



BACHELOROPPGAVE

Forslag til veiledning for reovering av drikkevannsledninger ved bruk av fullstrukturell strømpeforing

Guidance proposal for renovation of potable water mains using structural pipe lining

Andreas Tunes Huse (Kandidatnummer: 246)

Sebastian Karlsen (Kandidatnummer: 254)

BYG350 Bacheloroppgave i ingeniørfag, Bygg

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap (FIN)

Bjørn Solnes Skaar

22. mai 2023

Antall ord: 13687

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Innholdsfortegnelse

FORORD	1
SAMMENDRAG.....	2
ABSTRACT	3
TABELLER	4
FIGURER	5
DEFINISJONER	7
1. INNLEDNING.....	9
1.1. BAKGRUNN	9
1.2. PROBLEMSTILLING.....	11
1.3. NYTTEVERDI	12
1.4. OPPGAVENS OPPBYGGING	13
1.5. OPPGAVENS AVGRENSNINGER	13
2. METODE.....	14
2.1. INFORMASJONSINNHEMTING	14
2.1.1. BEFARINGER OG OBSERVASJONER	14
2.1.2. DATAINNSAMLING	15
2.1.3. LITTERATURINNSAMLING	15
2.2. PÅLITELIGHET.....	15
3. TEORI	16
3.1. VANNLEDNINGSNETTET	16
3.1.1. RØRMATERIALER PÅ VANNLEDNINGSNETTET	17
3.1.1.1. Ledninger av støpejern	18

3.1.1.2.	Ledninger av polyetylen.....	20
3.1.1.3.	Ledninger av polyvinylklorid – trykkrør	21
3.1.1.4.	Ledninger av asbestsement	21
3.1.2.	MEKANISKE EGENSKAPER FOR VANNLEDNINGER.....	23
3.1.3.	NEDBRYTNING AV VANNLEDNINGER.....	25
3.1.3.1.	Korrosjon på metalliske rør.....	26
3.1.3.2.	Armeringskorrosjon	27
3.1.3.3.	Mekaniske prosesser	27
3.1.4.	BRUDD PÅ VANNLEDNINGER.....	29
3.1.5.	LEKKASJER OG FORNYELSESTAKT	30
3.1.6.	LEVETID FOR VANNLEDNINGER	32
3.1.7.	KRAV TIL DRIKKEVANNSKVALITET	32
3.2.	GRØFTEFRI REHABILITERINGSMETODER FOR VANNLEDNINGER.....	34
3.2.1.	STRUKTURELLE METODER.....	35
3.2.2.	SEMI-STRUKTURELLE METODER.....	38
3.2.3.	IKKE-STRUKTURELLE METODER	40
3.3.	IBG HYDROTECH IBB16® FULLSTRUKTURELL STRØMPEFORING	41
3.3.1.	GENERELLE TEKNISKE DATA	42
3.3.2.	PROSESSTRINN FOR INSTALLASJON AV STRØMPEFORINGEN.....	43
3.3.2.1.	Rengjøring og fjerning av inntrengende objekter.....	43
3.3.2.2.	Rengjøring og desinfisering av utstyr.....	43
3.3.2.3.	Installasjon og herding av glassfiberstrømpe og filtbelegg.....	44
3.3.2.4.	Sluttkontroll	44
3.4.	UTFORDRINGER KNYTTET TIL RENOVERING MED FULLSTRUKTURELL STRØMPE	45
3.4.1.	VANNBEHOV	45
3.4.2.	SKOLINGER.....	47
3.4.3.	ANBORINGER.....	49
3.4.4.	GRUNNFORHOLD.....	50
3.4.5.	BEND	50
3.4.6.	ENDEFORSEGLING.....	51
3.4.7.	MIDLERTIDIG VANNFORSYNING.....	51
3.5.	TILSTANDSKARTLEGGING	52
3.6.	OPPSUMMERING	52
4.	RESULTATER.....	53

4.1.	HVILKE UTFORDRINGER SKAPER TERRENGET RUNDT RENOVERINGSOBJEKTET?	54
4.2.	HVILKE UTFORDRINGER KNYTTET TIL BEND VIL GI PROBLEMER MED FULLSTRUKTURELL STRØMPE?	56
4.3.	FINNES DET EN GUNSTIG LØSNING FOR ANBORINGER VED FULLSTRUKTURELL STRØMPERENOVERING?	57
4.4.	HVILKEN RØRMATERIALER ER UTSATT MEST FOR BRUDD, OG HVORDAN PÅVIRKER DET STRØMPEFORINGEN?	58
4.5.	I HVILKE TILFELLER VIL DET VÆRE NYTTIG MED PROVISORISK VANNFORSYNING VED BRUK AV STRØMPEFORINGEN?	65
4.6.	HVORDAN PÅVIRKER STRØMPEFORINGEN VANNMENGDE OG STRØMNINGSKRAFT?	65
4.7.	ER STRØMPEFORINGEN EGNET I FORHOLD TIL FORSKRIFT OM DRIKKEVANNSKVALITET?	75
4.8.	OPPSUMMERING RESULTAT	76
5.	<u>DISKUSJON</u>	<u>78</u>
5.1.	DRØFTING AV RESULTAT	78
5.2.	USIKKERHETER OG FEILKILDER	82
6.	<u>KONKLUSJON</u>	<u>83</u>
7.	<u>VIDERE ARBEID</u>	<u>84</u>
8.	<u>REFERANSELISTE</u>	<u>85</u>

Forord

Denne oppgaven markerer vår avsluttende bachelorgrad ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen. Grupesamarbeidet ble til første skoledag høsten 2020, da vi ble plassert i samme kollokviegruppe. Det viste seg at vi delte samme interessene for vannteknikk, og gjennom tre år har vi fordypet oss innenfor retningen miljø, plan og infrastruktur. Oppgaven utgir totalt 20 studiepoeng og er skrevet vårsemesteret 2023.

Vi ble etter en forelesning fra SSTT i faget *Vannteknikk* høsten 2022 svært engasjert i grøftefri rehabilitering av vannledninger. Det ble derfor bestemt ganske tidlig at vi skulle skrive en oppgave som omhandlet dette. Etter forslag fra veileder tok vi i høst 2022 kontakt med Trym Trovik hos Bergen Vann, og fikk tildelt oppgave innenfor dette feltet.

Vi vil med denne anledningen uttrykke vår takknemlighet, og takke alle som har bidratt til fullføringen av denne bacheloroppgaven.

Først og fremst ønsker vi å rette en stor takk til vår veileder, Bjørn Solnes Skaar, for gode råd, innspill og veiledning gjennom hele prosessen. Hans ekspertise og engasjement har vært avgjørende for å forme og forbedre oppgaven. Vi ønsker også å rette en stor takk til Trym Trovik ved Bergen Vann for en spennende og krevende oppgave, gode innspill, nødvendig data, kontorplass og ikke minst satt oss i kontakt med andre aktører. Videre ønsker vi å takke Tor Heggernes fra Pipeliner, for gode samtaler og informasjon om reoveringsproduktet. Sist men ikke minst ønsker vi å takke alle andre aktører som har kommet med nyttig informasjon.

Takk for samarbeidet!

Bergen, Mai 2023.

X Andreas T. Huse

Andreas T. Huse

X Sebastian.X

Sebastian Karlsen

Sammendrag

Fersk data og litteratur viser et Norsk vannledningsnett i forfall. Vannledningsnettets er sterkt preget av store lekkasjemengder, dårlig vedlikehold og en synkende fornyelsestakt. Det er dermed et sterkt behov for å få en kortere anleggstid, øke fornyelsestakten og reparere lekkasjer hyppigere. Ved hjelp av grøftefrie renoveringsmetoder kan dette oppnås. Formålet med denne oppgaven er å undersøke i hvilke tilfeller bruk av grøftefri fullstrukturell strømpeforing burde anvendes, og komme med en anbefaling til beslutningstakere i kommuner rundt om i landet.

Oppgaven baserer seg på eksisterende teorier som er hentet fra relevante rapporter, artikler, produkttesting og statistikk. For å samle inn nødvendig kunnskap, ble det benyttet flere forskjellige metoder, inkludert litteraturstudier, empiriske beregninger og befaringer. Litteraturstudiet var avgjørende for å samle inn relevant teori og data som støtter oppgavens tema. Gjennom grundig gjennomgang av eksisterende forskning og faglitteratur, kunne en solid teoretisk ramme dannes. Resultat fra forskning viser at den fullstrukturelle strømpeforingen er velegnet i flere tilfeller som er undersøkt, men individuelle vurderinger må gjennomføres i hvert enkelt prosjekt. Ved bruk av grøftefrie renoveringsmetoder vil anleggstid og kostnader reduseres, fornyelsestakten vil øke, som igjen vil skape en nedgang i andel lekkasjer.

Abstract

Current data and literature indicate a deteriorating Norwegian water pipeline network. It is heavily affected by significant leakage, poor maintenance, and declining renewal rates. Therefore, there is a strong need to shorten construction time, increase the rate of renewal, and repair leaks more frequently. This can be achieved through use of trenchless rehabilitation methods. The purpose of this study is to investigate the cases in which the use of trenchless full structural lining should be applied and provide a recommendation to decision-makers in municipalities.

The study is based on existing theories sourced from relevant reports, articles, product testing, and statistics. Several different methods were employed to gather the necessary knowledge, including literature reviews, empirical calculations, and construction site inspections. The literature review was crucial in collecting relevant theory and data that support the topic of the study. Through a thorough examination of existing research and scholarly literature, a solid theoretical framework was established.

Research findings indicate that full structural lining is suitable in several of the investigated cases, but individual assessments must be conducted for each specific situation. By employing trenchless rehabilitation methods, construction time and costs can be reduced, the renewal rate can be increased, and leaks can be sealed.

Tabeller

TABELL 1: PARAMETRE FOR INNSETTING I FORMEL 1.	23
TABELL 2: PARAMETRE FOR INNSETTING I FORMEL 2.	24
TABELL 3: NEDBRYTNINGSMEKANISME FOR LEDNINGSMATERIALER (ØDEGAARD & SÆGROV, 2014).	25
TABELL 4: FORKLARING TIL FIGUR 10.	42
TABELL 5: PARAMETRE FOR INNSETTING I FORMEL 3.	45
TABELL 6: PARAMETRE FOR INNSETTING I FORMEL 4.	66
TABELL 7: TEORETISKE OG PRAKTISKE RUHETER FOR ULIKE LEDNINGSMATERIALER (LINDHOLM, ENDRESEN, SMITH, & THOROLFSSON, 2012).	67
TABELL 8: BEREGNET VANNMENGDE OG STRØMNINGSHASTIGHET FOR CASE 1.	68
TABELL 9: BEREGNET VANNMENGDE OG STRØMNINGSHASTIGHET FOR CASE 2.	70
TABELL 10: BEREGNET VANNMENGDE OG STRØMNINGSHASTIGHET FOR CASE 3.	72
TABELL 11: PARAMETRE FOR INNSETTING I FORMEL 6.	73
TABELL 12: PROSENTNEDGANG I VANNMENGDE OG STRØMNINGSHASTIGHET	74
TABELL 13: RESULTATTABELL	77

Figurer

FIGUR 1: FNS BÆREKRAFTSMÅL KNYTTET TIL GRØFTEFRIE METODER (FN-SAMBANDET, 2023A).	12
FIGUR 2: PE-LEDNING MED DIFFUSJONSSPERRE OG BESKYTTELSESLAG AV POLYETYLEN.....	20
FIGUR 3 : REDUKSJONSAKTOR FOR TILLATT SPENNING FOR PLASTRØR (ØDEGAARD & SÆGROV, 2014)	28
FIGUR 4: DIFFERANSE AV LEKKASJEMENGDEN I NORGE OG DANMARK (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023A) (BJØRNO, ET AL., 2022, S. 22)	31
FIGUR 5: ANDEL FORNYET KOMMUNALT LEDNINGSNETT SISTE FEM ÅR (STATISTISK SENTRALBYRÅ, 2023B). ...	31
FIGUR 6: KLASSIFISERING AV GRØFTEFRIE METODER.....	34
FIGUR 7: SYSTEMATISK OVERSIKT OVER STRUKTURELLE METODER.....	35
FIGUR 8: SYSTEMATISK OVERSIKT OVER SEMI-STRUKTURELLE METODER.	38
FIGUR 9: SYSTEMATISK OVERSIKT OVER IKKE-STRUKTURELLE METODER.....	40
FIGUR 10 : TVERRSNITT AV OPPBYGGING FOR IBB16.	42
FIGUR 11 : SNITT AV FERDIG HERDET IBB16.	42
FIGUR 12: SKOLINGER SOM STØTTEFUNDAMENT FOR VANNLEDNINGER (AVDELING FOR SPESIALSAMLINGER, MELLOM 1952-02-01 OG 1952-02-29).	47
FIGUR 13: EKSEMPEL PÅ ET MUFFEBEND (PIPELIFE NORGE AS, 2020A).....	50
FIGUR 14: BRO I TILKNYTNING TIL JERNBANESPORET.....	54
FIGUR 15: RENOVERINGSOBJEKT OG TILKOMST FOR STRØMPERENOVERING I INDRE ARNA.	54
FIGUR 16: TILKOMSTGROP TIL BLOKKING AV 140MM STÅLRØR I BJØRKÅSEN.....	55
FIGUR 17: PROVISORISK VANNFORSYNING I BJØRKÅSEN.	55
FIGUR 18: FOLDER I ET DN1200 RØR MED 22,5 GRADERS BEND (HEGGERNES, 2023).	56
FIGUR 19: PROSENTANDEL AV REGISTRERTE BRUDD I BERGEN AV GRÅTT STØPEJERN.	59
FIGUR 20: PROSENTANDEL AV REGISTRERTE BRUDD I BERGEN AV DUKTILT STØPEJERN.	60
FIGUR 21: PROSENTANDEL AV REGISTRERTE BRUDD I BERGEN AV TERMOPLASTRØR.	61
FIGUR 22: PROSENTANDEL AV REGISTRERTE BRUDD I BERGEN AV ASBESTSEMENTRØR.....	62
FIGUR 23: BEREGNET TEORETISK LEVETID FOR EN ASBESTSEMENTLEDNING.	63
FIGUR 24: MATERIALTYPER REGISTRERT MED FLEST BRUDD I BERGEN.	64
FIGUR 25: DIFFERANSE I VANNMENGDE FOR CASE 1 FØR OG ETTER STRØMPING.	68
FIGUR 26: DIFFERANSE I VANNMENGDE FOR CASE 2 FØR OG ETTER STRØMPING.	70
FIGUR 27: DIFFERANSE I VANNMENGDE FOR CASE 3 FØR OG ETTER STRØMPING.	72
FIGUR 28: FLYTSKJEMA FOR OPPBYGGING AV RESULTATTABELL.	76

FORMEL 1 : E-MODUL FOR ELASTISKE MATERIALER (ØDEGAARD & SÆGROV, 2014)	23
FORMEL 2 : RINGSTIVHET FOR VISKOELASTISKE MATERIALER (ØDEGAARD & SÆGROV, 2014).....	24
FORMEL 3: DIMENSJONERENDE VANNFØRING FOR EN FORSYNINGSLEDNING (ØDEGAARD & SÆGROV, 2014) 45	
FORMEL 4: COLEBROOK-WHITE FORMEL FOR KAPASITETSBEREGNING (PIPELIFE NORGE AS, 2020A).	66
FORMEL 5: FORMEL FOR PROSENTNEDGANG FØR OG ETTER STRØMPING.	73

Definisjoner

Generelle Forkortelser

ASAP	=	As soon as possible
DN	=	Diameter nominell, tilsvarer den indre diameteren til vanlige stålrør.
EOL	=	End Of Life
FN	=	De Forente Nasjoner, eller United Nations Association
JIT	=	Just in time
KOSTRA	=	Kommune-stat-rapportering
Provann	=	Provisorisk vannforsyning
SSB	=	Statistisk sentralbyrå
SSTT	=	Scandinavian Society for Trenchless Technology
UV	=	Ultrafiolett lys

Forkortelser for ledningsmaterialer:

AAS	=	Asbestsement
PE	=	Polyetylen
PP	=	Polypropylen
PVC	=	Polyvinylklorid
SJG	=	Støpejern, grått
SJK	=	Støpejern, duktilt

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Tilgang på trygt og rent drikkevann er avgjørende for liv og helse, og er samfunnskritisk infrastruktur (Steinberg & Hyllestad, 2014). De fleste av oss tar det for gitt å ha rent drikkevann i springen, og tenker ikke særlig mye på det komplekse systemet som skal til for å oppnå dette målet. Fersk data (Statistisk sentralbyrå, 2023a) og litteratur (Malm, Svensson, & Røstum, 2018, s. 9) viser et vannledningsnett i forfall. Det er preget av store lekkasjemengder, dårlig vedlikehold og synkende fornyelsestakt. Noen av vannledningene er i så dårlig forfatning at de i flere tilfeller blir byttet ut før den teoretiske levetiden er oppnådd. Dette er spesielt på vannledninger av støpejern fra starten av 1950- til midten av 1970-tallet. Dersom vannforsyningen svikter, kan det få fatale konsekvenser for samfunnets evne til å ivareta en rekke kritiske funksjoner, som for eksempel matproduksjon og helsevesen.

Tall fra den offentlige statistikken til Statistisk sentralbyrå viser en lekkasjeprosent i 2022 på 29,7 prosent av drikkevann på det kommunale ledningsnettet (Statistisk sentralbyrå, 2023a). Dette er langt over det nasjonale målet om at lekkasjegraden fra vannledningsnettet ikke burde overstige 25 prosent innen 2020 (Schjøtt-Pedersen, 2023, s. 11). Dette tilsvarer et lekkasjetap av drikkevann på 3,9 m³ (Statistisk sentralbyrå, 2023b) per meter av det totale 51,463 kilometer lange kommunale vannledningsnett. (Statistisk sentralbyrå, 2023b). Det er store mengder energi og ressurser som går tapt i dette, og med en årlig fornyelsestakt i 2022 på 0,62 prosent vil det ta nærmere 160 år å fornye det kommunale ledningsnettet. Dette forutsetter kun reovering av eksisterende rør, og ingen nye installasjoner. Det er derfor et stort behov for å ta i bruk nye teknologier og metoder for å øke fornyelsestakten. Det engelske faguttrykket «Trenchless technology», også kalt NoDig, er en fellesbenevnelse for slike metoder som brukes for å reovere vannledninger uten behov for tradisjonell grøftegraving. For noen prosjekter stemmer dette, for andre kan det være nødvendig med minimal graving. For strukturens del vil vi i oppgaven bruke den norske oversettelsen av «Trenchless technology», grøftefrie metoder.

Ved å legge mer vekt på anvendelsen av grøftefrie metoder for oppgradering av eksisterende vannledninger, vil det være mulig å øke fornyelsestakten. Dette vil redusere hindringer for både næringsliv og private, samtidig som anleggstiden blir betydelig kortere og CO₂-utslippene reduseres.

1.2. Problemstilling

Hensikten med denne bacheloroppgaven er å undersøke, basert på statistikk, data og tilgjengelig litteratur, når det lønner seg å anvende fullstrukturell strømpeforing for renovering av drikkevannsledninger fremfor andre grøftefrie metoder og tradisjonell graving. Basert på denne bakgrunnen er følgende problemstilling formulert:

«Når anbefales det å anvende fullstrukturell strømpeforing til grøftefri renovering av drikkevannsledninger?»

For å besvare problemstillingen er det formulert seks forskningsspørsmål knyttet til grøftefri renovering:

1. Hvordan påvirker bend installasjon av strømpeforingen?
2. Hvilke utfordringer skaper terrenget rundt renoveringsobjektet for arbeidet?
3. Finnes det en gunstig løsning for anboringer ved fullstrukturell strømperenovering?
4. Hvilken rørmaterialer er størst utsatt for bruddskader, og i hvilken grad vil dette påvirke strømpeforingen?
5. I hvilke tilfeller vil det være nyttig med provisorisk vannforsyning ved bruk av strømperenovering?
6. Hvordan påvirker strømpeforingen renoveringsobjektet med hensyn på vannmengde og strømningshastighet?

1.3. Nytteverdi

Så lenge anvendelsesmetoden for bruk av grøftefrie metoder utføres korrekt, vil det økonomisk sett gi en stor reduksjon i forhold til tradisjonell graving, da det blir kortere anleggstid og krever mindre ressurser. Hvert år fornyes i underkant av 30 kilometer av det totale ledningsnettet i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2023b). Dersom grøftefrie metoder anvendes mer, kan fornyelsestakten av eksisterende vannledninger øke. Det er også bærekraftig, og gir mindre CO₂-utslipp da det brukes mindre maskiner for graving og massetransport. Det vil også være mulig å unngå stenging av veier og lignende da en kun er avhengig av adkomstgroper. Noen av metodene kan også anvendes helt eller delvis gravefritt direkte i kum.

Renovering av vannledninger ved bruk av grøftefrie metoder er også knyttet opp til FNs bærekraftsmål. FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for utrydding av fattigdom, bekjempe ulikheter og stoppe klimaendringene innen 2030 (FN-Sambandet, 2023a). Grøftefrie metoder for renovering av vannledninger faller under kapittel 6, 9 og 12 (jf. Figur 1).



Figur 1: FNs bærekraftsmål knyttet til grøftefrie metoder (FN-Sambandet, 2023a).

FNs bærekraftsmål nummer 6 som skal "sikre bærekraftig vannforvaltning, tilgang til vann og gode sanitærforhold for alle" (FN-Sambandet, 2023b), nummer 9 som handler om "solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon" (FN-Sambandet, 2023c), og nummer 12 som sikrer "bærekraftig forbruks- og produksjonsmønstre og handler om å gjøre mer med mindre ressurser" (FN-Sambandet, 2023d).

1.4. Oppgavens oppbygging

Oppgaven er strukturert i syv hovedkapitler. Første kapittel inneholder en innledning som omfatter bakgrunnen for oppgaven, problemstillingen, nytteverdien, oppgavens struktur og avgrensninger. I kapittel to beskrives metodene som ble brukt for å innhente informasjon til teoridelen. Kapittel tre presenterer teoridelen, som danner grunnlag for analysen. Her blir det belyst fakta om vannledningsnett i Bergen, rørfornyning med fullstrukturell strømpeføring og utfordringer knyttet til grøftefri renovering av drikkevannsledninger. Kapittel fire presenterer resultatene i lys av teorien. Resultatene blir deretter diskutert i kapittel fem, etterfulgt av en konklusjon og en resultattabell i kapittel seks. Til slutt følger kapittel syv, som tar for seg videre arbeid som kan gjøres på området.

1.5. Oppgavens avgrensninger

Det er flere aspekter som ikke tas hensyn til i denne oppgaven, dette er i hovedsak på grunn av begrenset tid og dens relevans til problemstillingen. Oppgaven vil sette søkelys på fullstrukturell metode for renovering av drikkevannsledninger, men både teorien og metoden gjelder også for avløp-, overvann- og spillvannsledninger. Alternative metoder brukt til renovering av ledninger vil bli nevnt, men ikke særlig utdypet.

På tidspunktet denne bacheloroppgaven ble utarbeidet var ikke bruken av strømpeføringen særlig utbredt, det er derfor minimalt med gode offentlige kilder. Det er derfor tatt utgangspunkt i data kjent fra produkttesting, konfidensielle rapporter og nettsidene til produsenten. De konfidensielle rapportene inneholder data fra produkttesting av strømpeføringen samt informasjon om produkt som er under patentering. På bakgrunn av dette er det derfor noen underkapitler som ikke går i særlig teknisk detalj, blant annet løsningen med anboringer. Noen av kildene kan derfor avvike med tiden, da spesielt med tanke på endringer av nettsider og lignende. Gruppen har kun brukt forhåndsgodkjent informasjon.

2. Metode

Metodevalget er en viktig del for innhenting av rik og nyttig informasjon. For å besvare problemstillingen er det valgt en kvalitativ tilnærming. Dette vil si at det blir samlet inn, og analysert, informasjon knyttet til observasjoner, datainnsamling, litteratur og muntlige meddelelser.

2.1. Informasjonsinnhenting

Informasjonsinnhenting er systematisk og strukturert prosessen for å samle inn relevant informasjon og data for å støtte og svare på forskningsspørsmål som er formulert i oppgaven. Gruppen har tatt for seg tre metoder for informasjonsinnhenting, dette inkluderer befarings og observasjoner, i tillegg til data- og litteraturinnsamling.

2.1.1. Befaringer og observasjoner

Befaringer går ut på å undersøke eller inspisere et fysisk sted eller område for å samle inn informasjon og data. Gruppen har vært på flere befarings knyttet til ulike metoder for renovering av drikkevannsledninger, og sett på utstyret som brukes. Fordelen med befarings er at det gir et bedre inntrykk av hvordan metodene fungerer i virkeligheten, i forhold til teorigrunnlaget. Samtaler med arbeidere som jobber med dette i felt gir et bedre situasjonsbilde på hvilke problemer de støter på i hverdagen. De har gjerne et helt annet synspunkt, basert på erfaringer og problemer som oppstår enn det de prosjekterende på kontoret opplever.

Befaringene og inspeksjoner gruppen har tatt for seg inkluderer blokking og strømping av drikkevannsledning, en tur til Fyllingen Maskin (FM-gruppen) som viste frem ulike renoveringsutstyr, og asbestkurs. Sistnevnte er kanskje ikke så relevant for selve oppgaven, men har gitt et innblikk i hvor strenge sikkerhetstiltak som noen ganger må til, og problematikken rundt dette.

2.1.2. *Datainnsamling*

Datainnsamling er prosessen som tar for seg innsamling av informasjon og data som er nødvendig for å besvare forskningsspørsmålet i oppgaven. Datainnsamlingen gir empiriske bevis for å støtte eller avvise hypotesene og besvare forskningsspørsmålene.

Datainnsamlingen er basert på dokumentanalyser, der det er analysert statistikk og andre nyttige data fra Bergen Vann. Dette inkluderer blant annet bruddstatistikk, hovedplan for vannforsyning og andre tekniske data knyttet til vannledningsnettet. Andre offentlige statistiske data som er analysert inkluderer KOSTRA-statistikk fra Statistisk sentralbyrå.

2.1.3. *Litteraturinnsamling*

Litteraturinnsamling er en viktig del av forskningsprosessen i bacheloroppgaven, og danner grunnlag for bakgrunn av arbeidet og hjelper med å definere problemstillingen og formulere forskningsstrategi. Det er derfor utført litteraturinnsamling ved å søke etter, og analysere faglige artikler som VA-datablad og VA-normer, bøker, rapporter og relevante publikasjoner som er tilgjengelig på biblioteket hos Høgskulen på Vestlandet. Det er også foretatt samtaler med ulike aktører som Pipeliner og Oslo Vannetat.

2.2. Pålitelighet

Hensikten med metodeundersøkelsen er å innhente tilstrekkelig og rik informasjon knyttet til fordeler og utfordringer for fullstrukturell strømpereovering, til å komme med en anbefaling. Basert på seriøsiteten til aktørene vi har vært i kontakt med, samt kildene for dataene og litteraturen som er samlet inn, konkluderer vi med at informasjonen regnes som pålitelig.

3. Teori

Dette kapitlet tar for seg teoridelen som danner grunnlag for videre diskusjon av oppgaven. Vi vil først belyse teori knyttet til distribusjon og kvalitet av vannledningsnett, samt generelt om grøftefrie metoder. Videre ser vi spesifikt på grøftefri renovering med fullstrukturell strømpe.

3.1. Vannledningsnett

Drikkevannsledningsnett i Norge er et omfattende nettverk av rør og infrastruktur som leverer hygienisk rent drikkevann til husholdninger og bedrifter. I Norge får over 90 prosent av befolkningen drikkevann fra overflatekilder som elver og innsjøer, men det er fortsatt en andel på om lag 10 prosent som får drikkevann fra grunnvannskilder (Norsk Vann, 2019, s. 1). Grunnvannet kommer fra løsavsetninger, fjell og oppkommer, men har fortsatt en vesentlig betydning for drikkevannet i Norge selv om andelen er lav. (Norsk Vann, 2019, s. 1)

Kommunene har ansvar for å sørge for at innbyggerne får tilgang på trygt drikkevann. De fleste kommuner har et eget vannverk som tar opp vann fra vannkilder og behandler det før det sendes ut på det kommunale ledningsnett. Det er strenge krav til kvalitet på drikkevannet, og det utføres regelmessige kontroller for å sikre et trykt drikkevann.

Selv om Norge generelt sett har tilgang på vann av god kvalitet, er det fortsatt utfordringer knyttet til distribusjonssystemene. Det blir registrert 4000 til 8000 tilfeller av sykdommer som kan være relatert til drikkevann årlig (Steinberg & Hyllestad, 2014). Det er likevel usikkerheter knyttet til tilfellene da sykdommene også kan komme fra mat. Det er heller ikke alle sykdommer som er meldepliktig, så tallet kan være mye høyere (Steinberg & Hyllestad, 2014). Det er derfor viktig at kommunene fortsetter å investere i oppgradering av infrastruktur og vedlikehold av ledningsnett for å sikre tilgangen til trygt og godt drikkevann også i fremtiden.

3.1.1. Rørmaterialer på vannledningsnett

Utviklingen av ny ledningsteknologi i utlandet, blant annet i England, ga nye teknologiske muligheter i Norge, eksempelvis med vannledninger av grått støpejern som er støpt i horisontale sandformer (Oddevald & Hansen, 2004, s. 7). De første vannledningene i Bergen var av denne materialtypen, og ble lagt nedover Kalfaret i forbindelse med utbyggingen av det, på den tiden, moderne vannverket på Svartediket som stod klart i 1855 (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 16). Noen av ledningene er enda i bruk, og fortsetter å forsyne Bergens innbyggere med trygt og rent drikkevann. Fra perioden de første vannledningene ble lagt og frem til i dag, er det stor variasjon i materialtyper, dimensjoner og kvalitet på ledningene. Det er særlig støpejernledninger lagt i perioden fra 1950 til midten av 1970-tallet som er størst utsatt for korrosjon, og dermed utsatt for ledningsbrudd.

Drikkevannsnett i Bergen er sterkt dominerende av grått og duktilt støpejern (Vann- og avløpsetaten, 2020). Andre populære valg for rørmaterialer er asbestsement som er mer omtalt i kapittel 3.1.1.4. *Ledninger av asbestsement*. Dette rørmaterialet er særlig brukt i perioden fra 1950 til slutten av 1970-tallet (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 31). Ulike typer termoplastrør som polyetylen (PE) av ulike densitetstyper og polyvinylklorid (PVC) er brukt etter 1980 (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 31).

3.1.1.1. *Ledninger av støpejern*

Støpejern var og er i noen kommuner det dominerende valget av rørmaterialer for overføring og distribusjon av drikkevann på det kommunale vannledningsnettet (Statistisk sentralbyrå, 2023b). I Bergen var grått støpejern dominerende frem til 1950 og utgir 29 prosent av det totale vannledningsnettet (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 31). Duktilt støpejern tok over en gang mellom 1950 og 1979, og er i dag det foretrukne materialet for støpejern som utgir totalt 53,1 prosent av det kommunale vannledningsnettet i Bergen (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 31). Materialet er svært sterkt og brukes mye for trykksatte ledninger da det har en høy elastisitetsmodul (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 379). Produksjonsteknologien for støpejern har gjennomgått store endringer de siste 150 årene, fra horisontalstøpte rør i sandformer til vertikalstøpte rør på dreieskive. Dette førte til en jevnere godstykkelse og større produksjon (Oddevald & Hansen, 2004, s. 7). Korrosjonsbeskyttelsen av støpejern er lagt med et tynt og lite effektivt, dyppet eller påsprøytet lag av et oljebasertprodukt kalt bitumen.

Grått og duktilt støpejern er materialer som har omtrent samme kjemiske sammensetning. Regnet i vektprosent består begge hovedsakelig av rundt 96 prosent jern og 4 prosent grafitt. Regnes grafitten om til volumprosent, utgir denne omtrent 15 prosent. Denne høye andelen grafitt gjør støpejernet til et relativt "dødt" materiale (Oddevald & Hansen, 2004, s. 8).

Forskjellen mellom grått og duktilt støpejern ligger i hvordan grafitten er fordelt i jernet under produksjonen. I grått støpejern ligger grafitten i form av flak, som kan være en viktig årsak til sprekkdannelse. Derfor betraktes grått støpejern som sprøtt, og det har karakteristiske bruddmønstre som tverrbrudd og flakbrudd (Oddevald & Hansen, 2004).

I produksjonen av duktilt støpejern blir det tilsatt magnesium under produksjonen. Dette fører til at grafitten dannes i form av kuler i stedet for flak. Denne strukturen gjør duktilt støpejern seigere og mindre utsatt for bruddtyper som påvirker grått støpejern (Oddevald & Hansen, 2004, s. 8). Grafittkulene fungerer som avstandsstykker som hindrer sprekken i å utvikle seg, noe som gir duktilt støpejern bedre egenskaper når det gjelder strekkfasthet og støtmodstand.

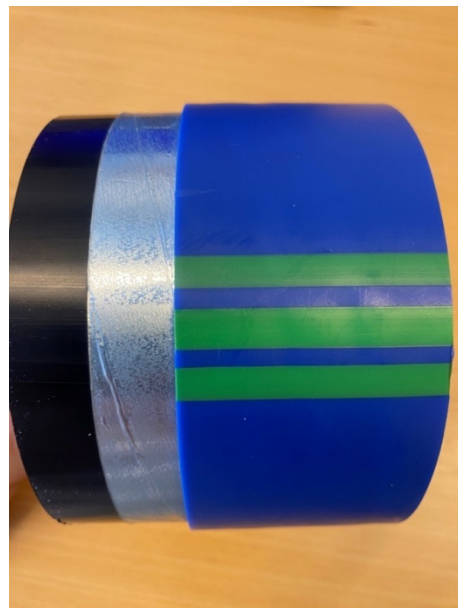
Fra omtrent 1970 begynte man med innvendig korrosjonsbeskyttelse av duktilt støpejern ved å påføre et indre belegg av sementmørtel. Senere ble det også brukt et sinkbelegg på utsiden av røret (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 379). Disse tiltakene bidro til å forlenge rørenes levetid og beskytte dem mot korrosjon.

Støpejern er svært utsatt for korrosjonsangrep dersom det plasseres i aggressiv grunn som marine leirer og ved anaerobe forhold i leirer med en spesifikk motstandsevne på < 5000 ohm/cm (Mosevoll, et al., 2011, s. 10). Innvendig tæring og korrosjon oppstår dersom vann med lav pH blir ført gjennom. Mer om korrosjon er omtalt i kapitlet *3.1.3.1. Korrosjon på metalliske rør*.

3.1.1.2. Ledninger av polyetylen

Polyetylen (PE) er en plast i gruppen polyolefin. Det er en amorf, eller strukturløs, plast med krystallinske soner og med tetthet på rundt $0,95 \text{ g/cm}^3$ (Hafskjold & Sægrov, 2008, s. 16) avhengig av hvilken densitetstype. Produktet har blitt mye brukt til drikkevannsledninger i Bergen etter 1980 (Vann- og avløpsetaten, 2020), og er svært egnet der det er vanskelige grunnforhold, for eksempel i myrlendt terreng. Polyetylen er relativt bestandig overfor kjemikalier og kan ikke limes, men kan sveises (Hafskjold & Sægrov, 2008, s. 16). Produktet har også andre fordeler blant annet at det er et rimelig ledningsmateriale, det er lett, motstandsdyktige mot nedbrytning, har god sveisbarhet, og fleksibilitet for bøyning.

I ledninger av polyetylen kan uønskede hydrokarboner og uønskede kjemikalier trenge gjennom den ubeskyttede rørveggen og forringe kvaliteten på drikkevannet (Trovik, 2023). I områder der det kan være vanskelig å vite hva som ligger i grunnen, for eksempel der det tidligere har vært industri, er det en fordel å legge PE-ledninger med diffusjonssperre. I Bergen kommune ønsker de å legge alle nye PE-ledninger, uavhengig av grunnforhold, med diffusjonssperre (Trovik, 2023). Diffusjonssperren består av et aluminiumsfolielag, med et ytre beskyttelseskapp av mineralforsterket polypropylen (PP) eller polyetylen (PE). Beskyttelseslag av polypropylen er definert med to grønne striper, og polyetylen er definert med tre grønne striper som vist i figur 2.



Figur 2: PE-ledning med diffusjonssperre og beskyttelseslag av polyetylen.

Foto: Sebastian Karlsen

3.1.1.3. *Ledninger av polyvinylklorid – trykkrør*

Polyvinylklorid (PVC) er den vanligste plasten i vinylpolymergruppen. PVC er i utgangspunktet et amorf, eller strukturløst, og polart produkt som er stivt og glassklart, men produktet kan tilsettes farger (Hafskjold & Sægrov, 2008, s. 32). I Bergen ble produktet først brukt for drikkevannsledninger i perioden mellom 1950 og 1979 (Vann- og avløpsetaten, 2020). Benevnelsen for PVC som benyttes i vannledninger, både drikkevann og avløpsvann, kalles PVC-U. U-en betyr at det ikke er tilsatt plastmykner (PVC-Unplasticised). Selv om tettheten til PVC-rør er høyere enn andre termoplasttyper, er de lette i vekt. Dette er fordi PVC-rør har en høyere elastisitetsmodul som igjen gjør det lettere å produsere rør med tynnere rørvegger, noe som gjør de fleksible til en viss grad (Hafskjold & Sægrov, 2008, s. 33). Prismessig er PVC-rør også relativt lav sammenlignet med konkurrerende materialer for mindre dimensjoner.

3.1.1.4. *Ledninger av asbestsement*

Følgende avsnitt er hentet fra Norsk Vann Rapport 135/2004: *"De relativt høye priser på stål- og støpejernsrør førte til utviklingen av sementbaserte rør i enkelte europeiske land under og etter 1. verdenskrig. Asbestsementrørene ble utviklet i Italia og produsert for første gang i 1913."* (Oddevald & Hansen, 2004, s. 7). Asbestsementrør, også kjent som eternitrør, er en fiberarmert betong og er en blanding av sement og opptil 15 prosent asbestfiber, hvor asbestfibrene utgjør armeringen (Oddevald & Hansen, 2004, s. 11). Asbest er et naturlig forekommende mineral som har vært mye brukt i byggematerialer på grunn av sine isolerende og brannhemmende egenskaper. Sementen fungerer som et bindemiddel som holder asbestfibrene sammen i en stiv og solid form. Til tross for sin høye motstand mot korrosjon, blir produktet tynnere over tid, og asbestfibrene som avgis svekker rørenes styrke og reduserer levetiden (Myhrstad, 1983, s. 1). Asbestsementrør som ikke er beskyttet innvendig med et belegg av bitumen, epoksy eller lignende produkter, vil være spesielt utsatt for tæring. Tæringshastigheten vil være avhengig av vannets kjemiske sammensetning. En tæring på ca. 0,2 mm pr. år er ikke uvanlig, selv om både større og mindre tæring er registrert (Myhrstad, 1983, s. 1).

På grunn av sin holdbarhet og lave kostnader ble asbestsementrør et populært valg og ble brukt i drikkevannsnettet i Bergen fra 1950 til midten av 1980-tallet (Vann- og avløpsetaten, 2020). Men siden har asbest blitt knyttet til helseproblemer som lungekreft og mesoteliom (Danielsen, Eriksen, Mork, Ørebech, & Lund Eikrem, 2020), og all bruk og håndtering av asbest og asbestholdig materiale ble forbudt i Norge i 1985.

3.1.2. Mekaniske egenskaper for vannledninger

De fleste materialene som brukes er velegnet i de fleste situasjoner, men noen har situasjonsbestemte fordeler framfor andre, og samtidig er det andre situasjoner som gjør dem mindre egnet. De mekaniske egenskapene til rørmaterialer kan deles i «elastisk og viskoelastisk» og «seig og sprø» (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 377), der elastisk omhandler forholdet mellom spenning i rørmaterialet og den samsvarende tøyningen.

Elastiske materialer er materialer som har evne til å deformeres når de utsettes for en påkjenning, for eksempel en kraft eller en belastning, og som deretter kan gå tilbake til sin opprinnelige form når påkjenningen fjernes, dette betyr at de har et lineært forløp ved på- og avlastninger (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 377). Dette skyldes at elastiske materialer har en indre styrke som gjør at de kan motstå deformasjon, og når denne indre styrken ikke lenger er overveldet av den ytre påkjenningen, vil materialet returnere til sin opprinnelige form. Eksempel på elastiske materialer er stål og støpejern. Elastisitetsmodulen, som er en måleenhet for objektets motstand mot å bli deformert, er en viktig parameter for å beskrive disse materialene, og er konstant for elastiske materialer. Elastisitetsmodulen er oppgitt i megapascal (MPa) er gitt ved følgende formel:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Formel 1 : E-modul for elastiske materialer (Ødegaard & Sægrov, 2014)

Tabell 1: Parametre for innsetting i formel 1.

Forkortelse	Beskrivelse	Enhet
E	Elastisitetsmodul	MPa
σ	Spenning i rørveggen	MPa
ε	Rørveggens tøyning	%

Viskoelastiske materialer er materialer som kombinerer både viskøse og elastiske egenskaper. Dette betyr at de kan deformeres når de utsettes for en påkjenning, akkurat som elastiske materialer, men de vil også oppleve en grad av varig deformasjon på grunn av deres viskøse egenskaper. Når et viskoelastisk materiale utsettes for en påkjenning, vil det begynne å deformeres elastisk, men etter en viss tid vil det også begynne å deformeres viskøst (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 377). Dette betyr at når påkjenningen fjernes, vil materialet ikke gå helt tilbake til sin opprinnelige form, men vil beholde en viss grad av varig

deformasjon. Eksempel på viskoelastiske materialer er termoplastrør av polyvinylklorid (PVC), polyetylen (PE), og polypropylen (PP). Ringstivheten er en viktig parameter for beskrivelse av styrke for viskoelastiske materialer (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 377). Deformasjonen av ringstivheten er oppgitt i megapascal (MPa), og gitt ved følgende formel:

$$S = \frac{E}{12} * \left(\frac{s}{D}\right)^3$$

Formel 2 : Ringstivhet for viskoelastiske materialer (Ødegaard & Sægrov, 2014)

Tabell 2: Parametre for innsetting i formel 2.

Forkortelse	Beskrivelse	Enhhet
S	Ringstivhet	MPa
E	Elastisitetsmodulen	MPa
s	Veggtykkelse til rør	mm
D	Utvendig diameter til rør	mm

Seig og sprø er en kombinasjon av materialeegenskaper som kan oppstå i rør og gir en beskrivelse av en mulig sprekkvekst. Seigheten beskriver evnen røret har til å absorbere energi før det bryter, mens sprøheten beskriver evnen til å bryte raskt og uventet uten å gi noen tydelige tegn på deformasjon eller sprekkdannelse før bruddet skjer. (Mosevoll, 2018) Det er høy sannsynlighet for dannelse av sprekkvekster dersom spenningen i rørveggen overstiger en kritisk grense. Det gjelder spesielt eldre rør av grått støpejern og polyvinylklorid (PVC) som er utsatt for brudd, dette er fordi de har relativt lav seighet og dermed en lav kritisk grense. Nyere termoplastrør og seige støpejern har en høy seighet og er dermed lite utsatt for sprekkvekst. Sprekkvekst er nærmere omtalt i kapittel 3.1.3.3 *Mekaniske prosesser*.

Standard Dimension Ratio, forkortet til SDR-verdi, er en dimensjonsfaktor som brukes til å beskrive materialets styrke med hensyn på forholdet mellom utvendig diameter og veggtykkelsen til et rør. Kjenner en til SDR-verdien, er også ringstivheten til materialet bestemt.

3.1.3. Nedbrytning av vannledninger

Det er flere faktorer som påvirker nedbrytningen til en ledning og gjelder for både vann- og avløpsledninger. Faktorene inkluderer blant annet fysiske-, kjemiske- og mekaniske prosesser. Materialer brukt i dagens vannledningsnett har vært under kontinuerlig utvikling for å redusere mulige nedbrytningsfaktorer (Ødegaard & Sægvov, 2014, s. 384). Grunnet den kontinuerlige utviklingen er moderne materialer langt mindre utsatt for brudd enn tidligere. Nedbrytningsegenskapen varierer for ulike ledningsmaterialer som vist i tabellen nedenfor.

Tabell 3: Nedbrytningsmekanisme for ledningsmaterialer (Ødegaard & Sægvov, 2014).

Materiale	Nedbrytningsmekanisme	Styrende materialegenskap	Kommentar
Betong, uarmert	Kjemisk nedbrytning	Porøsitet	Porøsitet, har sammenheng med produksjonsmetode
Betong, armert	Kjemisk nedbrytning (Armeringskorrosjon)	Porøsitet overdekning	Mange eldre ledninger har for liten opprinnelig armeringsoverdekning
Grått støpejern	Sprekkvekst, korrosjon	Bruddseighet	
Keramiske rør	Sprekkvekst	Bruddseighet	
Glassfiberarmert polyester	Sprekkvekst		Skaden kan opptre innvendig ved utvendig støtbelastning
PP-selvfallsrør	Defomasjon	E-modul, slankhet	
PVC, trykløst	Defomasjon	E-modul, slankhet	
PVC, trykrør	Sprekkvekst	Bruddseighet	Førstegenerasjonsrør har lavere bruddseighet enn nyere rør
PE-rør for rehabilitering	Sprekkvekst	Riss på røroverflate (> 10 % av veggtykkelse)	
PE-trykrør for vann eller avløp	Sprekkvekst	Riss på røroverflate (> 10 % av veggtykkelse)	
Seigt støpejern	Korrosjon, gjennomtæring	Korrosjonsbeskyttelse	Rør lagt 1960-1970 utsatt for korrosjon

3.1.3.1. *Korrosjon på metalliske rør*

Rør av grått eller seigt støpejern og stålrør er utsatt for en todelt anode/katode reaksjon som vil korrodere røret (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Det er tre ulike typer av korrosjon som kan forekomme: *Luftningscellekorrosjon*, også kjent som aerob korrosjon eller oksidativ korrosjon, er en type korrosjon som oppstår når oksygen blir fanget i et fuktig miljø mellom to metallflater. Dette kan skje i et metallrør der både vann og oksygen er til stede, for eksempel i et delfyllt rør. Katodereaksjonen bruker vannet, oksygenet og frie elektroner til å danne hydroksidioner (OH^-) (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Anodereaksjonen løser opp metallet til metallioner og frigir elektroner. I denne reaksjonen reagerer metallionene med hydroksidionene og danner komplekse jernhydroksider, noe som gjør jernhydroksidene til korrosjonsproduktet. Det må være god ledningsevne for at denne reaksjonen skal finne sted (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Dette kan typisk forekomme utvendig dersom røret ligger i fuktig grunn, for eksempel leire, der fuktigheten langs røromkretsen varierer (ved grunnvannsspeilet) eller oksygentilgangen varierer (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Forbyggende tiltak for å hindre luftningscellekorrosjon på drikkevannsledninger kan inkludere regelmessig inspeksjon og vedlikehold av metallrørene og bruk av belegg eller overflatebehandling for å beskytte metallet mot oksygeneksponering.

Galvanisk korrosjon oppstår når to forskjellige metaller med ulikt spenningspotensiale kommer i kontakt med hverandre mens en elektrolytt, for eksempel vann, er til stede (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). I en slik situasjon fungerer metallene som elektroder i en elektrokjemisk (galvanisk) celle, der den ene vil fungere som anode og den andre katode. Eksempel på dette kan være der støpejern og kobber er koblet sammen i et rørsystem. Hvis det er fukt eller vann til stede, vil dette skape en elektrolytisk løsning, og elektroner strømmer mellom de to metallene. Dette kan føre til at det ene metallet (anoden) korroderer raskere enn det andre metallet (katoden). Det er relativt sjeldent galvanisk korrosjon opptrer på vannledninger, fordi katodearealet må være betydelig større enn anodearealet, og det må være fuktig grunn for transport av elektroner (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Forebyggende tiltak for å hindre galvanisk korrosjon er å bruke overgangsskjøter (muffer) og rør laget av samme materiale, eller man kan bruke isolasjonsmaterialer mellom skjøter for å hindre kontakt.

Likestrømskorrosjon kan forekomme i gater med likestrømsanlegg, for eksempel der ledningsnettene ligger under trikkeskiner (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 385). Korrosjonen oppstår når likestrøm flyter fra likestrømsanlegget til vannledninger og skader ledningen der strømmen vandrer ut. Forebyggende tiltak for å hindre likestrømskorrosjon er å implementere passiv korrosjonsbeskyttelse i form av polyetylen- (PE) eller polyuretan- (PUX) belegg.

3.1.3.2. *Armeringskorrosjon*

Betongrør av større dimensjoner (typisk over 600 mm) produseres med armering av stål. Rørkontroll av nylagte armerte betongledninger har i noen tilfeller avdekket rustutslag på overflaten (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 386). Dersom dette er tilfellet vil den naturlige barrieren allerede være brutt og korrosjon vil starte på grunn av fuktig miljø.

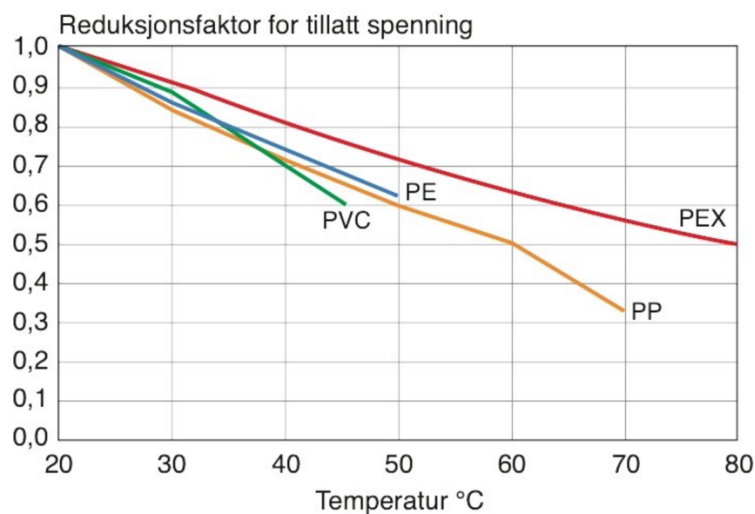
3.1.3.3. *Mekaniske prosesser*

Sprekkvekst oppstår i rør som er utsatt for høyt trykk og spenninger over tid. Sprekkvekst kan oppstå som følge av materialutmattelse, korrosjon, mekanisk skade eller en kombinasjon av disse faktorene. I noen tilfeller kan rørmaterialer bli utsatt for risser, som vokser til sprekker og til slutt danner brudd (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 387). Det kan være vanskelig å konkludere hvordan rissene oppstår, men noen faktorer inkluderer skader under transport, avvik i produksjon eller under rørlegging. Sprekkveksten begynner ofte som en liten sprekk eller feil i røret, som kan være vanskelig å oppdage. Dersom spenningen overstiger en kritisk verdi, vil en få spenningskorrosjon, det vil si sprekken vokser gradvis over tid som følge av belastninger, spenninger og påkjenninger på røret (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 387). Materialer med seige egenskaper, for eksempel termoplastrør og duktile støpejern, har mye mindre sannsynlighet for sprekkvekst enn et sprøtt materiale, for eksempel grått støpejern.

Deformasjon i rør er endringer i formen på røret, som kan oppstå som følge av ytre krefter, for eksempel tilbakefylling av masser. Deformasjonen vil bestemmes av materialets elastisitetsmodul (E-modul), slankheten (SDR-verdien) og tilbakefyllingsmassene. I grøfter

bestående av friksjonsmasser, sand, grus og stein, vil nesten hele deformasjonen opptre i løpet av kort tid, som oftest kun noen dager, etter tilbakefylling (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 387). Slik uønsket deformasjon kan forebygges med å velge et materiale med høyere elastisitetsmodul (E-modul), økt veggtykkelse (reduisert SDR-verdi) eller anleggstekniske tiltak som for eksempel bruk av andre gjenfyllingsmasser eller støtter.

Temperaturbestandighet til plastrør avhenger av typen plast som brukes og hvordan røret er produsert, da med hensyn på tilsetning av tilsetningsstoffer, også kalt antioksidanter. Noen plasttyper har høyere temperaturbestandighet enn andre, og er egnet for høyere temperaturer. Når temperaturen øker mister plastmaterialene styrken, og blir gradvis svekket. Generelt sett har plastrør god temperaturbestandighet i et visst temperaturområde, men de kan bli utsatt for deformasjon. Av termoplastene er det PP (polypropylen) som tåler temperatur best, etterfulgt av PEX (cross-linked polyetylen), PVC (polyvinylklorid) og til slutt PE (polyetylen) (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 387). Figur 3 illustrerer hvordan styrken reduseres når temperaturen økes.



Figur 3 : Reduksjonsfaktor for tillatt spenning for plastrør (Ødegaard & Sægrov, 2014)

3.1.4. Brudd på vannledninger

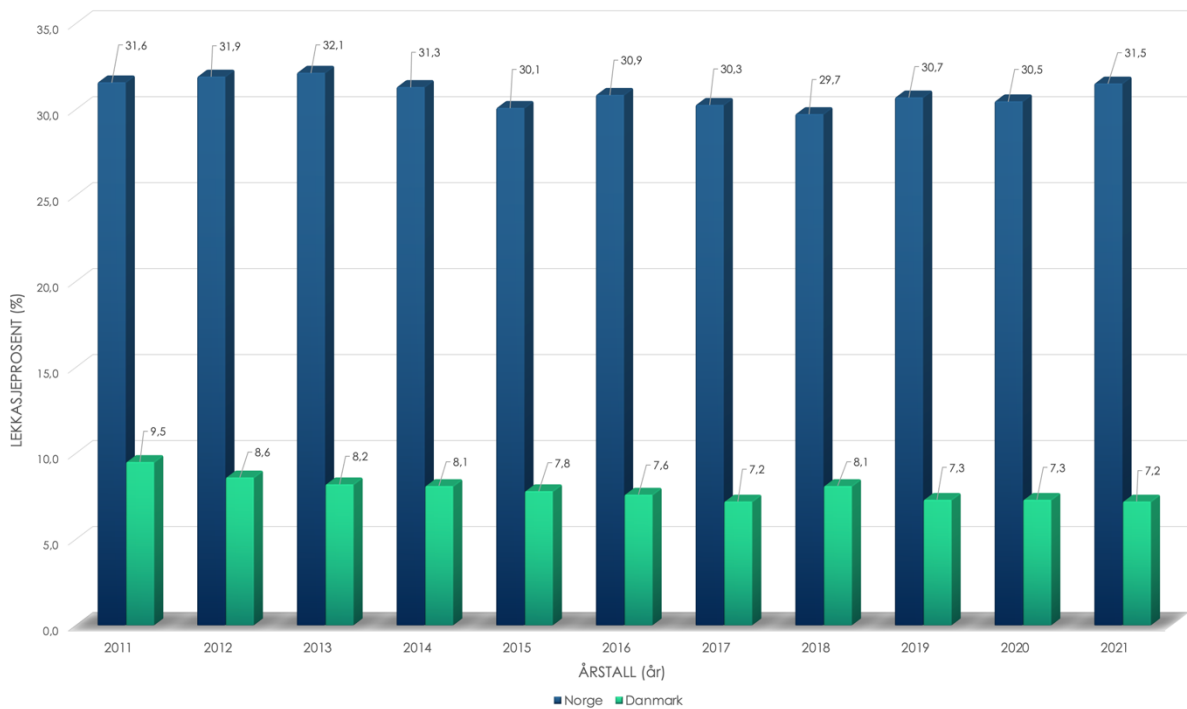
Bruddstatistikk for Bergen kommune viser en drastisk reduksjon i antall brudd av grått støpejernledninger lagt i perioden etter 1980 i forhold til ledninger lagt på 1950 til 1970-tallet. Dette skyldes blant annet utfasing av grått støpejern til fordel for duktilt støpejern på begynnelsen av 1980-tallet (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 31). Kvalitet på materialet, utvikling av bedre produksjon- og installasjonsmetoder og anleggshåndtering kan også være en faktor for at ledninger lagt senere ikke er like bruddutsatt.

Som nevnt i kapittel 3.1.3. *Nedbrytning av vannledninger*, oppstår brudd på trykkledninger på grunn av sprekkvekst, deformasjon, korrosjon eller kjemisk nedbrytning. I ledninger der sprekkvekst kan forekomme, for eksempel i grått støpejern, polyvinylklorid (PVC) og polyetylen (PE), vil det gjerne ta flere år før sprekken når sin kritiske størrelse. Når dette skjer tar det som regel mindre enn 1 minutt fra røret er helt tett til det er full utlekking (Mosevoll, 2018). For ledninger med korrosjonshull, som seigt støpejern og stål, vil hullet vokse sakte (Mosevoll, 2018).

3.1.5. Lekkasje og fornyelsestakt

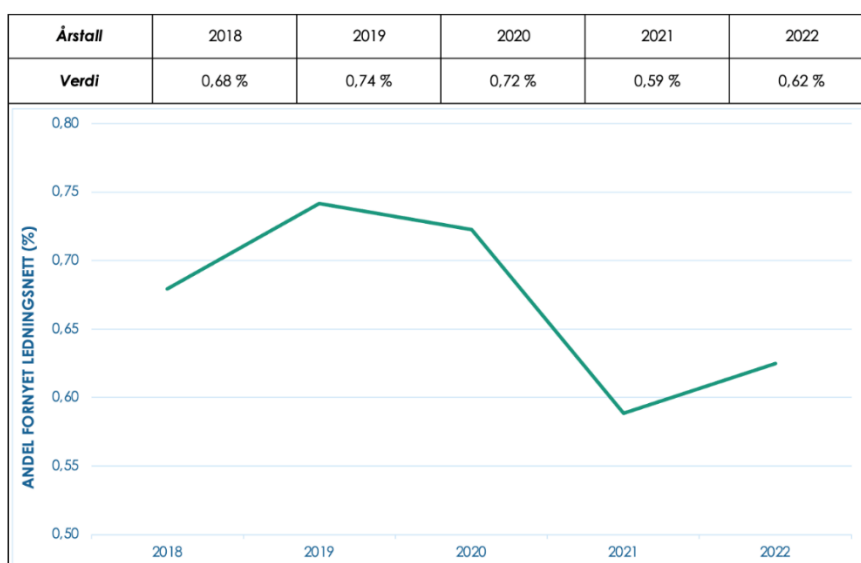
Norge har ett av Europas høyeste lekkasjetap og lå i 2022 på et gjennomsnittlig lekkasjetap på 29,7 prosent (Statistisk sentralbyrå, 2023a). Dette tilsvarer et lekkasjetap av drikkevann på 201 millioner kubikkmeter (Statistisk sentralbyrå, 2023c) av det totale 677 millioner kubikkmeter (Statistisk sentralbyrå, 2023c) som ble levert på det kommunale ledningsnettet i 2022. Det offentlige vannledningsnett har ofte færre, men større vannlekkasjer enn det private nettet (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 32).

Det er flere faktorer som påvirker den høye lekkasjemengden, ikke bare i Bergen, men også nasjonalt, som blant annet ett høyere driftstrykk på det trykksatte kommunale ledningsnettet (Vann- og avløpsetaten, 2020, s. 32), ledningskorrosjon grunnet grunnforhold, rotinntrengninger, grunnvannsinfiltrasjon og skader forårsaket av tredjeparter (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Vann som strømmer ut av ledningen grunnet en lekkasje vil erodere grunnen rundt ledningen videre, som i verste fall kan føre til setninger, som igjen ødelegger fundamenter for gater (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 385). Til sammenligning har Danmark de siste ti årene ett lekkasjetap på under 10 prosent (Bjørno, et al., 2022). Dette kan skyldes topografiske forskjeller mellom landene, hvor Norge er påvirket av høye fjell og stor variasjon i høyder, mens Danmark er relativt flatt. Det kan derfor tenkes at driftstrykket i Danmark ikke nødvendigvis trenger å være like høyt som i Norge. Grafen under viser differansen i total lekkasje prosent mellom de to landene.



Figur 4: Differanse av lekkasjemengde i Norge og Danmark (Statistisk sentralbyrå, 2023a) (Bjørno, et al., 2022, s. 22)

Det nasjonale målet om en lekkasjemengde på vannledningsnettet på under 25 prosent innen 2020 ble ikke overholdt. I stedet viser data fra Statistisk sentralbyrå det motsatte, lekkasjemengden holdes noe lunde stabil (jf. Figur 4) mens fornyelsestakten synker (jf. Figur 5). Norsk Vann anslår at den årlige fornyelsestakten på nasjonalt nivå må være høyere enn 0,7 prosent for å ta inn etterslepet (Berge, 2022).



Figur 5: Andel fornyet kommunalt ledningsnett siste fem år (Statistisk sentralbyrå, 2023b).

3.1.6. Levetid for vannledninger

Levetiden for ledningsnettene defineres som den tiden det tar fra en vannledning er installert til den trenger en større renovering. Livssyklus kostnad er et begrep som brukes ved overordnet analyse av langsiktige samlede kostnader (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 398), og er summen av kapitalkostnad og alle kostnader knyttet til forvaltning, drift og vedlikehold. Dette inkluderer kostnader som bygging, drift, vedlikehold, reparasjoner, og utfasing av anlegg. Vannledningsnettene bygges med hensikt på lang levetid, og er det viktigste aspektet ved planlegging av ledningsfornyelse. Det er ikke uvanlig å planlegge med hensyn på økonomiske beregninger ett vannledningsnett for 40 års levetid (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 398), men i realiteten er det ikke uvanlig at en ledning har en teknisk levetid på mer enn 50 år. Statistisk data fra Statistisk sentralbyrå viser beregnet gjennomsnittsalder for det kommunale vannledningsnettene med kjent alder på 34,0 år for hele landet, og 47 år for Bergen kommune (Statistisk sentralbyrå, 2023b). Årsaken til denne korte levetiden er blant annet betraktet i kapittel 3.1.5 *Lekkasje og fornyelsestakt*. Grøftefrie metoder som semi-strukturell strømping og ikke-strukturelt belegg vil ikke gi en ny levetid, men forlenger den eksisterende. Det er fullstrukturelle metoder som strømpereovering, utblokking eller cracking, styrtboring og rørpressing der det installeres nye rør som vil gi en ny levetid.

3.1.7. Krav til drikkevannskvalitet

Fra drikkevannsforskriften er følgende avsnitt definert: «*Formålet med forskriften er å beskytte menneskers helse ved å stille krav om sikker levering av tilstrekkelige mengder helsemessig trygt drikkevann som er klart og uten fremtredende lukt, smak og farge.*» (Lovdata, 2016).

Ved fornyelse av vannledningsnettene er det viktig å ta hensyn til drikkevannsforskriften. Dette gjelder ikke bare for vurdering av renoveringsmetode, men også for hvilke deler av vannledningsnettene som er mest sårbare.

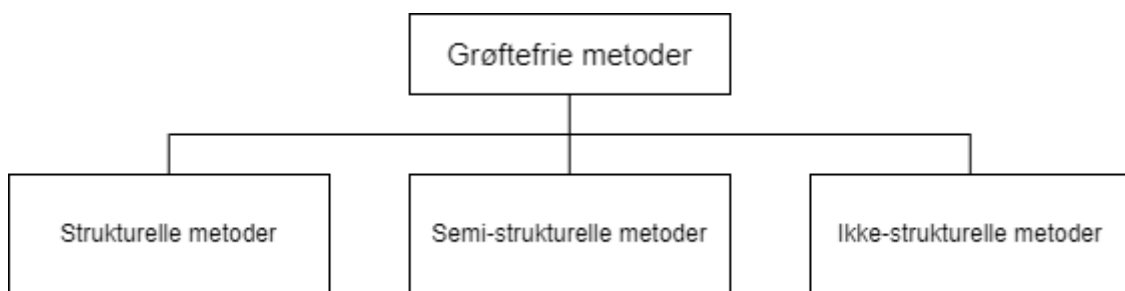
Farge fra vann kommer som oftest fra humus og blir fjernet ved rensestasjoner før det distribueres på vannledningsnettene. Norge har ikke mangel på hygienisk rent drikkevann, men ledningsnettene er et sårbart ledd mellom renseanlegg og forbruker. Det er fare for

innlekkinger av uønskede organismer ved brudd og større lekkasjer.

En rapport publisert av Folkehelseinstituttet viser at områder der det gjennomføres arbeid på ledningsnett, er tre (3) ganger mer utsatt for bakteriell smitte gjennom vann (Steinberg & Hyllestad, 2014). Dette er noe som må tas hensyn til ved valg av renoveringsmetode, slik at arbeidet gir best mulig resultat med kortest anleggstid, samt overholder helsekrav. Det bør også velges metoder og produkter som ikke forurenses drikkevannsnett, og gir lengst levetid.

3.2. Grøftefri rehabiliteringsmetoder for vannledninger

Grøftefrie metoder, også kalt No-Dig, slik vi kjenner det i dag ble først introdusert på midten av 1980-tallet. Bak begrepet ligger teknologier og metoder som brukes for installering og renovering av vann- og avløpsledninger med ingen eller minimal graving. Metodene og utstyrene har siden de først ble introdusert hatt en enorm vekst (Najafi, 2010, s. 5), og nye teknologier dukker stadig opp. Grøftefrie metoder kan deles inn i tre hovedkategorier (jf. Figur 6): Strukturelle metoder, Semi-strukturelle metoder og Ikke-strukturelle metoder.

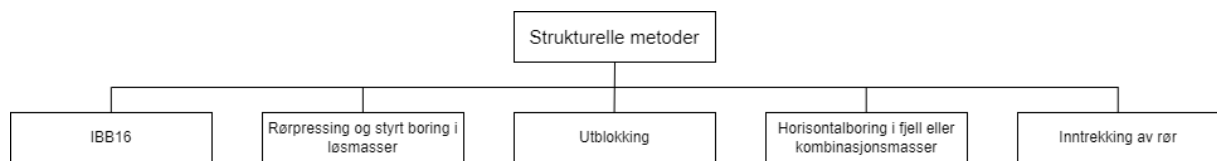


Figur 6: Klassifisering av grøftefrie metoder.

Metodene egner seg i varierende grad avhengig av tilstanden til det gamle røret, styrken til det aktuelle renoveringsproduktet, grunnforhold og krav til nytt rør (Ødegaard & Sægvog, 2014, s. 402). Felles for alle grøftefrie metoder er en miljøvennlig utførelse med hensyn til utslipp av miljøskadelige stoffer, lav støy- og støybelastning ovenfor publikum, begrenser ulemper for trafikk og myke trafikanter, begrenset massetransport og energiforbruk, økonomisk gunstighet og rask gjennomføringstid (Aas, Killingmo, & Busk, 2016, s. 11).

3.2.1. Strukturelle metoder

Strukturelle metoder er renoveringsprodukter som ikke er avhengig av radiell støtte fra eksisterende rør og kan alene motstå opptredende trykkrefter i hele rørets levetid (Aas, Killingmo, & Busk, 2016, s. 12). Strukturelle metoder egner seg godt der en har behov for et nytt rør, enten det er på grunn av brudd eller endring i trasé. De ulike strukturelle metodene er nevnt i figur 7.



Figur 7: Systematisk oversikt over Strukturelle metoder.

Rørpressing i løsmasser

Rørpressing er en fullstrukturell metode, som innebærer å etablere et nytt rør i terrenget. En tilkomstgrop og en mottaksgrop etableres, og røret presses gjennom terrenget. Massene fra terrenget vil trenge inn i røret, og må kontinuerlig trekkes ut ved hjelp av naverboring eller spyling (Asplan Viak AS, 2009). Normalt blir denne metoden brukt under veier, jernbaner, bygninger og lignende. Diameter på rør som brukes for rørpressing ligger normalt mellom 219 mm og 1220 mm, med en presslengde på opptil 60 meter (Aas, Killingmo, & Busk, 2016). Etter installasjonen blir røret som oftest utført med et nytt rør, eller strømpes. Retningsstabiliteten er i stor grad påvirket av faste masser og eventuelle innslag av fjell og store steiner (Asplan Viak AS, 2009).

Styrt boring i løsmasser

Metoden er mye lik rørpressing, men det er kun behov for en tilkomstgrop. Styrt boring benytter en borerigg til å bore en pilotstreng gjennom traseen. Når pilotstrengen ankommer sluttpunktet, kobles en opprømningskrone til, og strengen trekkes tilbake (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). For at traseen ikke skal kollapse ved tilbaketrekking, pumpes slurry av bentonitt inn med røret. Fordelen med metoden er muligheten til retningsstyring, som betyr at operatører har mulighet til å styre boringen (Asplan Viak AS, 2009). Metoden er særlig egnet i vernede områder, bymiljø, under elver, veier, jernbaner, på store dyp og i myrområder (Asplan Viak AS, 2009). Maksimal diameter metoden kan brukes på er 1200 mm, med en installasjonslengde på inntil 500 meter (Aas, Killingmo, & Busk , 2016).

Blokking

Blokking, også kalt cracking, er en metode som innebærer å splitte renoveringsobjektet samtidig som nytt rør trekkes inn. Metoden er den eneste hvor oppdimensjonering av renoveringsobjektet er mulig, dersom omfyllingsmassene kan "ta imot" renoveringsproduktet (Asplan Viak AS, 2009). Utførelsen består av å opprette en trekkegrop og en innføringsgrop, for så å trekke en stålwire gjennom. I innføringsgropen festes en kniv til stålwiren, før dette festes til renoveringsproduktet (Aas, Killingmo, & Busk , 2016), som i de fleste tilfeller består av et termoplastrør eller duktile støpejernsrør (Asplan Viak AS, 2009). Ved trekkegropen brukes en hydraulisk vinsj for å trekke renoveringsproduktet gjennom det eksisterende røret, med en trekraft på opptil 250 tonn (Asplan Viak AS, 2009). Metoden kan benyttes på ledninger med dimensjon fra 19 mm til 1000 mm, og en trekk lengde på rundt 230 meter. De vanligste dimensjonene metoden benyttes på er rundt 300 mm (Aas, Killingmo, & Busk , 2016).

Horisontalboring i fjell eller kombinasjonsmasser

Horisontalboring deles inn i to, der det skilles mellom boring i rene fjellmasser, og hammerboring i kombinasjonsmasser (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Felles for begge metodene er behov for boregrop, mottaksgrop og fundamentering til borerigg. Boring i fjellmasser utføres ved å montere en borestreng på en fjellborekrone, som så bores gjennom fjellet. Ved fjellboring er det vanlig å bore et pilothull først, før det "rømmes" opp til ønsket dimensjon, noe som ofte må gjøres flere ganger for å nå ønsket dimensjon. Boring i kombinasjonsmasser (fjell og løsmasser) utføres ved hammerboring, hvor en har mulighet til å bore ønsket dimensjon i en enkelt operasjon. Ved hammerboring i løsmasser er det behov for et varerør.

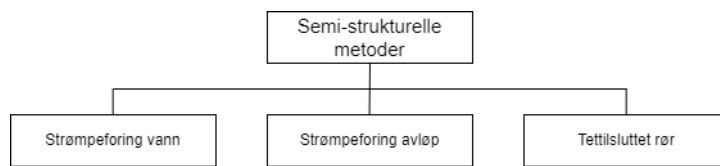
Retningen kan ikke korrigeres under boring, men kan måles (Asplan Viak AS, 2009). Borelengde varierer fra 10 til 600 meter for fjellboring (Asplan Viak AS, 2009), og rundt 80 meter for kombinasjonsmasser (Aas, Killingmo, & Busk , 2016).

Inntrekking av rør

Metoden baserer seg på å etablere en innføringsgrop og en mottaksgrop (Asplan Viak AS, 2009). Ved bruk av hydraulisk vinsj trekkes renoveringsproduktet gjennom den eksisterende ledningen (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Siden et nytt rør trekkes gjennom det eksisterende, forutsetter metoden at rørtverrsnittet kan reduseres relativt mye. Vannføringen må derfor beregnes ut fra det nye rørets veggtykkelse (Asplan Viak AS, 2009). Dersom ledningen er påkoblet stikkledninger, må det graves i anboringspunktet for retilknytning av stikkledninger.

3.2.2. Semi-strukturelle metoder

Semi-strukturelle metoder er renoveringsprodukter som er delvis avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret for å motstå opptredende trykkrefter i hele rørets levetid (Aas, Killingmo, & Busk , 2016, s. 22). Som vist i *figur 8* inkluderer metoden strømpeføring for vann- og avløp, samt tettisluttet rør.



Figur 8: Systematisk oversikt over Semi-strukturelle metoder.

Strømpeføring for vann og avløp

Strømpeføring er en CIPP (Cured-In-Place-Pipe), og deles inn i tre hovedtyper: glassfiberarmert foring, limt armert foring, og løs armert foring (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Foringen føres gjennom renoveringsobjektet, før den trykkes og legger seg ut mot rørveggen. Glassfiberforingen herdes ved bruk av ultrafiolett-lys, mens den armerte foringen inneholder epoksy som herdes med damp (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Dersom renoveringsobjekter er tilknyttet stikkledninger, er det ikke vanlig å bruke løs armert foring, da tykkelsen på foringen er relativt tynn, og kan klappe sammen dersom den ikke er under trykk. Ved limt armert foring kan anboringspunktet åpnes med robotikk. Strømpeforingen leveres med en maksimal diameter på 1500 mm, med en lengde på rundt 300 meter (Aas, Killingmo, & Busk , 2016).

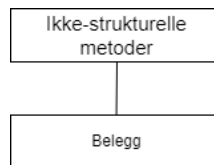
Primært har strømpeføring blitt benyttet i avløpssystemer, men nye metoder gjør at de også kan anvendes på vannledninger (Asplan Viak AS, 2009).

Tettisluttet rør

Metoden går ut på å føre ett sammenfoldet eller innsnevret rør inn i renoveringsobjektet ved hjelp av en hydraulisk vinsj. Etter dette blir røret trykksatt ved damp, som gjør at det foldes ut mot rørveggen. Bruk av denne metoden vil resultere i en dimensjonsreduksjon av røret (Asplan Viak AS, 2009). Dette vil begrense muligheten røret har til å ekspandere mot rørveggen, og kan resultere i folder på innsiden av bend (Asplan Viak AS, 2009). Dette gjør at bend er begrenset til 22 grader (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Dersom renoveringsobjektet er tilknyttet stikkledninger, er det behov for graving i anboringspunktet. Tettisluttet rør leveres i dimensjoner fra 100 mm til 500 mm (Aas, Killingmo, & Busk , 2016).

3.2.3. Ikke-strukturelle metoder

Ikke-strukturelle metoder er renoveringsprodukter som er absolutt avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret for å motstå opptredende trykkrefter i hele rørets levetid (Aas, Killingmo, & Busk , 2016, s. 28). Det er kun belegg som blir klassifisert som ikke-strukturell metode, som vist i *figur 9*.



Figur 9: Systematisk oversikt over Ikke-strukturelle metoder.

Belegg

En ikke-strukturell kostnadseffektiv metode som gir vesentlig levetidsforlengelse er belegg, og benyttes på ledninger for å forhindre videre innvendig tæring. Metoden består av polyuretan (PU)-belegg som sprøytes inn i rengjort ledning. Belegg er aktuelt på duktile støpejernledninger fra 1960 til 1970, som ble produsert uten innvendig korrosjonsbeskyttelse, eller kun med et tynt innvendig bitumenbelegg (Aas, Killingmo, & Busk , 2016). Metoden er helt gravefri, og benyttes på ledninger med dimensjoner fra 100 mm til 200 mm.

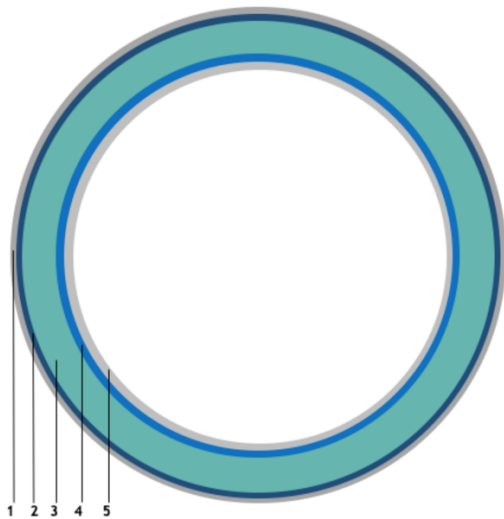
3.3. IBG HydroTech IBB16[®] Fullstrukturell Strømpeforing

IBB16[®] er en hybrid CIPP (Curing In Place Pipelining) rørforing som kan brukes til renovering av trykkledninger. For å oppfylle de nødvendige kriteriene for rehabilitering av trykksatte drikkevannsledninger, er systemet kombinert av to rørforinger med forskjellige egenskaper (IBG HydroTech, 2023). I motsetning til vanlig strømpereovering som klassifiseres som semistrukturelle der renoveringsproduktet er delvis avhengig av radiell støtte fra eksisterende vertsrør som nevnt i kapittel 3.2.2 *Semi-strukturelle metoder*, er IBG HydroTech IBB16[®] regnet som en fullstrukturell strømpeforing etter den er installert og herdet. Dette vil si at strømpeforingen kun er avhengig av vertsrøret under installasjonen, og er designet for selv å kunne motstå alle eksisterende statiske og dynamiske interne og eksterne belastninger gjennom hele levetiden. Det er likevel en ekstra sikkerhet å la vertsrøret ligge slik at det kan oppta noen av de eksterne belastningene.

Det er flere faktorer som må tas med i betraktning ved bruk av strømpeforingen og må vurderes for hver enkelt ledning. Dette inkluderer innvendig-, og utvendig diameter, veggtykkelse, materiale, tilstand på eksisterende rør, rusk og avleiringer, lengde, ovalitet, anboringer og bend.

3.3.1. Generelle tekniske data

Dette delkapittelet tar for seg generelle tekniske data for IBB16[®]. Ringstivheten til strømpeforingen er bestemt etter standarden ASTM D2290-19a *Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe*, og er oppgitt til 300 N/mm² som tilsvarer 43,511 psi (Heggernes, 2023). Maksimalt driftstrykk for strømpeforingen er 232 psi eller 16 bar. Strømpeforingen kan brukes i dimensjoner fra DN150 til DN1600. Veggtykkelsen på strømpeforingen er 9 mm, der glassfiberstrømpen utgir 5,5 mm til 6 mm og filtbelegget med polyetylen utgir 3,0 mm til 3,5 mm. Figur 10 og figur 11 viser tverrsnitt av oppbyggingen til strømpeforingen. For å sikre en langsiktig integritet er det ikke tillatt med et innvendig filtbelegg på mindre enn 1000 g/m².



Figur 10 : Tverrsnitt av oppbygging for IBB16.



Figur 11 : Snitt av ferdig herdet IBB16.

Foto: Andreas Huse

Tabell 4: Forklaring til figur 10.

Nummer	Beskrivelse
1	Forsterket ytre folie
2	Ytterfolie (PE / PA / PE)
3	Glass-Polyester harpiks laminat (UV-herdet)
4	Epoksy harpiks lag (Damp-herdet)
5	PE belegg med fillag

3.3.2. *Prosesstrinn for installasjon av strømpeforingen*

Installasjonsprosessen for IBB16[®] er delt opp i ulike steg nevnt i underkapitlene 3.3.2.1 til

3.3.2.4. Det tas forbehold om etablerte adkomstgroper før installasjonen.

3.3.2.1. *Rengjøring og fjerning av inntrengende objekter*

For å forhindre skade må alle inntrengende og utstikkende objekter fjernes eller jevnes ut før innføring av glassfiberstrømpen. Dersom objektene ikke fjernes, kan humper og folder dannes i foringen, noe som igjen hindrer utvidelsen og herdingen av glassfiberstrømpen. Objekter som bør fjernes eller utbedres er røtter, skjøter som er forskjøvet og ikke flykter, pakninger og fragmenter. De fleste objekter kan fjernes med kameraovervåket robotfres eller høytrykksspyling.

3.3.2.2. *Rengjøring og desinfisering av utstyr*

Epoksy er ikke kategorisert som giftig, men kan være helseskadelig og irriterende for huden i flytende form. Siden systemet bestående av filteren og polyetylenbelegget vrenses inn til slutt, og er den delen som er i kontakt med drikkevannet, er det derfor absolutt nødvendig å beskytte innsiden av polyetylenbelegget mot kontakt med epoksy før installasjon. Det skal derfor ikke være epoksy til stede på utstyret som brukes for å installere belegget. Dersom epoksy er til stede, skal det fjernes mekanisk eller ved oppløsning og spyling med aceton eller benzylalkohol. Varmesystemet og tauene som brukes under inntrekning skal kokes og om nødvendig rengjøres og desinfiseres.

3.3.2.3. Installasjon og herding av glassfiberstrømpe og filtbelegg

Installasjon og herding av strømpeforingen foregår i to omganger. Først føres glassfiberstrømpen inn i vertsrøret før den trykkes og blåses opp, slik at den flykter med innsiden av vertsrøret. Deretter blir den herdet ved bruk av ultrafiolett lys. Dette gjøres ved å føre ett UV-tog inn i foringen. Det ultrafiolette lyset starter en kjemisk reaksjon i pigmentene i glassfiberen som gjør at de binder seg sammen og herdes.

Når glassfiberstrømpen er herdet, vrenses et sammensatt system bestående av et epoksymettet filtbelegg og polyetylenbelegg, inn i glassfiberstrømpen. Epoksyen limer filten til glassfiberforingen og ved hjelp av damp herdes denne. Det blir da en sammensatt strømpeforing. Som nevnt i kapittelet over skal ikke innsiden på PE-belegget være i kontakt med flytende epoksy.

3.3.2.4. Sluttkontroll

Sluttkontroll utføres ved hjelp av en kamerainstallert robot. Operatør kan da inspisere og undersøke den renoverte ledningen. Det er viktig å se etter større folder, ujevnheter og skader på foringen.

3.4. utfordringer knyttet til renovering med fullstrukturell strøpme

Dette kapittelet tar for seg usikkerheter og utfordringer knyttet til renovering av drikkevannsledninger med fullstrukturell strøpmeføring. Ved bruk av fullstrukturell strøpmeføring må det gjøres individuelle vurderinger siden hver enkelt ledning er unik og ikke nødvendigvis har de samme usikkerhetene.

3.4.1. Vannbehov

Ved renovering eller utskifting av drikkevannsledninger er det nødvendig å foreta beregninger for å vurdere vannforbruket for et område, samt vurdere om kapasiteten og rørtverrsnittet er tilstrekkelig med hensyn til renovering med fullstrukturell strøpmeføring. Dette er for å sikre nok kapasitet slik at eventuelle fremtidige endringer sikrer en tilstrekkelig vannmengde. Vannbehovet anslås ut fra ønsket om utvikling i samfunnet, det vil si befolkningsvekst, utvikling i lekkasjer, fremtidig utbygging, klimaendringer ol. (PIPELIFE Norge AS, 2022b).

Dimensjonerende vannforbruk for et boligområde kan regnes ut med følgende formel:

$$Q_{dim} = Q_{maks} = \frac{PE * (q_h * f_{maks} * k_{maks} + lekkasjer)}{24 * 60 * 60} + slukke vann$$

Formel 3: Dimensjonerende vannføring for en forsyningsledning (Ødegaard & Sægrov, 2014)

Tabell 5: Parametre for innsetting i formel 3.

Forkortelse	Beskrivelse	Enhet
PE	Antall personer knyttet til ledning	stk
q_h	Vannforbruk	l/(PE*dag)
f_{maks}	Maksimal døgnfaktor	
k_{maks}	Maksimal timefaktor	
lekkasjer	Konstant lekkasjemengde	l/(PE*dag)
slukke vann	Krav til slukke vann	l/s

Eksempel dimensjonerende vannbehov for et boligområde:

Fornyelsesledningen er tilknyttet et høydebasseng, og forsyner et boligområde med 3,500 personer. Det er tatt hensyn til lekkasjer, og det stilles krav til slukkevann.

Følgende parametre er gitt:

- *Vannforbruk* = 140 l/(PE*dag)
- *Maksimal døgnfaktor* f_{maks} = 1,9
- *Maksimal timefaktor* k_{maks} = 2,1
- *Konstant lekkasjemengde* = 70 l/(PE*dag)
- *Krav til slukkevann* = 50 l/s

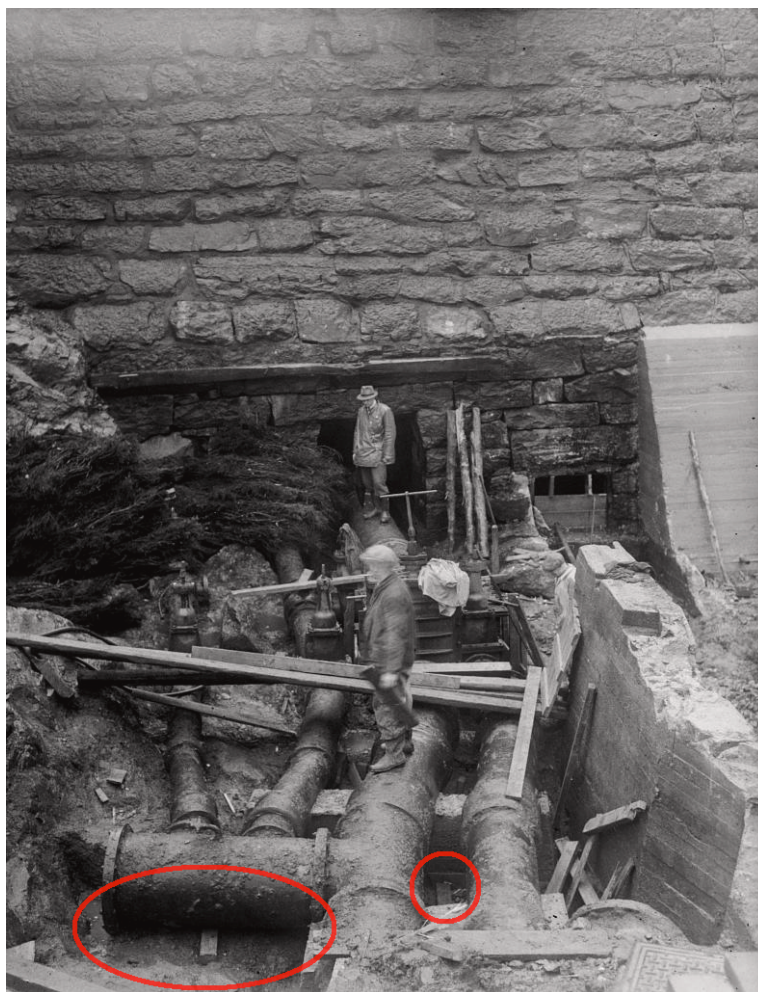
Ved innsetting i formelen over får vi følgende resultat:

$$Q_{dim} = \frac{3500PE * (140 \text{ l}/(\text{PE} * \text{dag}) * 1,9 * 2,1 + 70 \text{ l}/(\text{PE} * \text{dag}))}{24 * 60 * 60} + 50 \text{ l/s} \approx 75,5 \text{ l/s}$$

Det må ved renovering av denne ledningen tas hensyn til et vannforbruk på 75,5 l/s ved maksimal døgn- og timefaktor.

3.4.2. Skolinger

Ved installasjon av ledninger i grøft ble enkelte ledninger lagt på skolinger, også kalt sviller, med en kombinasjon av stedlige masser (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 374). Skolinger er trefundamenter brukt som støttestruktur for rørledninger som ligger i bakken der det er ustabile masser, og skal skape en jevn støtteflate. De er utformet for å beskytte rørene mot skade som kan oppstå fra kontakt med grøftebunn, i tillegg til å fordele vekten av røret jevnt over et større område for å redusere belastningen. Skolingene plasseres i grøften under røret (jf. Figur 12).



Figur 12: Skolinger som støttefundament for vannledninger (Avdeling for spesialsamlinger, mellom 1952-02-01 og 1952-02-29).

Trevirke som plasseres i bakken vil brytes ned biologisk. Nedbrytningsgraden varierer og det er flere faktorer som spiller inn, blant annet grunnforhold og masser. I Bergen er det brukt treskolinger som støttefundament for vannledninger (Trovik, 2023). Dette er i hovedsak fordi de er billigere og enklere å produsere. Når skolingene er biologisk brutt ned skaper det

problemer, da det ofte dannes søkk i ledningens lengderetning. Dersom søkket allerede har dannet seg i det eksisterende røret vil strømpeforingen kun føre til at problemet flytter seg videre. Som oftest blir det benyttet tradisjonell grøftegraving der det er et betydelig søkk. I andre kommuner, som blant annet Oslo, brukes det skolinger av betong (Grindheim, 2023). Det er dermed ikke samme utfordringer knyttet til nedbrytning og søkk.

3.4.3. Anboringer

En anboring er der sideliggende stikkledninger kobles til hovedvannledninger under fullt vanntrykk. Ofte er hovedvannledningene offentlig eid, mens stikkledningene privat. I Norge er 70 prosent av alle anboringer montert på ledninger med 150 mm dimensjon (Heggernes, 2023). Eierskap av stikkledninger varierer fra kommune til kommune. I Bergen har kommunen ansvar for den andelen av ledninger som ligger i veibanen, selv om de går til private boliger (Trovik, 2023). I Oslo skal stikkledninger ved nyinstallasjoner og renoveringer av vann- og avløpsledninger, fortrinnsvis tilknyttes kommunale ledninger i kum (Oslo kommune, 2006). Denne prosessen krever graving, og er generelt mer kostbart. Fordelen med stikkledning til kum er redusert belastning på den kommunale trykksatte ledningen, og fremtidig tilrettelegging med hensyn på renovering.

Dersom det benyttes anboringer på vannledninger, vil spenningen øke i anboringspunktet. Dette skyldes blant annet konsentrerte belastninger ved selve anboringspunktet der rørtverrsnittet reduseres (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 387), og kan være en svakhet som fører til brudd. Ved grøftefri fornyelse av vannledninger med anboringer, må anboringspunktet graves ned på, eller bores opp fra innsiden. Overgangen mellom stikkledningen og renoveringsproduktet skal være tett for å hindre kappilærsug, det er derfor nødvendig med teknologi som gir høy nøyaktighet ved boring av anboringer fra innsiden.

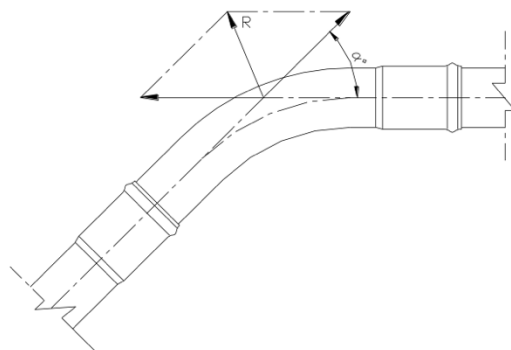
Robotfreser gjør det mulig å bore anboringer fra innsiden på ledninger med dimensjoner fra 250 mm og oppover (Heggernes, 2023). For ledninger med dimensjoner fra 150 mm til 250 mm er det problematisk knyttet til bend, der sannsynligheten for at roboten settes fast er stor. Videre teknologisk utvikling av en kompakt robot vil muligens gjøre det mulig å åpne anboringer ved mindre dimensjoner, samt sette på en overgangsmuffe (Heggernes, 2023). Dersom dette lar seg gjøre, vil det være mer attraktivt å strømpe vannledninger med flere anboringspunkt.

3.4.4. Grunnforhold

Grunnforholdet hvor vannledningen er etablert kan variere avhengig av geografisk beliggenhet og lokale forhold. Ser en på Bergen som et eksempel har vi mye fjell og berg i forhold til andre kommuner. Noen av de vanligste grunnforholdene som påvirker vannledninger er blant annet jordtyper som kan variere fra sand til leire, kinematiske forhold som frost, varme og fuktighet og grunnvannsnivå. Usikkerhetene knyttet til grunnforholdene og igjenfyllingsmasser kan påføre nye brudd ved reovering. Det er derfor viktig å utføre grundige analyser på stedet før man legger ny vannledning eller gjør endringer på eksisterende ledninger. Da vil det også være naturlig å gjøre en vurdering om det er grunnforholdsproblemer på eksisterende ledninger som har behov for reovering, da dette kan ha innvirkning på metode valg, særlig om det viser seg at masse utskiftning er nødvendig.

3.4.5. Bend

Bend i vannledninger refererer til krumninger, eller bøyninger, i et rørsystem. Bendet kan bestå av enten en enkelt krumning eller flere krumninger, avhengig av det endelige formålet. Det er nødvendig med bend for å kunne tilpasse terrenget eller topografien, eksempelvis der ledningen følger en vei eller må legges rundt en hindring. Bend kan også være nødvendig ved sammenkobling av flere ledninger med ulike dimensjoner, eller for å knytte utstyr eller apparater til ledningsnett.



Figur 13: Eksempel på et muffebend (PEPELIFE Norge AS, 2020a).

Krumningen i bendet defineres som α (jf. Figur 13). Imidlertid kan for mange, eller for krappe bend, skape problemer. Dette inkluderer blant annet reduksjon av vanntrykket og strømningshastighet, samt problemer knyttet til dannelse av rikkel eller folde ved bruk av fullstrukturell strømpereovering.

3.4.6. Endeforsegling

Dersom en skal benytte strømpeforing må en sikre at vann ikke lekker inn mellom strømpeforingen og renoveringsobjektet. Produkter brukt for å forhindre dette er blant annet Amex og Quicklock. Produktene er en sammensetning mellom en pakning og et spennsett (Heggernes, 2023). Amex må manuelt spennes opp fra innsiden, mens Quicklock har spennsettet på sylindere, og pakning på utsiden. Quicklock spennes på plass ved bruk av en trykkballong som pakningssylindret er tredd over (*jf. Vedlegg 1 Datablad for Quicklock*). Quicklock kan benyttes på ledninger med diameter fra 150 mm til 600 mm (*jf. Vedlegg 1 Datablad for Quicklock*), mens Amex kan brukes fra diameter 100 mm til 4000 mm (*jf. Vedlegg 2 Datablad Amex*). For å låse pakningen i riktig posisjon spennes den ut, som en motsatt strips. Dette blir brukt for sikre en tett overgang inn i den nye strømpeforingen.

3.4.7. Midlertidig vannforsyning

Midlertidig vannforsyning, også kalt provisorisk vannforsyning, eller provann, er en midlertidig løsning for å sikre tilstrekkelig drikkevann og slukkevann i det tidsrommet renovering eller reparasjoner av ledningsnett pågår. Det provisoriske vannsystemet skal tilfredsstillе drikkevannskravene til en vanlig vannledning, men det stilles strenge krav til leveranse og trykk i nærhet av sårbare virksomheter som sykehus og skoler (Skaar, 2023). Denne midlertidige løsningen er svært kostbar, noe som gjør at tiltakshaver, i de tilfeller det går, ikke ønsker å benytte seg av. Som en tommelfingerregel fra Bergen Vann kan en ved bruk av vannstasjoner unngå bruk av provisorisk vannforsyning dersom anleggstiden er under tre dager (Trovik, 2023).

3.5. Tilstandskartlegging

Tilstandskartlegging er en avgjørende faktor for forvaltning av ledningsnett (Ødegaard & Sægrov, 2014, s. 394). Kartleggingen består hovedsakelig av kontroller for vann- og avløpsledninger, og gjøres for å sikre viktig informasjon om deler av ledningsnett.

Tilstandsundersøkelser deles gjerne i to: grunnleggende metoder og avanserte metoder. De grunnleggende metodene inkluderer ledningsregistre, rørinspeksjon og laboratorieprøving. Ledningsregistre inneholder systematisering av eksisterende erfaringer, data om feil og feilårsaker (Sægrov, 2018). Rørinspeksjon er bruk av robot eller videokamera for å inspisere rørledninger. Laboratorieprøving baseres på akselererte målinger av nedbrytning av rørprøver (Sægrov, 2018). De avanserte metodene inkluderer lekkasjekontroll, rørscanning, digitalfotografering og tilstandsmåling for avløpsledninger.

Denne typen informasjon bidrar til å vurdere ledningens tilstand, og gir en indikasjon på når det er behov for reovering. Ledningens behov for reovering deles som oftest inn i tre kategorier:

- *ASAP (As Fast As Possible)* hvor det er behov for reovering når anleggstilstanden gir anledning for tiltak.
- *JIT (Just In Time)* hvor det er like før uakseptabel tilstand opptrer i rørledningen.
- *EOL (End Of Life)* hvor rørledninger er brutt ned.

Manglende tilstandskartlegging kan være en mulig årsak til den lave fornyelsestakten og enorme lekkasjemengder. Bedret tilstandskartlegging bidrar også til en bedret økonomisk- og materiell forvaltning.

3.6. Oppsummering

Etter å ha studert det teoretiske rammeverket, anses grøftfrie reovering med bruk av fullstrukturell strømpeforing som et komplekst tema med mange elementer å ta hensyn til. I lys av den teoretiske tilnærmingen, vil oppgaven forsøke å besvare, til den grad det lar seg gjøre, i hvilke tilfeller det egner seg å reovere vannledninger med fullstrukturell strømpe.

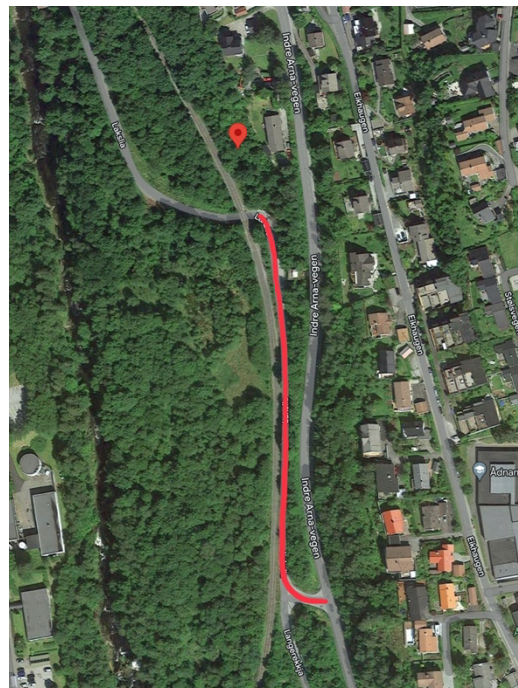
4. Resultater

I dette kapitlet presenteres resultater fra teorikapitlet. Resultatene er basert på egne observasjoner fra befaringer, samtaler med aktører, beregninger, litteratur og betraktning av teori. Teorien vil bli analysert, og empiriske beregninger for blant annet vannmengde før og etter strømping, samt bruddstatistikk vil presenteres. Alle resultatene vil til slutt presenteres i en tabell med veiledning for beslutningstakere i kommunen.

4.1. Hvilke utfordringer skaper terrenget rundt renoveringsobjektet?

Resultatet fra dette delkapittelet baserer seg på egne hypoteser og observasjoner fra befaring i Indre Arna og Bjørkåsen i Bergen i forbindelse med henholdsvis strømping og utblotking.

I forbindelse med en befaring for semi-strukturell strømpereovering av spillvannsledning i kum i Indre Arna, ble det gjort observasjoner på tilkomsten til renoveringsobjektet. Ledningen som skal fornyes ligger langs det gamle jernbanesporet, rundt 25 meter fra vei (jf. Figur 15). Strømpingen krever en del større utstyr, blant annet installasjonstrømmel. Det var derfor behov for lastebil for å frakte trommelen, samt kranbil til å løfte den på plass til kummen. Det ble gjort observasjoner på den 2,3 meter høye broen i tilknytning til jernbanesporet, noe som skapte logistikkutfordringer (jf. Figur 14). Det var derfor kun en smal vei som var egnet til adkomstvei for lastebilen og kranbilen (markert i rødt i figur 15). Dette resulterte i at veien måtte stenges for forbikjørende i tidsrommet arbeidet pågikk, men fotgjengere kunne passere som normalt.



Figur 15: Renoveringsobjekt og tilkomst for strømpereovering i Indre Arna.

Foto: Google Maps



Figur 14: Bro i tilknytning til jernbanesporet.

Foto: Google Maps

I Bjørkåsen var det behov for større dimensjon på renoveringsobjektet. Det ble derfor besluttet å bruke blokking som grøftefri installasjonsmetode. Renoveringsobjektet bestod av et stålrør med indre diameter 140 mm, og skulle oppdimensjoneres til et 180 mm SLA Barrier Pipe, som består av et polyetylenrør med diffusjonssperre og beskyttelseslag (jf. Figur 2 side 20). Det totale strekket skulle blokkes i flere etapper, og gruppen var med på befaring for den første etappen på 25 meter.

Det ble gjort observasjoner på sikring av tilkomstgrop, samt tiltak for provisorisk vannforsyning og beboere. Siden det var flere arbeidere, i tillegg til åpen gangtrase for fotgjengere, var det nødvendig å sette opp gjerder som fallsikring rundt tilkomstgropen. Siden det ikke var mulighet for omkjøring for beboere, var veien periodevis stengt mens arbeidet pågikk. Når arbeidet var ferdig for dagen, ble en stålplate heist over tilkomstgropen. På den måten kunne biler passere, og det var ikke behov for midlertidig parkeringsplass.



Figur 16: Tilkomstgrop til blokking av 140mm stålrør i Bjørkåsen.

Foto: Sebastian Karlsen



Siden arbeidet pågikk i etapper og ikke kunne holdes under 72 timer arbeidstid, ble det etablert provisorisk vannforsyning langs traseen som midlertidig løsning for drikkevann, samt brannvann (jf. Figur 17). Det ble ikke gjort andre særskilte observasjoner knyttet til arbeidet.

Figur 17: Provisorisk vannforsyning i Bjørkåsen.

Foto: Sebastian Karlsen

4.2. Hvilke utfordringer knyttet til bend vil gi problemer med fullstrukturell strømpe?

Resultatet fra dette delkapittelet baserer seg på produkttesting av den fullstrukturelle strømpeforingen.

Ved installasjon av den fullstrukturelle strømpeforingen som nevnt i kapittel 3.4.5. *Bend* vil det dannes en folde, eller rukkell på innsiden av bendet. Grunnen til dette er fordi strømpeforingen strekkes i den ytre delen, og komprimeres i den indre delen av bendet.

Folden endrer seg proporsjonelt med vinkelen på bendet, både i horisontal- og vertikalretning. Desto større vinkelen på bendet er, desto større blir folden. Folden vil være minimal for bend mindre enn 22,5 grader. Kontinuerlige tester utføres for å forstå hvordan folden påvirker strømningshastigheten, vannføring og rørstyrke. I ledninger med krappere bend, som for eksempel 90 grader, dannes det en stor folde. Dette vil i turbulens for vannet.



Figur 18: Folder i et DN1200 rør med 22,5 graders bend (Heggernes, 2023).

4.3. Finnes det en gunstig løsning for anboringer ved fullstrukturell strømperenovering?

Resultatet fra dette delkapittelet baserer seg på egne hypoteser og muntlige meddelelse fra fagfolk i VA-bransjen.

I tiden denne oppgaven er utarbeidet er det ingen konkret grøftefri løsning for anboringer som tilfredsstillende alle rørdimensjoner. For større dimensjoner kan det brukes en robot som freser opp anboringer fra innsiden. For mindre rørdimensjoner er det utfordringer knyttet til dette, blant annet i bend der roboten sitter seg fast. Denne er fortsatt under testing og patentering. Et annet alternativ kan være å grave ned på anboringspunktet for så å kappe av et stykke av det eksisterende røret, inkludert anoringen. Ved avkappet installeres et nytt rør av samme materialet som renoveringsobjektet. Deretter blir anboringspunktet boret opp. En kan da installere strømpeforingen som normalt å strømpe gjennom hele røret, inkludert den nyinstallerte termoplastdelen, for så å bore gjennom strømpeforingen og ut til anboringspunktet som allerede er boret opp.

Andre alternativer er å gjøre som Oslo kommune der de forsøker å legge alle stikkledninger til kum ved renovering av drikkevannsledninger. Denne prosessen er mer tidkrevende og kostbar med tanke på graving, priser for produkter som kummer og ekstra ledninger, samt stenging av gater. Dette kan få konsekvenser for private og handelsstanden. Dersom dette kan aksepteres, må det da vurderes å grave hele ledningen som skal renoveres ved tradisjonell grøftegraving, legge alle stikkledninger til kum, for så å installere en ny ledning. En har da tilrettelagt for fremtidig renovering av ledningen, og kan bruke fullstrukturell strømperenovering ved neste anledning.

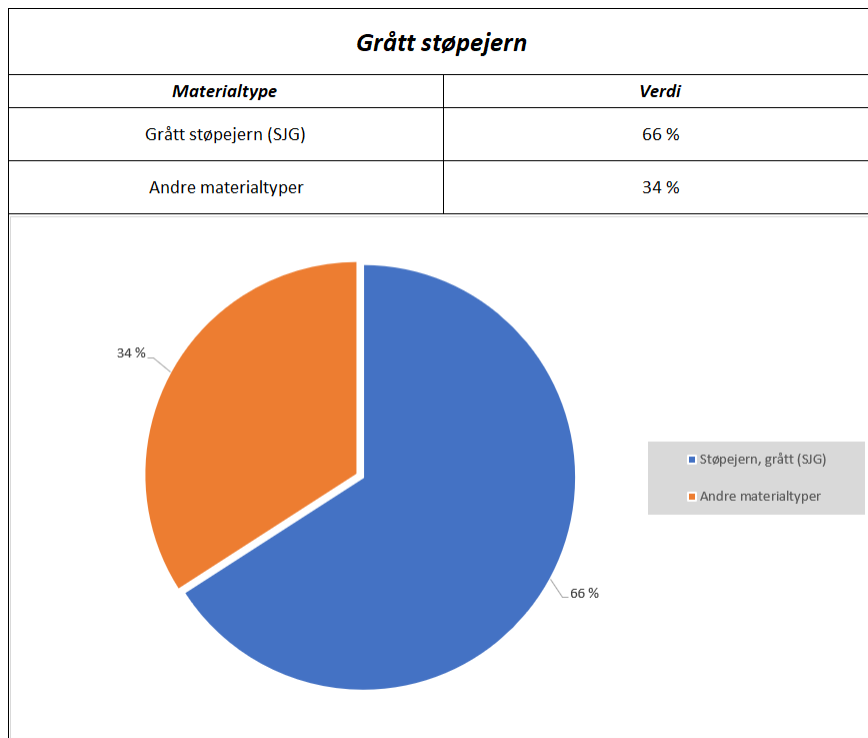
4.4. Hvilken rørmaterialer er utsatt mest for brudd, og hvordan påvirker det strømpeforingen?

Resultatet fra dette delkapittelet baserer seg på beregninger utført i Excel-dokumentet "BYG350_bruddstatistikk_og_asbest.xlsx", som også er vedlagt som vedlegg med samme navn.

Grått støpejern

Som nevnt i kapittel 3.1.1.1. *Ledninger av støpejern* var grått støpejern det dominerende valget for vannledninger frem til slutten av 1970-tallet. Ved produksjon av grått støpejern ligger grafitten i jernet seg som flak. Flakene bidrar til at materialet får en «sprø» karakter, noe som gjør at de er svært utsatt for sprekkvekst og mulig flakbrudd i rørets lengderetning.

Sprekkvekster starter ved små defekter som skyldes produksjon, transport eller korrosjon. Dersom spenningen i rørveggen overstiger en kritisk verdi vil sprekkveksten øke betraktelig, og på under ett minutt vil det være full utlekking. Grått støpejern er svært utsatt for brudd, og det er alene registrert over 3000 brudd på vannledninger av grått støpejern i Bergen alene, dette utgir 66 prosent av alle registrerte brudd (*jf. Figur 19*).

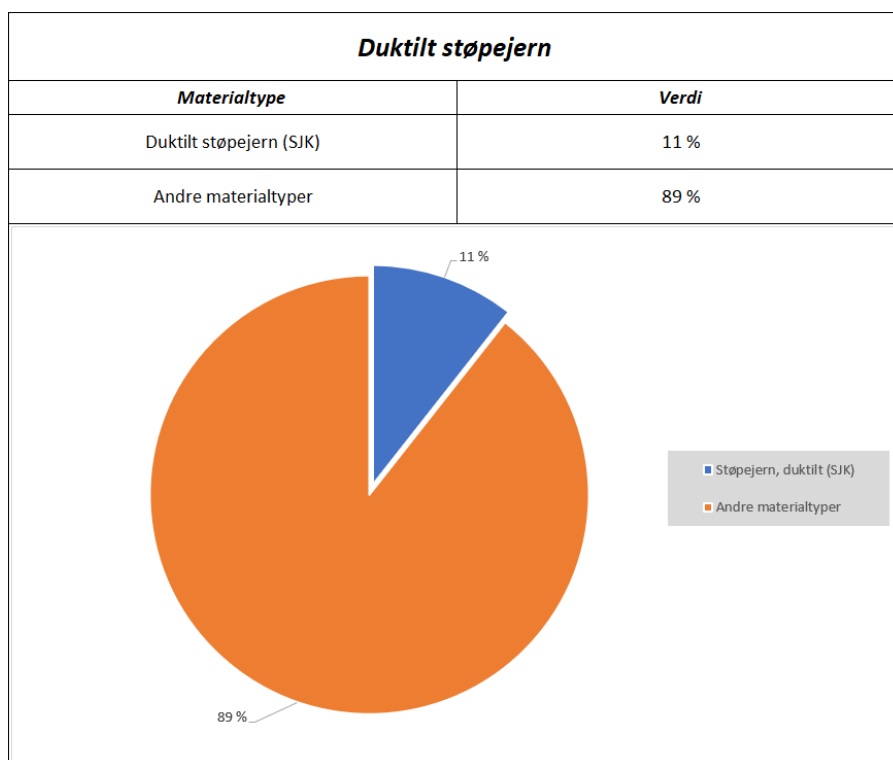


Figur 19: Prosentandel av registrerte brudd i Bergen av grått støpejern.

Dersom bruddledningen har større og gjerne flere flakbrudd, kan det gi problematikk med strømping av vannledningen da spesielt med hensyn på hvordan glassfiberstrømpen ligger seg i selve bruddet. Dersom bruddet er relativt stort kan strømpeforingen «styres» ut av hullet som er dannet og lage en knekk. Andre problemer er om flakbruddet har lagt seg inn i røret på en slik måte at det sperrer for strømpeforingen. Det kan derfor være nødvendig å grave ned på punktet med brudd, hente ut flaket, for så å strømpe gjennom.

Duktilt støpejern

I senere tid har duktilt støpejern overtatt for grått støpejern. Produksjonen av duktilt støpejern foregår omtrent likt som grått støpejern, bortsett fra at det tilsettes magnesium under produksjonen. Grafitten i jernet blir da fordelt som kuler, og gir jernet en seig egenskap. På grunn av dette er det svært sjeldent at duktile støpejern går til brudd. Duktilt støpejern er ikke i nærheten av like utsatt for brudd som grått støpejern, men det er fortsatt registrert tilfeller (jf. Figur 20). Dette er spesielt i ledninger lagt i perioden fra 1965 til 2005. Dette skyldes blant annet mangel på innvendig og utvendig korrosjonsbeskyttelse som vil korte levetiden til røret, som nevnt i kapittel 3.1.6 *Levetid for vannledninger*. Andre faktorer kan også være hvordan ledningen er håndtert ved installasjon.

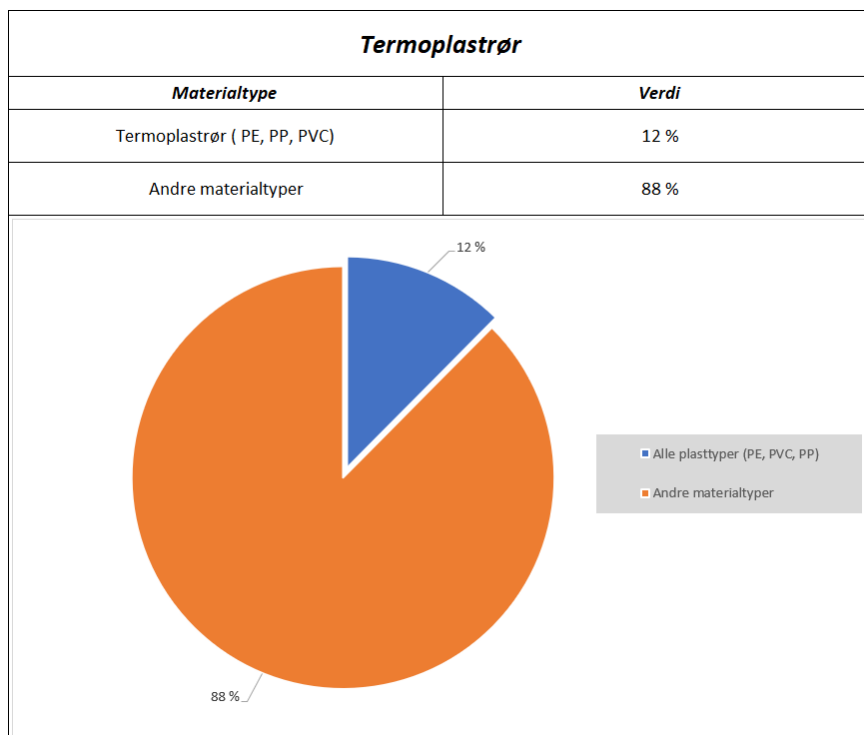


Figur 20: Prosentandel av registrerte brudd i Bergen av duktilt støpejern.

Duktilt støpejern (markert i blått) utgir rundt 11 prosent av alle registrerte brudd i Bergen kommune, hvor andel registrerte brudd utgir 529 stykker. På grunn av hvordan grafitten er formet i duktile støpejern, er de ikke utsatt for brudd på samme måte som grått støpejern, men heller perforering på grunn av korrosjon og gjennomtæring. Det vil dermed ikke dannes flakbrudd, men heller sprekker.

Termoplastrør

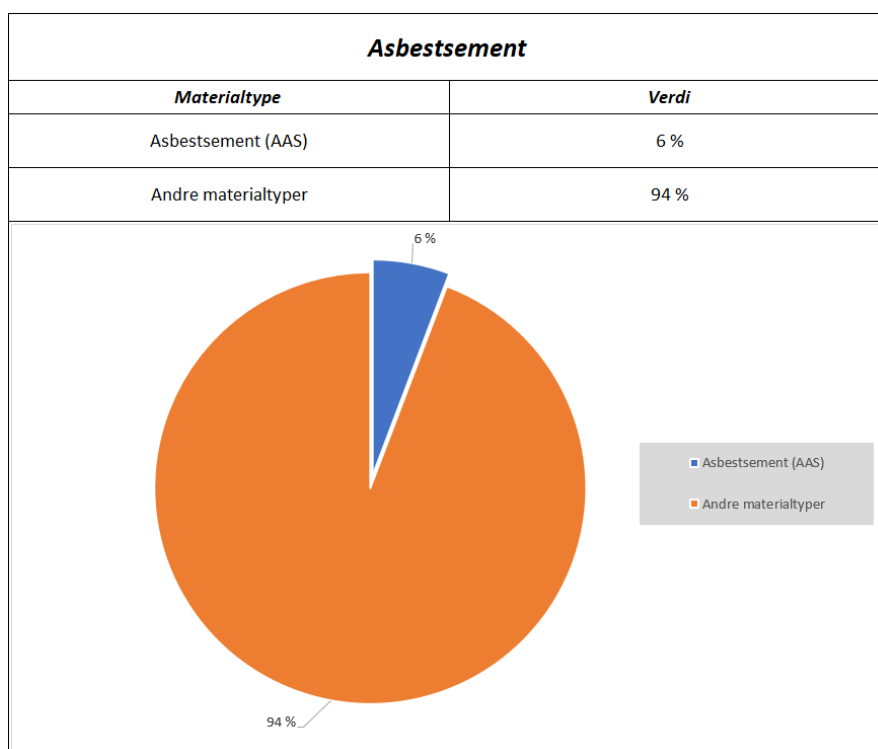
Termoplastrør er mye brukt grunnet sin styrke og økonomiske fordel. Plastrør utgir rundt 108 kilometer av det kommunale vannledningsnett i Bergen, og er relativt lite utsatt for brudd i forhold til andre materialer. Plastrørene har hatt en kontinuerlig utvikling siden de først ble introdusert, og sterkere rør kombinert med bedre anleggsteknikker bidrar til et sikrere vannledningsnett. Det er totalt registrert 620 brudd på vannledninger av termoplast, dette inkluderer materialene polyetylen, polyvinylklorid og polypropylen. I prosentandel utgjør dette rundt 12 prosent av alle registrerte brudd i Bergen (jf. Figur 21).



Figur 21: Prosentandel av registrerte brudd i Bergen av termoplastrør.

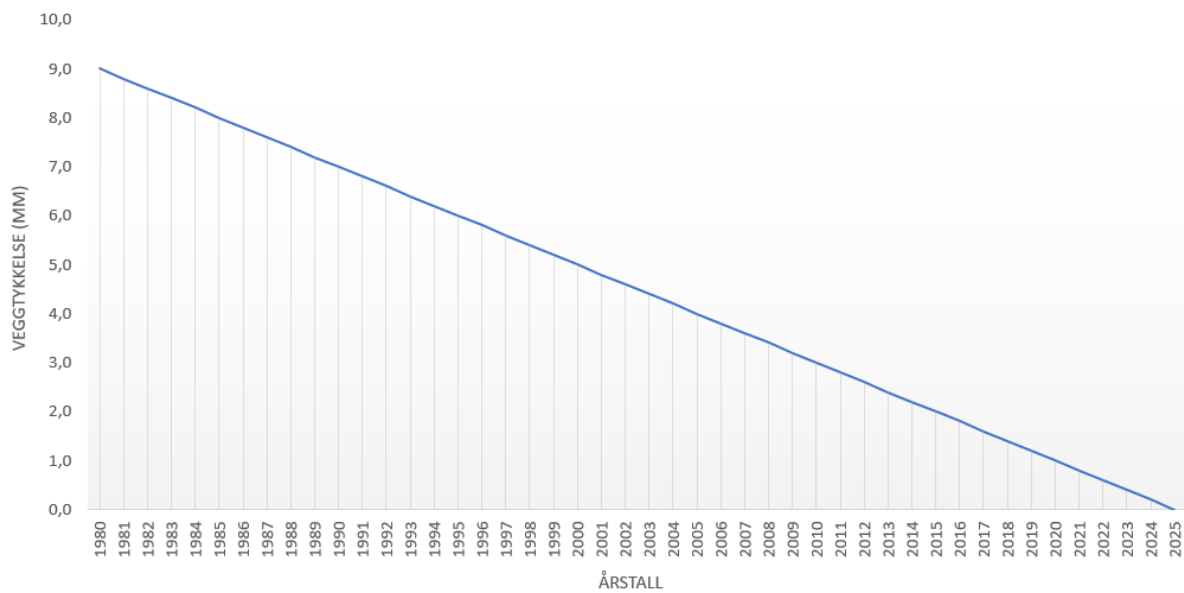
Asbestsementrør

Før det nasjonale totalforbudet mot asbest ble innført, var asbestsementrør et populært valg for nye drikkevannsledninger i Bergen kommune. I perioden fra 1950 til 1985 ble det installert i overkant av 36 kilometer asbestsementrør. Ut fra dette er det registrert totalt 288 brudd på asbestsementrør i Bergen, noe som tilsvarer rundt 6 prosent av alle registrerte brudd (jf. Figur 22).



Figur 22: Prosentandel av registrerte brudd i Bergen av asbestsementrør.

Dersom en tar utgangspunkt i en asbestsementledning lagt i 1980 med en utvendig diameter på 118 mm, en veggtykkelse på 9 mm samt en tæring på 0,2 mm pr. år som nevnt i kapittel 3.1.1.4 *Ledninger av asbestsement*, når røret sin teoretiske levetid etter 45 år, altså i 2025 (jf. Figur 23). Veggtykkelsen reduseres lineært med påfølgende år etter installasjonen. Selv uten bruddskader er siste generasjon av asbestsementrør allerede moden for utskiftning.

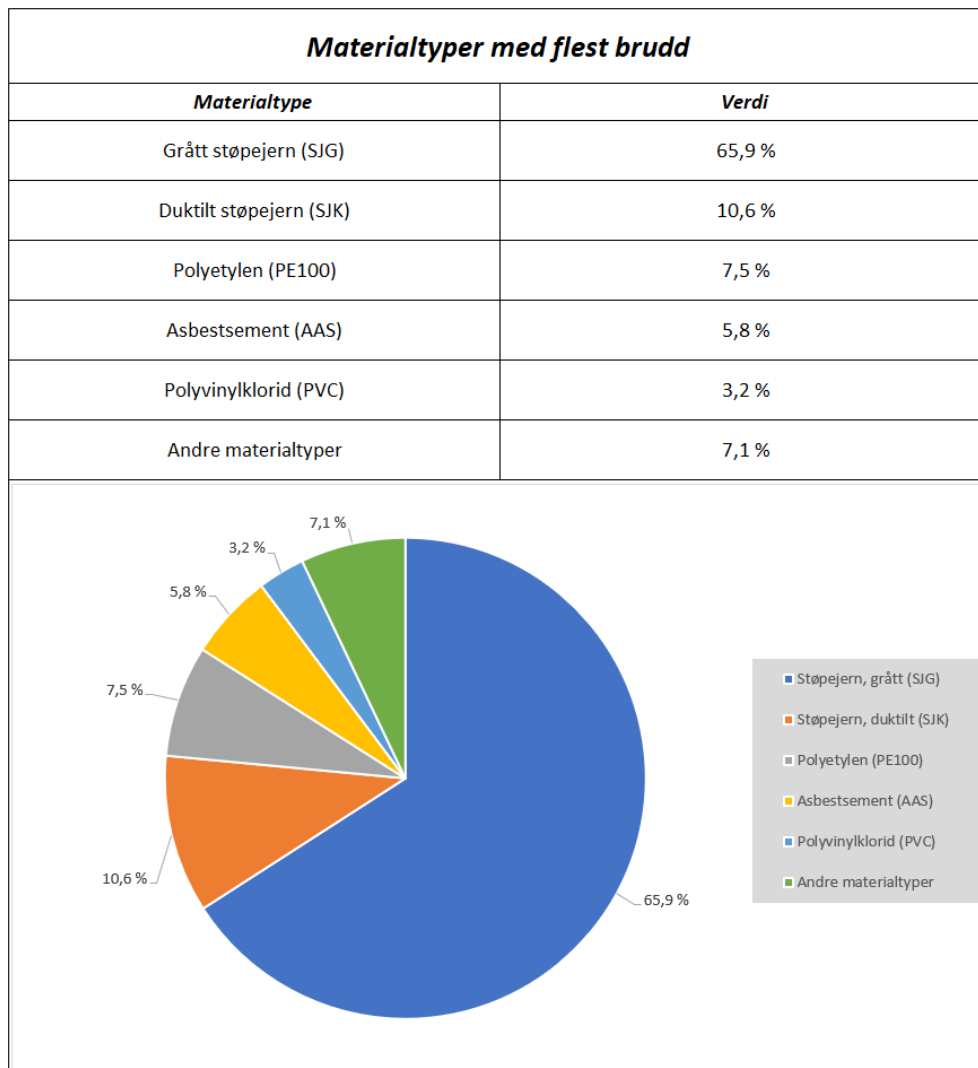


Figur 23: Beregnet teoretisk levetid for en asbestsementledning.

Asbestsementrør er sårbar for dårlig utførelse. Undersøkelser gjort i 1982 viste rapporterte hendelser fra 74 vannverk tilknyttet asbestsementrør. Antatte hovedårsaker til feil inkluderer feil i skjøter, feil på grunn av utførelse som frostskafer og setninger, samt transportskafer. Etter nedbrytningen av asbestfibre som utgjør armeringen vil røret være svært utsatt for brudd siden styrken reduseres.

Materialtyper som er størst utsatt for brudd:

Ut fra denne informasjonen kan vi sette opp en figur med materialtypene som er størst utsatt for brudd i Bergen (jf. Figur 24). Figuren er basert på bruddstatistikk for Bergen kommune.



Figur 24: Materialtyper registrert med flest brudd i Bergen.

4.5. I hvilke tilfeller vil det være nyttig med provisorisk vannforsyning ved bruk av strømpeforingen?

For større prosjekter kan det være nødvendig med provisorisk vannforsyning som en midlertidig løsning for drikkevann til beboere, og til bruk som slukkevann. Det provisoriske vannsystemet skal tilfredsstille drikkevannskravene til en vanlig vannledning, men det stilles strenge krav til leveranse og trykk i nærhet av sårbare virksomheter som sykehus og skoler og skal forhindre spredning av vannbårne sykdommer som *Campylobacter* og *Salmonella*. Det er også ofte svært dyrt å sette opp en midlertidig vannforsyning. Ved en anleggstid på under 72 timer kan en unngå provisorisk vannforsyning for virksomheter med lavere sårbarhet, som eksempel boliger og lagerbygg.

4.6. Hvordan påvirker strømpeforingen vannmengde og strømningshastighet?

Dette delkapittelet baserer seg på beregninger utført i Excel-dokumentet

"BYG350_colebrook_white.xlsx", som også er vedlagt som vedlegg med samme navn.

Det må gjøres beregninger for å anslå hvor mye vannmengden reduseres ved bruk av strømpeforing. Fra datasettet med bruddstatistikk for Bergen kommune er det gjort observasjoner på hvilke dimensjoner som er størst utsatt for brudd. Dette er dimensjoner fra DN150 til DN400. Det blir derfor gjort beregninger for å forstå hvordan dimensjonsreduisering og ruhet påvirker differansen i vannmengden mellom en eksisterende- og en strømpet ledning.

Forholder som påvirker hydrauliske tap i ledninger er for eksempel singulærtap, bend, anboringer, ventiler osv. en bør derfor vanligvis ikke bruke en ruhet lavere enn 0,5 mm i nettberegninger, selv om ledningsnett er av plastrør. Gamle rustne rør med mye rustknoller kan ha høyere ruhet enn de som er vist i tabell 7. Det er derfor besluttet å gjennomføre beregninger på tre ulike fiktive ledninger før og etter strømping, på ett rett strekk uten bend, men med ulike grad av ruhet og material. Ledningene vil alle ha en indre diameter fra dimensjonene nevnt over, med ett intervall på 25 mm. Strømpeforingen har en

veggtykkelse på 9 mm. To av ledningene vil være av støpejern med ulik ruhet (henholdsvis $r=2,5$ mm og $r=1,5$ mm), og det siste av polyvinylklorid ($r = 0,5$ mm). Felles for alle ledningene er en lengde på 500 meter, kotehøyde fra 40 til 20 meter og driftstrykk på 6 til 4 bar. Strømpeforingen vil ha en ruhet tilsvarende plastrør, og settes derfor til 0,5 mm.

Siden det skal gjøres flere beregninger er det besluttet å utføre beregningene ved hjelp av det digitale utregningsverktøyet til Pipelife (Pipelife Norge AS). Utregningsverktøyet bruker den empiriske ligningen Colebrook/White (jf. Formel 4), og er utmerket for kapasitetsberegning når strømningshastighet er ukjent. For mer utdypende informasjon og eksempel for beregning, se Vedlegg 3 Colebrook/White: Formel og eksempel for utregning.

$$Q = -2 * A_{vann} * \sqrt{2 * g * D_h * I} * \log \left(\frac{k}{3,71 * D_h} + \frac{2,51 * U}{D_h * \sqrt{2 * g * D_h * I}} \right)$$

Formel 4: Colebrook-White formel for kapasitetsberegning (PIPELIFE Norge AS, 2020a).

Tabell 6: Parametre for innsetting i formel 4.

Forkortelse	Beskrivelse	Enhet
Q	Vannføring	m ³ /s
A _{vann}	Tverrsnittareal	m ²
g	Tyngdeakselerasjon	m/s ²
D _h	Hydraulisk diameter	m
I	Trykktap / trykklinjens fall	m/m
k	Ledningens ruhet	m
u	Væskens kinematiske viskositet	m ² /s

Hydrauliske tap i ledninger påvirkes av flere faktorer, som blant annet singulærtap, bend, anbringinger, ventiler osv. en bør derfor vanligvis ikke bruke en ruhet lavere enn 0,5 mm i nettberegninger. Gamle rustne rør med mye rustknoller kan ha høyere ruhet enn det som er vist i tabellen under (Hafskjold & Sægrov, 2008).

Tabell 7: Teoretiske og praktiske ruheter for ulike ledningsmaterialer¹ (Lindholm, Endresen, Smith, & Thorolfsson, 2012).

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Ofte brukte/praktiske ruheter på ledninger (mm)
Plastrør (PVC, PE, etc.)	0,002 - 0,007	0,1 - 0,4
Betongrør	0,06 - 0,3	0,3 - 1,0
Nye støpejernsrør med betongforing	0,06 - 0,15	0,3 - 0,5
Nye støpejernsrør med termoplastforing	0,002 - 0,007	0,1 - 0,4
Eldre støpejernsrør	0,6 - 1,5	1,5 - 2,5 *

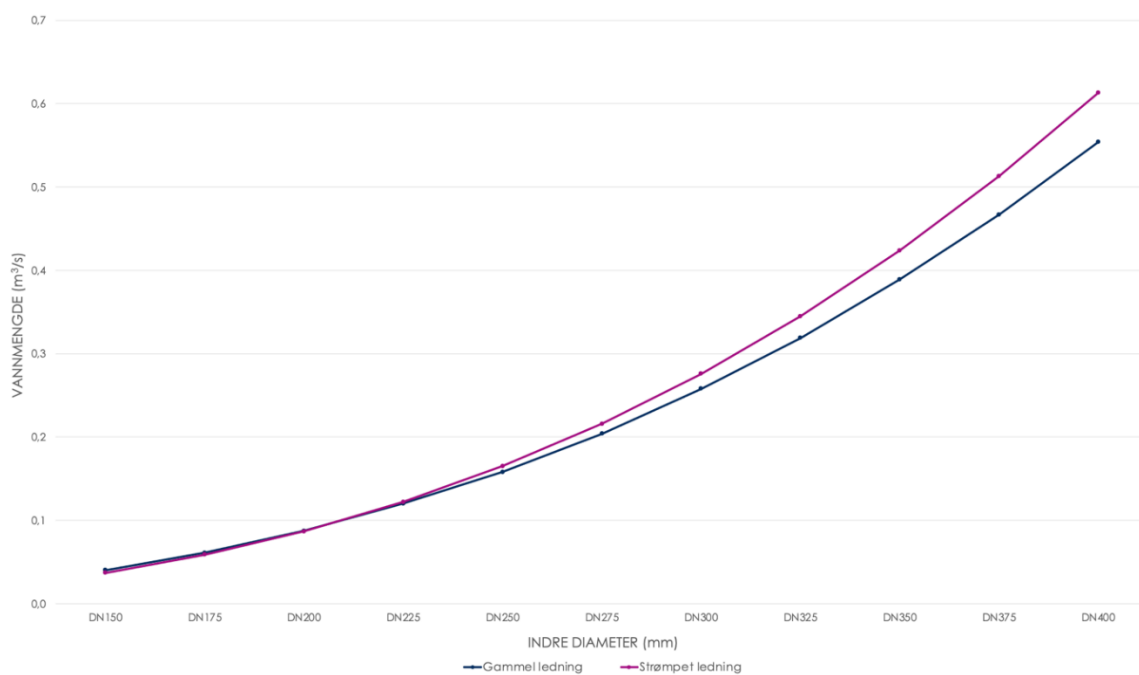
¹ * Eldre støpejernsrør kan være mer grodd enn det som er antatt, verdien kan derfor avvike.

Case 1: Støpejernledning med høy ruhet ($r = 2,5 \text{ mm}$):

Første vannledning tar utgangspunkt i en eldre støpejernledning som ikke er rensket og er sterkt korrodert med mye rustknoller. For enkelte tilfeller der ledningen er ekstremt korrodert kan ruheten være høyere enn angitt i tabell over. Siden dette kun er en fiktiv ledning velges derfor den høyeste praktiske ruheten for materialtypen, altså en verdi på 2,5 mm.

Tabell 8: Beregnet vannmengde og strømningshastighet for Case 1.

	Støpejernrør	Strømpe	Støpejernrør	Strømpe
	Vannmengde (m^3/s)	Vannmengde (m^3/s)	Strømningshastighet (m/s)	Strømningshastighet (m/s)
DN150	0,040	0,037	2,28	2,71
DN175	0,061	0,059	2,54	3,04
DN200	0,087	0,087	2,78	3,34
DN225	0,120	0,122	3,01	3,63
DN250	0,158	0,165	3,23	3,90
DN275	0,204	0,216	3,44	4,16
DN300	0,258	0,276	3,65	4,42
DN325	0,319	0,345	3,85	4,66
DN350	0,389	0,424	4,04	4,90
DN375	0,467	0,513	4,23	5,13
DN400	0,554	0,613	4,41	5,35



Figur 25: Differanse i vannmengde for Case 1 før og etter strøpjetting.

Tabellen og figuren viser en liten reduksjon i vannmengde på ledningene i de minste dimensjonene DN150 – DN225² før den øker betraktelig. Selv om en får en reduksjon i diameter på totalt 18 mm fra støpejernet til strømpet ledning, vil vannmengden altså øke i dette tilfellet. Dette skyldes i hovedsak den høye ruheten til det eldre korroderte støpejernet. Med en ny slett rørvegg med lav ruhet strømmes fluidet bedre gjennom røret.

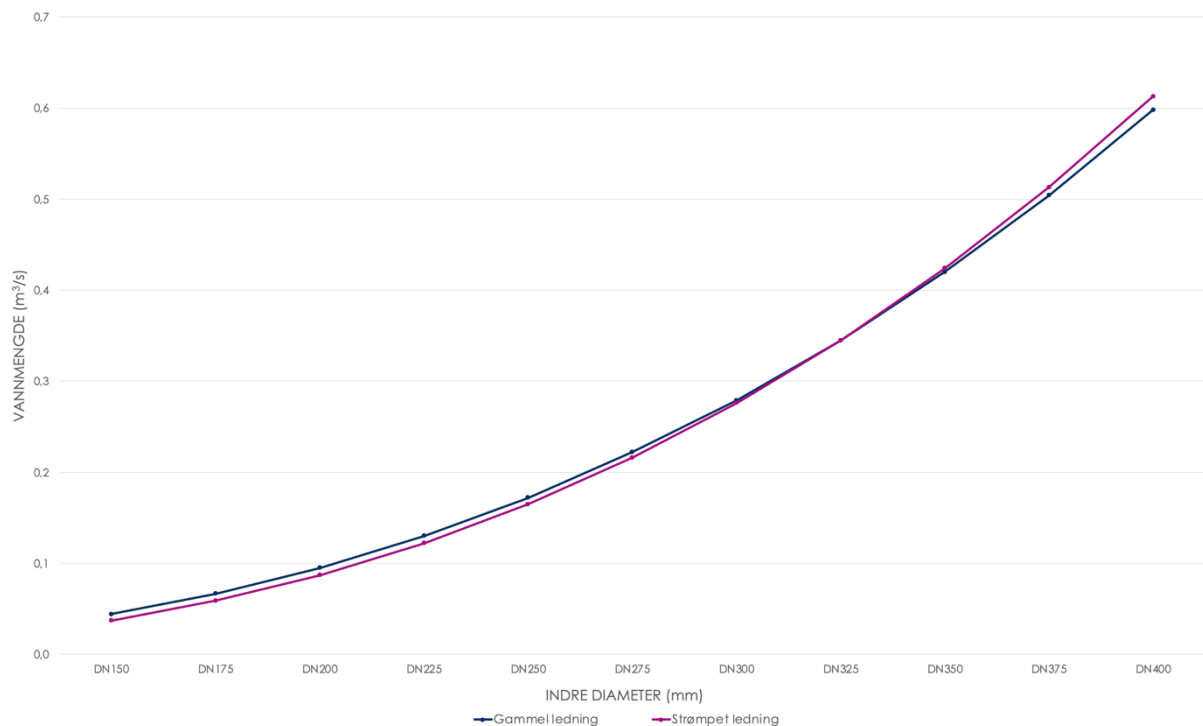
² Estimert med hensyn til Tabell 8.

Case 2: Støpejernledning med lav ruhet ($r = 1,5 \text{ mm}$):

Andre vannledning er også en eldre støpejernledning som ikke er rensket, men er lite korrodert med mindre rustknoller. Den praktiske ruheten settes da til den laveste verdien for eldre støpejern, altså en ruhet på 1,5 mm.

Tabell 9: Beregnet vannmengde og strømningshastighet for Case 2.

	Støpejernrør	Strømpe	Støpejernrør	Strømpe
	Vannmengde (m^3/s)	Vannmengde (m^3/s)	Strømningshastighet (m/s)	Strømningshastighet (m/s)
DN150	0,044	0,037	2,50	2,71
DN175	0,067	0,059	2,77	3,04
DN200	0,095	0,087	3,03	3,34
DN225	0,130	0,122	3,27	3,63
DN250	0,172	0,165	3,51	3,90
DN275	0,222	0,216	3,73	4,16
DN300	0,279	0,276	3,95	4,42
DN325	0,345	0,345	4,16	4,66
DN350	0,420	0,424	4,37	4,90
DN375	0,504	0,513	4,57	5,13
DN400	0,598	0,613	4,76	5,35



Figur 26: Differanse i vannmengde for Case 2 før og etter strøpning.

I dette tilfellet vil vannmengden være omtrent den samme mellom støpejernet og strømpeforingen. En kan også merke seg at selv om ruheten er redusert med 1,0 mm fra Case 1, er vannmengden omtrent den samme. En får en liten reduksjon i vannmengde på ledningene i dimensjonene DN150 til DN325³, før den sakte øker. Som i tilfellet for Case 1 skyldes også dette ruheten til det eldre støpejernet. Økningen skjer her senere og ikke før dimensjonene er relativt store.

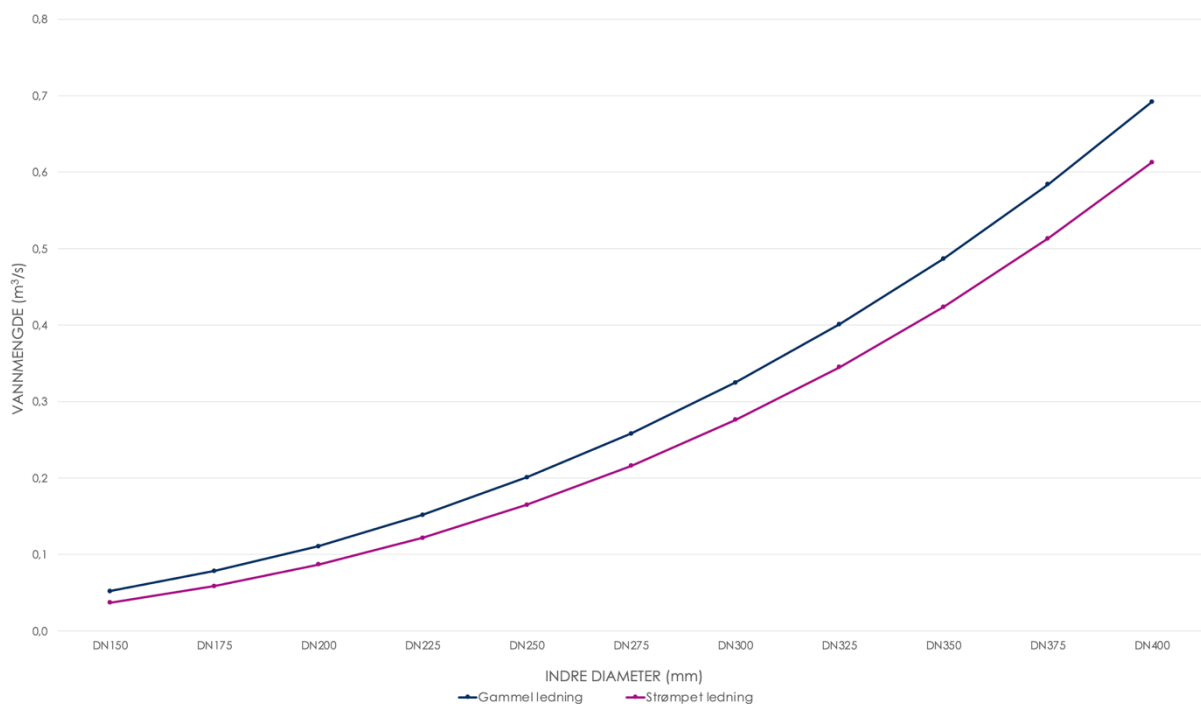
³ Estimert med hensyn til Tabell 9.

Case 3: Ledning av polyvinylklorid med lav ruhet ($r = 0,5 \text{ mm}$):

Den siste ledningen er en relativt ny vannledning av termoplastproduktet polyvinylklorid (PVC). Som nevnt tidligere anbefales det ikke å bruke en ruhet lavere enn 0,5 mm i nettberegninger. Den praktiske ruheten settes derfor til 0,5 mm, selv om den i tabellen er angitt fra 0,1 til 0,4 mm.

Tabell 10: Beregnet vannmengde og strømningshastighet for Case 3.

	Plastrør	Strømpe	Plastrør	Strømpe
	Vannmengde (m^3/s)	Vannmengde (m^3/s)	Strømningshastighet (m/s)	Strømningshastighet (m/s)
DN150	0,052	0,037	2,95	2,71
DN175	0,078	0,059	3,26	3,04
DN200	0,111	0,087	3,55	3,34
DN225	0,152	0,122	3,83	3,63
DN250	0,201	0,165	4,09	3,90
DN275	0,258	0,216	4,35	4,16
DN300	0,325	0,276	4,59	4,42
DN325	0,401	0,345	4,83	4,66
DN350	0,487	0,424	5,06	4,90
DN375	0,584	0,513	5,29	5,13
DN400	0,692	0,613	5,51	5,35



Figur 27: Differanse i vannmengde for Case 3 før og etter strømping.

I motsetning til case 1 og 2 er det her en konstant reduksjon i vannmengde. Dette skyldes at begge ledningene har identisk ruhet på 0,5 m, og eneste forskjell er dimensjonsreduksjon før og etter strømping. Eksempelvis får en ledning med DN150 en indre diameter på DN132 etter strømping. Da eneste som skiller ledningene er diameter og materialet, vil det være en naturlig reduksjon og ingen økning i vannmengde.

Videre er det beregnet prosentnedgang for vannmengde (m³/s) og strømningshastighet (m/s) for alle alternativene. Dette er gjort ved å bruke følgende formel for prosentnedgang:

$$\text{Prosentnedgang (\%)} = \frac{Q_{\text{før}} - Q_{\text{etter}}}{Q_{\text{før}}} * 100 \%$$

Formel 5: Formel for prosentnedgang før og etter strømping.

Tabell 11: Parametre for innsetting i formel 6.

Forkortelse	Beskrivelse	Enhet
$Q_{\text{før}}$	Vannmengde for vertsrør	m ³ /s og m/s
Q_{etter}	Vannmengde for strømpe	m ³ /s og m/s

Ved å beregne prosentnedgang for alle dimensjonene i de tre forskjellige casene får vi følgende verdier:

Tabell 12: Prosentnedgang i vannmengde og strømningshastighet ⁴

INDRE DIAMETER	Prosentnedgang i vannmengde (%)			Prosentnedgang i strømningshastighet (%)		
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3
CASE						
DN150	8,2	15,9	28,8	-18,9	-8,4	8,1
DN175	3,6	11,7	25,0	-19,7	-9,7	6,7
DN200	0,5	8,5	21,7	-20,1	-10,2	5,9
DN225	-1,7	6,2	19,7	-20,6	-11,0	5,2
DN250	-4,4	4,1	17,9	-20,7	-11,1	4,6
DN275	-5,9	2,7	16,3	-20,9	-11,5	4,4
DN300	-7,0	1,1	15,1	-21,1	-11,9	3,7
DN325	-8,2	0,0	14,0	-21,0	-12,0	3,5
DN350	-9,0	-1,0	12,9	-21,3	-12,1	3,2
DN375	-9,9	-1,8	12,2	-21,3	-12,3	3,0
DN400	-10,6	-2,5	11,4	-21,3	-12,4	2,9

For Case 1 vil det være en prosentnedgang i vannmengde frem til dimensjonen DN225. Her avtar reduksjonen og en får en økning i vannmengde og strømningshastighet. Ser en på strømningshastigheten vil det kun være prosentøkning. Dette skyldes at slette rørvegger etter strømping vil gjøre det lettere for fluidet å strømme gjennom.

For Case 2 vil det være en prosentnedgang i vannmengde frem til dimensjonen DN350. Her avtar reduksjonen og en får igjen prosentøkning. Strømningshastigheten vil også her ha en prosentøkning, igjen skyldes dette slette rørvegger etter strømping.

For Case 3 vil det være prosentnedgang i vannmengde og strømningshastighet. Siden eneste differansen mellom ledningene er dimensjonen, der strømpet ledning er 18 mm mindre i diameter, og begge har samme ruhetsverdi på 0,5 mm, vil det være naturlig å ha reduksjon.

Det er dermed konkludert at ledninger med mindre rørdimensjoner enn DN200 kan være aktuelt å strøpme dersom noe reduksjon av rørtverrsnittet kan aksepteres. Det må derfor gjøres beregninger for maksimalt vannforbruk i årets mestforbrukende time som nevnt i

⁴ Prosentøkning er indikert med (-) fremfor verdien.

kapittel 3.4.1 *Vannbehov*. For ledninger med rørdimensjoner større enn DN200 anbefales strømpeforingen i de fleste tilfeller der vertsrøret har høy eller lav ruhet. Selv med dimensjonsreduksjon vil strømpeforingen i noen tilfelle øke vannmengden og strømningshastigheten, spesielt på rør med høy ruhet.

4.7. Er strømpeforingen egnet i forhold til forskrift om drikkevannskvalitet?

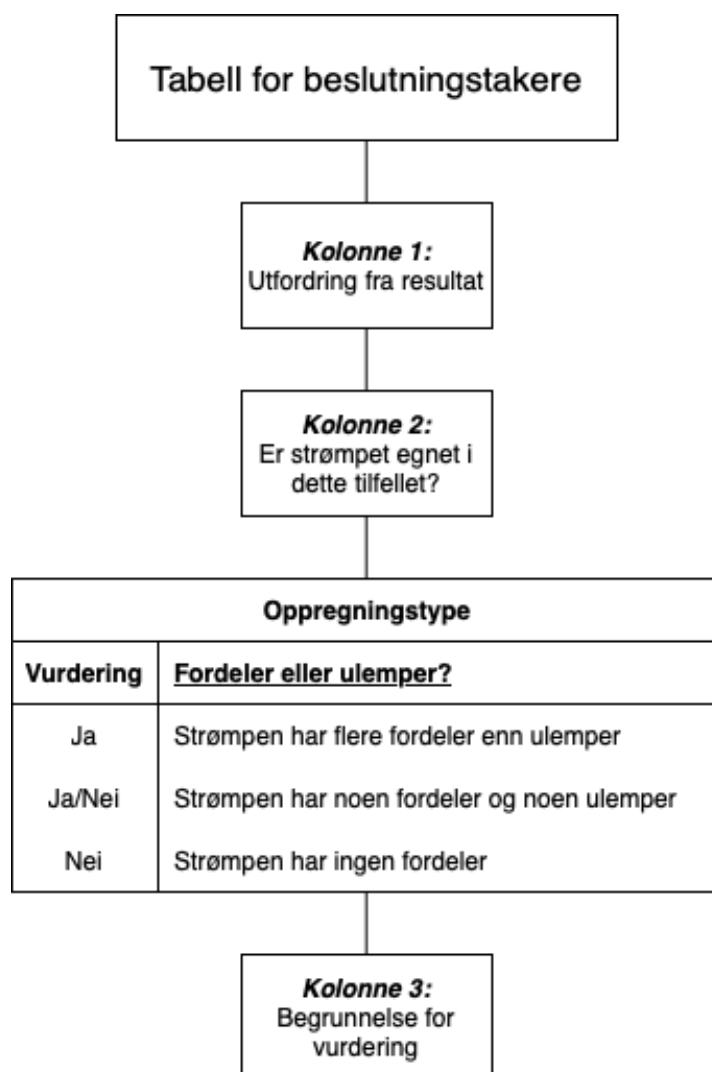
For å være godkjent til drikkevannsledningen, må den fullstrukturelle strømpeforingen stille kravene fra drikkevannsforskriften. Det stilles krav til at strømpeforingen skal gi en trygg og sikker leveranse av vann med hensyn på smak, lukt og farge. Som nevnt i kapittel 3.1.7 *Krav til drikkevannskvalitet* er risikoen høyere for mage-tarm sykdom i områder der det pågår arbeid på ledningsnett. Det skal derfor sikres under installasjon, at forurensninger som for eksempel grunnvann ikke trenger inn i strømpeforingen. Dette gjelder ikke bare for fullstrukturell strømpeforing, men også for andre renoveringsmetoder.

4.8. Oppsummering resultat

For å visualisere resultatene, og for å kunne gi beslutningstakere i kommuner en anbefaling, ble det opprettet en resultattabell. Tabellen er basert på alle punktene som er gjennomført og analysert, og vil inneholde følgende tre (3) kolonner:

1. Utfordring fra resultat
2. Er strømpedeforingen egnet i dette tilfellet?
3. Begrunnelse for vurdering

Kolonne en baserer seg på resultater fra analysen, og vil inneholde punkt for hvert tilfelle analysert. Kolonne to inneholder oppregningstype med tre alternativer for vurdering: Ja, Ja/Nei og Nei. Kolonne tre gir en kort begrunnelse for vurdering.



Figur 28: Flytskjema for oppbygging av resultattabell.

Basert på denne bakgrunnsinformasjonen, er følgende resultattabell utviklet⁵:

Tabell 13: Resultattabell

Ved renovering av et eller flere rør med fullstrukturell strøpeforing		
Utfordring	Er strømpen egnet? (Ja / Nei)	Kommentar
Eksisterende rør er underdimensjonert	Nei	Ved underdimensjonerte rør egnes metoden ikke, da rørtvernsnittet reduseres betraktelig.
Bend $\geq 22,5$ grader	Ja / Nei	Større folde på innsiden av bend, lite estetisk, kan få problemer for strømningshastighet.
Bend $\leq 22,5$ grader	Ja	Minimal eller ingen folde på innsiden av bend.
Anboringer	Ja / Nei	Ingen tilfredsstillende løsning for å åpne anboringer fra innsiden på mindre dimensjoner. Det anbefales å føre stikkledninger til manifold i kum.
Asbestsementrør	Ja / Nei	Asbestsementrør bør fjernes om det er mulig.
Mindre rørdimensjoner \leq DN200	Ja / Nei	Kan være aktuelt dersom noe reduksjon av rørtvernsnitt kan aksepteres.
Større rørdimensjoner \geq DN200	Ja	Desto større dimensjon, desto mindre vil veggtykkelsen på strømpen påvirke vannmengden.
Redusert kapasitet grunnet: Rotinntrenging i sprekker og forskjvne skjøter	Ja	Svært egnet i de fleste slike tilfeller dersom reduksjon av rørtvernsnitt kan aksepteres.
Steder hvor en ikke kommer til ved graving, eksempelvis under bygninger i sentrumskjerner.	Ja	Ved lite tilgjengelige ledninger egner det seg spesielt å bruke grøftfrie metoder.
Skader i rør forårsaket av: _• Langsgående brudd _• Flakbrudd _• Hull _• Innvendig tæring	Ja	Svært egnet i de fleste slike tilfeller, ved hull i bunn burde spesielle tiltak gjøres. Selv med vesentlige feil på røret, for eksempel flakbrudd, kan metoden benyttes.
Rette ledninger uten anboringer	Ja	Egner seg spesielt på rette strekk uten anboringer da en slipper anboringepunkt.
Punktvis rørkollaps	Ja / Nei	For å unngå ytterligere kollaps, kan det være en fordel å strømpe ledningen forbi punktet og utføre oppgraving i etterkant. Grave opp på punktet i rørkollaps og reparere med f.eks. PVC rørbit før installasjon av strømpen.
Provisorisk vannforsyning	Ja / Nei	Dersom en har anleggstid på under 72 timer kan en benytte vannpost, over har en behov for provisorisk vannforsyning.
Hindre nedstenging av infrastruktur	Ja	En kan redusere nedstenging av veier og gater ved bruk av strøpeforingen.
Tilfredsstillende krav til drikkevannskvalitet	Ja	Oppbyggingen av strøpeforingen gjør at den ikke gir fra seg lukt eller smak til vann.
Eksisterende rør er av grått støpejern	Ja / Nei	Flakbrudd kan skape problemer for strøpeforingen. Det anbefales derfor å gjøre individuelle vurderinger for hvert tilfelle.
Eksisterende rør er av duktilt støpejern	Ja	Sprekkvekst skaper små problemer med installasjon av strøpeforingen.
Eksisterende rør er av termoplast	Ja / Nei	Sprekkvekst skaper små problemer med installasjon av strømpen. Ekstrem deformasjon på renoveringsobjektet kan skape problemer ved installasjon av strøpeforing.

⁵ Resultattabell er også vedlagt som Excel-fil Ved navn "BYG350_Resultattabell.xlsx".

5. Diskusjon

I dette kapitlet drøftes resultatene i lys av teorien. Kapitlet knytter fordeler og ulemper opp mot hverandre, og gir en konkret begrunnelse for hvorfor strømpeforingen anbefales eller ikke for de forskjellige punktene. Dette gjøres ved å dra frem kjente problemer og mulige alternative løsninger for fornyelse av vannledninger.

5.1. Drøfting av resultat

Det er flere faktorer som påvirker metodevalg, blant annet hva som ligger i grunnen og område renoveringsobjektet befinner seg i. Som oftest er det ikke bare drikkevannsledninger som ligger i en grøft, men gjerne også avløpsledninger, spillvannsledninger og overvannsledninger. Ved bruk av noen metoder, som for eksempel blokking der en knuser renoveringsobjektet, kan det skape problemer for nærliggende ledninger. Særskilte vurderinger må også gjøres med hensyn på nærliggende infrastruktur som jernbaner, veier, gater, flyplasser og lignende. Det er også viktig å være bevisst på hvilke grunnforhold ledningene ligger i, da spesielt med tanke på videre korrosjon og setninger. I noen tilfeller, der renoveringsobjektet ligger i kum, kan det også være nødvendig å ta ut pumper og lignende.

Renovering av vannledninger krever også mye logistikk, og er plasskrevende. I enkelte tilfeller kan det være krevende adkomst, blant annet som nevnt i kapittel 4.1 med strømperenoveringen i Indre Arna, hvor det var behov for kranbil og stenging av vei. Men ved bruk av grøftegraving kan det være likestillende problemer knyttet til logistikk og grunnforhold, blant annet med massetransport, gravemaskiner, og utglidning av masser som igjen kan skade fundamenter til infrastruktur.

Fordi strømpeforingen blir levert sammenrullet på trommel, har den behov for en lastebil til å frakte renoveringsproduktet, samt utstyr til installasjon. Fremfor tradisjonell grøftegraving der en har behov for gravemaskin, masseforflytning og sikring av masser, er strømpeforingen gunstig med tanke på logistikk og tilkomst.

Ved eksempelvis renovering i bykjerner kan stenging av veier og gater skape trafikale utfordringer, samt skape problemer og irritasjon for handelsstand og private, da ofte med tanke på støy og lukt fra maskiner ol. Når en benytter tradisjonell grøftegraving i vei og traseer vil det nærmest være umulig å ikke unngå komplett stenging av vei. Med grøftefrie metoder har en ikke det enorme behovet for graving, slik at veier og gater kan punktvis stenges mens arbeid pågår. Da er strømperenovering i kum en egnet løsning.

I lys av beregninger for vannmengde kan en merke seg at en vannledning som nærmer seg maksimal kapasitet, i de fleste tilfeller, ikke egner seg for renovering med fullstrukturell strømpeforing. Siden innvendig diameter reduseres med totalt 18 mm, vil det med unntak gi en redusert vannmengde. Dersom renoveringsobjektet er sterkt korrodert, slik som ofte er tilfeller i eldre støpejernledninger, kan en ny slett rørvegg med strømpeforingen øke vannmengden. Resultatet av beregningene viser at det i slike tilfeller, lønner seg å strømpelidninger med diameter større enn DN200. Dersom dette ikke er tilfellet, anbefales ikke metoden, men heller metoder som blokking eller grøftegraving.

Andre faktorer som påvirker bruken av fullstrukturell strømpeforing, er hvilket materiell renoveringsobjektet består av. Det er ønskelig å fjerne ledninger av asbestsement dersom dette lar seg gjøre. Kriteriene for fjerning av asbestsement varierer fra kommune til kommune. Strenge krav stilles til arbeid som pågår med asbest, og det skal håndteres på en helsemessig og sikker måte. Ved arbeid på ledninger av asbestsement vil asbestfibre løses opp og kan gi helsefarlige mén. Ved å strømpelidning fører en problemet videre, noe som senere vil skape problemet ved neste renovering. Dersom en strømpelidning fjernes vil det ved deponiet oppstå problematikk knyttet til separasjon av asbest fra strømpeforingen. Det vil derfor anbefales en tradisjonell grøftegraving i tilfeller der renoveringsobjektet er av asbestsement, men gjerne en renovering som tar høyde for grøftefri metode i senere tid.

En annen utfordring som stadig dukker opp med renovering av vannledninger er folder i bend. Folden oppstår under installasjonsprosessen når strømpeforingen strekkes i ytre del, og komprimeres i indre. Spørsmålet som stadig dukker opp er om folden skaper problemer for vannmengde, fluidets strømningshastighet og turbulens. Kontinuerlige tester utføres på bend med forskjellig krumning, og viser en minimal folde i bend dersom krumningen er

under 22,5 grader. Folden vil endre seg proporsjonelt med krumningen, både i horisontal og vertikalretning, og er samtidig preget av et konstant trykk under installasjonen. Uventet reduksjon i trykket kan forårsake større folder, eller at strømpeforingen ikke legger seg slett mot rørveggen. På bakgrunn av dette, anbefales det ikke å bruke strømpeforingen på ledninger med krappere bend dersom reduksjon i vannmengde, strømningshastighet og turbulens ikke kan tillates.

Et annet nyttig punkt som er vurdert er anboringer. Dersom en skal ha en helt grøftefri renovering av ledninger, er det nødvendig å åpne anboringer fra innsiden. Forskjellige metoder er utprøvd for å lokalisere og bore anboringene fra innsiden. Foruten punktvis graving på anboringspunktet, er det ingen tilfredsstillende grøftefri løsning som garanterer en tett overgang mellom strømpeforingen og stikkledningen. En kan derimot tilrettelegge for fremtidig grøftefri renovering ved å flytte an boring til manifold i kum, dersom økonomien i prosjektet tilsier dette.

For å sikre tilstrekkelig drikkevann og eventuelt slukkevann i tiden renoveringen skal utføres, blir det i enkelte tilfeller opprettet provisorisk vannforsyning. Denne midlertidige løsningen er svært kostbar, og stiller strenge krav til vannkvalitet etter drikkevannsforskriften med hensyn på spredning av vannbårne sykdommer. Dette er spesielt hvor løsningen brukes nærliggende skoler, institusjoner, barnehager og gamle hjem. Som utgangspunkt i et muntlig utsagn fra Bergen Vann, kan en ved bruk av vannstasjoner unngå provisorisk vannforsyning dersom anleggstiden er under 72 timer. Basert på tidligere prosjekter med bruk av strømpeforingen, kan en ikke utelukke en anleggstid på mer en 72 timer. Det må derfor gjøres vurderinger, basert på økonomiske fordeler og besparelser, om strømpeforingen burde benyttes. Klarer en derimot en kortere anleggstid vil strømpeforingen være fordelaktig fremfor andre metoder med hensyn på provisorisk vannforsyning.

Tilstanden på renoveringsobjektet vil variere fra prosjekt til prosjekt. Derfor må individuelle vurderinger gjennomføres med hensyn på materialtype, type brudd, lekkasjer, rotinntrenging ol. Med utgangspunkt i renovasjonsobjekter med større flakbrudd anbefales ikke strømpeforingen, da det kan skape problemer under installasjonen, da med tanke på hvordan strømpeforingen ligger seg ut mot bruddpunktet. Andre metoder burde derfor undersøkes her.

Bruddskader på ledninger er en av de vanligste årsakene til at en ledning må fornyes. Ideelt sett burde en vannledning renoveres når det er mistanke om at den vil gå til brudd.

Fullstrukturell strømperenovering er i dette tilfellet en ypperlig metode, da den både har strukturell styrke og ikke er avhengig av radiell støtte fra renoveringsobjektet.

Strømpeforingen vil kunne stå for seg selv som et fullstrukturelt rør, og det vil ikke lenger være fare for mistanke om brudd. Ulike typer brudd påvirker hvilken type metode en kan benytte. I noen tilfeller vil det være gunstig å grave ned på bruddpunktet og skjøte på et nytt stykke med termoplastrør før ledningen strømpes.

Det er stort fokus på miljø og bærekraft, noe som er et godt argument for å benytte grøftefrie metoder. Det er ikke utenkelig at krav til miljø og bærekraft blir strengere i tiden som kommer. Det er derfor viktig å opplyse om de tilgjengelige metodene for renovering av vannledninger. Disse metodene vil redusere klimaavtrykk ved å få ned transport av masser, og bruk av tyngre maskiner som går på fossilt brensel.

Basert på drøftingen av resultatene gir strømpeforingen flere fordeler enn ulemper i de fleste tilfeller som er undersøkt. Likevel er resultatene avhengig fra prosjekt til prosjekt, og kan i noen tilfeller være avvikende.

5.2. Usikkerheter og feilkilder

For beregninger, teori og illustrasjoner er det brukt data fra kommune-stat-rapportering (KOSTRA) fra Statistisk sentralbyrå. De dataene kan være noe avvikende, og kommer an på hvor flinke kommunene er til å rapportere nøyaktig data.

Den fullstrukturelle strømpeforingen er relativt ny på markedet, og lite anvendt i Norge. Entreprenører som utfører grøftefrie renoveringer, benytter strømper de allerede har kjennskap til. Forskjellige leverandører har forskjellige strømpeforinger. Det kan derfor være vanskelig å sammenligne de ulike strømpeforingene.

Tilgang på gode kilder, bortsett fra rapporter ol. fra produsent, har vært nærmest umulig å få tak i. Siden oppgaven er basert på teori og ingen fysisk befaring av den fullstrukturelle metoden, vil det være lett å trekke "feile" konklusjoner.

6. Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å undersøke i hvilke tilfeller bruk av fullstrukturell strømpeføring kan være gunstig til renovering av vannledninger. Gjennom litteraturgjennomgang og empiriske undersøkelser har vi identifisert flere viktige funn. Funnene er delt opp i resultater, og presenteres i en tabell. Tabellen vil kunne gi en indikasjon til beslutningstakere i kommuner, til hvilket tilfelle fullstrukturell strømpeføring burde anvendes fremfor andre metoder.

Basert på en helhetlig vurdering av resultat og drøfting, vil det i fleste tilfeller være fordelaktig å bruke fullstrukturell strømpeføring fremfor andre metoder. Resultatene gir også en indikasjon på at metoden ikke alltid er hundre prosent grøftefri, og må i noen tilfeller kombineres med graving. Det må derfor gjøres vurdering opp mot det enkelte prosjektet.

7. Videre arbeid

Den fullstrukturelle strømpeforingen er relativt ny på markedet. Oppgaven tar derfor utgangspunkt i utfordringer allerede kjent for fornyelse med grøftefrie metoder og fra produkttesting av strømpeforingen. Videre studier og bruk av strømpeforingen vil danne grunnlag for nye undersøkelser med tanke på hvordan produktet oppfører seg over tid, hvordan materialegenskapene påvirkes, grunnbelastninger, levetid, motstandsevne fra trafikklaster ol. På tidspunktet oppgaven ble utarbeidet var det ingen konkret løsning for utfordringer knyttet til anboringer i mindre rørdimensjoner, og folder i bend.

Videre studier av svakheter rundt bend og anboringer, samt endeforsegling mellom strømpeforingen og renoveringsobjektet, er forslag til videre arbeid, eventuelt i forbindelse med en masteroppgave. Ettersom produktet utvikles, kan nye anbefalinger i tabellen trekkes inn. Ved videre bruk av strømpeforingen vil tilgang på data, litteratur og erfaringstall øke, noe som vil danne grunnlag for nye undersøkelser. Bærekraftsanalyser, nytte-kostnadsanalyser ol. er andre forslag til videre arbeid.

8. Referanseliste

- Aas, H. N., Killingmo, E., & Busk, V. (2016). *Rapport 221/2016 Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder*. 2321 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet Mars 24, 2023 fra <https://va-kompetanse.no/butikk/a-221-smart-ledningsfornyelse-bruk-av-nodig-metoder/>
- Asplan Viak AS. (2009, sept). *VA-Blad Nr. 90: NoDig-metoder for hovedledninger - Metodeoversikt*. Stiftelsen VA/Miljø-blad. Hentet April 12, 2023 fra VA-blad: <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2014/11/renovering.pdf>
- Avdeling for spesialsamlinger. (mellom 1952-02-01 og 1952-02-29). *Svartediksstemmen*. Hentet fra Spesialsamlingene ved Universitetsbiblioteket i Bergen: <https://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-bs-ok-20793.html>
- Berge, G. (2022, Juni 20). *0,7 prosent av ledningsnettet ble fornyet i fjor*. Hentet Mars 12, 2023 fra Statistisk sentralbyrå: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning/artikler/0-7-prosent-av-ledningsnettet-ble-fornyet-i-fjor>
- Bjørno, K., Jørgensen, K. R., Volquartz, M., Feilberg, M., Hansen, R., Albers, A., . . . Sørensen, T. (2022). *Vand i tal 2022*. Danmarks drikkevands- og spildevands-selskaber. 8660 Skanderborg, Danmark: DANVA. Hentet Februar 12, 2023 fra https://www.danva.dk/media/8837/5530790_genoptryk-vand-i-tal-2022_web.pdf
- Danielsen, T. E., Eriksen, T., Mork, K., Ørebech, K., & Lund Eikrem, A. M. (2020). *Arbeidstilsynets innsats mot asbesteksponering – Evaluering og forslag til tiltak*. Direktoratet for arbeidstilsynet. 7468 Trondheim: Arbeidstilsynet. Hentet Mai 2, 2023 fra <https://www.arbeidstilsynet.no/globalassets/om-oss/forskning-og-rapporter/2020/arbeidstilsynets-innsats-mot-asbesteksponering-jan-2020.pdf>
- FN-Sambandet. (2023a). *Hva er FNs bærekraftsmål?* Hentet Mai 20, 2023 fra FNs bærekraftsmål: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- FN-Sambandet. (2023b). *Rent vann og gode sanitærforhold*. Hentet Mai 12, 2023 fra FNs bærekraftsmål: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/rent-vann-og-gode->

sanitaerforhold

FN-Sambandet. (2023c). *Industri, innovasjon og infrastruktur*. Hentet Mai 12, 2023 fra FNs bærekraftsmål: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>

FN-Sambandet. (2023d). *Ansvarlig forbruk og produksjon*. Hentet Mai 12, 2023 fra FNs bærekraftsmål: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon>

Grindheim, T. (2023, Februar 2). Muntlig meddelelse.

Hafskjold, L., & Sæggrov, S. (2008). *Rapport 158/2008 Termoplastrør i Norge - før og nå*. 2317 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet Mars 10, 2023 fra https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport158_2008.pdf

Heggernes, T. (2023, Januar 9). Muntlig meddelelse.

IBG HydroTech. (2023). *Rehabilitation Pressure Pipe*. Hentet Mars 10, 2023 fra IBB16 - IBH HydroTech: <https://www.ibg-hydro-tech.de/en/ibb-16/>

Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T., & Thorolfsson, S. (2012). *Rapport 193/2012 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem*. 2321 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet April 7, 2023 fra <https://va-kompetanse.no/butikk/a-193-veiledning-i-dimensjonering-og-utforming-av-va-transportssystem-kun-digital/>

Lovdata. (2016, Desember 30). *Lovdata*. (Helse- og omsorgsdepartementet) Hentet Februar 5, 2023 fra Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften): <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>

Malm, A., Svensson, G., & Røstum, J. (2018). *Rapport 239/2018 Beregning av bærekraftig lekkasjenivå*. 2321 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet April 17, 2023 fra <https://va-kompetanse.no/butikk/a-239-beregning-av-baerekraftig-lekkasjeniva/>

Mosevoll, G. (2018, Mars 6). NTNU Forelesning, EVU-kurs Overvanns- og ledningsteknologi 2018. Skien.

- Mosevoll, G., Oddevald, J. E., Tobiassen, D., Nilssen, O., Pettersen, P. R., Opdal, M., & Andersen, T. (2011). *Rapport 173/2010 Veiledning for bruk av duktile støpejernsrør*. 2321 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet Mars 12, 2023 fra https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport173_2010.pdf
- Myhrstad, J. A. (1983). *Asbestsementrør i drikkevannsforsyningen - Tiltak mot innvendig tæring*. Vannforeningen. Hentet Mai 3, 2023 fra Vannforeningen: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1983_31847.pdf
- Najafi, M. (2010). *Trenchless Technology Piping: Installation and inspection*. Texas, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc. Hentet Mai 12, 2023 fra <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/70316/1/1886.pdf>
- Norsk Vann. (2019). *Norsk Vann mener*. Norsk Vann BA. 2321 Hamar: Norsk Vann BA. Hentet Mai 11, 2023 fra https://319738-www.web.tornado-node.net/wp-content/uploads/NV_mener_Vannkilder_2019.pdf
- Oddevald, J.-E., & Hansen, A. (2004). *NORVAR-Rapport 135/2004 Vannledningsrør i Norge – Historisk utvikling*. AL Norsk vann og avløp BA. 2317 Hamar: AL Norsk vann og avløp BA. Hentet Mai 02, 2023 fra https://va-kompetanse.no/wp-content/uploads/rapport135_2004.pdf
- Oslo kommune. (2006). *Abonnementsbetingelser ved tilknytning til kommunens vann- og avløpsledninger. Lover og informasjon*. Vann- og avløpsetaten. 0506 Oslo: Oslo kommune. Hentet Mai 21, 2023 fra https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/134251-1515680674/Tjenester%20og%20tilbud/Plan%2C%20bygg%20og%20eiendom/Dokumenter_eiendom/Abonnementsbetingelser%20ved%20tilknytning%20til%20kommunens%20vann-%20og%20avl%C3%B8psledninger%2C%20%C2%ABSanit%C3%A6rregl
- PIPELIFE Norge AS. (2020a, Oktober). *PIPELIFE RØRHÅNDBOK*. 6650 Surnadal: Pipelife. Hentet Mai 8, 2023 fra <https://www.pipelife.no/content/dam/pipelife/norway/marketing/general/brochures/various/R%C3%B8rh%C3%A5ndboka.pdf>

PIPELIFE Norge AS. (2022b, oktober). *R: Hydraulisk dimensjonering*. Hentet Mars 27, 2023 fra <https://www.pipelife.no/content/dam/pipelife/norway/marketing/general/rørhåndboka/rørhåndboka2021/R-Hydraulisk%20dimensjonering.pdf>

Pipelife Norge AS. (2023). *KAPASITETSBEREGNING - FULL RØRLEDNING (VANN OG AVLØP)*. Hentet Februar 15, 2023 fra Kapasitetsberegning - full rørledning (vann og avløp): <https://www.pipelife.no/snarveier/beregningsprogrammer/kapasitetsberegning-full-roerledning.html>

Schjøtt-Pedersen, K. E. (2023). *Myndighetenes arbeid med trygt drikkevann*. Riksrevisjonen.

Sægrov, S. (2018). *NTNU Forelesning: Tilstandskartlegging*. Institutt for vann og miljøteknikk. Trondheim: NTNU.

Skaar, B. S. (2023, Mai 21). Muntlig meddelelse.

Statistisk sentralbyrå. (2023a). *SSB-tabell 11791: Utvalgte nøkkeltall for kommunalt drikkevann (K) 2015 - 2022*. Hentet Februar 9, 2023 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/11791/>

Statistisk sentralbyrå. (2023b). *SSB-tabell 13143: Ledningsnett og tilknytning. Kommunalt drikkevann (K) 2015 - 2022*. Hentet Februar 9, 2023 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/13143/>

Statistisk sentralbyrå. (2023c). *SSB-tabell 11787: Vannforsyning og beredskap. Kommunalt drikkevann (K) 2015 - 2022*. Hentet Februar 9, 2023 fra <https://www.ssb.no/statbank/table/11787/>

Steinberg, M., & Hyllestad, S. (2014, Juni 30). *Drikkevann i Norge - FHI*. (R. Folkehelse rapporten, Redaktør) Hentet Februar 21, 2023 fra Folkehelseinstituttet: <https://www.fhi.no/nettpub/hin/smitte/drikkevann/>

Trovik, T. (2023, Februar 2). Muntlig meddelelse.

Vann- og avløpsetaten. (2020). *Hovedplan for vannforsyning 2019 - 2028*. Bergen Vann. 5020 Bergen: Vann- og avløpsetaten. Hentet Mai 4, 2023 fra

https://indd.adobe.com/view/publication/ae6c0e99-d5e8-48bc-b501-86bdadff53d7/1/publication-web-resources/pdf/Hovedplan_vann_2019-2028_Hele_dokumentet-kopi2022.pdf

Ødegaard, H., & Sægrov, S. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2. utg.). (H. Ødegaard, Red.)
2321 Hamar: Norsk Vann. Hentet Januar 12, 2023

Vedlegg

Vedlegg 1 Datablad for Quicklock

QUICK LOCK

DIBt certification

No. Z-42.3-374



Quick-Lock Liner End Sleeve User Manual

6th revision, version 03/2015 [english gb]

Sold by:

UHRIG



Kanaltechnik GmbH

Published by:



Uhrig Kanaltechnik GmbH
Am Roten Kreuz 2
78187 Geisingen, Germany

Tel. +49 (0) 7704 / 806-0
Fax +49 (0) 7704 / 806-50
Internet www.uhrig-bau.de
E-mail info@uhrig-bau.de

Contents

1. About this document	4
1.1 Regulations	4
1.2 Certifications	4
2. Description of the Quick-Lock liner end sleeve	5
2.1 Intended use	5
2.2 Suitability and materials used.....	5
3. How to use the Quick-Lock liner end sleeve.....	6
3.1 Preparation.....	6
3.1.1 Inspecting the pipe.....	6
3.1.2 Preparing the pipe.....	6
3.2 Equipment and materials	6
3.3 Preparing the liner end sleeve.	7
3.4 Preparing the end of the liner	10
3.5 Installing the Quick-Lock liner end sleeve	11
4. Appendix.....	14
4.1 Pneumatic cutter for liner end sleeves.....	14
4.2 Maintenance instructions for the pneumatic cutter	15
4.3 Technical data sheet for liner end sleeve.....	16

1. About this document

These instructions supplement the basic Quick-Lock user manual.

They specifically describe how to use the Quick-Lock liner end sleeve.

Please observe the aforementioned user manual with its general instructions on using the Quick-Lock system.

1.1 Regulations

The basis and general specification for pipe repairs using the Quick-Lock system is

- DWA data sheet M143 Part 3
“Repairing wastewater pipes and sewers with internal sleeves”
- See the main user manual.

1.2 Certifications

The Quick-Lock liner end sleeve for pipe diameters DN 150 - DN 600

- has been certified under building law by the German Institute for Civil Engineering (DIBt) since 2012.
- The system is also certified as resistant to jetting in accordance with DIN 19523.
- The Quick-Lock liner end sleeve has been tested by the IKT Institute for Underground Infrastructure.

2. Description of the Quick-Lock liner end sleeve

2.1 Intended use



The Quick-Lock liner end sleeve is a product for permanently and tightly sealing liner systems to the host pipes or manhole pipe connections in the range of diameters from DN 150 to DN 600.

2.2 Suitability and materials used

The system is made from V4A stainless steel of grade 1.4404 (AISI 316L) and an EPDM compression seal. The materials used are permanently resistant in municipal wastewater systems. The suitability of the materials must be ascertained for use in industrial or polluted wastewater.

The Quick-Lock liner end sleeve may only be installed in cured, stress-free liner systems.

Hydrophilic waterstop tape does not need to be used around the liner.

- The basis for selecting a suitable liner end sleeve is the technical data sheet (appendix 1).
- Observe the instructions in section 1.6 of the main user manual.

3. How to use the Quick-Lock liner end sleeve

3.1 Preparation

3.1.1 Inspecting the pipe

Before using the Quick-Lock liner end sleeve, check the area where the liner is connected to the host pipe or the manhole pipe connection to see whether the liner end sleeve is suitable.

3.1.2 Preparing the pipe

Repairing the contact surfaces

A reliable compression seal is only possible if the quality of the surface is suitable for sealing.

- Repair any irregularities or holes in the host pipe or the manhole pipe connection.
- Only used mineral or epoxy-based materials.
- Let the material cure.

3.2 Equipment and materials



A pneumatic cutter is required for cutting back the liner.

- Uhrig supplies pneumatic cutters that are specially designed for cutting liners. They are low-maintenance and have an adjustable cut depth.
- Observe the operation and maintenance instructions in the appendix.

3.3 Preparing the liner end sleeve

Inspection

Check the sleeve and the rubber jacket for visible damage.

Setting up

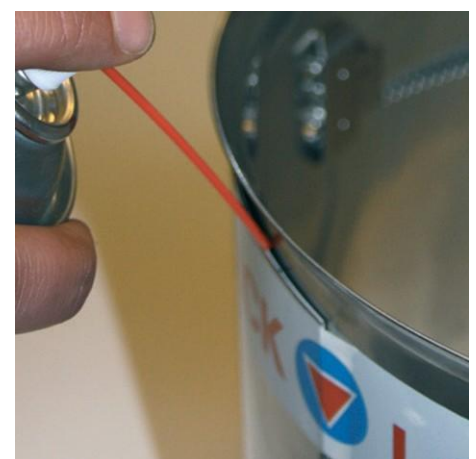
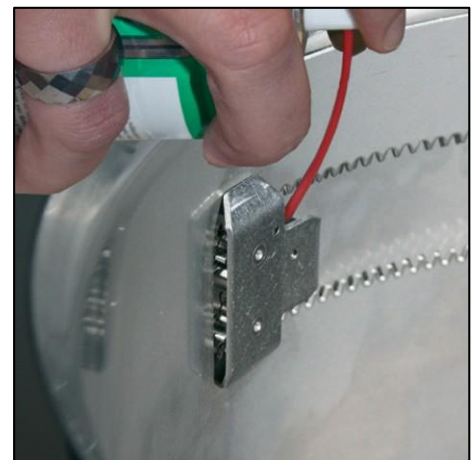
Set up the Quick-Lock liner end sleeve so that the lettering is upside-down.

The end with the wider flare should be at the bottom.



Lubricating

Spray environmentally safe penetrating oil on the gears and the overlap of the steel sleeve.



Cutting the adhesive tape

- Only cut the adhesive tape for securing during transport halfway through.
- The plastic rivet (1) must remain in the sleeve! It will be automatically sheared off during expansion.



Applying talcum powder

- Apply talcum powder to the inside of the rubber jacket.



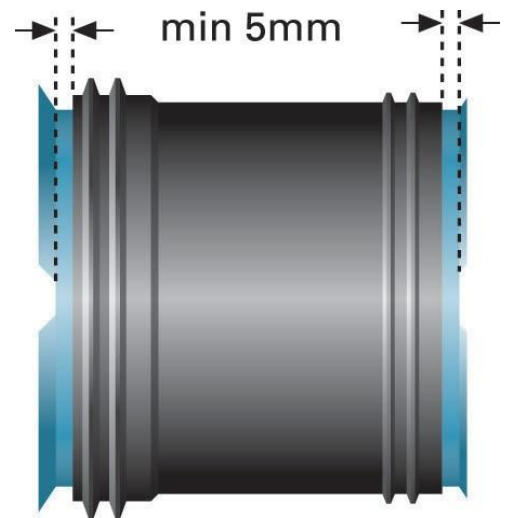
Pulling the jacket over the sleeve

- Align the rubber sleeve:
The end with the thicker pair of circumferential seals should be at the bottom.
- Slip the rubber jacket over the steel sleeve.
- Check again that it is correctly aligned:
 - Steel sleeve: wider flare at the bottom.
 - Rubber jacket: thicker end at the bottom.



Centring the rubber jacket

Position the rubber jacket according to the type of connection.



3.4 Preparing the end of the liner

Fitting the depth stop

- Measure the thickness of the liner.
- Fit the appropriate depth stop on the pneumatic cutter.



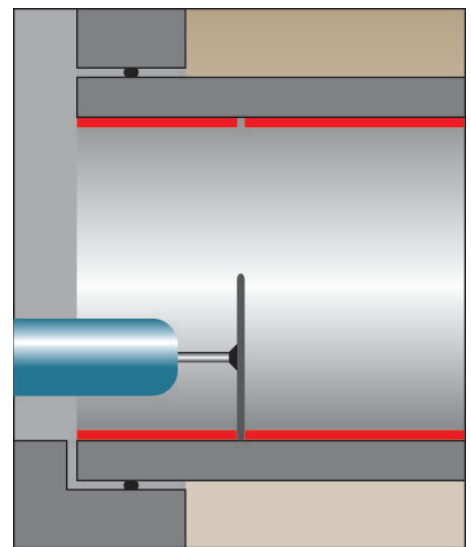
Trimming the liner

- Using the pneumatic cutter, make a radial cut around the entire circumference.

Liner trim length

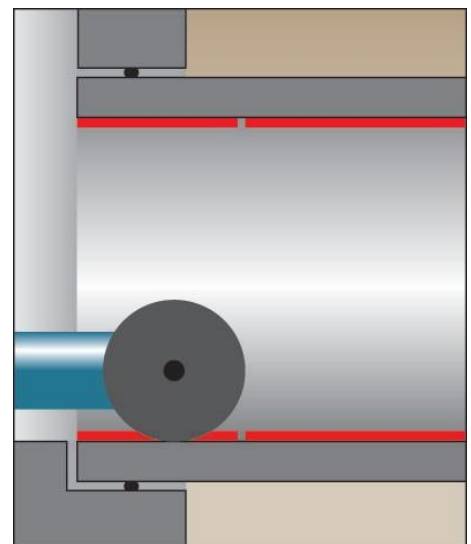
- DN 150 - DN 400: 130-140 mm
- DN 450 - DN 600: 170-180 mm

Measure from the position where the front edge of the sleeve will be.



Longitudinal cut

- Make a longitudinal cut with a pneumatic angle grinder. **Do not damage the host pipe.**
- Remove the liner offcut.
- Deburr the new end of the liner with the angle grinder.
- Clean the area where the liner will be connected with a high-pressure jet.



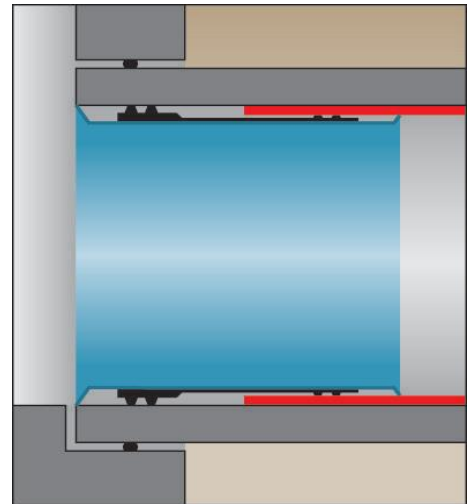
3.5 Installing the Quick-Lock liner end sleeve

Positioning the liner end sleeve in the host pipe

- Depending on the type of connection:

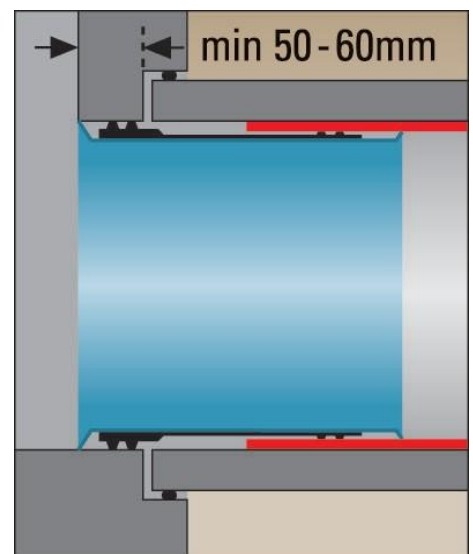
Alternative A (standard method): Connecting to liner in host pipe

- Place the rubber jacket over the middle of the steel sleeve



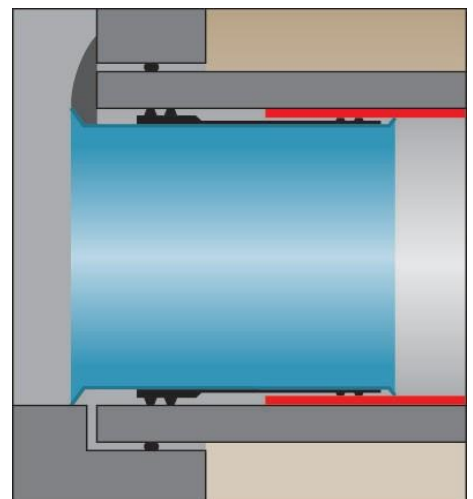
Alternative B: Connecting to liner in manhole pipe connection

- To do this, the surface of the manhole pipe connection has to be suitable for sealing and there may be no significant bends in the connection from the host pipe to the manhole. Maximum bend $\leq 1.0^\circ$.
- For a tight seal, the sealed area of the manhole wall (pipe connection) must be at least 50-60 mm.
- Place the rubber jacket at the front of the steel sleeve, for the minimum distance see section 3.3, point 8.



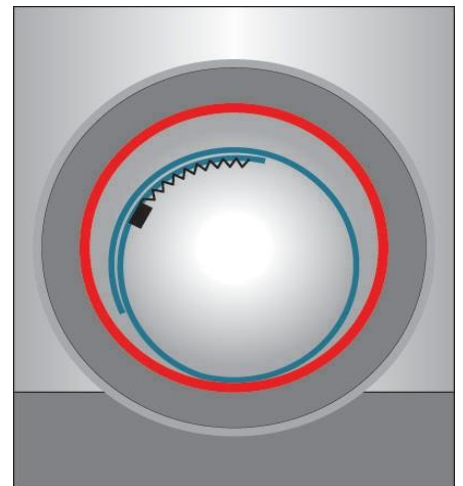
Alternative C: Edge of the sleeve as repair bead

- Place the rubber jacket at the rear of the steel sleeve, for the minimum distance see section 3.3, point 8.
- The flared end of the sleeve protrudes 10-15 mm inside the manhole and acts as a bead for repairs around the pipe connection.



Lock at 9 - 10 o'clock position

- Position the liner end sleeve so that the lock is roughly in the 9 to 10 o'clock position.
- Make sure that the pairs of circumferential seals on the rubber jacket are in the area to be sealed (see the illustrations of alternatives A, B and C).

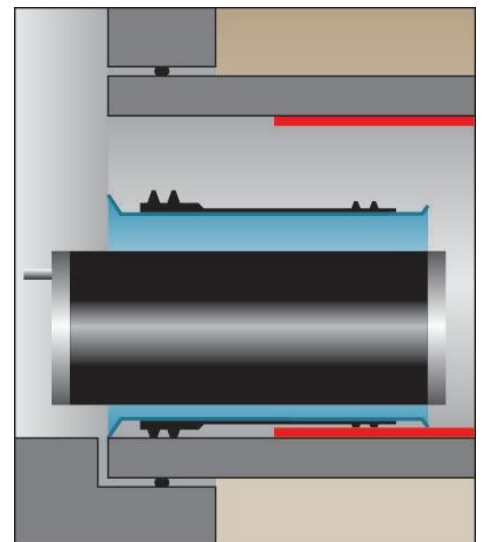


Positioning the balloon

Position the balloon so that the end of the balloon lines up with the rear edge of the liner end sleeve.

Positioning pressure

Press the sleeve against the old pipe with a positioning pressure of 2.0 - 2.5.



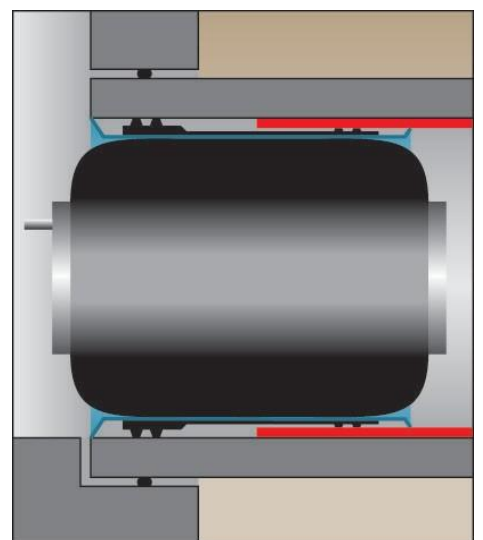
Positioning pressure

Repositioning the balloon for application

Make sure the balloon is lined up in the middle of the liner end sleeve.

Note: The balloon must be entirely inside the host pipe / liner end sleeve.

Otherwise, there is a risk of the balloon inflating in the manhole and endangering the installation personnel.



Evacuating the manhole

For reasons of safety, nobody may be in the manhole when the application pressure is applied.

Lethal hazard!

If a defective balloon bursts, the blast can cause serious injury or death.

Exit the manhole and make sure there is no-one left in it.



Danger!

Application pressure

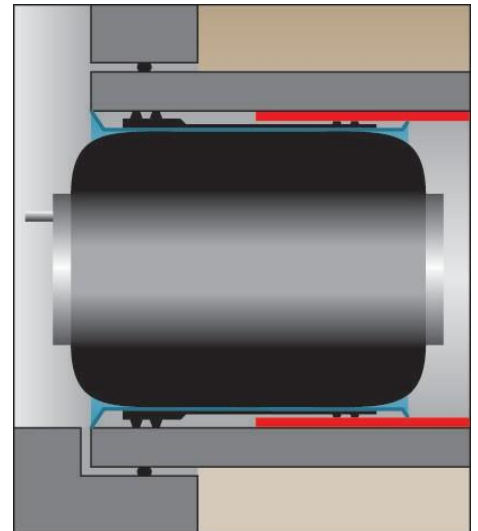
- Inflate the balloon to the application pressure.
- This fully clamps the liner end sleeve in place.

Application pressure according to nominal diameter:

- DN 150 - DN 200: 5.0 - 5.5 bar
- DN 225 - DN 400: 4.0 - 5.0 bar
- DN 450 - DN 600: 3.5 - 4.5 bar

Depressurising

- Deflate the balloon.
- Only then can you re-enter the manhole.



Application pressure

Completion

- Remove the balloon.
- Check that the liner end sleeve is correctly fitted.

Complete the documentation as required by the customer.

4. Appendix

4.1 Pneumatic cutter for liner end sleeves



Observe the operating instructions:

Safety:

- Always wear face, ear and mouth protection.
- Only use the tool for its intended purpose.
- The tool may only be used by qualified personnel.

Pneumatic system requirements:

- Minimum compressor output 1.1 m³/min.
- Recommended operating pressure 6.2 bar at the tool (maximum operating pressure at the tool 8 bar)
- Air hose \varnothing 13 mm ID, maximum length 20 m
- Only use the pneumatic cutter with the oil and oiler supplied, oil quantity: approx. 1 - 2 drops per minute.
- Air consumption approx. 1000-1500 l/min.
- Always observe the operating manual supplied with the equipment.

4.2 Maintenance instructions for the pneumatic cutter



Clamp the holder for the pneumatic cutter in a vice.



Clamp the tool in the holder.



Using the spanner provided, unscrew the pneumatic cutter in a clockwise direction



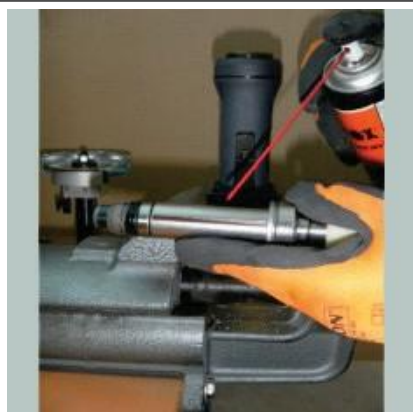
Remove the pneumatic motor and the spacer bushing.



Take the blades out of the pneumatic motor.



Blow out the housing and motor with compressed air.



Spray the pneumatic motor with WD 40 anti-corrosion spray or a similar product.



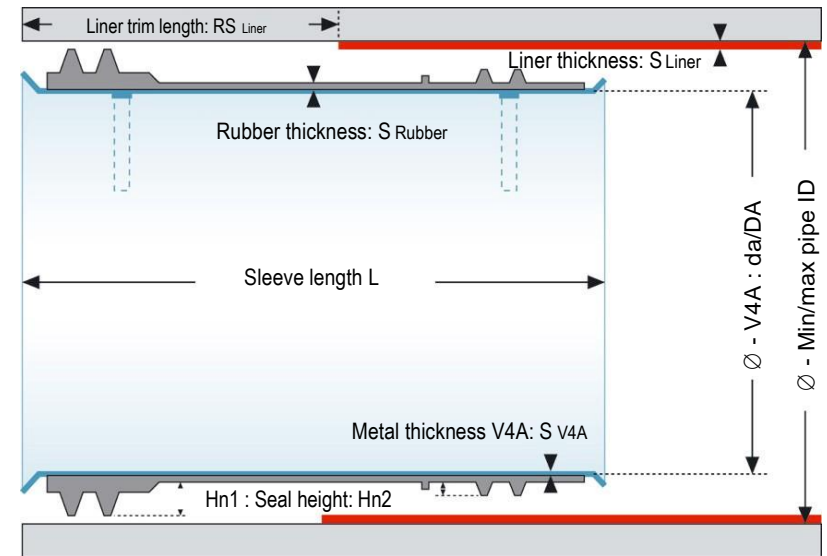
Put the blades back in, with the tapered side on the inside.



Reassemble the pneumatic cutter and tighten it hand-tight with the spanner.

4.3 Appendix Technical data sheet

Liner end sleeve



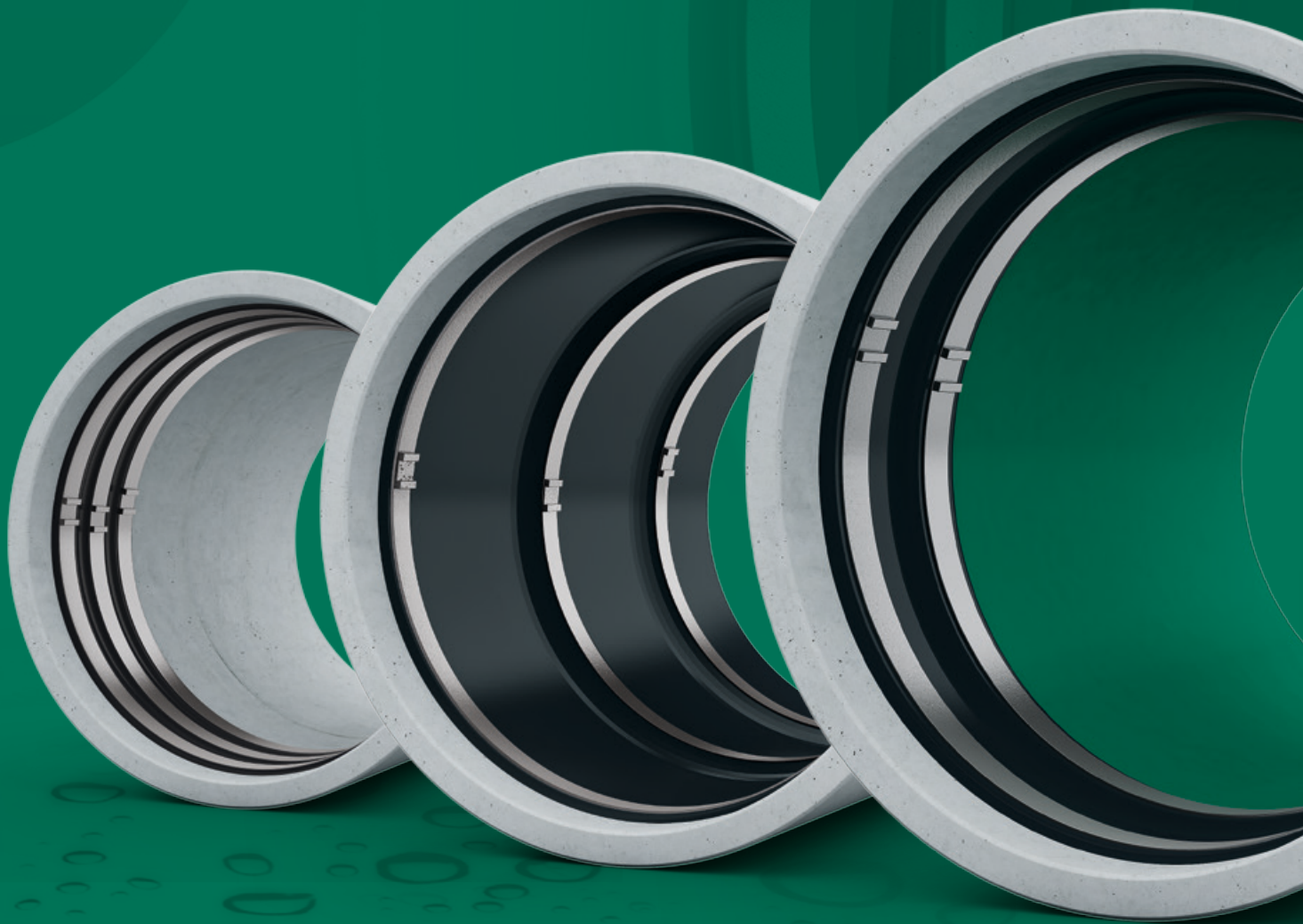
Liner end sleeve	Sleeve length	Suitable for pipes from / to		Liner thickness ¹ min-max	Liner trim length	Stainless steel sleeve			Rubber jacket		Stock item	
		Pipe ID min.	Pipe ID max.			Metal thickness	V4A pipe rolled	Max. expanded diameter	Rubber thickness	Height of seals		
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>		
<i>DN:</i>	<i>L</i>	<i>DN min</i>	<i>DN max</i>	<i>S Liner</i>	<i>RS Liner</i>	<i>S V4A</i>	<i>da</i>	<i>DA</i>	<i>S Rubber</i>	<i>Hn1</i>	<i>Hn2</i>	
150	250	146	160	3-8	130-140	1.0	119	146	2	10	4	X
175	250	171	190	3-8	130-140	1.2	142	176	2	10	4	X
200	250	190	212	3-9	130-140	1.2	160	199	2	11	4	X
225	250	212	238	3-9	130-140	1.2	182	225	2	11	4	X
250	250	238	265	3-9	130-140	1.2	206	251	2	11	4	X
275	250	265	292	3-9	130-140	1.2	233	278	2	11	4	X
300	250	290	319	3-9	130-140	1.2	260	305	2	11	4	X
350	250	319	359	3-9	130-140	1.5	285	345	2	11	4	X
400	250	359	413	3-9	130-140	1.5	322	397	2	11	4	X
450	300	413	480	3-11	170-180	2.0	371	461	2	13	5	X
500	300	480	542	3-11	170-180	2.0	437	522	2	13	5	X
600	300	542	615	4-12	170-180	2.0	498	595	2	13	5	X

1) The liner thickness is the actual measured thickness of the liner including annular gap, outer foil, etc.

Vedlegg 2 Datablad for Amex

AMEX, the internal Sealing System for accessible Pipes.

—
Company & Products



AMEX[®]

Table of Contents.

AMEX
The Company

02

AMEX
VARIO

06

AMEX
MONO

04

AMEX
LEM

08

AMEX
Contact

12

AMEX
Family

10

AMEX. The Company.

For more than 30 years,
AMEX® is specialized in the rehabilitation
of accessible pipes for all applications.

Our Applications

For more than 30 years, AMEX® is specialized in rehabilitating pipe joints and repairing defects in accessible pipes for all applications, including:

- potable water
- raw water
- industrial water
- cooling water
- sewage
- gas
- oil

Our Quality Standards

In order to guarantee the flawless installation and performance of AMEX®-10 inner Sealing Systems, only certified providers are allowed to handle and install

Our Services

In addition to the installation of AMEX®-10 inner Sealing Systems, AMEX® also offers a variety of services to ensure the best-possible functionality of your network:

- Consulting services for pipe repair and rehabilitation
- Project planning and management
- Preventive maintenance
- Installation of AMEX®-10 inner Sealing Systems
- Training and certification of third-party service providers in the installation of AMEX®-10 seals

Should you have any questions, please do not hesitate to contact us. We look forward to hearing from you.

AMEX®-10 inner Sealing Systems. Furthermore, all materials used are certified and tested by independent test institutions.



AMEX MONO.

The AMEX®-10 MONO Seal is ideal for rehabilitating pipe joints and leaks.

Application Areas

The AMEX®-10 MONO Seal is ideally suited for sealing pipe connections and leaks in all common types of pipes, including pipes constructed of steel, cast-iron, steel-concrete, in-situ concrete, PVC, AZ, GRP, clay, PP, as well as PE, for pipes with diameters from DN 600 to DN 6000.

Benefits

- Fastest and most cost-effective solution for rehabilitating pipe joints and leaks worldwide
- Guaranteed lifetime of minimum 50 years
- Flexible and fast installation that does not require any specific use of chemicals [e.g., resins]
- A rehabilitation system requiring no capital investment
- Lifetime enhancement of your pipeline at very little cost

Pressure Range

AMEX®-10 MONO Seals are designed to withstand an internal operating pressure of 25 bar and an outer pressure of 8 bar. Under circumstances where there is a high risk of groundwater infiltration or vacuum, additional structural tension bands are used to guarantee tightness of AMEX®-10 MONO Seals.

Setup & Installation

The AMEX®-10 MONO Seal consist of an elastic rubber seal and 2-3 high-strength stainless steel tension bands – the exact specifications of materials used vary depending on the specific pipes and application [e.g., potable water, raw water, industrial waste water, cooling water, sewage, gas and oil].

In order to ensure a perfect fit, all AMEX®-10 MONO Seals are tailor-made and manually installed. Furthermore, to guarantee pressure-tightness, all seals are tested during installation using our proven test valve.

Approvals & Certificates

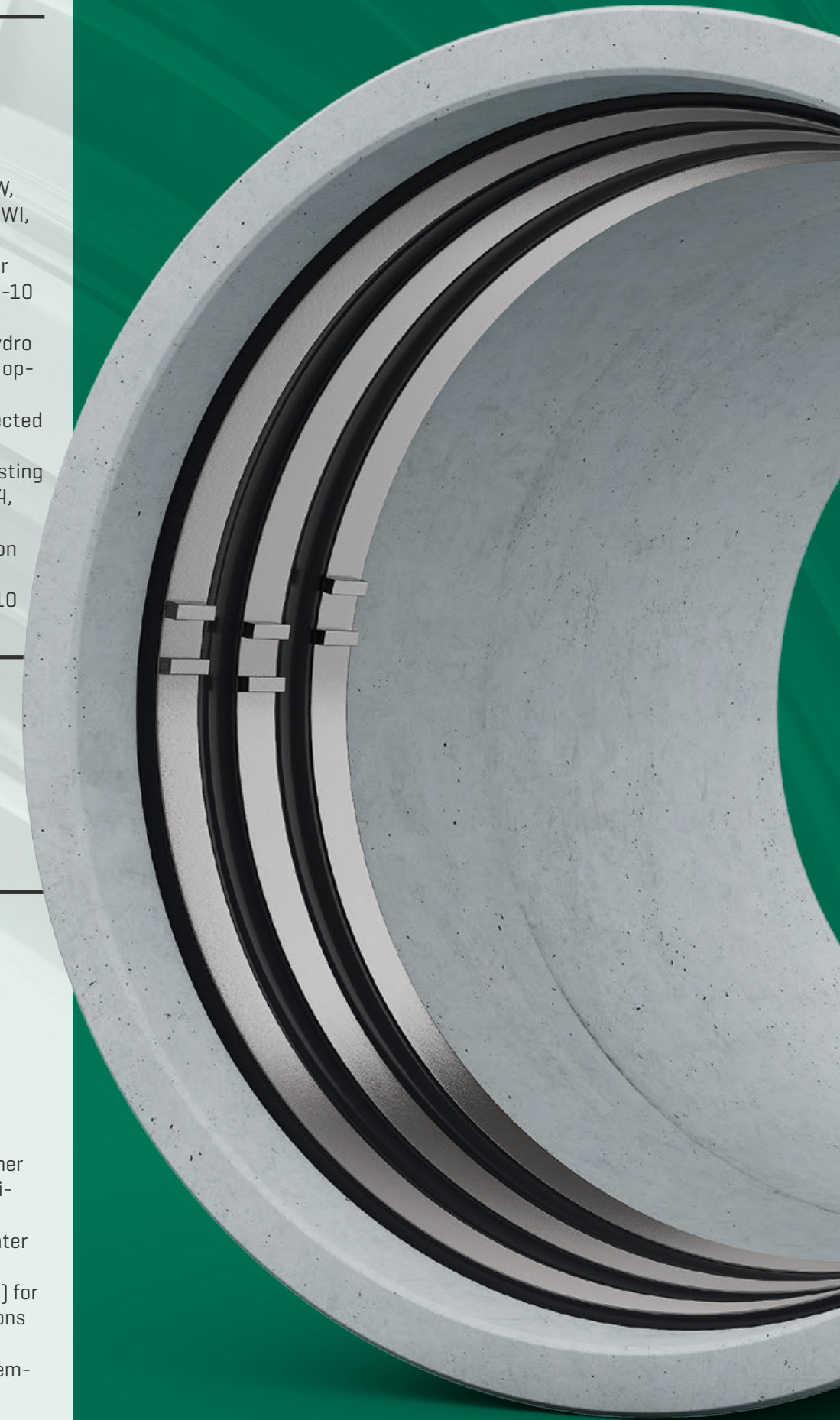
- Potable water approvals: KTW, DVGW W 270, NSF 61, ACS, DWI, WRAS
- German Approval Institute for Construction DIBt for AMEX®-10 MONO Seal: Z-42.3-474
- Proven resistance against hydro pressure jetting and internal operating pressure DIN 19523
- Seal tightness tests for deflected and bended joints
- Comprehensive suitability testing for all raw materials ISO 3384, ISO 188, DIN EN 681
- Compression stress relaxation as per BS 903
- 1000 h pressure test AMEX-10 MONO Seal

Pipe Profile

- Circular
- Mouth
- Ellipse
- Egg

Temperature & Media

- Temperature resistance -30°C to +230°C
- Rubber seal materials: Ethylene Propylene Diene Monomer [EPDM] for all water related applications – potable, raw, industrial-waste, cooling and sewage water
- Nitrile Butadiene Rubber [NBR] for all gas- and oil-related applications
- Fluororubber [FKM] for high temperature resistance



AMEX VARIO.

The flexibility of AMEX®-10 VARIO Seals allows for tailor-made rehabilitation of leaks of any size.

Application Areas

The AMEX®-10 VARIO Seal is ideally suited for sealing wide defect areas and sleeves of any width, as well for protecting entire pipe systems against corrosion caused by aggressive media in all common types of

pipes, including steel, cast-iron, steel-concrete, in-situ concrete, PVC, AZ, GRP, clay, PP, as well as PE, for pipes with diameters from DN 600 to DN 6000.

Benefits

- Variable installation design allows for the rehabilitation of defects in pipes of any length, making costly renovations of an entire length of pipe unnecessary
- Compatibility with all other AMEX®-10 Sealing Systems ensures fast and flexible installation – even in situations where no CIPP or other liner-types can be installed and under difficult on-site conditions
- Proven interlocking technology guarantees absolute fluid density, independent of the pipe or media

Setup & Installation

The AMEX®-10 VARIO Sealing System is based on the sealing principle of the AMEX®-10 MONO Seal. With an AMEX®-10 MONO Seal at the end points, an unlimited number of AMEX®-10 VARIO Seals can be connected to an endless unit of choice. Each AMEX®-10 VARIO Seal is secured by a form-locking interlock with the next seal,

eliminating the possibility of an offset between seals. In order to ensure a perfect fit, all AMEX®-10 VARIO Seals are tailor-made and manually installed. Furthermore, to guarantee pressure-tightness, all seals are tested during installation using our proven test valve.

Pressure Range

The AMEX®-10 VARIO Sealing System is designed to withstand an internal operating pressure of 25 bar and an outer pressure of 8 bar. Under circumstances where there is a high risk of groundwater infiltration or vacuum, additional structural tension bands are used to reinforce AMEX®-10 VARIO Seals and guarantee safety. Furthermore, in case of very high operating pressure there is also the option to re-enforce the seal with textile yarns.

Approvals & Certificates

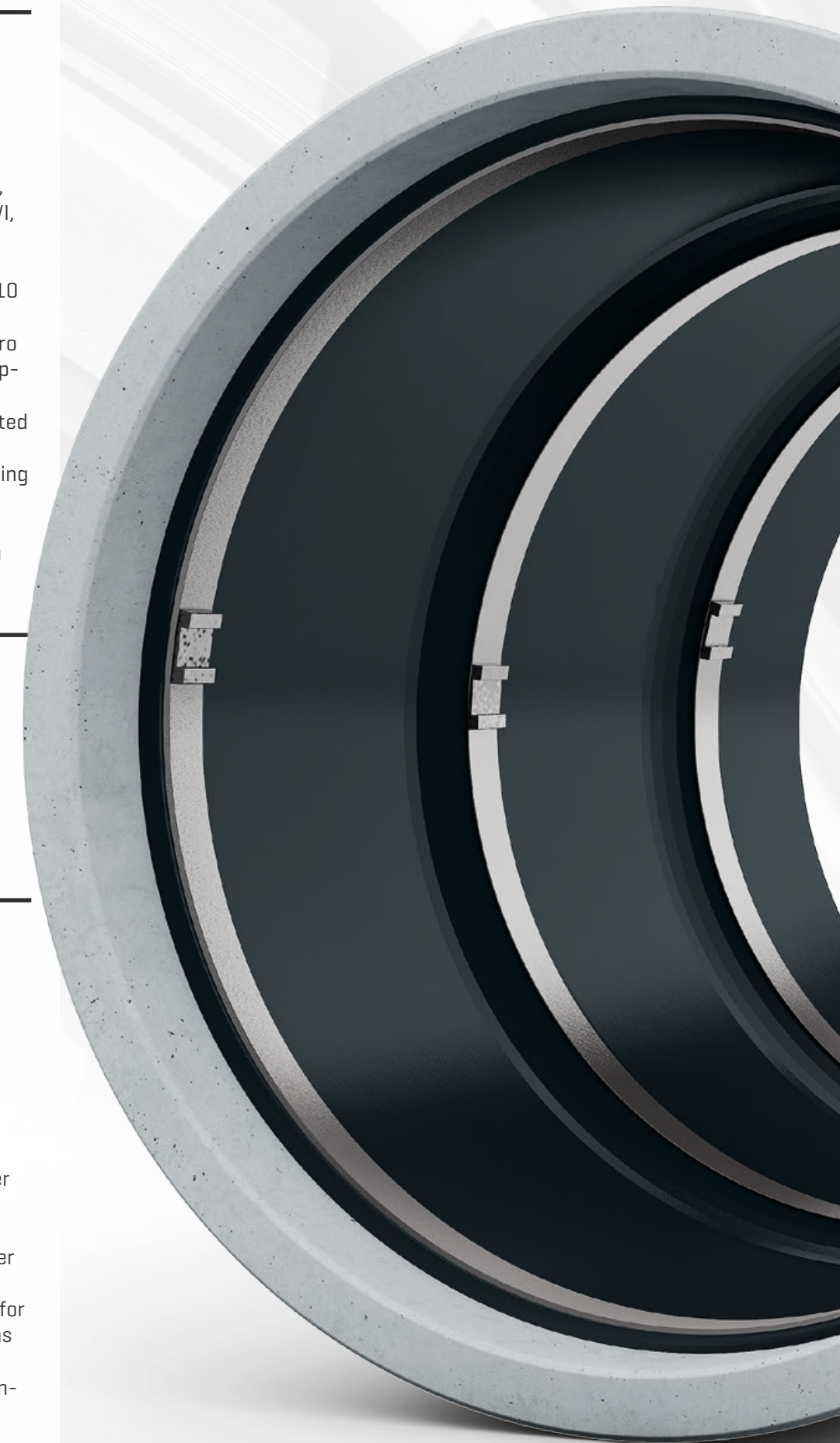
- Potable water approvals: KTW, DVGW W 270, NSF 61, ACS, DWI, WRAS
- German Approval Institute for Construction DIBt for AMEX®-10 MONO Seal: Z-42.3-474
- Proven resistance against hydro pressure jetting and internal operating pressure DIN 19523
- Seal tightness tests for deflected and bended joints
- Comprehensive suitability testing for all raw materials ISO 3384, ISO 188, DIN EN 681
- Compression stress relaxation as per BS 903

Pipe Profile

- Circular
- Mouth
- Ellipse
- Egg

Temperature & Media

- Temperature resistance -30°C to +230°C
- Rubber seal materials: Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) for all water related applications – potable, raw, industrial-waste, cooling and sewage water
- Nitrile Butadiene Rubber (NBR) for all gas- and oil-related applications
- Fluororubber (FKM) for high temperature resistance



AMEX LEM.

The AMEX®-10 Liner End Seal is ideally suited for sealing applications between liner ends and original pipes.

Application Area

The AMEX®-10 Liner End Seal was specially designed for use as a sealing application between liner ends and original pipes in all common types of pipes, including

steel, cast-iron, steel-concrete, in-situ concrete, PVC, AZ, GRP, clay, PP, as well as PE for pipe diameters from DN 100 to DN 4000.

Benefits

- Durable and flexible sealing against infiltration and exfiltration of all common media, including potable, raw, industrial-waste, cooling, and sewage water, as well oil and gas
- Flexible and fast installation that does not require any specific use of chemicals (e.g., resins)
- No installation machinery needed
- Most versatile application – eliminates the need of costly couplings

Setup & Installation

Similar to the AMEX®-10 MONO Seal, the AMEX®-10 Liner End Seal consists of an elastic rubber seal and 1-2 high-strength stainless steel tension bands, depending on the exact specifications of the liner used and the original pipe. In order to ensure the perfect fit, all

AMEX®-10 Liner End Seals are tailor-made and manually installed. Furthermore, to guarantee pressure-tightness, all seals are tested during installation using our proven test valve.

Pressure Range

AMEX®-10 Liner End Seals are designed to withstand an internal operating pressure of 25 bar and an outer pressure of 8 bar. Under circumstances where there is a high risk of groundwater infiltration or vacuum, additional structural tension bands are used to reinforce AMEX®-10 Liner End Seals and guarantee safety.

Approvals & Certificates

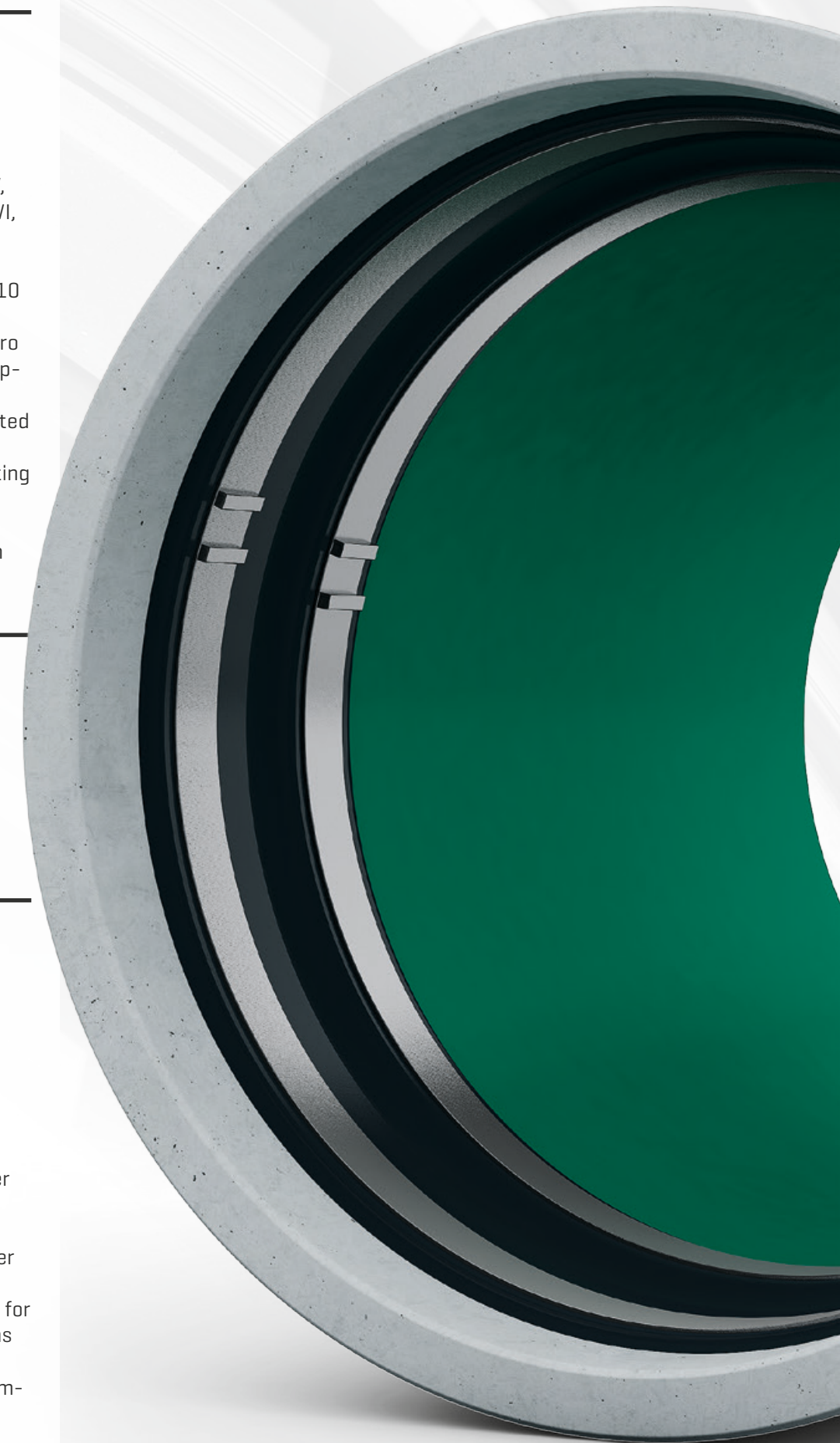
- Potable water approvals: KTW, DVGW W 270, NSF 61, ACS, DWI, WRAS
- German Approval Institute for Construction DIBt for AMEX®-10 MONO Seal: Z-42.3-474
- Proven resistance against hydro pressure jetting and internal operating pressure DIN 19523
- Seal tightness tests for deflected and bended joints
- Comprehensive suitability testing for all raw materials ISO 3384, ISO 188, DIN EN 681
- Compression stress relaxation as per BS 903

Pipe Profile

- Circular
- Mouth
- Ellipse
- Egg

Temperature & Media

- Temperature resistance -30°C to +230°C
- Rubber seal materials: Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) for all water related applications – potable, raw, industrial-waste, cooling and sewage water
- Nitrile Butadiene Rubber (NBR) for all gas- and oil-related applications
- Fluororubber (FKM) for high temperature resistance



AMEX. The Family.

Over the last 30 years, AMEX has built up a global network of certified installation experts in order to serve clients around the world.

Our operating model

Over the last 30 years, we have created an exceptional knowledge base with information on the rehabilitation of pipes for all possible media and applications, including potable, raw, industrial-waste, cooling, and sewage water, as well as oil and gas.

In order to guarantee the flawless application of all AMEX @-10 inner Sealing Systems, we ensure that all of our licenses receive regular on-site training from our highly specialized installation experts, and we oversee and approve all projects.

If you would like to become part of the AMEX family, do not hesitate to contact us, we are always looking for opportunities to expand our network and enter new markets.



Contact.

Germany is our home,
the world is our comfort zone.



Please contact us.

You will reach us from Monday
till Friday from 7:30am till 5:00pm.

T +49 3 44 96 - 230 350
F +49 3 44 96 - 230 359

M info@amex-10.de

AMEX-10 Trading AG

Neustraße 19
4623 Neuendorf
Switzerland

AMEX GmbH

Raudenitzer Berg 19
04626 Nöbdenitz
Germany

© 2015 AMEX-10 GmbH.
All rights reserved.

The AMEX logo is positioned in the bottom right corner of the page. It consists of the word "AMEX" in a bold, white, sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®). The background of the entire page is a solid teal color with a pattern of faint, overlapping circles at the bottom.

www.amex-10.de

Vedlegg 3 Colebrook/White: Formler og eksempel for utregning

Vannmengde for fulle trykksatte rør:

$$Q = -2 * A_{vann} * \sqrt{2 * g * D_h * I} * \log \left(\frac{k}{3,71 * D_h} + \frac{2,51 * \nu}{D_h * \sqrt{2 * g * D_h * I}} \right)$$

Formel 1: Colebrook/White formel for kapasitetsberegning

Tverrsnittsareal for fulle rør (A_{vann}):

$$A_{vann} = \frac{\pi}{4} * D_h^2$$

Formel 2: Tverrsnittsareal for fulle rør

Tyngdeakselerasjon: 9,81 m/s²

Hydraulisk diameter (D_h):

Innvendig diameter. For plastrør oppgitt med ytre diameter, brukes følgende formel for å finne indre diameter:

$$D_h = D_u - 2 * \frac{D_u}{SDR}$$

Formel 3: Innvendig dimensjon for termoplastrør

Bunnhelning (I):

$$I = \frac{(\text{kote innløp} - \text{kote utløp})}{\text{ledningslengde}}$$

Formel 4: Bunnhelning på vannspeilet

Volumstrømning (v):

$$v = \frac{Q}{A_{vann}}$$

Formel 5: Volumstrømning

Tabell 1: Parametre for formler over

Forkortelse	Beskrivelse	Enhet
Q	Vannføring	m ³ /s
A_{vann}	Tverrsnittareal	m ²
g	Tyngdeakselerasjon	m/s ²
D_h	Hydraulisk diameter	m
I	Trykktap / trykklinjens fall	m/m
k	Ledningens ruhet	m
ν	Væskens kinematiske viskositet	m ² /s

Ledningens ruhet:

For nettberegninger brukes ofte praktiske ruheter etter tabellen nedenfor.

Tabell 2: Teoretiske og praktiske ruheter

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Ofte brukte/praktiske ruheter på ledninger (mm)
Plastrør (PVC, PE, etc.)	0,002 - 0,007	0,1 - 0,4
Betongrør	0,06 - 0,3	0,3 - 1,0
Nye støpejernsrør med betongforing	0,06 - 0,15	0,3 - 0,5
Nye støpejernsrør med termoplastforing	0,002 - 0,007	0,1 - 0,4
Eldre støpejernsrør	0,6 - 1,5	1,5 - 2,5 *

Væskens kinematiske viskositet:

Tabell 3: Kinematisk viskositet for vann

Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m ² /s]	Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m ² /s]
2	$1,6736 \cdot 10^{-6}$	22	$0,9565 \cdot 10^{-6}$
4	$1,6191 \cdot 10^{-6}$	24	$0,9131 \cdot 10^{-6}$
6	$1,4716 \cdot 10^{-6}$	26	$0,8729 \cdot 10^{-6}$
8	$1,3849 \cdot 10^{-6}$	28	$0,8355 \cdot 10^{-6}$
10	$1,3063 \cdot 10^{-6}$	30	$0,8007 \cdot 10^{-6}$
12	$1,2347 \cdot 10^{-6}$	32	$0,7682 \cdot 10^{-6}$
14	$1,1692 \cdot 10^{-6}$	34	$0,7379 \cdot 10^{-6}$
16	$1,1092 \cdot 10^{-6}$	36	$0,7095 \cdot 10^{-6}$
18	$1,0541 \cdot 10^{-6}$	38	$0,6828 \cdot 10^{-6}$
20	$1,0034 \cdot 10^{-6}$	40	$0,6579 \cdot 10^{-6}$

Eksempel beregning vha. Colebrook/White:

Finn vannmengde og strømningshastighet for en støpejernsledning med følgende parametre: ledningslengde 80 meter, kotehøyde innløp +30, kotehøyde utløp +29,5, Innvendig diameter 200 mm, ruhet 1,5 mm, vanntemperatur 10 °C.

$$D_h = \frac{200 \text{ mm}}{1000} = 0,200 \text{ m}$$

$$A_{vann} = \frac{\pi}{4} * D_h^2 = \frac{\pi}{4} * 0,200^2 = 0,031 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{(kote \text{ innløp} - kote \text{ utløp})}{ledningslengde} = \frac{(30 - 29,5)}{80 \text{ m}} = 0,00625 \text{ m/m} = 6,25 \text{ ‰}$$

$$\text{Ledningens ruhet [m]} = \frac{1,5 \text{ mm}}{1000} = 1,5 * 10^{-3} \text{ m}$$

Væskens kinematiske viskositet [m²/s] ved 10 grader (jf. tabell 3): 1,3063 * 10⁻⁶

Ved innsetting i Formel 1 får vi følgende uttrykk for vannmengde:

$$Q = -2 * 0,031 \text{ m}^2 * \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,200 \text{ m} * 0,00625} \\ * \log \left(\frac{1,5 * 10^{-3} \text{ m}}{3,71 * 0,200 \text{ m}} + \frac{2,51 * 1,3063 * 10^{-6}}{0,200 \text{ m} * \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,200 \text{ m} * 0,00625 \frac{\text{m}}{\text{m}}}} \right) \approx 0,026 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ved innsetting i Formel 5 får vi følgende uttrykk for strømningshastighet:

$$v = \frac{Q}{A_{vann}} = \frac{0,026 \text{ m}^3/\text{s}}{0,031 \text{ m}^2} \approx 0,84 \text{ m/s}$$

Vannmengden for ledningen blir da 0,026 m³/s, med en strømningshastighet på 0,84 m/s.