledning for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken
	189	Rettigheter til uttak av vann til allmenn vannforsyning
	188	Klimatilpasningstiltak innen vann og avløp i kommunale planer
	187	Veiledning for drift av koaguleringsanlegg
	C8	Omdømmeplattform og -strategi
2008	186	Kommunal overtakelse av vannverk organisert som andelslag eller samvirkeforetak
	185	Veiledning i omorganisering av andelsvannverk til samvirkeforetak
	184	Fett i avløpsnett. Kartlegging og tiltaksforslag
	183	Tilsyn med utslipp fra avløpsanlegg innen kommunens myndighetsområde
	182	Veiledning om regulering av VA-tjenester til næringsmiddelindustri
	181	Prøvetaking av avløpsvann og slam
	180	Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng
2007	179	Fjernavlesning av vannmålere
	178	Veiledning i utarbeidelse av kommunale gebyrforskrifter for vann og avløp
	B16	Veiledning for kartlegging av energibruk i VA-sektoren
	B15	Vannforskriktens økonomiske konsekvenser for kommunesektoren og avløpsanleggene
	C7	Forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet
	177	Grunnundersøkelser for infiltrasjon - mindre avløpsanlegg
	176	Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer - problemoversikt og status
2006	175	Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene
	174	Vann og avløp for nye i bransjen - læreplan. E-læring og samlinger
	173	Hygienisering av avløpsslam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting
	B14	Veiledning for bruk av støpejernsrør
	B13	Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren - forprosjekt
	172	Sislam - mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.
	171	Trykktap i avløpsnett
2005	170	Erfaringer med lekkasjekontroll
	169	Veileder til god desinfeksjonspraksis
	168	Optimal desinfeksjonspraksis fase 2
	167	Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
	166	Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier
	165	Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske rensesanlegg
	B12	Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata
2004	164	Drikkevatt i media
	163	Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann
	162	Veiledning for innhentning og evaluering av tilbud på analyseoppdrag
	161	Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering
	160	Helsemessig sikkert vannledningsnett
	159	Driftserfaringer med membranfiltrering
	158	Håndbok i kildeopsporing i avløpssystemet
2003	157	Termoplastrør i Norge - før og nå
	156	Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid - praksis og kjøreregler
	155	Vannkilden som hygienisk barriere
	154	Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
	153	I veien for hverandre - Samordning av rør og kabler i veigrunnen
	152	Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
	151	Veiledning for oljeutskilleranlegg
2002	150	Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
	149	Norm for tagkoding i VA-anlegg
	148	Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
	147	Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
	146	Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
	145	Dataflyt - Klassifisering av avløpsledninger
	144	Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
2001	143	Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
	142	Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
	141	Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
	140	Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
	139	Bærekraftig vedlikehold. Betraktninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
	138	Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
	137	Utslipp fra bilvaskehaller



Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norsk vann.no
www.norsk vann.no