

Thomas Jacobsen

# Beslutningsstøtte for rehabiliteringsmetoder for avløp

Masteroppgave i Vann- og avløpsteknikk

Veileder: Franz Tscheikner-Gratl

Medveileder: Marius Møller Rokstad

Juni 2021



Thomas Jacobsen

# **Beslutningsstøtte for rehabiliteringsmetoder for avløp**

Masteroppgave i Vann- og avløpsteknikk  
Veileder: Franz Tscheikner-Gratl  
Medveileder: Marius Møller Rokstad  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk





# Sammendrag

Det norske ledningsnett er preget av et stort etterslep for fornyelse av avløpsledninger. Det rehabiliteres kun 0,61% av ledningsnett hvert år på landsbasis, og med en forventet levealder på 100 år går ikke dette regnestykket opp. Det er et stort behov for å fornye ledningsnett, og dette bør gjøres på den mest bærekraftige og effektive metoden mulig. Kun 25% av kommuner i Norge viser til å ha benyttet gravefrie metoder, som viser at det er et stort potensial for gravefrie metoder i Norge, og at mange beslutningstakere velger konvensjonell graving som metode uten å ha undersøkt andre muligheter. Målet med denne oppgaven er å enklere kunne vise at det finnes andre metoder som vil være bedre å benytte, og at det ikke nødvendigvis vil være dyrere med gravefrie metoder i alle tilfeller.

Opgaven er begrenset til ulike rehabiliteringsmetoder for avløpsledninger utført i eksisterende trasé. De ulike metodene som er undersøkt er utblokking, strømpereovering, tetttilsluttet rør, rørrinnføring og konvensjonell graving.

Opgaven har bakgrunn i fordypningsarbeidet som ble gjennomført høsten 2020, hvor ulike rehabiliteringsmetoder for avløpsledninger ble undersøkt. Dette la grunnlaget for den tekniske gjennomføringsevnen til metodene undersøkt i denne oppgaven. Videre i arbeidet med denne oppgaven ble det undersøkt hvordan de ulike metodenes utførelse påvirker økonomiske-, sosiale- og miljøkostnader. Alle disse funnene ble kombinert sammen og inkludert i et multikriterie beslutningsstøtte (MCDM) verktøy som ble utviklet i denne oppgaven. Informasjonsinnhenting er gjort ved litteratursøk og gjennom intervjuer av ulike entreprenører som leverer og utfører flere av metodene som er inkludert i oppgaven.

Resultatet av denne oppgaven er verktøyet som er utviklet. Verktøyet er todelt, hvor første del er et beslutningstre hvor metoder blir inkludert eller ekskludert avhengig av hva som er teknisk gjennomførbart for et prosjekt. Andre del er et multikriterie beslutningsstøtte verktøy som er utviklet i Excel som tar inn de aktuelle metodene og vurderer disse opp mot hverandre med hensyn til ulike underkriterier. MCDM delen av verktøyet benytter metoden analytisk hierarkiprocess, hvor det benyttes matriser for å parvis sammenligne to metoder om gangen. I dette verktøyet er det satt 950 ulike verdier fordelt over 41 matriser for hvordan metodene skårer gitt spesifikke faktorer og kriterier.

# Abstract

The Norwegian pipeline network is characterized by a large backlog for the renewal of sewage pipelines. Only 0.61% of the pipeline network is rehabilitated each year on a national basis, and with an life expectancy of 100 years, this calculation does not add up. There is a great need to renew the pipeline network, and this should be done in the most sustainable and efficient method possible. Only 25% of municipalities in Norway indicate that they have used NoDig-methods, which shows that there is a great potential for NoDig-methods in Norway, and that many decision-makers choose conventional digging as a method without having investigated other possibilities. The aim of this thesis is to more easily show that there are other methods that will be better to use, and that it will not necessarily be more expensive with NoDig-methods in all cases.

The thesis is limited to various rehabilitation methods for sewers carried out in existing routes. The various methods that have been investigated are pipe bursting, cured in place pipe, close fit lining, sliplining and conventional digging.

The thesis is based on the specialization work that was carried out in the autumn of 2020, where various rehabilitation methods for sewer lines were investigated. This laid the foundation for the technical feasibility of the methods investigated in this thesis. Furthermore, in the work on this thesis, it was investigated how the execution of the various methods affects economic, social and environmental costs. All these findings were combined together and included in a multi-criterion decision making (MCDM) tool that was developed in this thesis. The information gathering is done by literature search and through interviews of various contractors who deliver and perform several of the methods included in the thesis.

The result of this task is the tool that has been developed. The tool is divided into two parts, where the first part is a decision tree where methods are included or excluded depending on what is technically feasible for a project. The second part is a multi-criteria decision making tool developed in Excel that takes the relevant methods and evaluates them against each other with regard to various sub-criteria. The MCDM part of the tool uses the method analytical hierarchy process, where matrices are used to compare two methods at a time. In this tool, 950 different values are set over 41 matrices for how the methods score given specific factors and criteria.

# Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført som det avsluttende arbeidet for sivilingeniørstudiet vann- og miljøteknikk våren 2020 ved NTNU. Oppgaven omfatter 30 studiepoeng i faget TVM4905 – Vannforsynings- og avløpsteknikk, masteroppgave.

Det ønskes å takke veilederne Franz Tscheikner-Gratl og Marius Møller Rokstad for god hjelp gjennom hele masterperioden, og i arbeidet med fordypningsprosjektet i høsten 2019. De har vært tilgjengelig for hjelp og råd gjennom hele arbeidet til tross for stadige nedstenginger grunnet covid-19. Jeg vil også takke de ulike aktørene som bidro med informasjon gjennom å svare på spørsmål og delta i møter/intervjuer.

Thomas Jacobsen





# Innhold

Figurer .....	xi
Tabeller .....	xi
Forkortelser/symboler .....	xii
1 Introduksjon .....	13
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	13
1.2 Formål og problemstilling .....	13
1.3 Avgrensing og omfang .....	14
1.4 Rapportens oppbygging .....	15
2 Teori.....	16
2.1 Introduksjon til metodene .....	16
2.1.1 Utblokking .....	16
2.1.2 Rørinnføring .....	17
2.1.3 Strømperenovering .....	18
2.1.4 Tetttilsluttet rør .....	18
2.1.5 Konvensjonell graving .....	19
2.2 Kumrenovering .....	20
2.3 Multikriterie beslutningsstøtte, MCDM.....	21
2.3.1 Analytisk hierarkiprosess (AHP) .....	21
2.3.2 TOPSIS .....	22
2.3.3 ELECTRE.....	22
3 Metode.....	23
4 Resultat/Diskusjon .....	24
4.1 Hvordan er kriteriene valgt og evaluert i beslutningstreet .....	24
4.2 Beslutningstre.....	25
4.2.1 Beslutningstreet's oppbygging .....	26
4.3 Valg av MCDM metode .....	29
4.3.1 Om analytisk hierarkiprosess, AHP .....	30
4.4 Intervju med aktuelle aktører .....	32
4.4.1 Entreprenør 1 .....	32
4.4.2 Entreprenør 2 .....	37
4.5 Datagrunnlaget til MCDM .....	38
4.5.1 Økonomiske kostnader .....	38
4.5.2 Kostnad .....	39
4.5.3 Stikkledninger .....	41
4.5.4 Kummer .....	42

4.5.5	Sosisale kostnader .....	42
4.5.6	Trafikk .....	42
4.5.7	Bedrifter .....	44
4.5.8	Lukt .....	44
4.5.9	Miljøkostnader .....	45
4.5.10	CO2 utslipp .....	45
4.6	Hvordan multikriterie beslutningsstøtte verktøyet opererer .....	47
4.6.1	Beskrivelse av fanene .....	49
4.7	Hvordan benytte verktøyet.....	53
4.8	Forbedringspotensial .....	54
5	Konklusjon.....	56
	Referanser .....	57
	Vedlegg .....	61

## Figurer

Figur 1: Prinsippskisse for utblokking (Aas et al., 2016) .....	17
Figur 2: Illustrasjon av rørrinnføring (Aas et al., 2016) .....	17
Figur 3: Illustrasjon av installasjon av en strømpe (VA/Miljø-blad 91, 2018) .....	18
Figur 4: Sammenfoldet rør fra fabrikk før og etter trykksetting (VA/Miljø-blad 90, 2009) .....	19
Figur 5: Eksempel på grøftesnitt. V – vannledning, SP – spillvannledning, OV – overvannledning (VA/Miljø-blad 5 2016; VA/Miljø-blad 6, 2016) .....	19
Figur 6: Kum før og etter fornying ved støping av ny bunn. (Olimb, 2015, s. 62) .....	21
Figur 7: Beslutningstre for teknisk gjennomførbarhet.....	25
Figur 8: CO2 utslipp I levetiden til rørmateriale betong, PVC, PE og strømpe (Alasadi og Matthews, 2020, s. 12) .....	46
Figur 9: CO2 utslipp under installasjonsfasen for konvensjonell graving, utblokking og strømperenovering (Alsadi og Matthews, 2020, s. 8) .....	46
Figur 10: Matrise for trafikkpåvirkning uten hensyn til uaktuelle metoder. Fra fanen Sosiale. ....	52
Figur 11: Matrise for trafikkpåvirkning med hensyn til uaktuelle metoder. Fra fanen SosialeFix. ....	52

## Tabeller

Tabell 1: Skala av parvis sammenligning (Lee et al., 2009).....	30
Tabell 2: Eksempel matrise for sammenligning av drikkekonsum. ....	30
Tabell 3: Random Index (RI) (Saaty, 1980, Hentet fra Ammarapala et al., 2018) .....	31
Tabell 4: Oversikt over kostnader for metodeutførelse levert av Entreprenør 1 (2021b). Verdiene er i NOK per meter lagt. ....	40
Tabell 5: Verdier for prosjektene undersøkt av Jung og Sinha (2007) hentet fra tabell 1 og 6 fra (Jung og Sinha, 2007, s. 148, 150) .....	40
Tabell 6: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til kostnad. Dette er matrisen for diameter 150-299mm og lengde 150-399m. ....	41
Tabell 7: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til kostnad av tilkobling av stikkledninger. Dette er matrisen for 7-12 stikkledninger/100m. ....	42
Tabell 8: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til trafikkpåvirkning. Dette er matrisen for bebygde strøk. ....	43
Tabell 9: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til underkriteriet bedriftspåvirkning. Dette er matrisen for urbane strøk. ....	44
Tabell 10: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til underkriteriet lukt. .....	45
Tabell 11: Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til CO2 utslipp.....	47
Tabell 12: Parvis sammenligningsmatrise for underkriteriene med hensyn til hovedkriteriet sosiale kostnader.....	47
Tabell 13: Parvis sammenligningsmatrise for metodene med hensyn til underkriteriet trafikkpåvirkning for urbane strøk .....	47

Tabell 14: Utregning av den totale prioriteringen for lengde 200m, diameter 200mm, 20 stikkledninger, urbant strøk og alle metodene er aktuelle. .... 48

Tabell 15: Sluttresultatene vist som normalisert prioritering og idealisert prioritering. .. 48

## Forkortelser/symboler

AF	Avløp-felles
AHP	Analytisk hierarkiprosess
CI	Consistency index
CIPP	Cured in place pipe, strømpe
CR	Consistency ratio, konsistensforhold
DN	Nominell diameter
FN	Forente nasjoner
HDPE	Høydensitet polyetylen
MCDM	Multi-criteria decision making, Multikriterie beslutningstøtte
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
OV	Overvann
PCCP	Prestressed concrete cylinder pipe
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylklorid
RI	Random consistency index
SDR	Standard Dimension Ratio
SP	Spillvann
SSTT	Scandinavian Society for Trenchless Technology
VA	Vann og avløp

# 1 Introduksjon

I dette kapittelet blir det forklart hva som ligger til grunn for oppgaven, hva formålet med oppgaven er og problemstillingen blir presentert. Videre vil avgrensninger som er gjort og omfanget med oppgaven lagt frem, før oppgavens oppbygging til slutt blir gjennomgått.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

I 2017 vedtok Norsk Vann flere delmål som skal sikre bærekraft i vann og avløpsbransjen som er forankret i FNs bærekraftsmål mot 2030. Delmål 5 sier at avløpsnettets skal på et nasjonalt nivå ha en gjennomsnittlig fornyelsestakt på 1,0% frem til 2040. Delmål 4.2 sier at bransjen som helhet skal redusere andelen fremmedvann som når anløpsrenseanleggene med 30% innen 2030 (Norsk Vann, 2017). Dette er mål som vil kan nås ved å rehabilitere eksisterende avløpsledninger som har behov for oppgradering.

BedreVANN er et nasjonalt system i Norge hvor mål og delmål til virksomheter måles mot utviklede bærekraftsindikatorer. I bedreVANN sin siste rapport fra 2020, som tar for seg året 2019 er 76 kommuner og 9 interkommunale vann- og avløpselskaper representert. Disse står for 72% av de 4,53 millioner innbyggere i Norge som er tilknyttet det kommunale nettet. Gjennomsnittlig kvalitetsindeks gitt fra bedreVANN rapporten viser at for vannforsyning har deltagerne en verdi på 3,3 i en skala fra 1 til 4 hvor 4 er best og 1 er dårligst. For avløpstjenesten ligger verdien på 2,7 som er vesentlig dårligere enn for vannforsyning. Det viser at det fremdeles er store forbedringsområder når det kommer til avløpssektoren i Norge (Norsk Vann, 2020). I kommunene tilknyttet bedreVANN var fornyelsen av avløpsledninger på 0,82% i snitt. Landsgjennomsnittet lå på 0,61% for 2019. Dette er et godt stykke unna målet på 1,0% i snitt på nasjonalt nivå. Det vil være nødvendig å sette et større fokus på rehabilitering av avløpsledninger for å kunne oppnå et bærekraftig nivå. Gravefri ledningsfornyelse benyttes i en veldig lav grad, kun 19 av de 76 kommunene som er tilknyttet rapporten oppga at de har benyttet gravefrie metoder for avløpsrenovering de siste tre årene (Norsk Vann, 2020). Dette forteller at metoden konvensjonell graving er den klart mest utbredte metoden som benyttes for rehabilitering av avløpsledninger.

## 1.2 Formål og problemstilling

Målet med denne oppgaven er å kunne skape et verktøy som på en kjapp og enkel måte vil vise mulighetene for å benytte gravefri metoder når man har en avløpsledning som skal rehabiliteres. Da konvensjonell graving er den mest benyttede metoden for rehabilitering av avløp, tyder dette på at mange av beslutningstakerne faller tilbake på denne metoden uten å ha gjort noen undersøkelser inn i andre aktuelle metoder, og vil benytte konvensjonell graving som en standard. Det ønskes å utvikle et verktøy som enkelt kan gi en beslutningstaker informasjon om konvensjonell graving er den rette

metoden å benytte for sitt prosjekt, eller om det finnes alternativer som vil være bedre i det prosjektet. Samtidig ønskes det å vise hvilke aspekter de forskjellige metodene er gode på for det aktuelle prosjektet.

Målet med denne oppgaven er derfor:

- Utvikle et verktøy som tar hensyn til hvordan ulike rehabiliteringsmetoder utføres og ulike beslutningsvariabler for å foreslå en aktuell rehabiliteringsmetode å benytte.

For å kunne utvikle dette verktøyet er følgende forskningsspørsmål satt opp:

- Hvordan utføres de ulike rehabiliteringsmetodene, og hva er deres kvaliteter, kostnader, fordeler og ulemper?
- Hva er påvirkende faktorer for beslutningen om avløpsrehabilitering?
- Hvordan kan de påvirkende faktorene og kvalitetene til de ulike rehabiliteringsmetodene kombineres i et verktøy?

### 1.3 Avgrensning og omfang

Det er gjort en avgrensning i hvilke metoder som skal evalueres og være med i beslutningsverktøyet i denne oppgaven. Avgrensningen er gjort av tidshensyn, da det er mye data som må oppdrives og undersøkes for hver metode som er inkludert. Det er valgt å fokusere på metoder som kan rehabilitere ledninger i eksisterende trasé. Det vil av denne grunn ikke ses på metoder som kan benyttes dersom man velger å rehabilitere ledningen ved å legge en ny ledning i en ny trasé.

De metodene som er inkludert i oppgaven er:

- Utblokking
- Strømperenovering
- Tetttilsluttet rør
- Rørrinnføring
- Konvensjonell graving

Det er og gjort avgrensninger i antall kriterier som blir undersøkt i denne oppgaven. ingen prosjekt vil være like, og det er utallige faktorer som påvirker hvert prosjekt, men alle disse kan ikke tas hensyn til i et verktøy som skal være kjapt og enkelt å benytte for brukeren. Det er flere kriterier som har vært ønsket inkludert i verktøyet, men hvor det gjennom litteratursøk og intervjuer ikke har kommet frem tilstrekkelig god nok data for å kunne inkludere disse kriteriene i verktøyet. Et problem som har vært fremtredende ved informasjonsinnhenting er å kunne finne gode nok data for alle fem metodene for hvert underkriterium som har blitt undersøkt. Hvis det ikke er lokalisert noe data for en av metodene, og det ikke har blitt funnet gode nok sammenhenger til å kunne gjøre en antagelse om hvordan metoden vil prestere, så finnes det ikke et godt nok datagrunnlag for å kunne sammenligne alle metodene for det spesifikke underkriteriet.

En stor del av masterarbeidet har vært innhenting av data for hvordan de ulike metodene utføres og skårer med hensyn til de forskjellige underkriteriene i verktøyet, og de forskjellige inputfaktorene brukeren kan velge mellom. Det er og lagt ned en stor mengde arbeid i designet og oppsettet av verktøyet, både for utformingen av beslutningstreet, og selve utviklingen av Excel verktøyet. Hele Excel verktøyet er laget

fra bunnen av, og består av 13 faner med i underkant av 2 000 celler med ulike formler etter et raskt estimat.

## 1.4 Rapportens oppbygging

Masteroppgaven presenterer først teori om hvordan de ulike metodene utføres og forskjellige MCDM metoder. Metoden for innhenting av data og informasjon blir så presentert. Videre presenteres datagrunnlaget for hvordan de ulike metodene er rangert og vurdert for benyttelse i verktøyet. Her vil informasjon og data om hver metode vurderes for hvert sitt underkriterium, og en av matrisene for hvert underkriterium benyttet vil presenteres. Det vil og forklares hvordan verktøyet operer og hvordan det skal benyttes. Til slutt vil det presenteres ulike forbedringspotensial for verktøyet og videre arbeid, før hele oppgaven oppsummeres og konkluderes.

## 2 Teori

I dette kapitlet introduseres alle metodene som benyttes i oppgaven, og teorien bak tre forskjellige multikriterie beslutningsstøtte (MCDM) metoder, som legger grunnlaget for hvilken metode som skal benyttes. Teori om hvordan hver metode skårer for forskjellige kriterier er gitt i kapittel 4.

### 2.1 Introduksjon til metodene

I denne oppgaven er det fokusert på rehabilitering av etablerte avløpsledninger i opprinnelig trasé. Av denne grunn er NoDig-metodene utblokking, strømpereovering, rørrinnføring og tetttilsluttet rør valgt og satt opp imot konvensjonell graving. Metodene kan kombineres med hverandre og med andre metoder, men fokuset i denne oppgaven vil være på hvordan de gitte metodene oppfører seg aleine.

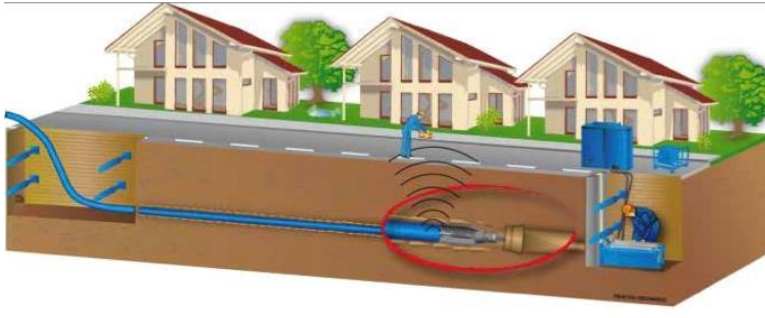
De valgte metodene vil her få en kort introduksjon, basert på litteratur benyttet i prosjektoppgaven (Jacobsen, 2020; Vedlegg 12).

#### 2.1.1 Utblokking

Utblokking er en teknikk hvor det eksisterende røret splittes og blokkes ut, og det nye røret trekkes inn i den eksisterende traséen (SSTT,2002). Metoden utføres ved at det etableres to arbeidsgrøper, en innføringsgrøp hvor den nye ledning trekkes inn fra, og en mottakergrøp hvor det etableres trekkeutstyr som trekker det nye røret gjennom eksisterende trasé. Det monteres et utblokkerhode (ekspander) i front av det nye røret som utfører selve utblokkingen av det eksisterende røret. Dette utblokkerhodet kan være utstyrt med skjærekniver ved spesielle rørtyper (Sægrov, 2014). Utblokking er den eneste rehabiliteringsmetoden som kan oppdimensjonere ledningen i traséen, det vil si at det kan installeres en ny ledning med større dimensjon enn den eksisterende. Metoden er og den eneste som har mulighet til å separere AF-ledninger ved å trekke inn to nye ledninger, SP og OV, uten at det er nødvendig å etablere en ny ledning et sted i traséen.

Det er to teknikker for å utføre utblokking, en er statisk utblokking også kalt hydraulisk utblokking og den andre er pneumatisk utblokking. Statisk utblokking benytter et hydraulikkaggregat som driver en trekkerigg i mottaksgrøpa som trekker skjæreutstyret, ekspanderen og det nye røret gjennom det eksisterende røret. Pneumatisk utblokking benytter en slaghammer med et luftdrevet stempel som vibrerer kraftig og vibrasjonene forplanter seg gjennom det eksisterende røret slik at røret knuses, samtidig som en vinsj drar slaghammeren og det nye røret gjennom traséen. Statisk utblokking er den teknikken som benyttes mest i Norge i dag. (VA/Miljø-blad 110, 2015)



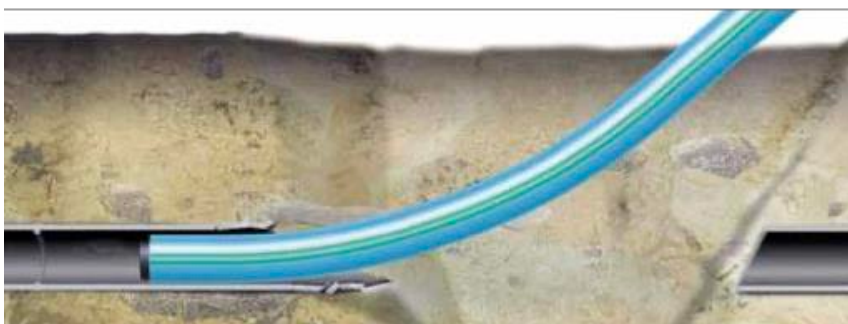


**Figur 1:** Prinsippskisse for utblokking (Aas et al., 2016)

### 2.1.2 Rørrinnføring

Rørrinnføring er en metode hvor det trekkes et nytt rør inn i det eksisterende røret, med et ferdig sirkulært tverrsnitt. Ved fornying av avløpsledninger benyttes det primært helsveiset PE-rør. Metoden installeres ved at det etableres en innføringsgrop, og en vinsj plasseres i mottakerenden som kan være en grop eller en kum. Det nye røret sveises ferdig over bakken, og legges på ruller for å beskytte det mot skader ved inntrekningen. Det anbefales å benytte et rør med en PP kappe som beskytter mot riper (Olimb, 2015). Det finnes en forenklet metode for rørrinnføring hvor det benyttes innføring av kortrør. Disse rørene har en lengde på 80-100 cm og blir skjøvet inn i det eksisterende røret fra en kum. Kortrørene har en "not og fjær" skjõt og monteres nede i kummen før de føres videre inn i det eksisterende røret, og neste kortrør monteres (VA/Miljø-blad 90, 2009). Rørrinnføring kan og installeres ved å skyve det nye røret inn ved hjelp av en skyvemaskin, eller et skyve/trekke redskap som monteres på en gravemaskin (PE100+ Association, 2018a).

Hulrommet mellom det nye røret og eksisterende rør bør støpes ut da det nye røret kan flytte opp ved infiltrasjon av vann i det eksisterende røret etter renoveringen, og ved transport av sedimenter vil dette kunne føre til svanker på det nye røret. (VA/Miljø-blad 90, 2009)

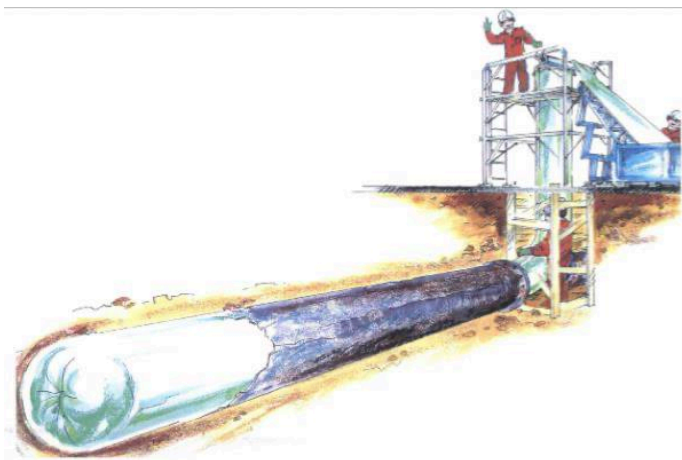


**Figur 2:** Illustrasjon av rørrinnføring (Aas et al., 2016)

### 2.1.3 Strømperenovering

Strømperenovering er en metode som oppgraderer det eksisterende røret, ved å legge en strømpe inn i den eksisterende ledningen. Det er den mest utbredte metoden for fornying av eksisterende avløpsledninger uten graving (Olimb, 2015).

Det er to hovedmetoder for å installere strømper, enten ved å vrenge inn en filt strømpe ved hjelp av trykk, eller ved å trekke inn strømpen med en vinsj for og så blåse opp strømpen ved trykk. Strømpene består av filt som er mettet i epoxy eller polyester som herdes ved damp eller varmtvann, eller en glassfiberarmert strømpe som herdes med UV-lys. Grenrør skjæres opp ved hjelp av en robot, hvor det kan monteres en "hatt" inn i grenrøret som limes til strømpen og føres videre inn i grenrøret. Det kan monteres lengere "hatter" slik at en større del av stikkledningen blir fornyet (Aas et al., 2016). Innføringen av slike strømper krever liten plass, og monteres ofte fra kum til kum.



**Figur 3:** Illustrasjon av installasjon av en strømpe (VA/Miljø-blad 91, 2018)

### 2.1.4 Tettisluttet rør

Tettisluttet rør metoden går ut på å føre et innsnevret rør eller et foldet rør inn i det eksisterende røret, hvor det nye røret blir trykksatt og ekspanderer seg ut mot eksisterende rørvegg etter inntrekning. Metoden kan regnes som strukturell eller semi-strukturell avhengig av hvilken variant og materiale som benyttes.

Tettisluttet rør utføres ved tre varianter:

- Slange fra fabrikk; Utføring med en armert slange som enten blir etablert som et permanent rør, eller som trykkes ut mot rørveggen når vann transporteres under trykk. (Den siste er ikke så relevant for avløpssystemer)
- Sammenfoldet fra fabrikk; Røret sammenfoldes umiddelbart etter produksjon og kveiles opp på en rull. Når røret kommer til anleggsstedet varmes det opp før innføring. Etter innføring tilføres det trykk og varme slik at røret folder seg ut mot eksisterende rørvegg.
- Dimensjonsredusering på anleggsstedet; PE-rør sveises sammen på anleggsstedet, før det føres gjennom en tversnittreduksjon, en mekanisk endring. Røret føres inn og tilføres varme og trykk for å utvide det mot den eksisterende rørveggen. (Sægrov, 2014)

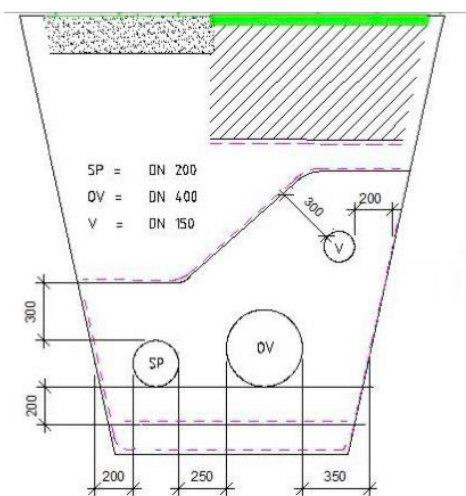
Innføringen av et tettisluttet rør vil redusere tverrsnittet, men ofte vil gjennomstrømningsevnen være like god som tidligere på grunn av den glatte overflaten som betyr mindre friksjon inne i det nye røret (Olimb, 2015).



**Figur 4:** Sammenfoldet rør fra fabrikk før og etter trykksetting (VA/Miljø-blad 90, 2009)

### 2.1.5 Konvensjonell graving

Konvensjonell graving er en metode som går ut på å grave opp hele den eksisterende traséen og erstatte de eksisterende ledningene som ligger i grøften. Før arbeidet starter skal hensyn til sikkerhet, fremdrift og økonomi vurderes. Det er viktig å undersøke grunnforholdene før igangsettelse (VA/Miljø-blad 5, 2016). Ved separering av AF ledninger er konvensjonell graving den metoden som er vanligst å benytte. Ved bløte grunnforhold og store dybder kan konvensjonell graving være uegnet eller umulig å benytte (Sægrov, 2014). Ledningsgrøften kan deles inn i seks ulike soner med forskjellige funksjoner. Disse sonene er overdekning, beskyttelseslag, ledningszone, sidefylling, øvre fundament og nedre fundament. Oppbygging av disse sonene vil variere avhengig av grunnforholdene, rørdimensjon, rørmateriale og andre spesifikke faktorer for prosjektet. (VA/Miljø-blad 5, 2016)



**Figur 5:** Eksempel på grøftesnitt. V – vannledning, SP – spillvannledning, OV – overvannledning (VA/Miljø-blad 5 2016; VA/Miljø-blad 6, 2016)

## 2.2 Kumrenovering

Renovering av kum er en viktig del av avløpsrenovering. Disse blir ofte utelatt og kun avløpsledningen blir renovert. Da står kummene igjen som svake punkter i ledningsnettet. Kumrenovering er oppgradering av de eksisterende avløpskummene uten å grave opp og erstatte kummene med nye. En renovert avløpskum skal tilfredsstillere disse funksjonskravene:

- Strukturell styrke til å tåle de belastninger kummen utsettes for.
  - Tett bunn.
  - Tette rørgjennomføringer
  - Tette skjøter mellom kumelementene.
  - Hydraulisk riktig renne utforming.
  - Tilrettelagt for sikker adkomst i nedstigningskummer
  - Forlenget levetid. Lengst mulig, tilsvarende som for nyanlegg.
- (VA/Miljø-blad 2, 2018)

Det finnes flere metoder for å renovere avløpskummer, her er noen av dem:

- Renovering ved belegg
  - Renovering ved strømpføring
  - Tetting ved injisering
  - Støping av renner og pussing av overflater
  - Omgjøring av nedstigningskum til inspeksjonskum
  - Installasjon av plater og ev. Utstøping mellom eksisterende kum og plater.
- (VA/Miljø-blad 2, 2018)

Her vil to av metodene utdypes, disse to er valgt da gjennom intervjuene med Entreprenør 1 (2021a; 2021b) og Entreprenør 2 (2021) er disse to som blir benyttet i størst grad.

### Renovering ved strømpføring

Renovering av kummer med strømpføring er i prinsippet likt som renovering av rør med strømp. Strømpen spesialproduseres på fabrikk for den aktuelle kummen med hensyn på utforming og dybde. Strømpen senkes ned i kummen for å så trykkes slik at den former seg mot den eksisterende kumveggen. Filtstrømper uthverdes som oftest med damp eller varmt vann. Glassfiberstrømper uthverdes med UV-lys. Renoveringen av hele kummen krever ofte kun tre til syv timer, avhengig av størrelse på kummen (VA/Miljø-blad 2, 2018). Bunnen av kummen renoveres enten ved å støpe en ny bunn (Entreprenør 1, 2021a), eller ved formtilpassede bunnseksjoner slik at hele kummen blir i samme materiale (Entreprenør 2, 2021).

### Renovering ved støping av renner

Denne metoden benyttes dersom kummens strukturelle styrke er intakt, med unntak av noen sår eller skader på kumvegg, samt at den eksisterende kummen har svakheter ved renneutforming i kumbunnen. Ny renne støpes opp ved bruk av en spesialprodusert sementbasert blanding. Først pigges opp den eksisterende renneløsningen før det støpes en ny. Denne metoden benyttes ofte av entreprenørene som er kontaktet innen

metodene strømpereovering, tettisluttet rør og rørrinnføring (Entreprenør 1 2021a), (Entreprenør 1 2021b), (Entreprenør 2, 2021).



**Figur 6:** Kum før og etter fornying ved støping av ny bunn. (Olimb, 2015, s. 62)

## 2.3 Multikriterie beslutningsstøtte, MCDM

Flere forskjellige metoder for å utføre beslutningstaking med flere kriterier blir her vurdert for å finne en passende metode å benytte i beslutningsverktøyet. Det er valgt å benytte den internasjonale forkortelsen MCDM (multi-criteria decision making) i denne oppgaven.

MCDM metoder kan deles inn i tre kategorier:

- Verdimalmodeller, der hvert alternativ er gitt en numerisk verdi, og hvert kriterium er gitt en vekt som indikerer viktigheten av kriteriet.
- Mål, ambisjon og referansenivåmodeller, hvor metoden måler hvor godt alternativene når et bestemt mål
- Utklassingsmodeller, der hvert alternativ sammenlignes parvis for hvert kriterium. (Tscheikner-Gratl et al., 2017)

Her vil en metode innen hver kategori bli sett litt nærmere på. Analytisk hierarkiprosess (AHP) som en verdimalmodell, TOPSIS som en mål-, ambisjon- og referansenivåmodell, og ELECTRE som en utklassingsmodell.

### 2.3.1 Analytisk hierarkiprosess (AHP)

Dette er en metode som tar for seg parvise sammenligninger og er avhengig av eksperters vurderinger for å utlede prioriteringsskalaer (Saaty, 2008). Kabir et al. (2014)

gjennomgikk litteratur skrevet om beslutningstaking med flere kriterier innen vann og avløpssektoren og fant at den metoden som oftest er benyttet med 28,3% av litteraturen er AHP. Grunnideen for AHP-metoden er at mennesker er bedre på å ta relative beslutninger enn absolutte beslutninger. Metoden går ut på å gi verdier til alternativer og kriterier ved å benytte parvise sammenligninger og gi sammenligningen en verdi mellom 1 og 9. Verdien 1 er gitt hvor det er en lik viktighet eller preferanse mellom alternativene, og verdien 9 er gitt hvis det er en ekstrem viktighet eller preferanse for det ene alternativet over det andre. Videre blir matriser satt opp for kriteriene og alternativene og en gjennomsnittsverdi blir regnet ut for hver rad av matrisen. Ved å summere raden og dele den på den totale summen av hele matrisen. Det siste steget er å multiplisere verdien for alternativene med det tilsvarende kriteriet og summere dette for å få en siste verdi for alternativet. Det alternativet med høyest verdi til slutt vil være det foretrekkende alternativet. (Baker et al., 2001)

### 2.3.2 TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solutions) er en mål-, ambisjon- og referansenivåmodell. Denne metoden var benyttet 1,9% i vann og avløpssektoren hvor det er benyttet verktøy for beslutningstaking med flere kriterier. Metoden forsøker å finne det alternativet som er nærmest et ønsket nivå, og lengst unna et uønsket nivå. (Kabir et al., 2014) Et eksempel vil være at det ønskede nivået vil være at det er billigst, og presterer best. Det uønskede nivået vil være et at det er dyrest, og presterer dårligst. Fordeler med metoden er at den eneste vurderingen som må gjøres er vektingen som blir gitt, og så er avstanden mellom hvert alternativ avhengig av vektingen og rekkevidden på selve alternativene (Tscheikner-Gratl et al., 2017).

### 2.3.3 ELECTRE

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite) er en gruppe av utklassingsmodeller. ELECTRE metodene består av syv forskjellige metoder (I, II, III, IV, A, IS og TRI) som alle er basert på originalmetoden ELECTRE I. Denne metoden står for 15,1% av metodene benyttet i vann og avløpssektoren hvor beslutninger med flere kriterier tas. ELECTRE III er den metoden som benyttes oftest av ELECTRE-familien. Metoden er basert på å utklasse forhold mellom alternativer, to om gangen. (Kabir et al., 2014) Beslutningstaking har en fuzzy natur over seg, som vil si at det er upresist og usikkert. Ved å legge til en vetoterskel, og konseptet om likegyldighet så tar denne metoden hensyn til fuzzylogikk. Hvis to alternativer skårer ganske likt på et punkt, så vil metoden kunne beslutte at det er likegyldighet mellom alternativene, og ingen av de vil bli sett bort ifra videre. Terskelen for nødvendig forskjell mellom alternativene settes manuelt, og en terskel til blir opprettet for å introdusere en sone av tvil for å tillate et fuzzy området mellom likegyldighet og foretrukkenhet for et alternativ (Buchanan og Vanderpooten, 2007).

## 3 Metode

For å innhente informasjon og data for å kunne svare på forskningsspørsmålene og gi et grunnlag til alle verdiene satt i verktøyet er det gjennomført et litteraturstudium og intervjuer med aktuelle aktører i VA-bransjen. Da all litteratur innen rehabiliteringsmetodene kun omhandler eksisterende data, fører dette til at selv om det finnes mye litteratur om emnet, så er det ikke sikkert at den eksisterende dataen passer den ønskede vinklingen av oppgaven. Dette har vist seg å være et gjennomgående problem i litteraturinnhenting for denne oppgaven. Det har vært nødvendig å finne gode data for hvordan alle de fem metodene påvirker og blir påvirket av ulike faktorer for å kunne sammenligne de. Da nesten ingen eksisterende litteratur tar for seg alle fem metodene sammen, har det vært nødt til å sammenligne litteratur på tvers av ulike artikler og publiseringer for alle underkriteriene i oppgaven. Kostnader har vært det vanskeligste å finne gode tall på, da mye av litteraturen ikke fokuserer på det økonomiske aspektet ved ulike metoder.

Det ble benyttet ulike søkemotorer for innhenting av litteratur som Google Scholar, Oria og Web of Science. I tillegg er noe litteratur gitt fra veilederne og andre fagpersoner. Det ble benyttet ulike funksjoner for å effektivisere søkeprosessen. Kombinasjonssøking ved hjelp av boolske operatører som AND, OR, NOT ble benyttet for å inkludere og ekskludere ulike ord fra søkeresultatene. Nærhetsoperatører er benyttet for å finne resultater hvor ulike ord ikke er dirke etter hverandre, men som er nær hverandre. Trunkering er benyttet for å finne resultater med ord som ikke nødvendigvis er stavet helt likt eller har ulike endelser. (NTNU, u.å.a) Metodene snowballing og forward snowballing er benyttet for å finne referanser som er benyttet i litteraturen som er funnet, eller fra litteratur som benytter den gitte kilden som egen referanse. Kildene har blitt vurdert etter TONE-prinsippet for å vurdere om kildene skal benyttes eller ikke (NTNU, u.å.b).

Det ble gjennomført tre intervjuer med to forskjellige entreprenører som leverer flere av metodene som undersøkes i oppgaven. Det ble i forkant av møtene sendt over en liste med spørsmål som det ble ønsket svart på. Listen bestod av noen spesifikke spørsmål som kun var ute etter en gitt verdi som svar, og noen mer åpne spørsmål.

Det ble besluttet å gjennomføre intervjuene som et ustrukturert intervju, hvor intervjuobjektene stod fritt til å komme med annen informasjon enn kun å svare på spørsmålene sendt over i forkant. Dette er gjort på grunnlag av at flere av spørsmålene, spesielt de som omhandler sosiale kostnader ikke har en fast verdi som enkelt kan tallfestes. (Denscombe, 2014) Det ble og stilt oppfølgingsspørsmål underveis i intervjuene for å avklare noe eller gå videre inn et aktuelt tema. Noe informasjon ble og oversendt i etterkant av intervjuene. Dette forklares videre i kapittel 4.4 Intervju med aktuelle aktører.

Referanseverktøyet Zotero har blitt benyttet til å lagre og liste alle referansene.

## 4 Resultat/Diskusjon

I dette kapitlet forklares det hvordan det er gått frem for å utvikle verktøyet, og hvilke ulike data som er hentet inn for å vurdere de forskjellige kriteriene i verktøyet. Verktøyet har blitt delt i to, et beslutningstre som tar for seg hva de ulike metodene teknisk kan gjennomføre, og et multikriterie beslutningsstøtte verktøy som tar for seg hvordan de ulike metodene skårer innen økonomiske-, sosiale- og miljøaspekter.

Det første som fokuseres på i kapittel 4.1 og 4.2 er beslutningstreet, hvordan det er satt opp, og hva som ligger til grunn for hver beslutning som blir tatt. I kapittel 4.3, 4.4, og 4.5 er informasjonen om hvorfor den aktuelle MCDM metoden ble valgt, og hvilket datagrunnlag som ligger til grunn for vektleggingen i verktøyet. Kapittel 4.6 og 4.7 går gjennom hvordan MCDM verktøyet opererer, og hvordan hele verktøyet skal benyttes. Kapittel 4.8 tar for seg forbedringspotensial for verktøyet som er utviklet.

### 4.1 Hvordan er kriteriene valgt og evaluert i beslutningstreet

Gjennom en gjennomgang av alle aktuelle VA/Miljøblader og diverse litteratur i prosjektoppgaven (Jacobsen, 2020; Vedlegg 12) er kriteriene som går inn i beslutningstreet valgt, på bakgrunn av hva de aktuelle rehabiliteringsmetodene kan teknisk utføre. VA/Miljøbladene er vidt benyttet av prosjekterende i Norge, og benyttes i stor grad som standarden for utførelse og valg av metode i Norge. Dette kommer frem av intervjuer utført av Borgen og Rogenes (2020) av aktører i bransjen.

De aktuelle VA/Miljøbladene som er benyttet i prosjektoppgaven (Jacobsen, 2020) er:

VA/Miljø-blad 3 – Renovering med innføring av kontinuerlige rør (2017)

VA/Miljø-blad 5 – Grøfteutførelse fleksible rør (2016)

VA/Miljø-blad 6 – Grøfteutførelse stive rør (2016)

VA/Miljø-blad 71 – Høytrykksspyling av trykkløse avløpsledninger (2006)

VA/Miljø-blad 90 – NoDig-metoder for hovedledninger – metodeoversikt (2009)

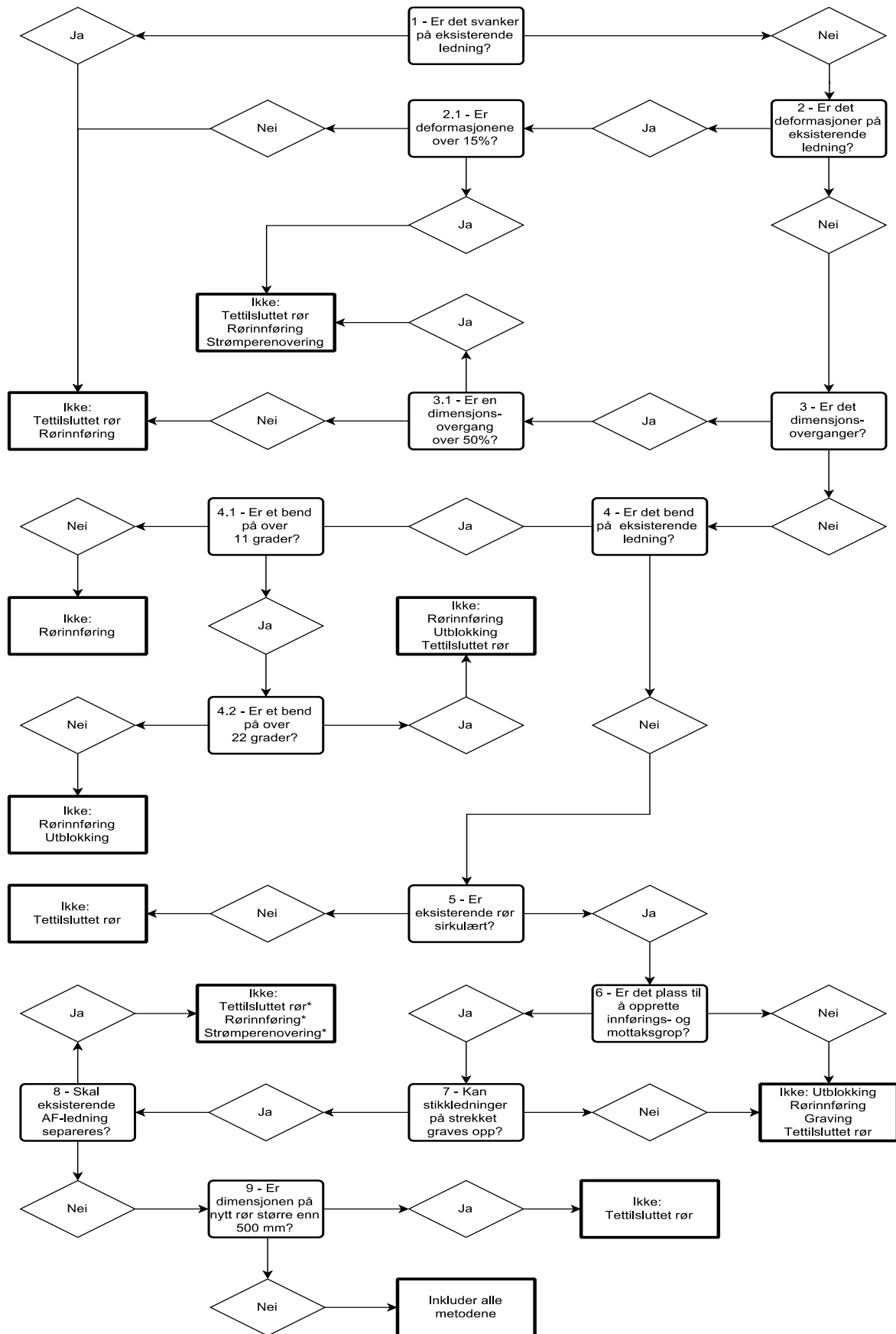
VA/Miljø-blad 91 – Strømperenovering av avløpssystem (2018)

VA/Miljø-blad 97 – Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse (2016)

VA/Miljø-blad 110 – Renovering av VA-ledninger ved utblokking (2015)



## 4.2 Beslutningstre



Figur 7: Beslutningstre for teknisk gjennomførbarhet.

## 4.2.1 Beslutningstreets oppbygging

Beslutningstreet ble utformet ved å gruppere kriterier som peker til de samme metodene i første omgang. Slik som at eksisterende svanker, eksisterende deformasjoner, og dimensjonsoverganger kun kan løses med metodene utblokking, strømpereovering og konvensjonell graving. Videre ble det sett på om kriteriene gjelder eksisterende ledning eller en løsning for den nye ledningen. Kriteriene som omhandler den nye ledning ble forsøkt plassert sist i beslutningstreet, slik at brukere av beslutningstreet vil kunne se mulighetene for utformingen av den nye ledningen etter at alle eksisterende kriterier er tatt hensyn til. Dette vil kunne belyse tidligere valg gjort av brukeren, og lettere vise hvilke muligheter som finnes dersom man går tilbake på noen av kravene man har satt tidligere, slik som for eksempel at ny ledning skal separeres.

Beslutningstreet er satt opp med kriterier som skal være enklest mulig å forstå, og er av den grunn også veldig generelle og korte i beskrivelsen. Det finnes nyanser innen hvert kriterium og noen metoder vil kunne tilby løsninger til noen kriterier hvor dette beslutningstreet peker en annen retning ved spesielle tilfeller og med spesielle løsninger. Derfor er det viktig å huske at dette beslutningstreet viser til generelle løsninger for de ulike metodene og hvordan de opptrer ved vanlig utførelse.

Beslutningstreet er lagt med som vedlegg 1.

### **1 - Er det svanker på eksisterende ledning?**

Dersom det finnes svanker som utgjør et problem på eksisterende ledning, så vil metodene tette tilsluttet rør og rørrinnføring ikke kunne benyttes. Da disse metodene har ingen mulighet for å forsere svankene uten at det nye røret vil legge seg i de samme svankene, og problemet vil fremdeles være der i den nye ledningen. Strømpereovering vil kunne installeres i strekk med svanker, men det er viktig å her vurdere det opp mot totalt fall på ledningen, og svanken vil fremdeles være til stede. Det vil være en utfordring ved installasjon av strømppe hvor det er svanker da det vil normalt være vann i svanken som ikke har drenert vekk, men det finnes tilfeller hvor strømpereovering har blitt gjennomført i svanker med opptil 50% vannfylling (VA/Miljø-blad 91, 2018). For metodene utblokking og konvensjonell graving, vil ikke svanker være et problem. Ved utblokking vil svanken bare forseres og fjernes, og ved konvensjonell graving legges det et nytt rør, som ved korrekt utførelse ikke vil ha noen svanker.

### **2 - Er det deformasjoner på eksisterende ledning?**

Deformasjoner på eksisterende ledning vil ikke være et problem for metodene utblokking, og konvensjonell graving. Ved utblokking vil eventuelle deformasjoner fjernes når det eksisterende røret blokkes ut (VA/Miljø-blad 110, 2015). Ved graving vil det eksisterende røret byttes ut med et nytt rør.

#### **2.1 - Er deformasjonene over 15%?**

Ved deformasjoner på eksisterende ledning vil ikke metodene tettisluttet rør eller rørrinnføring kunne benyttes uavhengig av hvor stor deformasjonene er. Tettisluttet rør er avhengig av å kunne legge seg ut mot eksisterende rør, og det nye røret vil ha samme dimensjon i hele strekket. Ved deformasjoner så vil ikke røret kunne brettes ut eller utvides helt, slik at metoden ikke er egnet for strekk med deformasjoner. Rørrinnføring er avhengig av å kunne trekkes gjennom hele det eksisterende røret, og ved deformasjoner vil dette kunne være et problem. Dersom deformasjonene viser seg å ikke ligge i bunn av eksisterende rør, kan rørrinnføring benyttes, men da er man avhengig av å gå enda mer ned i dimensjon på det nye røret, som vil minke kapasiteten på det nye røret betraktelig mer enn nødvendig, og det må fremdeles være plass til at støpemasser kan passere deformasjonene slik at det nye røret kan støpes på plass for å forhindre svanker ved infiltrasjon av vann og sedimenter som kan føre til at det nye røret flyter opp (SSTT, 2002).

Strømperenovering kan benyttes dersom deformasjonene ikke er større enn 15% da strømpen kan forsere disse deformasjonene uten problemer (VA/Miljø-blad 91, 2018).

### **3 - Er det dimensjonsoverganger?**

Ved dimensjonsoverganger kan utblokking og konvensjonell graving benyttes uten problemer. Rør med dimensjonsoverganger kan utblokkes slik at hele strekket får samme dimensjon, eller det kan utblokkes med dimensjonsendring på det nye røret underveis (VA/Miljø-blad 110,2015). Ved graving erstattes det eksisterende røret med et nytt rør, som kan den utformingen som man ønsker.

Rørrinnføring kan benyttes ved dimensjonsoverganger, men den minste dimensjonen blir begrensende for størrelsen på det nye røret (SSTT, 2002). Det vil kreves større mengder med støpemasser for å støpe fast det nye røret, da det vil være et større tomrom mellom nytt og eksisterende rør ved den største dimensjonen på eksisterende rør.

Siden metoden rørrinnføring ikke vil opprette en ny dimensjonsendring, men begrense hele den nye ledningen til den minste dimensjonen er det besluttet å liste denne metoden opp som ikke egnet ved dimensjonsoverganger i dette beslutningstreet.

#### **3.1 - Er en dimensjonsovergang over 50%?**

Metoden tettisluttet rør er avhengig av å kunne legge seg helt ut mot eksisterende rør når det blir utvidet, og vil derfor ikke være egnet ved dimensjonsoverganger (Olimb, 2015; Aas et al., 2016).

Dimensjonsoverganger kan føre til folder ved strømperenovering, men dimensjonsoverganger opptil 50% kan forseres uten at det skal by på problemer. Noen strømpetyper kan sy inn dimensjonsoverganger som vil legge seg ut mot den eksisterende dimensjonsoverganger (VA/Miljø-blad 91, 2018).

### **4 - Er det bend på eksisterende ledning?**

Metoden rørrinnføring er ikke egnet for strekk hvor det befinner seg bend (PE100+ Association, 2018a).

#### **4.1 - Er et bend på over 11 grader?**

Utblokking kan benyttes på strekk som har opptil 11 grader bend, ved dimensjon 150mm eller større. Ved mindre dimensjoner egner ikke utblokking seg hvor det er bend (Olimb, 2015).

#### **4.2 - Er et bend på over 22 grader?**

Metoden tettisluttet rør kan benyttes på ledninger som har bend opptil 22 grader (Olimb, 2015). Strømperenovering kan benyttes på steder som har opptil 90 grader bend. Forsering av bend vil kunne føre til et masseunderskudd i yttersvingen av bendet og et masseoverskudd i innersvingen av bendet. Det vil og kunne oppstå et tomrom mellom eksisterende rørvegg og strømmen i yttersvingen. Bend opptil 15 grader vil kunne forseres uten at det oppstår folder (VA/Miljø-blad 91, 2018). Konvensjonell graving vil ikke ha noen problemer med bend da eksisterende rør erstattes med et nytt rør.

#### **5 - Er eksisterende rør sirkulært?**

Dersom det eksisterende røret ikke er sirkulært kan metodene utblokking, strømperenovering, rørrinnføring og konvensjonell graving benyttes. Ved utblokking vil det nye røret bli sirkulært. Ved rørrinnføring så vil det ved ikke sirkulære eksisterende rør kreves større mengde med støpemasser, men så lenge det nye røret passer og oppfyller kravene til hvor stort det kan være så vil det kunne benyttes (SSTT, 2002). For strømperenovering kreves det at den nye strømmen er utformet som det eksisterende tverrsnittet, men dette kan leveres som for eksempel eggeformede strømper. Ved konvensjonell graving vil det eksisterende røret erstattes med et nytt rør. Tettisluttet rør egner seg ikke for ikke sirkulære rør, da denne metoden er avhengig å presse seg ut mot den eksisterende rørveggen.

#### **6 - Er det plass til å opprette innførings- og mottaksgrop?**

Metodene tettisluttet rør, rørrinnføring og utblokking er avhengig av at det graves opp en innføringsgrop og en mottaksgrop. Tettisluttet rør leveres på trommel slik at innføringsgropen vil være mindre i dette tilfellet. For mindre dimensjoner kan det tettisluttede røret installeres direkte i kum hvis det er plass (Aas et al., 2016). Fordi dette gjelder kun for mindre dimensjoner er metoden satt som ikke er egnet dersom det ikke vil være mulig å opprette en innførings- og mottaksgrop i dette beslutningstreet. Rør av mindre dimensjoner kan og leveres på trommel for rørrinnføring, men vil kreve en innføringsgrop i de fleste tilfeller, slik at denne metoden vil ikke være egnet her. Utblokking vil og være avhengig av en innføringsgrop og en mottaksgrop hvor røret trekkes fra. Konvensjonell graving er avhengig av plass for å grave opp hele strekket. Strømperenovering krever ingen innføringsgrop eller mottaksgrop, da metoden normalt utføres fra kum til kum (Olimb,2015)

#### **7 - Kan stikkledninger på strekket graves opp?**

Metodene rørrinnføring, tettisluttet rør og utblokking er alle avhengig av å grave opp alle stikkledninger som skal kobles på den nye ledningen, dersom det ikke er mulig å grave opp stikkledningene vil ikke disse metodene være egnet. Konvensjonell graving er og avhengig av å grave opp alle stikkledninger samt hele strekket.

Strømperenovering krever ikke at stikkledninger graves opp, da disse vil åpnes ved hjelp av en robot som kjøres inn i det nye røret og skjærer opp hull i strømpen for å tilkoble stikkledningene. Overgangen til stikkledningene kan forsterkes ved installasjon av en "hatt" som en robot vil installere fra innsiden av røret (Olimb, 2015).

### **8 - Skal eksisterende AF-ledning separeres?**

Dersom eksisterende ledning er en AF-ledning som skal separeres til en OV-ledning og en SP-ledning vil ikke metodene tetttilsluttet rør, rørrinnføring og strømperenovering være egnet.

\* De er likevel markert med stjerne i beslutningstreet, da det er muligheter for å renovere AF-ledningen og gjøre denne om til en ny SP-ledning og installere en ny OV-ledning grunnere. Det vil da være avhengig av å installere en ny ledning ved enten graving eller andre NoDig-metoder som for eksempel styrt boring (Olimb, 2015; Intervju av entreprenør 1, 26. april 2021). Dette er utenfor området denne masteroppgaven og dette verktøyet tar opp, slik at metodene er markert som ikke egnet i beslutningstreet. Utblokking har mulighet til å trekke med seg en ny OV og SP-ledning når det utblokkes slik at separering av eksisterende AF-ledning er mulig (Olimb, 2015). Ved konvensjonell graving er det mulig å separere AF-ledning da eksisterende rør erstattes med nytt rør, og det kan da legges et nytt SP-rør og et OV-rør.

### **9 – Er dimensjonen på nytt rør større enn 500 mm?**

Tetttilsluttet rør kan ikke benyttes for dimensjoner over 500mm, da rørene ikke leveres i større dimensjoner (Olimb, 2015). Dette gjelder i hovedsak C og U- formede rør som foldes hos fabrikk (PE100+ Association, 2018b).

## **4.3 Valg av MCDM metode**

Det har blitt sett nærmere på tre forskjellige metoder for å beslutningshjelp for beslutninger med flere kriterier. Analytisk hierarkiprosess (AHP) som en verdimålsmodell, TOPSIS som en mål-, ambisjon- og referansenivåmodell, og ELECTRE som en utklassingsmodell. I denne oppgaven er det valgt å legge AHP-metoden til grunn for beslutningsverktøyet.

Da denne metoden er av en enklere grad, og er den metoden som er mest benyttet innen vann og avløpssektoren vil jeg benytte denne metoden i beslutningsverktøyet mitt. AHP-metoden benytter seg av en verdiskala fra 1 til 9, og bruker den inverse verdien for den motsatte verdien slik at skalaen går egentlig fra 1/9 til 9. Mange av kriteriene som inngår i metoden vil ikke enkelt la seg kvantifisere, en sammenligning mellom alternativene er derfor mer hensiktsmessig. Som for eksempel hvordan en metode påvirker trafikk. Det vil være enklere å kunne gi en verdi mellom 1 og 9 som forteller om hvor mye bedre en metode er over en annen i dette tilfellet. Datagrunnlaget for de forskjellige kriteriene vil variere i denne oppgaven, og det er mangler i datagrunnlaget for kriterier da informasjonen som er innhentet stammer fra forskjellige kilder som ikke nødvendigvis har det samme grunnlaget i bunn for alle metodene. Ved bruk av AHP-metoden vil det fremdeles være mulig å sette en god verdi for metodene.

AHP-metoden krever at mange verdier blir bestemt av personer, i dette tilfellet er det forfatteren av masteroppgaven. Hver verdi som blir satt vil være preget av partiskhet av personen/ene som setter verdiene, slik at det er viktig å vite om dette og ha dette i bakhodet når man legger noe til grunn ved bruk av AHP metoden. Verktøyet som er utviklet har den fordelen at brukeren kan selv gå inn i verktøyet og endre verdier, dersom de mener at disse ikke stemmer.

### 4.3.1 Om analytisk hierarkiprosess, AHP

Som forklart i kapittel 2.3.1 er AHP en metode som tar for seg parvise sammenligninger mellom de kriteriene som ses på i den aktuelle matrisen. Metoden går ut på å sammenligne alle kriteriene ved å sette to kriterier opp mot hverandre om gangen, og gi denne sammenligningen en verdi mellom 1 og 9 avhengig av hvor mye viktigere et kriterium anses viktigere enn det andre. Tabellen under viser hva hver tall verdi representerer. Verdiene 2,4,6 og 8 angis hvis en sammenligning vipper mellom to verdier.

**Tabell 1:** Skala av parvis sammenligning (Lee et al., 2009)

Semantikk skala	Tall verdi
En faktor er like viktig som den andre	1
En faktor er svakt viktigere enn den andre	3
En faktor er sterkt viktigere enn den andre	5
En faktor er veldig sterkt viktigere enn den andre	7
En faktor er absolutt viktigere enn den andre	9

Et eksempel på en beslutningstøtte ved hjelp av AHP er gitt her. Spørsmålet det ønskes å få svar på er hvilken drikke som skal serveres under en festival.

Hvis det er gitt at øl drikkes 5 ganger så mye som eller viktigere enn vin vil det gi verdien 5 i den cellen (øl, vin), cellen (vin, øl) vil da få verdien 1/5. Verdien 2 settes i cellen (vin, cocktail) som vil si at vin drikkes 2 ganger så mye som cocktails. Øl drikkes 7 ganger mer enn cocktail som vil gi verdien 7 i cellen (øl, cocktail). Med denne informasjonen vil beslutningsmatrisen se slik ut:

**Tabell 2:** Eksempel matrise for sammenligning av drikkekonsum.

Drikke	Øl	Vin	Cocktail	Prioritering
Øl	1	5	7	0,73
Vin	1/5	1	2	0,18
Cocktail	1/7	1/2	1	0,08

Prioriteringsverdien regnes ut ved å summere verdiene i en rad og dele dette på summen av alle verdiene. Fra dette eksempelet kommer det frem at øl er den drikken som konsumeres mest, og bør være den drikken som festivalen velger å levere. Da denne prioriteringsverdien er størst.

Om det viser seg at disse tallene er funnet for aldersgruppen 18-25, og det ønskes å se på hva aldersgruppene 25-40 og 40-65 foretrekker, så vil matrisen se annerledes ut, og

du vil ha tre forskjellige matriser. Da er man over i en multikriterie beslutningsstøtte. Hvor man kan velge hvilken matrise man vil se på avhengig av hvilken aldersgruppe som er aktuell. Det er dette som er gjort i denne oppgaven, hvor det er opprettet flere matriser for hvert underkriterium verktøyet ser på, avhengig av hva de forskjellige inputene vil være og hva brukeren vil fokusere på.

For å teste om verdiene og vurderingene som er satt er konsekvente og pålitelige, så regnes en verdi for consistency ratio, CR ut. Det gjøres ved formelen:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Hvor CI er consistency index og RI er random index.

CI er definert som:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Hvor  $\lambda_{max}$  er den høyeste egenverdien(eigenvalue) til den aktuelle matrisen og n er størrelsen på matrisen. RI er consistency indeksen til en tilfeldig generert symmetrisk matrise med 9-punktsskalaen. Saaty (1980) har regnet ut en gjennomsnittsverdi for CI (RI-verdier) med en prøvestørrelse på 500. Dette har han gjort for symmetriske matriser opp til størrelsen 10 ganger 10. RI verdiene er gitt i tabell 3.

Hvis CR verdien er høy, betyr det at vurderingene til tallverdiene i matrisen er ikke konsekvente, og de vil ikke være pålitelige. Generelt vil en CR-verdi på 0.10 eller mindre bli ansett som akseptabel. (Bottero og Peila, 2005)

**Tabell 3:** Random Index (RI) (Saaty, 1980, Hentet fra Ammarapala et al., 2018)

Matrise størrelse	Random consistency index (RI)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Egenverdiene til matrisene er funnet ved hjelp av WolframAlpha Online Eigenvalue Calculator (Wolfram Research, Inc., 2021)

CR verdien er regnet ut for alle matrisene som er satt opp.

Et eksempel for utregningen er matrisen for vektlegging av de sosiale kostnadene. (Se tabell 12)

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}}{RI} = \frac{(3,05 - 3)}{(3 - 1)} = 0,043$$

CR verdien for denne matrisen er godt under nivået på 0,1 som er akseptabelt, slik at denne matrisen er konsekvent i utformingen og er pålitelig å benytte seg av.

## 4.4 Intervju med aktuelle aktører

### 4.4.1 Entreprenør 1

Entreprenørfirmaet ønsket å svare på spørsmålene gjennom et intervju som ble gjennomført via Microsoft Teams, da de synes at noen av spørsmålene var vanskelige å svare på direkte og ønsket å spesifisere at dette var spørsmål som ofte ikke kun har et fast svar. To ansatte var til stede under intervjuet, da det var ønske å ha med en ekstra ansatt som har stor kompetanse innen NoDig og spesielt strømpereovering. Det ble gjennomført to intervjuer med denne entreprenøren, da første møte handlet om strømpereovering, og neste møte handlet om metodene tetttilsluttet rør og rørinnføring. Noe ekstra informasjon ble levert over etter intervju nr. 2 da den ene ansatte ikke hadde tid til å delta på møte nr. 2.

#### **Møte nr. 1 – Strømpereovering, gjennomført 26.04.2021**

##### **Hvilke metoder leverer dere?**

Entreprenøren leverer strømpereovering, tetttilsluttet rør og rørinnføring, hvor de på avløp hovedsakelig leverer strømpereovering gjennom to metoder. Filtstrømpe som herdes ved damp, og en glassfiberstrømpe som herdes med UV-stråling. De leverer også herding med varmtvann for filtstrømper, men dette var mer utbredt tidligere. Ved mindre dimensjoner leveres det og en glassfiberstrømpe som herdes med LED-lys. De kan også levere metodene tetttilsluttet rør og rørinnføring for avløp, men dette benyttes i veldig liten grad. Ca. 90% av avløpsrehabilitering de gjennomfører er ved strømpereovering.

##### **Hvor mye koster metodene å gjennomføre?**

Her spesifiseres det at det ikke finnes et fasitsvar, og det vil variere med diameteren. Entreprenører gir et kostnadsoverslag for de vanligste rørdimensjonene som de leverer som er 230mm og 300mm. Kostnadene som kom frem, er:

60-70,-/m for kamerakjøring av røret før montering

80,-/m for høytrykksspyling og vasking av røret før montering.

1 000,-/m for montering av 230mm strømpe

1 400,-/m for montering av 300mm strømpe

3 000-4 000,-/grenrør for å frese opp og slipe grenrør



8 000-12 000,-/grenrør for å installere en strømpehatt inn i grenrøret  
30,-/m for inspeksjon av røret etter montering

17 000-18 000,-/kum for å støpe en bunn av kum

75 000,-/kum for å støpe ny bunn av kum samt installere en strømpe for å totalrenovere kummen

8000,- hvis overpumping er nødvendig

For større prosjekter i byer regnes det med ca. 5% av totalkostnad går med til trafikkdirigering.

### **Hvilke aspekter vil kunne påvirke kostnadene i størst grad?**

Når det kommer til montering av strømpa er det dimensjonen på den som vil påvirke kostnaden i størst grad, de andre gitte kostnadene er relativt konstante. Valg av hvordan grenrør skal tilkobles vil påvirke kostanden, da mange kommuner er fornøyde etter at koblingen til grenrør kun er frest opp og slipt. Om det ønskes at det skal monteres en hatt i tillegg vil hvert grenrør koste 8 000 – 12 000,- ekstra. Hvordan kummene skal rehabiliteres påvirker også kostnaden betraktelig. Ved å velge å totalrenovere hele kummen med strømpe vil hver kum koste omtrent 75 000,- i motsetning til 17 000 – 18 000,- per kum for å kun støpe om bunnen. Dette er beslutninger som ledningseier tar.

I tettbebygde strøk vil skilting og eventuell manuell dirigering av trafikken kunne bli en betydelig kostnad. Entreprenøren viser til et eksempel hvor totalkostnaden på et prosjekt ligger på rundt 12-13 millioner kroner, så kan kostnaden for dirigering og skilting av trafikk komme på størrelsesordenen 600-700 tusen kroner. De regner med ca. 5% av totalkostnaden for større prosjekter går med til kostnader som omhandler trafikken. I tettbebygde strøk og byer kan kostnaden som omhandler overpumping av avløpsvannet også bli høy da tilgjengeligheten til en ny kum hvor avløpsvannet kan pumpes ikke er like lett. Ofte må avløpsvannet pumpes over lengre avstander slik at pumpeledningen ikke krysser veier og hindrer trafikken.

Hindringer i røret som røtter kan være aspekter som øker kostnaden, men på den totale kostnaden vil ikke dette slå ut noe særlig. Men dersom det møtes på hardt belegg som avrettingsmasser, kan dette slå ut på prisen hvis det vil være nødvendig å frese opp. Dette er et problem som man kan møte på i byer hvor det er gjennomført en del oppussing. Vanlige røtter og mindre hindringer fjernes med høytrykksspyling, mens større hindringer og harde masser krever en robotfres, som vil være dyrere å gjennomføre.

### **Hva ser dere på som de største fordelene og ulempene med metodene?**

Strømperenovering er en rask metode å utføre. Arbeidet tar en arbeidsdag å utføre på de aktuelle strekkene. Som regel fra kum til kum som er ca. 60-70 meter strekk. Ved mindre bebygde strøk kan det være 120 meter mellom kummer, men her vil utførelsen av metoden kun ta ca. 30 minutter ekstra da det er kun vregningen av strømpa som tar lengre tid. Herding og inspeksjon av strømpa vil ta ca. like lang tid.

Videre er en stor fordel at metoden krever ingen graving. Det utføres fra kum til kum, eller det kan også leveres løsninger hvor strømpa slutter i røret. Ved at det er ingen masser som graves opp, kreves det heller ingen transport av masser til deponi, og det kreves heller ingen masser som må fraktes tilbake for å tette igjen. Da avstandene til og fra deponi kan være store, så er det store miljøkostnader som spares ved å ikke måtte benytte seg av transport av masser. Dette gjør også at metoden ikke har noe behov for tungtransport til og fra anleggsplassen som kan hindre trafikk. Det påpekes at tidsperspektivet er noe av den viktigste fordelene med metoden. Naboer og bedrifter i nærheten vil ikke være påvirket i stor grad over lengre tid.

Av ulemper med metoden kommer det frem at siden det arbeides med kjemikalier, kan det oppstå lukt problemer hos nærliggende boliger, dette vil typisk kunne vare 1-2 dager. Men det er sjeldent at det kommer inn klager på lukt. Det kommer inn omtrent 4-5 klager på lukt i løpet av et år, og det er fordelt over rundt 100 000 meter med lagte strømpaer.

Metoden benytter seg av varmt vann eller damp for å herde strømpa når den er ferdig, dette har tidligere kunne skapt problemer og det vises til et eksempel for flere år siden hvor det varme vannet ble pumpet ut i en nærliggende bekk, slik at temperaturen i bekken økte med 5-6 grader. Dette førte til at fisken i bekken valgte å forlate bekken og svømte i motsatt retning. Dette er eksempler som man har lært av og man har en bedre håndtering av det varme vannet som benyttes i dag.

Metoden har ingen mulighet for å separere AF ledninger, men man ser muligheter for å strømpaerovere AF ledningen og gjøre denne om til SP ledning, for å så legge en OV ledning grunnere ved for eksempel graving.

Da metoden går raskt å gjennomføre, prøver entreprenøren på å starte montering rundt kl. 09, slik at brukere skal få gjort unna morgenstellet før de ber om at dusj, oppvaskmaskin og vaskemaskin ikke benyttes mer før rundt 16-18 tiden da de er ferdige. Målet er at forbrukerne ikke skal påvirknes av at ledningen reoveres. Det er sjeldent at det etableres overpumping fra avløpet til private husstander når de holder på, da det ikke vil være store mengder som vil gå i stikkledningene under montering. Hvis det er en større blokk som er koblet på ledningen vil det ofte etableres overpumping da det er større mengder som går i stikkledningen, og personer som bor øverst i blokken ikke bryr seg i like stor grad om det kommer avløpsvann inn i første etasje hvor det er andre som bor.

## **Møte nr. 2 – Tettisluttet rør og Rørinnføring, gjennomført 06.05.2021**

### **Hva er kostnaden for metodene tettisluttet rør og rør innføring?**

- Rørinnføring er billigere enn tettisluttet rør for utføring.

### **Hva er de sosiale kostnadene ved metodene?**

- Disse metodene krever en større mengde graving. Det kreves innføringsgrop for begge, men for tettisluttet rør som leveres på trommel, så kreves det en mye mindre innføringsgrop enn ved rørinnføring. Rørinnføringsgropen er bestemt av diameter, dybde, SDR og temperatur, og den vil være lengre. Den trenger ikke å være så bred, med den må være lang nok slik at røret ikke blir bøyd for mye ved innføringen.

### **Hva er miljø kostnader ved metodene?**

- Tettisluttet rør og rørinnføring krever at gravde masser til deponier og nye masser må hentes inn for å fylle igjen gropene. Det er et fokus på gjenbruk av masser, men ikke all masse kan benyttes igjen, slik at det kreves en god mengde med transport av masser. I for eksempel Oslo, så vil nesten all masse som graves opp være spesialavfall, slik at dette må kjøres til et spesifikt deponi i Drammen. Dette fører til lange transportetapper mellom deponi og arbeidssted.
- Sparer fremdeles store mengder med masse som må transporteres ved at 7-8 groper må graves på et 100m strekke, i motsetning ved å måtte grave opp hele traséen.
- Betydelig mindre støy, enn ved konvensjonell graving

### **Når vil de to metodene være aktuelle å benytte?**

- Det spesifiseres av entreprenøren at metodene tettisluttet rør og rørinnføring benyttes i veldig liten grad for avløpsrehabilitering, da det i tilfeller hvor de to metodene kan benyttes, så kan også strømpereovering benyttes og dette vil være en bedre og billigere metode å benytte seg av. Hvis de to metodene skal kunne benyttes så er det avhengig av at kapasitetene til de eksisterende rørene er store og overdimensjonert. Dette er fordi metodene minsker tverrsnittet på ledningen mye mer enn det en strømpe ville gjort. Rørinnføring vil kreve enda større eksisterende kapasitet da denne metoden ikke legger seg helt ut mot eksisterende rørvegg, slik at nytt tverrsnitt vil være enda mindre enn ved tettisluttet rør.

### **Hvordan skjøtes tettisluttet rør?**

- De skjøtes ikke, det prosjekteres med at lengden på tettisluttet skal ende i kum. Det planlegges å trekke det tettisluttede røret gjennom så mange kummer som det lar seg gjøre, gitt lengden på røret. De prøver å trekke så langt som man ønsker og ende i en kum, og det forsøkes å unngå så mye svinn av rørmaterialet som man kan.

### **Hvilke lengder og dimensjoner kan man få levert på trommel?**

- For mindre dimensjoner opp til 150mm så kan man få levert 700m på trommel, for den øvre dimensjonen på 400mm så vil lengden på trommel være 100m.

### **Hva er ca. utførelsestid for de to metodene?**

- Mye raskere enn å måtte grave opp hele grøfta. Tettisluttet rør og rørinnføring vil ha ca. like lang utførelsestid. En typisk tid for utførelse med disse metodene vil være ved et typisk strekk på 100m, med 5 stikkledninger være på ca 14 dager.

### **Hvor stor mengde/område med graving krever de to metodene?**

- Det kreves å grave opp større områder i forbindelse med tettisluttet rør og rørinnføring. Det kreves at det graves en innføringsgrop, og en mottaksgrop hvor trekkeutstyret står. For tettisluttet rør vil innføringsgropen være mindre enn for

rørinnføring da tetttilsluttet rør leveres på trommel og det ikke er avhengig av stor nok grop for å hindre for stor bøyning av røret ved innføring.

- Entreprenøren bruker metoden svep når de skal grave seg ned på stikkledninger, det vil si at etter asfalten er gravet opp, så bruker man et stort stålrør hvor man graver på innsiden av røret, og presser så røret ned. Dette fører til at man ikke trenger å grave opp et like stort område, og det fungerer som sikring til de som arbeider nede i stålrøret. På grunn av denne metoden å grave stikk på så regner de med at et stikk vil kreve en grunnflate på ca. 2,5 ganger 2,5 meter.

### **Hvor lang er levetiden på strømpene dere leverer?**

- Ut ifra de norske standardene og VA/Miljø-blader så leverer entreprenøren strømpes med levetid 50 år, men som entreprenøren har erfart ved å grave opp ledninger som ble strømpereoververt for lenge siden så viser det seg at strømpene ofte har lengre levetid enn 50 år. Det regnes med at strømpene vil ha en levetid på 100 år.

Informasjon sendt over i etterkant av møte:

### **Hva vil kostnaden ca. være per stikkledning som må graves opp?**

45 000 – 150 000.- store variasjoner utfra gravedybde, overflate (asfalt vs. hage vs. jorde mm.)

### **Hva er ca. pris per meter for forskjellige dimensjoner.**

Tetttilsluttet rør:

0-149mm :	2200-2400.-
150-299mm :	2400-3000.-
300-599mm :	2400-3750.- (maks dia er DN400)
600-999mm :	-
1000-2000mm :	-

Vannledninger – I tillegg kommer spyling/rens (300-400.- pr m), prov.vann, rigg/drift, evt. trafikkavvikling, anboringer, arbeider i kum, gravepunkter for anboring/trekkegrop. Prisen satt utfra 300lm eller mer.

Rørinnføring:

0-149mm :	1200-1600.-
150-299mm :	1600-2300.-
300-599mm :	2300-3500.-
600-999mm :	-
1000-2000mm :	-

Inntrekking av mindre rør inne i eksterende rør - I tillegg kommer spyling/rens (300-400.- pr m), prov.vann, rigg/drift, evt. trafikkavvikling, anboringer, arbeider i kum, gravepunkter for anboring/trekkegrop.

Prisen satt utfra 300lm eller mer.

Strømpe:

0-149mm : 850.-

150-299mm : 850-1350.-

300-599mm : 1350-3850.-

600-999mm : 3850-6500.-

1000-2000mm : 6500-14000.-

Avløp - I tillegg kommer spyling/rens (100-200.- pr m), overpumping, rigg/drift, evt.trafikkavvikling, grenrør/hatter, arbeider i kum.

Prisen er satt utfra 150lm eller mer.

#### 4.4.2 Entreprenør 2

Entreprenør 2 er tilknyttet metoden strømperenovering.

Entreprenør 2 svarte først på spørsmålene over mail, men ønsket et møte over teams for å kunne ha en samtale om temaene etter. Svarene som er gitt består av det som ble svart over mail, og utdypende svar gitt gjennom møtet.

#### **Møte nr. 1 – Strømperenovering, gjennomført 18.05.2021**

##### **Hvilke metoder leverer dere?**

Glassfiberarmert strømpe som utherdes med UV lys. Dersom det er trykkavløp har vi også Primus Line som er en fleksibelforing som kan benyttes.

##### **Hvor mye koster metodene å gjennomføre, gjerne i kostnad per meter?**

Kostnad er avhengig av diameter og lengde på installasjonen. Kostnaden ligger mellom kr 1 000 og 10 000 pr meter.

DN200 – 1000/m

DN600 – 3-4 000/m

DN1000 – 8 000/m

For dimensjoner mellom 1000 og 2000mm vil veggtykkelsen på røret ha mye å si for kostnaden, dette vil ikke påvirke prisen i stor grad for mindre dimensjoner da veggtykkelsen vil variere med noen få millimeter, mens for større dimensjoner så kan det være variasjon på veggtykkelse på mange millimeter slik at dette vil påvirke kostnaden i en større grad.

##### **Hvilke aspekter vil kunne påvirke kostnadene i størst grad?**

Diameter og lengde på installasjonen. Vi kan installere fra DN 200 opptil DN 2000. Og fra 10 til 350 meter. Som du forstår gir meterprisen stor utslag her. Om vi utfører 10 meter eller 350 meter, så er det en arbeidsdag. Kostnaden deles da på 10 eller 350.

### **Hva ser dere på som de største fordelene og ulempene med metodene?**

Kort installasjonstid / rask gjennomføring. Begrenset med forundersøkelser og det som må undersøkes kan også gjennomføres innen kort tid. Ulempen er at ledningen blir som den er, dersom det er en svank, så er svanken der fremdeles etterpå. Ikke mulighet å øke diameter. Men man vil få en kapasitetsøkning pga mindre friksjon i ledningen

### **Hvordan påvirker metoden miljø- og sosialaspekter som andre metoder ikke kan?**

Samfunnet fungerer mens vi installerer. Betydelig mindre transport. Svært lite energi forbruk med utharding av UV lys. Det går betydelig mer energi til utharding med steam og varmtvann. Fra møte kommer det frem at metoden er veldig lite avhengig av tilgjengelig plass. Strømpen leveres i en eske som plasseres ved innføringspunktet. Ut fra hvor inntrekkingspunktet er så kan strømpen leveres med bil eller heisekran, når strømpen er levert kan leveringsbilen forlate stedet slik at den ikke hindrer fremkommeligheten til andre.

### **Hvordan går dere frem for å beslutte at metoden er aktuell i et gitt scenario?**

Info eksisterende ledning (innvendig diameter, lengde, adkomst, bend/-ikke bend, påkoblinger, kapasitet, utførelses tidspunkt)

## **4.5 Datagrunnlaget til MCDM**

MCDM delen av verktøyet vil ta for seg hovedkriteriene økonomiske-, sosiale- og miljøkostnader. Etter intervjuene som er gjennomført og en gjennomgang av litteratur ble det besluttet å velge de 6 underkriteriene som benyttes. For økonomiske kostnader er de kostnaden for utførelse og installasjon av metoden, og kostnaden for tilkobling av stikkledninger. For sosiale kostnader er de trafikkpåvirkning, bedriftspåvirkning, og luktproblemer. For miljøkostnader er det CO<sub>2</sub>-utslipp.

Videre vil datagrunnlaget for hvert underkriterium presenteres, og beslutningen for hvordan metodene er vurdert blir forklart. En matrise vil presenteres for hvert underkriterium for å vise hvordan vektleggingen vil se ut.

### **4.5.1 Økonomiske kostnader**

Økonomiske kostnader får ofte et stort fokus når det skal velges rehabiliteringsmetode, det er derfor viktig at datagrunnlaget til å estimere hvile metoder som er best/billigst å benytte er godt. Mye at datagrunnlaget er kommet gjennom intervjuene med entreprenører, og det er gjort ulike antagelser rundt informasjon som manglet. Inputverdiene som påvirker kostnaden er i dette verktøyet diameter på ledningen, lengde

på ledningen og antall stikk som skal kobles til ledningen.

#### 4.5.2 Kostnad

Borgen og Rogenes (2020) tar for seg 5 ulike prosjekter hvor forskjellige metoder for legging av rør benyttes. Kostnadene Borgen og Rogenes kommer frem til er basert kun på kostnadsposter som er aktuelle for de forskjellige metodene, og andre kostnadsposter som påvirker prosjektet, men ikke den aktuelle metoden er sett bort ifra. Rørdeler og materialer samt kumdelere er og ekskludert fra deres økonomiske beregninger. Videre er det gitt kostnader for et prosjekt som benytter seg av utblokking, styrt boring, strømpereovering og konvensjonell graving alene, og fire andre prosjekter som benytter seg av hver av metodene strømpereovering, styrt boring, utblokking og konvensjonell graving. Prosjektet med utblokking har dessverre ingen kostnader slik at dette prosjektet ses bort ifra i dette delkapittelet om kostnader. Prosjektene det er sett på gjelder både vann og avløp, slik at dette må tas i betraktning når kun avløpsreovering skal benyttes.

Da alle prosjekter varierer, vil ikke kostnader være direkte sammenlignbart alene, men et gjennomsnitt av kostnadene kan peke i retning av en generell kostnad for enkelte metoder.

Prosjekt 1 (kostnadene er lest av fra graf)

Utblokking: 2 800 per meter – DN150 til DN180

Strømpereovering: 2 950 per meter - DN225

Styrt boring: 2 700 per meter

Konvensjonell graving: 3 200 per meter DN150, DN180, DN250 og DN500

Prosjekt 2-5 (kostnadene er lest av fra graf)

Strømpereovering: 2 750 per meter – ulik dimensjon

Styrt boring: 21 500 per meter

Konvensjonell graving: 11 000 per meter DN110 og DN230

Fra intervjuer gjort med entreprenør 1 (2021a) og entreprenør 2 (2021), samt informasjon overlevert etter møte nummer 2 (Entreprenør 1, 2021b) kom det frem noen priser på hva strømpereovering, tetttilsluttet rør og rørrinnføring vil koste å gjennomføre. I disse prisene er det antatt at arbeidet ikke møter på noen problemer under innstallering, og de er basert på ca. kostnader når det kommer til metodene. Det spesifiseres gjennom intervjuene at lengde på ledningen vil spille inn på meter prisen da arbeidet som regel utføres på kun en dag, uavhengig om det er 10 meter som skal reoveres eller 350 meter som skal reoveres.

Noen kostnader vil være konstante for alle metodene:

60-70,-/m for kamerakjøring av røret før montering

80,-/m for høytrykksspyling og vasking av røret før montering. (Strømperenovering)

300-400,-/m for spyling/rens før montering. (Tetttilsluttet rør, rørinnføring)

**Tabell 4:** Oversikt over kostnader for metodeutførelse levert av Entreprenør 1 (2021b). Verdiene er i NOK per meter lagt.

Diameter [mm]	Strømperenovering	Tetttilsluttet rør	Rørinnføring
0-149	850	2 200 - 2 400	1 200 - 1 600
150-299	850 - 1 350	2 400 - 3 000	1 600 - 2 300
300-599	1 350 - 3 850	3 000 - 3 750	2 300 - 3 500
600-999	3 850 - 6 500	Maks DN400	
1000-2000	6 500 - 14 000	Maks DN400	

Prisene i tabell 4 er satt utfra 300 løpemeter eller lengre for metodene tetttilsluttet rør og rørinnføring, for strømperenovering er prisene satt utfra 150 løpemeter eller lengre (Entreprenør 1, 2021b).

Jung og Sinha (2007) undersøkte kostnader knyttet til konvensjonell graving og utblokking ved å undersøke seks prosjekter utført ved konvensjonell graving, og to prosjekter utført ved utblokking. Det de kom frem til var en kostnad på 3 300 NOK/m (395\$/m) i gjennomsnitt for konvensjonell graving, og 4 800 NOK/m (576\$/m) for utblokking.

**Tabell 5:** Verdier for prosjektene undersøkt av Jung og Sinha (2007) hentet fra tabell 1 og 6 fra (Jung og Sinha, 2007, s. 148, 150)

Lengde [m]	Varighet [dager]	Kostnad [NOK/m]	Kostnad [\$/m]
<b>Konvensjonell graving</b>			
144	55	3 800	454
390	60	4 100	491
81	45	3 700	441
1 828	120	2 900	342
380	60	4 100	487
155	60	3 900	464
<b>Utblokking</b>			
322	20	5 800	688
414	30	4 100	489

Det vi kan lese ut fra verdiene her er at konvensjonell graving blir billigere når det er store lengder som skal graves opp, eller ved kortere strekk. Metoden når sitt tak ved lenger på rundt 400 meter. Utblokking blir billigere jo lengre strekk som skal utblokkes, men da dette baserer seg på kun to prosjekter skal det ikke trekkes for store konklusjoner rundt dette.

Metoden tetttilsluttet rør kan ikke benyttes for dimensjoner større enn 500mm (Olimb,2015; Entreprenør 1, 2021b). I verktøyet er verdiene i matrisene som inkluderer tetttilsluttet rør for dimensjonene større enn dette satt til 1. Dette er gjort for at matrisene skal vise en prioriteringsverdi dersom brukeren selv går inn og endrer



verdiene i disse matrisene, og ikke bare få opp en feilmelding. Når verktøyet benyttes for dimensjoner over 500mm vil fanen ØkonomiFix ta hensyn til denne problematikken når metoden er huket vekk i Startside fanen, ved å gi alle de aktuelle cellene i matrisen verdien null. Se kapittel 4.6.1 Beskrivelse av fanene for mer informasjon om hvordan dette løses.

På bakgrunn av det datagrunnlaget jeg har er det satt opp 25 forskjellige matriser for kostnad for metodeutførelsen. Det er valgt å sette opp 25 matriser, hvor de varierer i hvilke dimensjoner og prosjektlengder det ses på, av grunnen at det ikke er et lineært forhold mellom kostnadene til alle metodene avhengig av enten lengde eller diameter. Tabell 6 viser en av matrisene som er satt opp for kostnader.

**Tabell 6:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til kostnad. Dette er matrisen for diameter 150-299mm og lengde 150-399m.

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tetttilsluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/8	1/5	1/7	1/3	0,031
<i>Strømpe</i>	8	1	6	4	7	0,447
<i>Tetttilsluttet</i>	5	1/6	1	1/3	3	0,163
<i>Rørinnføring</i>	7	1/4	3	1	5	0,279
<i>Graving</i>	3	1/7	1/3	1/5	1	0,080

### 4.5.3 Stikkledninger

Her vil det ses på hvor mye antall stikkledninger som skal kobles til den nye ledningen vil tilføye den totale kostnaden for utførelse av metoden. Ved konvensjonell graving så vil hele ledningen allerede være gravet opp uavhengig av hvor mange stikkledninger som er tilkoblet. Dette vil derfor ha liten til ingen betydning for den totale kostnaden. For strømperenovering vil tilkobling til stikkledninger gjennomføres inne i det nye røret, ved en robot slik at det ikke kreves noe gravearbeid. Fra Entreprenør 1 (2021a) er det gitt hva prisen tilkobling til stikkledninger vil være for strømperenovering:

- 3 000-4 000,-/grenrør for å frese opp og slippe grenrør
- 8 000-12 000,-/grenrør for å installere en strømpehatt inn i grenrøret

Metodene tetttilsluttet rør, rørinnføring og utblokking er avhengig av å grave seg ned til stikkledningen som skal kobles til det nye røret. Entreprenør 1 (2021b) har gitt følgende kostnader for tilkobling av stikkledninger for metodene tetttilsluttet rør og rørinnføring:

- 45 000 – 150 000,-/grenrør - store variasjoner utfra gravedybde, overflate (asfalt vs. hage vs. jorde mm.)

Det er ikke funnet noe litteratur om kostnaden for tilkoblingen av stikkledninger for metoden utblokking. Derfor er det gjort en antagelse om at denne kostnaden vil være omtrent lik som kostnaden for tetttilsluttet rør og rørinnføring. Denne antagelsen er gjort på bakgrunn av hvordan metodene er like i utførelse og de krever alle at det graves ned til stikkledningen som skal tilkobles.

Det vil være tilfeller hvor flere stikkledninger går ut i hovedledningen på omtrent samme plass, her vil det ikke nødvendigvis bli en like stor økning i kostnaden per stikkledning for metodene som er avhengig av å grave seg ned til stikkledningen, men dette er det ikke tatt hensyn til i verktøyet for å kunne opprettholde brukervennligheten av verktøyet for

brukeren. Det er da mulig å skrive inn færre stikk på ledningen for å kompensere for dette, men dette vil da gå utover kostnaden for strømperenovering da disse stikkene vil måtte freses opp og installeres hatt i uansett.

**Tabell 7:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til kostnad av tilkobling av stikkledninger. Dette er matrisen for 7-12 stikkledninger/100m.

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tetttilsluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/3	1	1	1/5	0,088
<i>Strømpe</i>	3	1	3	3	1/3	0,259
<i>Tetttilsluttet</i>	1	1/3	1	1	1/5	0,088
<i>Rørinnføring</i>	1	1/3	1	1	1/5	0,088
<i>Graving</i>	5	3	5	5	1	0,476

#### 4.5.4 Kummer

Kostnaden av renovering av kummer ble opprinnelig vurdert til å inkluderes i verktøyet, men ved en gjennomgang av litteratur om kumrenovering kom det frem at det er ikke gitt at spesifikke kumrehabiliteringsmetoder følger spesifikke rehabiliteringsmetoder for avløpsledninger. Valg av kumrehabiliteringsmetode er og preget av hva feilen som skal utbedres for den aktuelle kummen er. Underkriteriet om antall kummer er derfor ikke inkludert i dette verktøyet. Kostnadene gitt gjennom intervjuene er allikevel inkludert under, da kumrehabilitering vil være et aspekt som bør/må vurderes når et strekke skal rehabiliteres.

17 000-18 000,-/kum – for å støpe ny bunn av kum

75 000,-/kum – for å støpe ny bunn av kum samt installere en strømpe for å totalrenovere kummen  
(Entreprenør 1, 2021a)

#### 4.5.5 Sosiale kostnader

De sosiale kostnadene vil være en post som ikke er enkel å tallfeste, men som ofte har en stor tyngde. Og det er dette som vil påvirke befolkningen i nærheten i størst grad. Valgmulighetene i verktøyet vil være hvor ledningen ligger, og valgene vil være om det er i et urbant område, et bebygd området eller et ubebygd område.

#### 4.5.6 Trafikk

Trafikkpåvirkning er en sosial kostnad. Matthews et al. (2015) utformet 8 punkter for sosiale kostnader, hvor det gjennom casestudier kom frem at trafikkforsinkelser står for i gjennomsnitt 18% av de totale kostnadene, og 55% av de sosiale kostnadene. Når det ble benyttet en gravefri metode så stod de totale sosiale kostnadene for 1 til 9% av den totale kostnaden for prosjektet. Fra intervjuet med entreprenør 1 kommer det frem at

trafikkpåvirkning vil være en betydelig kostnad når det kommer til utførelse av prosjekter i urbane strøk.

Gjennom intervjuer av aktuelle aktører i VA sektoren er det gitt fokus til hvordan utførelsen av de forskjellige metodene påvirker de sosiale kostnadene. Det vil være hvor stort gravebehovet er som gjør størst forskjell når det kommer til de sosiale postene. Dette henger også tett sammen med tidsperspektivet, og jo mer graving som er nødvendig, jo lengre tid vil utførelsen ta og lengre vil renoveringen påvirke menneskene og bedriftene i nærheten.

Da verktøyet skal fungere som et startgrunnlag for prosjekter, så er det gjort antagelser rundt hvor stor trafikkpåvirkningen vil være i urbane, bebygde, og ubebygde strøk. Hvis det er antatt en tung sperring, dvs. en full stopp i trafikken på det strekket, vil føre til større omkjøringer i bebygde og ubebygde strøk da alternative ruter vil være lengre, men her er antallet biler som påvirkes mindre. Hvis det kun kreves manuell dirigering eller minsket fremkommelighet vil dette påvirke mest i urbane strøk, da det er antallet biler som blir påvirket som spiller en rolle.

Metoden strømperenovering krever kun tilgang til røret gjennom en kum, og eneste trafikkpåvirkning som dette kan skape er tilgang til en lastebil med det nødvendige utstyret som vil stå plassert i nærheten av kummen. For konvensjonell graving vil det kreve å stenge av hele området ledningen befinner seg gjennom hele arbeidsperioden, dette vil kunne resultere i at hele gater eller et kjørefelt vil bli stengt i lengre tid. For metodene tetteilsluttet rør, utblokking og rørrinnføring vil det være nødvendig å stenge av et område hvor innførings- og mottakerrop vil være. Samt alle punkter hvor det må graves ned for tilkobling av stikkledninger. Fra Entreprenør 1 (2021b) er det nevnt at hver stikkledning vil kreve et omtrentlig område på 2,5 ganger 2,5 meter. For metoden tetteilsluttet rør leveres det nye røret på trommel slik at det nye røret vil ikke ta opp mye plass ved innføringsgropen. Metodene rørrinnføring og utblokking er avhengig av å sveise sammen det nye røret før det trekkes inn, og hele ledningens lengde vil ligge ute foran innføringsgropen slik at det vil ta opp betydelig mer plass.

Fra dataene innhentet om trafikkpåvirkning og hvor stort gravebehovet er, med andre ord hvor stort område som må stenges av, er matrisene satt opp for å rangere de forskjellige metodene mot hverandre.

**Tabell 8:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til trafikkpåvirkning. Dette er matrisen for bebygde strøk.

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tetteilsluttet</i>	<i>Rørrinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/4	1/2	1	3	0,144
<i>Strømpe</i>	4	1	4	4	5	0,451
<i>Tetteilsluttet</i>	2	1/4	1	2	3	0,207
<i>Rørrinnføring</i>	1	1/4	1/2	1	3	0,144
<i>Graving</i>	1/3	1/5	1/3	1/3	1	0,055

## 4.5.7 Bedrifter

Bedrifter som pårøres er en sosial kostnad. Det handler hovedsakelig om tap av omsetning og inntekt i perioden rehabiliteringsarbeidet pågår. Dette punktet henger sammen med trafikkpunktet hvor bedrifter kan miste fremkomsten til bedriften eller at det blir en utfordrende reisevei for kunder. Videre kan parkeringsplasser bli stengt av. Det må og tas hensyn til irritasjoner som er relatert til rehabiliteringsarbeidet, som støv og støy (Gilchrist og Allouche, 2005). Fra en casestudie av Matthews et al. (2015) kommer det frem at tap av bedriftsinntekter står for 4-6% av den totale kostnaden. Og dette er den nest største sosiale kostnaden, kun slått av trafikkpåvirkning. Han regner kostnaden ved formelen:

$$\text{LBR} = \text{IF} * \text{TW} * \text{Dw}$$

Hvor LBR = tapt inntekt [kroner], IF = påvirkningsfaktor, TW = inntekt per uke [kroner/uke], Dw = prosjektets varighet [uker].

I intervjuet med entreprenør 1 (2021a) nevnes det et eksempel hvor en gate i Fredrikstad ble rehabilitert ved konvensjonell graving, og det var nødvendig å grave opp strekket tre ganger på kort tid. Dette førte til at det ikke var mange bedrifter igjen i gaten etter siste oppgraving. Slik at ved lengre prosjekter må det tas hensyn til at bedrifter kan ende opp med å gå konkurs i verste tilfellet.

I verktøyet er inputten for hva som påvirker bedrifter om ledningen befinner i et urbant strøk, bebygd strøk eller ubebygdstrøk. Det vil være størst påvirkning for bedrifter i urbane strøk, da det her er vil befinne seg flest bedrifter i gatenivå som kan påvirkes, og påvirkningen her vil kunne ha størst utfall på grunn av gjennomførelsestiden i urbane strøk ofte er større, og trafikkpåvirkningen vil være større, slik at adkomst til bedrifter vil bli påvirket i større grad. I bebygde strøk, regnes det med færre bedrifter som er påvirket, og i ubebygde strøk regnes det ikke med at noen bedrifter er påvirket.

**Tabell 9:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til underkriteriet bedriftspåvirkning. Dette er matrisen for urbane strøk.

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tettisluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/7	1/3	1	4	0,114
<i>Strømpe</i>	7	1	6	7	9	0,527
<i>Tettisluttet</i>	3	1/6	1	3	5	0,214
<i>Rørinnføring</i>	1	1/7	1/3	1	4	0,114
<i>Graving</i>	1/4	1/9	1/5	1/4	1	0,032

## 4.5.8 Lukt

Lukt aspektet er inkludert som en sosial kostnad da det gjennom intervjuene med Entreprenør 1 (2021a), kom frem at det blir rapportert klager på lukt etter rehabilitering fra beboerne tilknyttet ledningen. Det blir rapportert 4-5 tilfeller hvert år av omtrent 100 000 lagte meter med strømper. Luktproblemene stammer ofte fra kjemikalet styren som

kan benyttes i filtstrømper og glassfiberarmerte strømper. Fra Entreprenør 2 (2021) kommer det frem at ved utharding av strømpen ved hjelp av UV-lys vil det ikke være noe problem med lukt, ved at de aktuelle kjemikalene herdes eller fordamper bort før stikkledningene freses opp. Luktproblemet blir ikke nevnt for noen av de andre metodene. På bakgrunn av dette, og det at strømpereovering kan utføres uten at lukt vil være et problem er denne matrisen satt opp for den sosiale kostnaden når det kommer til underkriteriet lukt.

**Tabell 10:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til underkriteriet lukt.

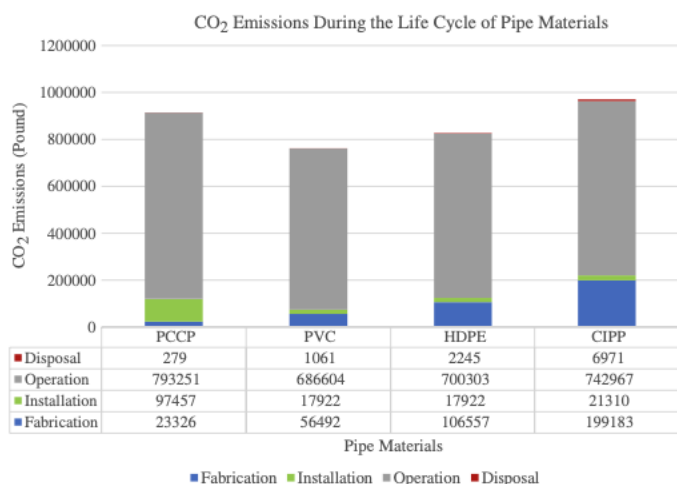
	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tetttilsluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	4	1	1	1	0,235
<i>Strømpe</i>	1/4	1	1/4	1/4	1/4	0,059
<i>Tetttilsluttet</i>	1	4	1	1	1	0,235
<i>Rørinnføring</i>	1	4	1	1	1	0,235
<i>Graving</i>	1	4	1	1	1	0,235

#### 4.5.9 Miljøkostnader

Miljøkostnader er et viktig aspekt å vurdere når det skal velges en rehabiliteringsmetode som er bærekraftig. Det har vært problematisk å finne informasjon om forskjellige miljøkostnader for alle metodene, og selv om det ble funnet ulike miljøkostnader for noen av metodene gjennom litteratursøket så er det nødvendig å ha god informasjon om hvordan alle metodene vil påvirke den aktuelle kostnaden for å kunne sammenligne metodene og inkludere det i verktøyet. Av den grunn er det kun funnet gode nok data for CO2 utslipp for alle metodene slik at det er kun denne miljøkostnaden som er inkludert.

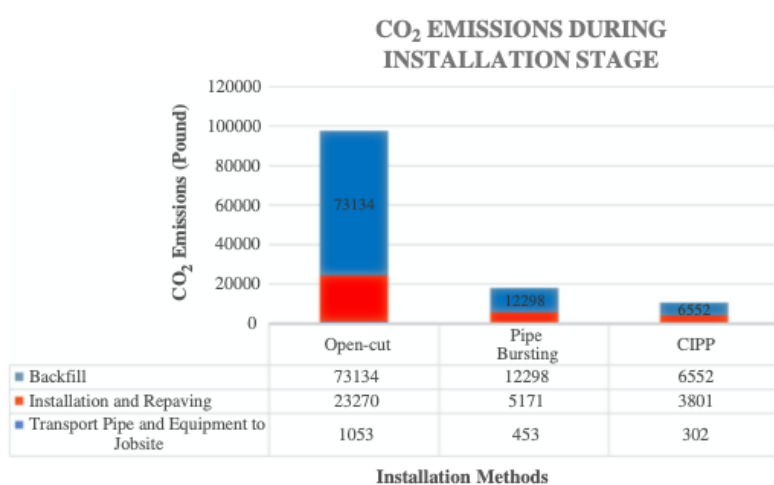
#### 4.5.10 CO2 utslipp

Alsadi et al. (2020) Har undersøkt CO2 utslipp i forbindelse med produksjonsfasen av strømper, PCCP (betong) rør og PVC rør. Funnene her er at betong rør har klart lavere CO2 utslipp enn PVC rør, og strømper har det største utslippet når det kommer til produksjonsfasen. Betong rør kan legges ved konvensjonell graving, og CIPP rør kan kun legges ved strømpereovering. PVC rør kan legges ved flere av metodene, men det er PE-rør som er det vanligste å benytte seg av ved rehabiliteringsmetodene som tas opp i denne oppgaven. (Alsadi et al., 2020)



**Figur 8: CO<sub>2</sub> utslipp I levetiden til rørmaterialene betong, PVC, PE og strømppe (Alsadi og Matthews, 2020, s. 12)**

Alsadi og Matthews (2020) har evaluert CO<sub>2</sub> utslippene for rørmaterialene betong (PCCP), PVC-rør, PE-rør (HDPE) og strømppe gjennom hele deres livssyklus. For denne oppgaven er det strømppe og PE-rør som vil være mest aktuell å benytte i rehabiliteringsmetodene slik at det er disse som vil være fokuset her. Konvensjonell graving har fordelen ved at det enkelt etableres rør av betong og PVC og.



**Figur 9: CO<sub>2</sub> utslipp under installasjonsfasen for konvensjonell graving, utblokking og strømpperenovering (Alsadi og Matthews, 2020, s. 8)**

I dette verktøyet er det tatt størst hensyn til funnene rundt CO<sub>2</sub> utslipp i installasjonsfasen, da dataene rundt CO<sub>2</sub> utslipp gjennom hele levetiden oftest omhandler rørmaterialet.

Det er ikke funnet god litteratur for CO<sub>2</sub> utslipp for metodene tetttilsluttet rør, og rørrinnføring så tallene for utblokking benyttes for disse metodene. Dette er gjort fordi metodene er ganske like i utførelse når det kommer til graveomfang som er den største utslippsposten for metoden. Da det ikke er funnet god nok informasjon på hvordan de

forskjellige innputtene i verktøyet vil påvirke CO2 utslippene for metodene er det satt opp kun en matrise for CO2 utslipp. Gravebehovet vil påvirke CO2 utslippene, slik at et lang strekke som må graves opp vil ha større CO2 utslipp, det samme gjelder hvis det er mange stikkledninger som må graves opp, men av mangel på data for hvor mye dette vil si er det kun satt opp en generell matrise. Det som vil kunne påvirke prioriteringen er hvor stor vektlegging brukeren setter av til miljøaspektet.

**Tabell 11:** Parvis sammenligningsmatrise av metodene med hensyn til CO2 utslipp.

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tettisluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/3	1	1	6	0,196
<i>Strømpe</i>	3	1	3	3	8	0,378
<i>Tettisluttet</i>	1	1/3	1	1	6	0,196
<i>Rørinnføring</i>	1	1/3	1	1	6	0,196
<i>Graving</i>	1/6	1/8	1/6	1/6	1	0,034

## 4.6 Hvordan MCDM verktøyet opererer

Verktøyet består av 41 parvise sammenligningsmatriser totalt. Tre for underkriteriene, en for hvert hovedkriterium og det er 38 matriser som sammenligner metodene for hvert underkriterium. Det er 25 matriser for kostnaden av installasjon, 5 matriser for kostnaden av tilkobling til stikkledninger, 3 matriser for trafikkpåvirkning, 3 matriser for påvirkning av bedrifter, en matrise for luktproblemer og en for CO2 utslipp. Matrisene for underkriteriene er der for å bestemme vekten hvert underkriterium skal ha. Prioriteringsverdien i matrisen regnes ut av å summere verdiene i en rad og dele på totalen av alle verdiene.

**Tabell 12:** Parvis sammenligningsmatrise for underkriteriene med hensyn til hovedkriteriet sosiale kostnader

	<i>Trafikk</i>	<i>Bedrifter</i>	<i>Lukt</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Trafikk</i>	1	2	7	0,505
<i>Bedrifter</i>	1/2	1	7	0,430
<i>Lukt</i>	1/7	1/7	1	0,065

**Tabell 13:** Parvis sammenligningsmatrise for metodene med hensyn til underkriteriet trafikkpåvirkning for urbane strøk

	<i>Utblokking</i>	<i>Strømpe</i>	<i>Tettisluttet</i>	<i>Rørinnføring</i>	<i>Graving</i>	<i>Prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	1	1/6	1/2	1	4	0,132
<i>Strømpe</i>	6	1	5	6	7	0,496
<i>Tettisluttet</i>	2	1/5	1	2	5	0,202
<i>Rørinnføring</i>	1	1/6	1/2	1	4	0,132
<i>Graving</i>	1/4	1/7	1/5	1/4	1	0,037

I tabell 12 blir kriteriene til venstre sammenlignet med hvert kriterium i listen på toppen om hvilke kriterier som er viktigere med hensyn til hovedkriteriet sosiale kostnader. I tabell 13 blir metodene til vestre sammenlignet med hvert kriterium i listen på toppen om hvilken metode som er viktigere med hensyn til trafikkpåvirkning for urbane strøk. Det finnes tre matriser som er like i oppbygningen som den i tabell 13, og tar for seg trafikkpåvirkning, men satt til forskjellige strøk (urbant, bebygd, ubebygd).

Prioriteringsverdien fra tabell 13, blir vektet med prioriteringsverdien til sitt underkriterium fra tabell 12 (0,505), som igjen blir vektet fra vekten hovedkriteriet får fra brukeren.

**Tabell 14:** Utrekning av den totale prioriteringen for lengde 200m, diameter 200mm, 20 stikkledninger, urbant strøk og alle metodene er aktuelle.

	<b>Økonomi</b>		<b>Sosiale</b>			<b>Miljø</b>	
<i>Vekt</i>	<i>0,600</i>		<i>0,200</i>			<i>0,200</i>	
	<b>Install</b>	<b>Stikk</b>	<b>Trafikk</b>	<b>Bedrifter</b>	<b>Lukt</b>	<b>CO2</b>	<b>Total</b>
<i>Vekt</i>	<i>0,450</i>	<i>0,150</i>	<i>0,101</i>	<i>0,086</i>	<i>0,013</i>	<i>0,200</i>	
<i>Utblokking</i>	0,014	0,013	0,013	0,010	0,003	0,039	<i>0,093</i>
<i>Strømpe</i>	0,201	0,039	0,050	0,045	0,001	0,076	<i>0,412</i>
<i>Tettisluttet</i>	0,073	0,013	0,020	0,018	0,003	0,039	<i>0,168</i>
<i>Rørinnføring</i>	0,126	0,013	0,013	0,010	0,003	0,039	<i>0,204</i>
<i>Graving</i>	0,036	0,071	0,004	0,003	0,003	0,007	<i>0,124</i>

**Tabell 15:** Sluttresultatene vist som normalisert prioritering og idealisert prioritering.

<i>Metode</i>	<i>Total prioritering</i>	<i>Idealisert prioritering</i>	<i>Idealisert prioritering</i>
<i>Utblokking</i>	0,093	0,225	22%
<i>Strømpe</i>	0,412	1,000	100%
<i>Tettisluttet</i>	0,168	0,408	41%
<i>Rørinnføring</i>	0,204	0,496	50%
<i>Graving</i>	0,124	0,301	30%

I tabell 14, kan man se alle prioriteringsverdiene for metodene fra de forskjellige underkriteriene multiplisert med prioriteringen til underkriteriene, som igjen er multiplisert med vekten til hovedkriteriene gitt fra brukeren. For å finne den totale prioriteringsverdien er alle verdiene i tabellen for metoden summert sammen. Se vedlegg 2 for en forklaring på hvor alle verdiene i tabellen er hentet fra.

I tabell 15 kan man se den totale verdien for hver metode, og den idealiserte verdien er regnet ut for å kunne se hvor godt de andre metodene skårer i forhold til den foretrekkende metoden.

Det ble vurdert flere metoder for hvordan innputtene av brukeren skulle påvirke prioriteringen. En av mulighetene var å sette opp en enkelt matrise for hvordan et kriterium vil påvirke prioriteringen. For å så sette opp flere matriser for dette underkriteriet for hvordan dette kriteriet skal vektlegges. Ta for eksempel kostnaden av stikkledninger. Der ville det bli satt opp en enkelt matrise som ville vektlegge hvor mye flere stikk vil påvirke den totale kostnaden. Deretter ville det settes opp fem forskjellige



matriser (en for 0-5 stikk per 100m, en for 5-10 stikk per 100m og så videre.) som bestemmer hvor mye vekt underkriteriet skulle få. Innpotten av antall stikk vil så være avgjørende for hvilken matrise som legges til grunn og bestemmer vektingen av underkriteriet.

Den andre metoden går ut på å sette opp forskjellige matriser for hvordan hver metode vil påvirke underkriteriet avhengig av innputten. Vektingen av underkriteriet vil være konstant gitt av en matrise som prioriterer alle underkriteriene under det hovedkriteriet. Ved eksempelet for stikkledninger så vil det opprettes fem matriser for hvordan antall stikk vil påvirke kostnaden. Innpotten av antall stikk vil bestemme hvilken av disse matrisene som blir benyttet for å regne ut den totale prioriteringen. Vektingen av underkriteriet er konstant og gitt av matrisen som vurderer hvor stor vekt hvert underkriterium innen økonomiposten skal ha.

Det er denne metoden som det er valgt å gå for da ikke alle underkriterium vil ha en lineær endring av hvor mye innputten vil påvirke totalen, slik at det blir feil å kun endre vektingen av underkriteriet, og ikke selve påvirkningen underkriteriet vil ha.

For kostnader ved installasjon er det satt opp så mange som 25 matriser, dette er for at innputtene dimensjon og lengde begge går inn i dette ene underkriteriet. Det kunne vært løst med at lengde og dimensjon var gitt hvert sitt underkriterium, men da metodene påvirker kostnaden forskjellig avhengig av hvor langt det skal legges og ved hvilken dimensjon så anses det som feil å gi disse underkriteriene en fastsatt vekt hver for seg.

Opprinnelig ble det opprettet en matrise som følger AHP oppbyggingen for å vektlegge de tre hovedkriteriene økonomi, sosiale og miljøaspektene. Dette ble det gått tilbake på da man ville inkludere muligheten for at brukeren selv skal kunne vektlegge disse aspektene. Denne vektingen er valgt å legges til antall prosent av 100 mulige for å opprettholde brukervennligheten til verktøyet. Det vil si at brukeren av verktøyet ikke er avhengig av å sette seg inn i hvordan AHP-metoden utføres, og hvordan man skal gi verdiene som benyttes i matrisene. Det er og etablert en feilmelding som vil si ifra dersom summen av vektingen fra brukeren ikke summerer til 100%, dette er gjort da verktøyet vil fremdeles regne ut en foreslått metode dersom brukeren putter inn feil verdier, og man vil ende opp med et feil utgangspunkt.

For å gjøre det mer oversiktlig og enklere å kode formlene benyttet i Excel for å velge hvilke matriser og verdier som skal benyttes avhengig av de forskjellige innputtene gitt av brukeren er det valgt å opprette en egen input fane. I denne fanen vil de forskjellige innputtene gjøres om til en tallverdi, eller sann/usann verdi. Dette gjør det enklere å referere til hvilke matriser som skal benyttes, og hvilke metoder som skal inkluderes i den siste utregningen.

#### 4.6.1 Beskrivelse av fanene

##### Startside

Dette er fanen som brukeren vil se og benytte seg av. Her vil alle verdiene om prosjektet fylles ut av brukeren og de metodene som er aktuelle vil hukes av. De forskjellige hovedkriteriene skal også vektlegges av brukeren her. Startsidene er utformet med

brukervennlighet som hovedfokus. Dette er grunnen til at hovedkriteriene vektlegges med prosent, og ikke en AHP matrise. Det vil ikke kreves noen kjennskap til hvordan verktøyet opererer, eller hvordan AHP metoden utføres for å kunne få et svar fra verktøyet. Det er ingen utregninger som utføres i denne fanen, verdiene vil hentes inn til andre faner hvor de påvirker utregningen. Se vedlegg 3.

#### Kriterievekt

Denne fanen tar for seg vektleggingen av alle underkriteriene. Verdiene her kan endres av brukeren og inneholder en beskrivelse av hvordan verdiene i matrisene skal settes ved hjelp av AHP metoden. Denne fanen er opprettet for at brukeren skal ha muligheten til å endre vektleggingen av underkriteriene hvis det er ønskelig. Det er viktig at brukeren av verktøyet forstår hvordan AHP metoden opererer før man endrer på disse verdiene. Fargekoden i matrisene forteller om hvilke celler som kan endres, de grønne. Og hvilke celler som ikke kan endres, de røde, da disse cellene har en formel skrevet i seg og endringer her vil påvirke hvordan verktøyet regner ut prioriteringen. Se vedlegg 4.

#### Innput

Innput fanen henter inn verdiene fra startside fanen og gjør disse om til tallverdier fra en til fem, eller om til SANN og USANN verdier. Dette er gjort for å kunne lage formler enklere senere i utregningen. Lengde, diameter, antall stikk og hvor ledningen befinner seg gjøres om til en tallverdi for å kunne peke til den relevante matrisen for hvert underkriterium som skal benyttes i utregningen. Metodene får en verdi som er SANN eller USANN avhengig av om de skal inkluderes i utregningen eller ikke. Matrisen for metodene er opprettet for å kunne regne ut de aktuelle matrisene når en eller flere metoder ikke skal benyttes. Se vedlegg 5.

#### Økonomi

Økonomi fanen tar for seg alle de aktuelle matrisene for underkriteriet kostnad av installasjon. Det er her opprettet 25 forskjellige matriser som tar for seg kombinasjonen av lengde og diameter. Det kunne vært opprettet fem matriser for hvordan lengde påvirker kostnaden og fem matriser for hvordan diameter påvirker kostnaden som hvert sitt underkriterium med hver sin vekt, men dette er ikke valgt da lengde og diameter påvirker hverandre forskjellig for de forskjellige metodene og med en gitt vekt ville forholdet mellom dem blitt lineært.

Det er mulig for brukeren å selv gå inn og endre verdiene i matrisene hvis det er ønskelig. Fargekoden i matrisene forteller om hvilke celler som kan endres, de grønne. Og hvilke celler som ikke kan endres, de røde, da disse cellene har en formel skrevet i seg og endringer her vil påvirke hvordan verktøyet regner ut prioriteringen. Denne fargekoden går igjen i hele verktøyet, hvor det viktigste er at røde celler ikke endres på. Se vedlegg 6.

#### Stikk og kum

Stikk og kum fanen tar for seg fem matriser som tar for seg hvordan antall stikk påvirker kostnaden. Matrisene er satt opp med antall stikk per 100 meter, slik at dette regnes ut i innput fanen først. Matrisene med flere stikk per 100 meter vil ha større variasjon i prioriteringen og dette henger sammen med at flere stikk vil føre til større forskjeller i den totale kostnaden for hvordan stikk påvirker kostnaden. Kostnadene per stikk vil være ca. like store uavhengig av antall stikk, men den totale stikk kostnaden vil øke.

Det er mulig for brukeren å selv gå inn og endre verdiene i matrisene i denne fanen, og den samme fargekoden gjelder her som i økonomi fanen. Se vedlegg 7.

### Sosiale

Fanen sosiale tar for seg de tre sosiale underkriteriene som er trafikkpåvirkning, bedrift påvirkning og lukt. Det er tre matriser for trafikkpåvirkning og bedriftspåvirkning, disse tar for seg inputten av hvor ledningen befinner seg. Det vil være større forskjeller for metodene dersom ledningen befinner seg i et urbant strøk, enn i et ubebygde strøk. Det er mulig for brukeren å selv gå inn og endre verdiene i matrisene i denne fanen, og fargekoden for hele verktøyet gjelder også her. Se vedlegg 8.

### Miljø

Miljø fanen tar for seg underkriteriet CO2 utslipp. Det er her kun satt opp en matrise da tilgjengelig data for hvordan inputtene påvirker CO2 utslipp ikke er funnet gode nok. Dette er forklart i kapittelet 4.6.10 CO2 utslipp.

Det er mulig for brukeren å selv gå inn og endre verdiene i matrisene i denne fanen, og fargekoden for hele verktøyet gjelder også her. Se vedlegg 9.

### Prioritering

Prioritering fanen utfører selve utregningen av den totale prioriteringen og her velges hvilke matriser som benyttes avhengig av det brukeren puttet inn i startside og som er bearbejdet i fanen Input. Matrisene for vektleggingen av underkriteriene er og her. Verdiene i disse matrisene hentes fra fanen kriterievekt, og skal ikke endres på i denne fanen.

Tabellen hvor hver verdi for metodene regnes ut består av mange forskjellige HVIS formler som henter inn de aktuelle cellene fra Input fanen, som igjen bestemmer hvilke verdier fra de forskjellige underkriterium fanene som skal hentes inn. Cellene som henter inn verdiene fra underkriteriet kostnaden av installasjon består av en HVIS.SETT formel med 25 forskjellige logiske tester for å bestemme hvilken verdi som skal hentes ut. Dette henger sammen med antall matriser som finnes for underkriteriet.

Det er flere tabeller i denne fanen som er opprettet for å kunne regne ut prosentandel av hvor godt hver metode skårer for hvert underkriterium. Disse er opprettet for kunne vise brukeren av verktøyet hva de aktuelle metodene er gode for, og hvorfor den aktuelle metoden ble foreslått. Det er og opprettet tabeller for å kunne sortere metodene etter den totale prioriteringen, slik at disse vises i synkende rekkefølge i startside fanen. Se vedlegg 10.

Det ble oppdaget en designfeil ved verktøyet i slutfasen av masteroppgaven, og dette har ført til at fanene ØkonomiFix, Stikk og kumFix, SosialeFix, MiljøFix og PrioriteringFix har blitt opprettet.

Feilen gikk ut på at når en eller flere metoder ble valgt bort i startside, så selv om utregningen av prioriteringen tok hensyn til dette og ga de uaktuelle metodene verdien null så ville fremdeles verdiene fra de uaktuelle metodene påvirke alle matrisene for underkriteriene slik at verdiene fra disse metodene påvirket verdien for prioriteringen av de aktuelle metodene i matrisen. For å fremdeles beholde muligheten til at brukeren kan selv gå inn og endre verdiene i matrisene måtte det opprettes nye faner med identiske matriser, men med en formel i hver celle som endrer de aktuelle verdiene i matrisen til null dersom en eller flere metoder ikke skal benyttes.

Her er et eksempel på hvordan prioriteringsverdien for trafikkpåvirkning var forskjellig hvis strømperenovering er uaktuell å benytte.

urbant						
TRAFIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/6	1/2	1	4	0,132
strømpe	6	1	5	6	7	0,496
tetttilsluttet	2	1/5	1	2	5	0,202
rørinnføring	1	1/6	1/2	1	4	0,132
graving	1/4	1/7	1/5	1/4	1	0,037
					TOT sum	50,376

**Figur 10:** Matrise for trafikkpåvirkning uten hensyn til uaktuelle metoder. Fra fanen Sosiale.

urbant						
TRAFIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	0	1/2	1	4	0,263
strømpe	0	0	0	0	0	0,000
tetttilsluttet	2	0	1	2	5	0,405
rørinnføring	1	0	1/2	1	4	0,263
graving	1/4	0	1/5	1/4	1	0,069
					TOT sum	24,700

**Figur 11:** Matrise for trafikkpåvirkning med hensyn til uaktuelle metoder. Fra fanen SosialeFix.

#### ØkonomiFix

Denne fanen er identisk med Økonomi fanen, men i denne fanen er det en formel i hver celle som enten henter ut den gitte verdien fra samme celle i Økonomifanen hvis metoden er aktuell å benytte, eller gir verdien 0 hvis metoden er uaktuell. Hvilke celler som skal endres til verdien 0 blir hentet fra metode matrisen i fanen Input. Se vedlegg 11.

#### Stikk og kumFix

Denne fanen er identisk med Stikk og kum fanen, men tar hensyn til hvilke metoder som er uaktuelle å benytte. Se forklaringen under ØkonomiFix.

#### SosialeFix

Denne fanen er identisk med Sosiale fanen, men tar hensyn til hvilke metoder som er uaktuelle å benytte. Se forklaringen under ØkonomiFix.

#### MiljøFix

Denne fanen er identisk med Miljø fanen, men tar hensyn til hvilke metoder som er uaktuelle å benytte. Se forklaringen under ØkonomiFix.

#### PrioriteringFix

Denne fanen er identisk med Prioritering fanen, men tar hensyn til hvilke metoder som er uaktuelle å benytte. Den henter inn verdier for å regne ut den totale prioriteringen fra alle Fix fanene.

## 4.7 Hvordan benytte verktøyet

Verktøyet er todelt i hvordan det skal benyttes. Først skal man gå gjennom og svare på spørsmålene i beslutningstreet. Dette er for å avgjøre hvilke metoder som er teknisk egnet for å benyttes i det aktuelle prosjektet. Her pekes det på hvilke metoder som skal utelukkes gitt utformingen og andre aktuelle kriterier for den eksisterende ledningen. Det andre steget er å putte inn den relevante informasjonen man har om ledningen som skal renoveres i selve verktøyet. Her vil inputtene påvirke hvilke metoder som blir prioritert, og til hvilken grad de utkonkurrerer de andre metodene. Her er det viktig å huke vekk de metodene som ikke er egnet etter å ha fulgt beslutningstreet. Hvis dette ikke gjøres kan man ende opp med å få foreslått en metode som ikke er teknisk mulig å gjennomføre for prosjektet. Verktøyet i Excel tar ingen hensyn til om det er teknisk mulig å utføre metoden, den tar kun hensyn til de økonomiske aspektene, sosiale aspektene og miljøaspektene.

### Del 1

Det første som skal gjennomføres når verktøyet skal benyttes er beslutningstreet (Figur 7, Vedlegg 1). Her skal man gå gjennom alle de nummererte spørsmålene og svare ja eller nei på disse. Der det pekes til at en eller flere metoder ikke kan benyttes, skal disse ekskluderes fra Excel verktøyet i del 2. Når hele beslutningstreet er gått igjennom, og alle 9 spørsmålene er besvart, skal resultatene om hvilke metoder som ikke kan benyttes tas med videre til del 2.

### Del 2

Del to av verktøyet er å benytte seg av multikriterie beslutningsstøtteverktøyet som er utviklet i Excel. Brukeren vil få opp fanen Startside, og dette skal være alt brukeren vil trenge å forholde seg til. Her skal alle kriteriene få en inputverdi fra brukeren som omhandler det spesifikke prosjektet brukeren vil undersøke. Videre skal man velge bort metodene som ikke er aktuelle å benytte for dette prosjektet. Dette vil være svarene man har fått fra å fullføre beslutningstreet i forkant. Metodene som velges bort vil stå med 0% for hvor godt de skårer opp mot den foreslåtte metoden. Det er mulig for brukeren å selv sette verdier i matrisene for hvordan underkriteriene skal vektlegges, og dette vil gjøres i fanen Kriterievekt. Her står det en beskrivelse av hvordan verdiene skal fylles ut i matrisene, og en tabell over hva de ulike verdiene representerer. Resultatene av hvordan verktøyet vurderer de ulike metodene vil presenteres nederst på startsidene.

Om ønskelig kan brukeren selv endre verdiene i matrisene for hvordan metodene skårer for hvert underkriterium og beslutningsinput, men dette må gjøres med aktsomhet. Disse verdiene er satt ved å ha alle de aktuelle matrisene for underkriteriet i tankene samtidig, og verdiene som settes må være konsekvente med alle verdiene satt for alle underkriteriene. Dersom brukeren velger å endre noen disse matrisene må brukeren sette seg inn i hvordan resten av matrisene er satt av forfatteren. Det er viktig å være

konsekvent med bruk av for eksempel verdien 9 i matrisene, slik at den endelige prioriteringen blir riktig når de forskjellige inputtene endres, og en annen matrise vil velges.

*Ved noen få tilfeller har det dukket opp en feil i fanen Startside når Excel filen åpnes. Feilen er at i cellene hvor avkryssingsboksene for hvor ledningen befinner seg, og hvor avhukingsboksene for hvilke metoder som skal inkluderes er ikke boksene synlige. Om dette oppstår, kan det enkelt løses ved at man trykker i alle cellene hvor boksene skulle vært, og de vil dukke opp igjen. Det er ikke klart å finne ut av hva som forårsaker denne feilen. Se vedlegg 3 for hvordan startsidene skal opprinnelig se ut.*

## 4.8 Forbedringspotensial

Det er flere forbedringspotensialer ved verktøyet som er utviklet. Det mest fremtredende er å inkludere flere underkriterier, og inkludere flere inputverdier for brukeren. Det var ønsket å inkludere flere faktorer brukeren kunne legge inn, men gjennom arbeidet med oppgaven kom det frem at innhenting av tilstrekkelig gode data om hvordan hver metode påvirkes av andre faktorer var vanskelig. For eksempel faktoren om hvor dypt ledningen befinner seg var ønskelig å inkludere, da dette vil påvirke flere underkriterier, som kostnader, sosiale faktorer i den grad at det kreves større plass for å utføre gravearbeider, og CO2 utslipp som er veldig påvirket av mengde masser som må transporteres. Det ble dessverre ikke funnet god nok informasjon om hvordan forskjellige dybder vil påvirke alle de fem forskjellige metodene innen alle disse underkriteriene, slik at denne faktoren måtte ekskluderes fra verktøyet. Kumreovering er og en faktor som var ønsket inkludert, men da kumreovering kan utføres på så mange forskjellige metoder avhengig av hva som er feilen med den eksisterende kummen, og at disse metodene ikke nødvendigvis henger sammen med hvilken rehabiliteringsmetode som benyttes for rørene ble ikke dette inkludert i verktøyet. Valg av kumrehabiliteringsmetode burde bli etablert som et verktøy.

Videre kan det ønskes å inkludere flere metoder til verktøyet, og ikke kun ha metoder som tar for seg rehabiliteringsmetoder for rehabilitering i eksisterende trasé, men også metoder for legging av nye rør da det finnes mange spennende gravefrie metoder her og. Flere av metodene kan og deles opp i forskjellige utførelsesmetoder, da for eksempel strømpereovering ved bruk av filtstrømper og glassfiberarmert polyester utføres på litt forskjellige metoder, og vil kunne skåre litt forskjellig for flere underkriterier.

Det er satt 950 verdier fordelt på 38 matriser om hvordan hver metode skårer mot hverandre for underkriteriene, gitt forskjellige faktorer. Disse verdien bør settes av en gruppe med mennesker med ekspertise på områdene, og ikke kun av en person som har blitt gjort i denne oppgaven.

Et forbedringspotensial i designet av verktøyet gjør seg synlig hvor inputverdien fra brukeren er nær grensen mellom hvilken matrise som skal benyttes. For kostnader kan brukeren få ganske forskjellige prioriteringsverdier avhengig av om det skrives inn en lengde på 149 meter eller 150 meter. Det optimale hadde vært å regne ut den eksakte kostnaden gitt den nøyaktige inputten, for og så sette opp matrisen med verdiene 1 til 9, eller inkludere enda flere matriser med kortere intervall mellom lengder og diameter.

Det bør utføres en sensitivitetsanalyse av verktøyet. Dette har ikke blitt gjennomført i denne oppgaven.

## 5 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven har vært å utvikle et verktøy som tar hensyn til hvordan ulike rehabiliteringsmetoder utføres og ulike beslutningsvariabler for å foreslå en aktuell rehabiliteringsmetode å benytte. Dette verktøyet er utviklet og er delt i to deler. Den første delen tar for seg hva som er teknisk mulig for de ulike metodene å utføre gjennom et beslutningstre som peker til hvilke metoder som er aktuelle å benytte. Videre skal de aktuelle metodene vurderes i del to som er et multikriterie beslutningsstøtte verktøy i Excel som vurderer metodene opp mot hovedkriteriene økonomiske-, sosiale- og miljøkostnader. Gjennom litteratursøk og intervjuer er det innhentet informasjon og data om hvordan hver metode utføres, og hvordan de skårer for alle underkriteriene som er inkludert i oppgaven. Samt hvordan de skårer innad i hvert underkriterium gitt forskjellige prosjektspesifikke faktorer.

Det kan ikke konkluderes med at en enkelt rehabiliteringsmetode er bedre enn de andre, da de forskjellige påvirkende faktorene vil endre hvordan hver metode skårer og forskjellige kombinasjoner av de ulike faktorene vil peke mot alle de forskjellige metodene i verktøyet. Det det kan konkluderes med er at verktøyet vil anbefale en rehabiliteringsmetode som vil være egnet for det aktuelle prosjektet brukeren setter opp. Ønsket om at beslutningstakere ikke bare skal falle tilbake på metoden konvensjonell graving av tradisjon, men undersøke om andre metoder er bedre egnet for prosjektet blir oppfylt ved å benytte verktøyet, som i stor grad peker til gravefrie metoder for mange av kombinasjonene av input fra brukeren. Ved videre utvikling av verktøyet og at det benyttes kan andelen av gravefrie metoder som benyttes i prosjekter økes betraktelig. Det bør implementeres som et av de første stegene i beslutningstakingsprosessen å benytte dette verktøyet for å raskt kunne få en oversikt over hvilke rehabiliteringsmetoder som egner seg, og hvor godt eller dårlig andre alternativer vil være å benytte.

Videre arbeid bør inkludere å videreutvikle verktøyet ved å se på flere underkriterier som vil påvirke prioriteringen av metodene. Dybde på ledningen er en av disse kriteriene som bør undersøkes, og som vil kunne ha en stor betydning for metodene som delvis og fullstendig involverer gravearbeider. Verktøyet kan og utvides ved å inkludere flere metoder innen rehabiliteringsmetoder benyttet i eksisterende trasé, og metoder som benyttes ved etablering av nye rør i en ny trasé.



# Referanser

- Aas H. N., Killingmo E. og Busk V. (2016) *Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder*. Norsk vann rapport 221.
- Alsadi, A., Matthews, J. C. og Matthews, E. (2020) Environmental Impact Assessment of the Fabrication of Pipe Rehabilitation Materials. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* 11, 05019004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000395](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000395)
- Alsadi, A. A. og Matthews, J. C. (2020) Evaluation of Carbon Footprint of Pipeline Materials during Installation, Operation, and Disposal Phases. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* 11, 04020005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000422](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000422)
- Ammarapala, V., Chinda, T., Pongsayaporn, P., Ratanachot, W., Punthutaecha, K. og Janmonta, K. (2018) Cross-border shipment route selection utilizing analytic hierarchy process (AHP) method. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 40. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2018.3>
- Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. og Sorenson, K. (2001) *Guidebook to Decision-Making Methods*.
- Borgen E. O. og Rogenes H. (2020) *Bærekraftig utvikling av VA-bransjen med NoDig*. Masteroppgave. NTNU Norges Teknisk-naturvitenskaplige universitet.
- Bottero, M. og Peila, D. (2005) The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between microtunnelling and trench excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology* 20, 501–513. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.03.004>
- Buchanan, J. og Vanderpooten, D. (2007) Ranking projects for an electricity utility using ELECTRE III. *International Transactions in Operational Research* 14, 309–323. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2007.00589.x>
- Denscombe, M. (2014) *The Good Research Guide: For Small-Scale Social Research Projects: For Small Scale Research Projects*. Maidenhead, Berkshire: McGraw-Hill Education (Open UP Study Skills). s. 184-203
- Entreprenør 1 (2021a) *Intervjuet av Jacobsen, T.* (26 april 2021).
- Entreprenør 1 (2021b) *Intervjuet av Jacobsen, T.* (6 mai 2021).
- Entreprenør 2 (2021) *Intervjuet av Jacobsen, T.* (18 mai 2021).
- Gilchrist, A. og Allouche, E. N. (2005) Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review. *Tunnelling and Underground Space Technology* 20, 89–104. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.04.003>
- Jacobsen, T. (2020) Rehabiliteringsmetoder for avløpsledninger, muligheter og begrensninger. Prosjektoppgave. NTNU Trondheim

- Jung, Y. J. og Sinha, S. K. (2007) Evaluation of Trenchless Technology Methods for Municipal Infrastructure System. *Journal of Infrastructure Systems* 13, 144–156. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2007\)13:2\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:2(144))
- Kabir, G., Sadiq, R. og Tesfamariam, S. (2014) A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering* 10, 1176–1210. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.795978>
- Lee, J. H., Baek, C. W., Kim, J. H., Jun, H. D. og Jo, D. J. (2009) Development of a Decision Making Support System for Efficient Rehabilitation of Sewer Systems. *Water Resour Manage* 23, 1725–1742. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9349-2>
- Matthews, J. C., Allouche, E. N. og Sterling, R. L. (2015) Social cost impact assessment of pipeline infrastructure projects. *Environmental Impact Assessment Review* 50, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.10.001>
- Norsk Vann (2017) *Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen*. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi\\_2017.pdf](https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi_2017.pdf) (Hentet: 10. desember 2020).
- Norsk Vann (2020) *Tilstandsvurdering av kommunale vann- og avløpstjenester*. (bedreVANN Resultater 2019). Tilgjengelig fra: <https://bedrevann.no/pdf/bedreVANN2019.pdf> (Hentet: 10. desember 2020).
- NTNU (u.å.a) Avanserte litteratursøk. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Avanserte+litteratursøk> (Hentet: 23. februar 2021)
- NTNU (u.å.b) Finne kilder. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder> (Hentet: 12. november 2020)
- Olimb (2015) ABC for gravefri fremtid. 2. opplag. Olimb AS.
- PE100+ Association (2018a) *slip lining process with PE100 pipe*. Tilgjengelig fra: <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/Trenchless/Methods/Pipe-Rehabilitation/Slip-lining-i1306.html> (Hentet: 08. desember 2020).
- PE100+ Association (2018b) *Close Fit Lining: Fold and Form Lining*. Tilgjengelig fra: <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/Trenchless/Methods/Pipe-Rehabilitation/Close-Fit-Lining-Fold-and-Form-Lining-i1314.html> (Hentet: 23. april 2021).
- Saaty, T. L. (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *IJSSCI* 1, 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- SSTT (Scandinavian Society for Trenchless Technology) (2002) *NO-DIG HANDBOOK*.
- Sægrov S. (2014) Ledningsteknologi for vann og avløp, i Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utgave. Norsk Vann, s. 374-409.
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W. og Kleidorfer, M. (2017) Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. *Water* 9, 68. <https://doi.org/10.3390/w9020068>
- VA/Miljø-blad 2 (2018) Renovering av kum. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 03. desember 2020)

VA/Miljø-blad 3 (2017) Renovering med innføring av kontinuerlige rør. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 03. november 2020)

VA/Miljø-blad 5 (2016) Grøfteutførelse fleksible rør. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. desember 2020)

VA/Miljø-blad 6 (2016) Grøfteutførelse stive rør. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. desember 2020)

VA/Miljø-blad 71 (2006) Høytrykksspyling av trykkløse avløpsledninger. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 10. desember 2020)

VA/Miljø-blad 90 (2009) NoDig-metoder for hovedledninger – Metodeoversikt. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

VA/Miljø-blad 91 (2018) Strømperenovering av avløpssystem. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. november 2020)

VA/Miljø-blad 97 (2016) Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

VA/Miljø-blad 110 (2015) Renovering av VA-ledninger ved utblokking. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

Wolfram Research, Inc. (2021) *Wolfram|Alpha Online Eigenvalue Calculator*. Tilgjengelig fra: <https://www.wolframalpha.com/calculators/eigenvalue-calculator> (Hentet: 11. mai 2021).

Ødegaard, H. (red.) (2014) *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utgave. Norsk vann.



# Vedlegg

Her vil relevante vedlegg være tilgjengelig. Først er beslutningstreet lagt med som en PDF-fil, før en forklaring på hvor verdier i utregningstabellen er hentet fra. Videre vil det vises utklipp fra relevante faner i Excel verktøyet. Det er inkludert kun et utklipp fra Fix fanene da disse har samme oppbygging som de andre underkriterium fanene, men med formler i hver celle. PrioriteringFix fan er heller ikke inkludert da denne er identisk med Prioritering fanen, men forskjellen er at verdiene hentes fra Fix fanene for underkriteriene og ikke de andre.

**Vedlegg 1:** Beslutningstreet

**Vedlegg 2:** Forklaring på utregningstabell

**Vedlegg 3:** Utklipp av Startside fanen

**Vedlegg 4:** Utklipp av Kriterievekt fanen

**Vedlegg 5:** Utklipp av Input fanen

**Vedlegg 6:** Utklipp av Økonomi fanen

**Vedlegg 7:** Utklipp av Stikk og kum fanen

**Vedlegg 8:** Utklipp av Sosiale fanen

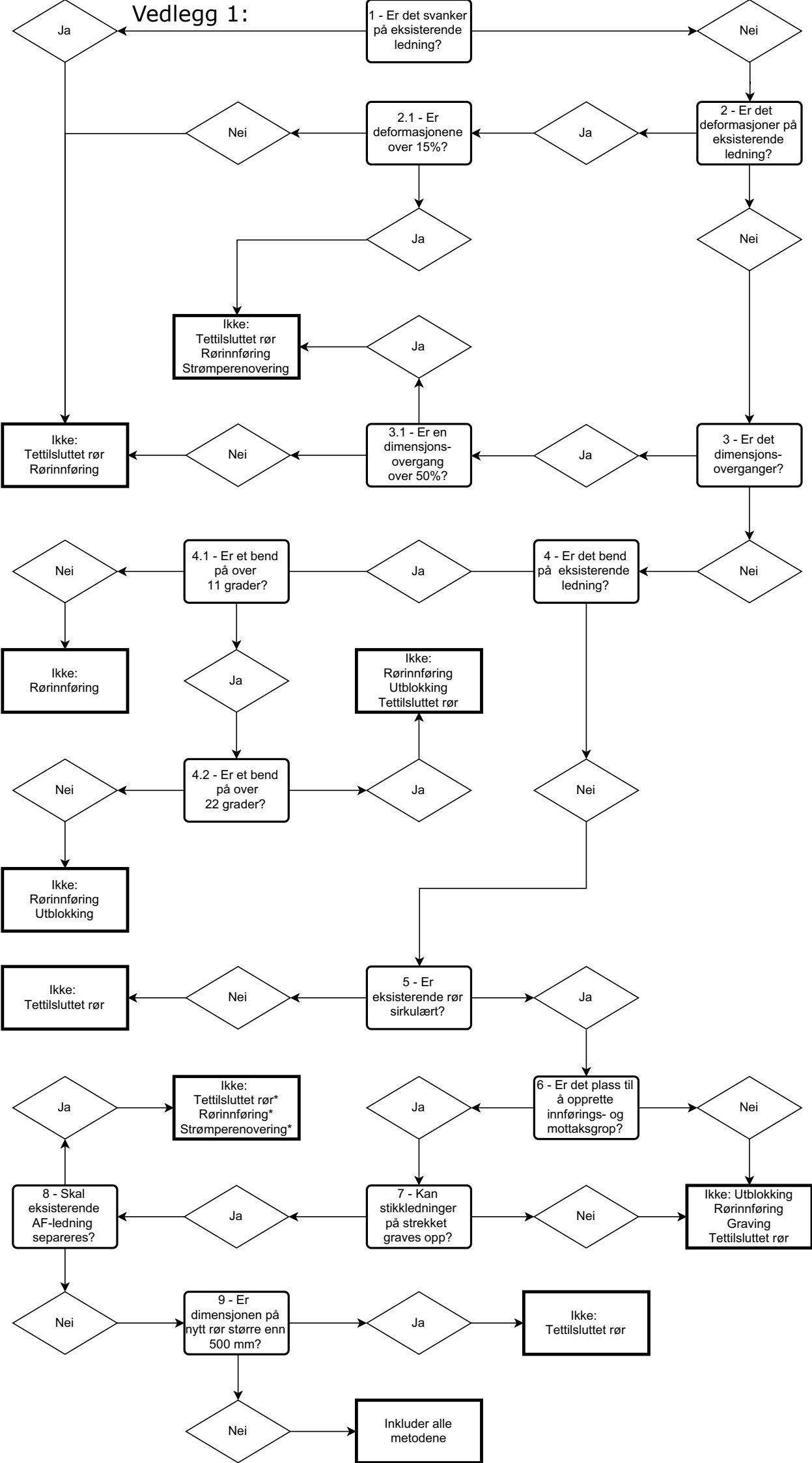
**Vedlegg 9:** Utklipp av Miljø fanen

**Vedlegg 10:** Utklipp av Prioritering fanen

**Vedlegg 11:** Utklipp av ØkonomiFix fanen, med tetteilsluttet som uaktuell metode

**Vedlegg 12:** Prosjektoppgaven (Jacobsen, 2021)

# Vedlegg 1:





### Vedlegg 3:

Hvor mye skal de forskjellige aspektene vektlegges?

Økonomi	60 %
Sosiale	20 %
Miljø	20 %

OK

Input her

Lengde som skal renoveres	m	200
Diameter	mm	200
Antall stikkledninger	antall	20

Hvor befinner ledningen seg

Valg

Urbant strøk  
 Bebygd strøk  
 Ubebygd strøk

Hvilke metoder skal være med? (etter å ha gjennomført beslutningstreet)

huk av

<input checked="" type="checkbox"/> Utblokkning
<input checked="" type="checkbox"/> Strømperenovering
<input checked="" type="checkbox"/> Tettisluttet rør
<input checked="" type="checkbox"/> Rørrinnføring
<input checked="" type="checkbox"/> Konvensjonell graving

Foreslått metode:

Strømperenovering
-------------------

Alternative metoder med prosentandel av hvor godt de scorer opp mot den foreslåtte metoden

Rørrinnføring	50 %
Tettisluttet rør	41 %
Konvensjonell graving	30 %
Utblokkning	22 %

Hva de ulike metodene scorer opp mot hverandre for hvert underkriterium:

Metode	Installasjon	Stikk	Trafikk	Bedrifter	Lukt	CO2
Strømperenovering	100 %	54 %	100 %	100 %	25 %	100 %
Rørrinnføring	63 %	19 %	27 %	22 %	100 %	52 %
Tettisluttet rør	37 %	19 %	41 %	41 %	100 %	52 %
Konvensjonell graving	18 %	100 %	7 %	6 %	100 %	9 %
Utblokkning	7 %	19 %	27 %	22 %	100 %	52 %



## Vedlegg 4:

Dette er matrisene som bestemmer vektingen av underkriteriene innenfor hvert hovedkriterium. Verdiene i disse matrisene kan endres på hvis det ønskes en annen vektlegging. Det er kun cellene med grønn farge som kan endres, cellene med rød farge vil endre seg etter hva som blir fylt inn i de grønne cellene.

Verdien i en rute i matrisen forteller om hvor mye viktigere det vertikale kriteriet er enn det horisontale kriteriet. Hvis det er motsatt skal den inverse verdien settes. Eksempel 1/3 eller 1/5 ...

Tabellen under viser hva hver tallverdi i matrisen representerer.

Semantisk skala	Tallverdi
En faktor er like viktig som den andre	1
En faktor er svakt viktigere enn den andre	3
En faktor er sterkt viktigere enn den andre	5
En faktor er veldig sterkt viktigere enn den andre	7
En faktor er absolutt viktigere enn den andre	9

ØKONOMI	Installasjon	Stikk	Prioritering
Installasjon	1	3	0,750
stikk	1/3	1	0,250
		TOT sum	5,333

SOSIALE	trafikk	bedrifter	lukt	Prioritering
trafikk	1	2	7	0,505
bedrifter	1/2	1	7	0,430
lukt	1/7	1/7	1	0,065
		TOT sum		19,786

MILJØ	CO2	Prioritering
CO2	1	1,000
	TOT sum	1,000



## Vedlegg 6:

LENGDE	0-49					
dim 0-149						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/8	1/3	1/6	1/9	0,025
strømpe	8	1	8	7	1/2	0,355
tettisluttet	3	1/8	1	1/4	1/8	0,065
rørinnføring	6	1/7	4	1	1/7	0,164
graving	9	2	8	7	1	0,391
					tot SUM	69,022
dim 150-299						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/8	1/3	1/5	1/9	0,025
strømpe	8	1	8	7	1/4	0,347
tettisluttet	3	1/8	1	1/3	1/8	0,066
rørinnføring	5	1/7	3	1	1/8	0,133
graving	9	4	8	8	1	0,429
					tot SUM	69,871
dim 300-599						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/7	1/3	1/3	1/9	0,029
strømpe	7	1	6	6	1/7	0,302
tettisluttet	3	1/6	1	1	1/9	0,079
rørinnføring	3	1/6	1	1	1/8	0,079
graving	9	7	9	8	1	0,510
					tot SUM	66,633
dim 600-999						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/5	1	1/2	1/9	0,055
strømpe	5	1	1	4	1/8	0,217
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,097
rørinnføring	2	1/4	1	1	1/9	0,085
graving	9	8	1	9	1	0,546
					tot SUM	51,297
dim 1000-2000						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/3	1	1	1/9	0,072
strømpe	3	1	1	2	1/9	0,148
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,104
rørinnføring	1	1/2	1	1	1/9	0,075
graving	9	9	1	9	1	0,602
					tot SUM	48,167

LENGDE	50-149						
dim 0-149							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/8	1/3	1/6	1/6	0,029	
strømpe	8	1	8	7	6	0,486	
tettisluttet	3	1/8	1	1/4	1/5	0,074	
rørinnføring	6	1/7	4	1	1	0,197	
graving	6	1/6	5	1	1	0,213	
					tot SUM	61,676	
dim 150-299							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/8	1/3	1/5	1/7	0,029	
strømpe	8	1	8	7	6	0,476	
tettisluttet	3	1/8	1	1/3	1/5	0,074	
rørinnføring	5	1/7	3	1	1/4	0,149	
graving	7	1/6	5	4	1	0,272	
					tot SUM	63,019	
dim 300-599							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/7	1/3	1/3	1/7	0,036	
strømpe	7	1	6	6	1	0,384	
tettisluttet	3	1/6	1	1	1/6	0,098	
rørinnføring	3	1/6	1	1	1/6	0,098	
graving	7	1	6	6	1	0,384	
					tot SUM	54,619	
dim 600-999							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/5	1	1/2	1/7	0,064	
strømpe	5	1	1	4	1/5	0,252	
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,113	
rørinnføring	2	1/4	1	1	1/7	0,099	
graving	7	5	1	7	1	0,473	
					tot SUM	44,436	
dim 1000-2000							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/3	1	1	1/8	0,078	
strømpe	3	1	1	2	1/7	0,162	
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,113	
rørinnføring	1	1/2	1	1	1/8	0,082	
graving	8	7	1	8	1	0,565	
					tot SUM	44,226	

LENGDE	150-399						
dim 0-149							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/8	1/5	1/7	1/2	0,032	
strømpe	8	1	6	4	8	0,441	
tettisluttet	5	1/6	1	1/4	4	0,170	
rørinnføring	7	1/4	4	1	6	0,298	
graving	2	1/8	1/4	1/6	1	0,058	
					tot SUM	61,176	
dim 150-299							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/8	1/5	1/7	1/3	0,031	
strømpe	8	1	6	4	7	0,447	
tettisluttet	5	1/6	1	1/3	3	0,163	
rørinnføring	7	1/4	3	1	5	0,279	
graving	3	1/7	1/3	1/5	1	0,080	
					tot SUM	58,227	
dim 300-599							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/6	1/5	1/5	1/4	0,042	
strømpe	6	1	2	1	4	0,324	
tettisluttet	5	1/2	1	1	3	0,243	
rørinnføring	5	1	1	1	3	0,254	
graving	4	1/4	1/3	1/3	1	0,137	
					tot SUM	43,233	
dim 600-999							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/3	1	1/5	1/5	0,077	
strømpe	3	1	1	1/3	1/3	0,160	
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,141	
rørinnføring	5	3	1	1	1	0,311	
graving	5	3	1	1	1	0,311	
					tot SUM	35,400	
dim 1000-2000							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1	1	1/4	1/6	0,085	
strømpe	1	1	1	1/4	1/6	0,085	
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,125	
rørinnføring	4	4	1	1	1/4	0,256	
graving	6	6	1	4	1	0,449	
					tot SUM	40,083	

LENGDE	400-999						
dim 0-149							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/7	1/3	1/6	1	0,047	
strømpe	7	1	6	4	7	0,447	
tetttilsluttet	3	1/6	1	1/4	4	0,151	
rørinnføring	6	1/4	4	1	6	0,309	
graving	1	1/7	1/4	1/6	1	0,046	
					tot SUM	55,869	
dim 150-299							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/7	1/4	1/5	1/2	0,039	
strømpe	7	1	6	4	7	0,467	
tetttilsluttet	4	1/6	1	1/3	3	0,159	
rørinnføring	5	1/4	3	1	5	0,266	
graving	2	1/7	1/3	1/5	1	0,069	
					tot SUM	53,519	
dim 300-599							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1/4	1/3	1/4	1/3	0,062	
strømpe	4	1	2	1	3	0,314	
tetttilsluttet	3	1/2	1	1	2	0,214	
rørinnføring	4	1	1	1	2	0,257	
graving	3	1/3	1/2	1/2	1	0,152	
					tot SUM	35,000	
dim 600-999							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	1	1	1/3	1/4	0,113	
strømpe	1	1	1	1/3	1/3	0,115	
tetttilsluttet	1	1	1	1	1	0,157	
rørinnføring	3	3	1	1	1/2	0,268	
graving	4	3	1	2	1	0,346	
					tot SUM	31,750	
dim 1000-2000							
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering	
utblokking	1	2	1	1/3	1/6	0,113	
strømpe	1/2	1	1	1/4	1/6	0,074	
tetttilsluttet	1	1	1	1	1	0,126	
rørinnføring	3	4	1	1	1/4	0,233	
graving	6	6	1	4	1	0,454	
					tot SUM	39,667	

LENGDE	1000-2000					
dim 0-149						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/7	1/3	1/6	1/2	0,040
strømpe	7	1	6	4	7	0,466
tetttilsluttet	3	1/6	1	1/4	2	0,120
rørinnføring	6	1/4	4	1	5	0,303
graving	2	1/7	1/2	1/5	1	0,072
					tot SUM	53,652
dim 150-299						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/7	1/4	1/5	1/3	0,038
strømpe	7	1	6	4	6	0,478
tetttilsluttet	4	1/6	1	1/3	1	0,130
rørinnføring	5	1/4	3	1	3	0,244
graving	3	1/6	1	1/3	1	0,110
					tot SUM	50,176
dim 300-599						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/4	1/3	1/4	1/4	0,062
strømpe	4	1	2	1	1	0,268
tetttilsluttet	3	1/2	1	1	1	0,194
rørinnføring	4	1	1	1	1	0,238
graving	4	1	1	1	1	0,238
					tot SUM	33,583
dim 600-999						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1	1	1/3	1/5	0,103
strømpe	1	1	1	1/3	1/4	0,104
tetttilsluttet	1	1	1	1	1	0,145
rørinnføring	3	3	1	1	1/3	0,242
graving	5	4	1	3	1	0,406
					tot SUM	34,450
dim 1000-2000						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	2	1	1/3	1/6	0,108
strømpe	1/2	1	1	1/4	1/7	0,070
tetttilsluttet	1	1	1	1	1	0,120
rørinnføring	3	4	1	1	1/5	0,221
graving	6	7	1	5	1	0,481
					tot SUM	41,593

## Vedlegg 7:

0-6 stikk/100m						
STIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/2	1	1	1/3	0,124
strømpe	2	1	2	2	1/2	0,242
tetttilsluttet	1	1/2	1	1	1/3	0,124
rørinnføring	1	1/2	1	1	1/3	0,124
graving	3	2	3	3	1	0,387
					tot SUM	31,000
7-12 stikk/100m						
STIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/3	1	1	1/5	0,088
strømpe	3	1	3	3	1/3	0,259
tetttilsluttet	1	1/3	1	1	1/5	0,088
rørinnføring	1	1/3	1	1	1/5	0,088
graving	5	3	5	5	1	0,476
					tot SUM	39,933
13-18 stikk/100m						
STIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	2	1	1	1/7	0,110
strømpe	1/2	1	4	4	1/3	0,210
tetttilsluttet	1	1/4	1	1	1/7	0,073
rørinnføring	1	1/4	1	1	1/7	0,073
graving	7	3	7	7	1	0,535
					tot SUM	46,762
19-24 stikk/100m						
STIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/6	1	1	1/8	0,057
strømpe	6	1	6	6	1/4	0,331
tetttilsluttet	1	1/6	1	1	1/8	0,057
rørinnføring	1	1/6	1	1	1/8	0,057
graving	8	4	8	8	1	0,499
					tot SUM	58,125
25-30 stikk/100m						
STIKK	utblokking	strømpe	tetttilsluttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/7	1	1	1/8	0,053
strømpe	7	1	7	7	1/5	0,358
tetttilsluttet	1	1/7	1	1	1/8	0,053
rørinnføring	1	1/7	1	1	1/8	0,053
graving	8	5	8	8	1	0,484
					tot SUM	62,004



## Vedlegg 8:

urbant						
TRAFIKK	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/6	1/2	1	4	0,132
strømpe	6	1	5	6	7	0,496
tettisluttet	2	1/5	1	2	5	0,202
rørinnføring	1	1/6	1/2	1	4	0,132
graving	1/4	1/7	1/5	1/4	1	0,037
					TOT sum	50,376
bebygd						
TRAFIKK	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/4	1/2	1	3	0,144
strømpe	4	1	4	4	5	0,451
tettisluttet	2	1/4	1	2	3	0,207
rørinnføring	1	1/4	1/2	1	3	0,144
graving	1/3	1/5	1/3	1/3	1	0,055
					TOT sum	39,950
ubebygd						
TRAFIKK	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/2	1	1	2	0,188
strømpe	2	1	2	2	3	0,341
tettisluttet	1	1/2	1	1	2	0,188
rørinnføring	1	1/2	1	1	2	0,188
graving	1/2	1/3	1/2	1/2	1	0,097
					TOT sum	29,333

urbant						
BEDRIFTER	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/7	1/3	1	4	0,114
strømpe	7	1	6	7	9	0,527
tettisluttet	3	1/6	1	3	5	0,214
rørinnføring	1	1/7	1/3	1	4	0,114
graving	1/4	1/9	1/5	1/4	1	0,032
					TOT sum	56,930
bebygd						
BEDRIFTER	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/5	1/2	1	3	0,128
strømpe	5	1	5	5	6	0,492
tettisluttet	2	1/5	1	2	4	0,206
rørinnføring	1	1/5	1/2	1	3	0,128
graving	1/3	1/6	1/4	1/3	1	0,047
					TOT sum	44,683
ubebygd						
BEDRIFTER	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1	1	1	1	0,200
strømpe	1	1	1	1	1	0,200
tettisluttet	1	1	1	1	1	0,200
rørinnføring	1	1	1	1	1	0,200
graving	1	1	1	1	1	0,200
					TOT sum	25,000

LUKT						
	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	4	1	1	1	0,235
strømpe	1/4	1	1/4	1/4	1/4	0,059
tettisluttet	1	4	1	1	1	0,235
rørinnføring	1	4	1	1	1	0,235
graving	1	4	1	1	1	0,235
					TOT sum	34,000

**Vedlegg 9:**

CO2	utblokking	strømpe	tettisluttet	rørinnføring	graving	Prioritering
utblokking	1	1/3	1	1	6	0,196
strømpe	3	1	3	3	8	0,378
tettisluttet	1	1/3	1	1	6	0,196
rørinnføring	1	1/3	1	1	6	0,196
graving	1/6	1/8	1/6	1/6	1	0,034
					TOT sum	47,625





**Vedlegg 11:**

LENGDE	0-49					
dim 0-149						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluuttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/8	0	1/6	1/9	0,032
strømpe	8	1	0	7	1/2	0,373
tettisluuttet	0	0	0	0	0	0,000
rørinnføring	6	1/7	0	1	1/7	0,165
graving	9	2	0	7	1	0,430
					tot SUM	44,188
dim 150-299						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluuttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/8	0	1/5	1/9	0,031
strømpe	8	1	0	7	1/4	0,354
tettisluuttet	0	0	0	0	0	0,000
rørinnføring	5	1/7	0	1	1/8	0,136
graving	9	4	0	8	1	0,479
					tot SUM	45,954
dim 300-599						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluuttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/7	0	1/3	1/9	0,035
strømpe	7	1	0	6	1/7	0,314
tettisluuttet	0	0	0	0	0	0,000
rørinnføring	3	1/6	0	1	1/8	0,095
graving	9	7	0	8	1	0,555
					tot SUM	45,022
dim 600-999						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluuttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/5	0	1/2	1/9	0,043
strømpe	5	1	0	4	1/8	0,239
tettisluuttet	0	0	0	0	0	0,000
rørinnføring	2	1/4	0	1	1/9	0,079
graving	9	8	0	9	1	0,638
					tot SUM	42,297
dim 1000-2000						
KOSTNAD	utblokking	strømpe	tettisluuttet	rørinnføring	graving	prioritering
utblokking	1	1/3	0	1	1/9	0,062
strømpe	3	1	0	2	1/9	0,156
tettisluuttet	0	0	0	0	0	0,000
rørinnføring	1	1/2	0	1	1/9	0,067
graving	9	9	0	9	1	0,715
					tot SUM	39,167

Student Thomas Jacobsen

# Rehabiliteringsmetoder for avløpsledninger

Muligheter og begrensninger

Desember 2020

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Prosjektoppgave i TVM4510

## Innholdsfortegnelse

<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>FORKORTELSER</b> .....	<b>3</b>
<b>1 INTRODUKSJON</b> .....	<b>4</b>
<b>2 METODE</b> .....	<b>5</b>
<b>3 REHABILITERINGSMETODER</b> .....	<b>5</b>
3.1 STRUKTURELLE METODER.....	6
3.1.1 <i>Utblokking</i> .....	6
3.1.2 <i>Rørinnføring</i> .....	6
3.2 SEMI-STRUKTURELLE METODER .....	7
3.2.1 <i>Strømperenovering</i> .....	7
3.2.2 <i>Tetttilsluttet rør</i> .....	8
3.3 KONVENSJONELL GRAVING .....	9
<b>4 MULIGHETER OG BEGRENSNINGER</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1 UTBLOKKING</b> .....	<b>9</b>
4.1.1 <i>Dimensjonsområde</i> .....	9
4.1.2 <i>Utforming av eksisterende ledning</i> .....	9
4.1.3 <i>Gravebehov</i> .....	10
4.1.4 <i>Forarbeider</i> .....	10
4.1.5 <i>Spesielt for metoden</i> .....	11
<b>4.2 RØRINNFORING</b> .....	<b>11</b>
4.2.1 <i>Dimensjonsområde</i> .....	11
4.2.2 <i>Utforming av eksisterende ledning</i> .....	11
4.2.3 <i>Gravebehov</i> .....	12
4.2.4 <i>Forarbeid</i> .....	12
4.2.5 <i>Spesielt for metoden</i> .....	12
<b>4.3 STRØMPERENOVERING</b> .....	<b>12</b>
4.3.1 <i>Dimensjonsområde</i> .....	12
4.3.2 <i>Utforming av eksisterende ledning</i> .....	13
4.3.3 <i>Gravebehov</i> .....	13
4.3.4 <i>Forarbeider</i> .....	13
4.3.5 <i>Spesielt for metoden</i> .....	14
<b>4.4 TETTILSLUTTET RØR</b> .....	<b>14</b>
4.4.1 <i>Dimensjonsområde</i> .....	14
4.4.2 <i>Utforming av eksisterende ledning</i> .....	14
4.4.3 <i>Gravebehov</i> .....	14
4.4.4 <i>Forarbeider</i> .....	15
4.4.5 <i>Spesielt for metoden</i> .....	15
<b>4.5 KONVENSJONELL GRAVING</b> .....	<b>15</b>
4.5.1 <i>Dimensjonsområde</i> .....	15
4.5.2 <i>Utforming av eksisterende ledning</i> .....	15
4.5.3 <i>Forarbeid</i> .....	16
4.5.4 <i>Spesielt for metoden</i> .....	16
<b>5 SAMMENLIGNING</b> .....	<b>16</b>
<b>6 KONKLUSJON</b> .....	<b>20</b>
<b>REFERANSER</b> .....	<b>21</b>



## Sammendrag

For å ha en bærekraftig avløpssektor er det nødvendig å utføre tilstrekkelig med rehabilitering av avløpsledninger. Det ble vedtatt at avløpsledningsnettets skal ha en gjennomsnittlig fornyelsestakt på 1,0% i året i Norge frem til 2040, i dag ligger landsgjennomsnittet på 0,64%. Dette er et godt stykke unna ønsket nivå, og muligheten til å ha et bæredyktig avløpsnett. For å kunne hjelpe på situasjonen er det viktig å kunne ta rette beslutninger når det skal velges hvilken rehabiliteringsmetode som skal benyttes. Et godt grunnlag og informasjon om flere relevante alternativer vil kunne spare både tid og penger for ledningseier, og hjelpe med å øke fornyelsestakten.

Denne oppgaven tar for seg rehabiliteringsmetodene utblokking, rørrinnføring, strømpereovering, tetttilsluttet rør og konvensjonell graving. Hver metode presenteres og relevante tekniske data om hva som er metodens muligheter og begrensninger vil bli nevnt. For å innhente informasjon er det gjennomført et litteratursøk og mye litteratur er skaffet gjennom samtaler med autoriserte fagpersoner på NTNU og i VA-bransjen. Resultatene fra informasjonen hentet inn viser at de gravefrie rehabiliteringsmetodene kan benyttes for et vidt spekter av prosjekter, der noen kommer til kort for gitte krav er det andre som oppfyller disse. Av dette konkluderes det med at gravefrie metoder bør vurderes i alle rehabiliteringsprosjekter.

Oppgaven legger grunnlaget for en masteroppgave som skrives våren 2021 som skal ende opp i et beslutningsverktøy som tar hensyn til flere kriterier for å velge riktig rehabiliteringsmetode å benytte for avløpsrehabilitering.

## Abstract

In order to have a sustainable sewer sector it is necessary to carry out sufficient amount of rehabilitation of sewer pipes. It was decided that the sewer network will have to have an average renewal rate of 1,0% per year in Norway until 2040, today the national average is 0,64%. This is a good distance away from the desired level, and the opportunity to have a sustainable sewer network. In order to be able to help with the situation it is important to be able to make the right decisions when choosing which rehabilitation method to use. A good foundation and information about several relevant alternatives will be able to save both time and money for the sewer line owner and help increase the pace of renewal.

This assignment deals with the rehabilitation methods pipe-bursting, relining, cured in place pipes, sliplining and traditional digging. Each method is presented and the relevant technical data on what are the method's possibilities and limitations will be mentioned. In order to obtain information a literature search has been carried out and a lot of literature has been obtained through conversations with authorized professionals at NTNU and in the water and wastewater industry. The results from the information obtained show that NoDig rehabilitation methods can be used for a wide range of projects, and where some fall short for given requirements, others meet these. From this it is concluded that NoDig methods should be considered in all rehabilitation projects.

The assignment lays the foundation for a master's thesis that are to be written in the spring of 2021, which will end up in a multi-criteria decision tool that take into account several criteria for choosing the right rehabilitation method to utilize for sewer rehabilitation.

## Forkortelser

AF	Avløp-felles
C	Sikkerhetsfaktor
DN	Nominell diameter
FN	De Forente Nasjoner
OV	Overvann
PE	Polyetylen
PP	Polypropylene
PVC	Polyvinylklorid
SP	Spillvann
RC	Resistant to Crack
SDR	Standard Dimension Ratio
$SN_{\text{korttid}}$	Korttids ringstivhet
$S_{\text{langtid}}$	Langtids ringstivhet
SSTT	Scandinavian Society for Trenchless Technology
t	Tykkelse, strømpetykkelse
VA	Vann og avløp

## 1 Introduksjon

Norsk Vann vedtok i 2017 flere delmål for å kunne sikre bærekraft innen bransjen, og er forankret i FNs bærekraftsmål frem mot 2030. Delmål 4.2 sier at bransjen som helhet skal redusere andelen fremmedvann som når avløpsrenseanleggene med 30% innen 2030. Delmål 5 sier at avløpsledningsnettets skal på nasjonalt nivå ha en gjennomsnittlig fornyelsestakt på 1,0% frem til 2040. (Norsk Vann, 2017)

bedreVANN er et fellesskap for kommuner i Norge for å produsere nasjonal og kommunal statistikk for forbedring av VA-bransjen. 72% av innbyggerne i Norge som er tilkoblet det kommunale nettet er representert i bedreVANN. I kommuner tilknyttet bedreVANN var fornyelsen av avløpsledninger på 0,82% i snitt. Landsgjennomsnittet lå på 0,61% for 2019 (Norsk Vann, 2020). Dette er et godt stykke unna målet på 1,0% i snitt på nasjonalt nivå. Det vil være nødvendig å sette et større fokus på rehabilitering av avløpsledninger for å kunne nå målene for å ha et bærekraftig nivå. Benyttelse av gravefri ledningsfornyelse er veldig lav, kun 19 av de 76 kommunene tilknyttet rapporten kunne vise til å ha benyttet gravefri ledningsfornyelse på spillvannsnettet de siste tre årene (Norsk Vann, 2020). Dette viser at konvensjonell graving er den klart mest utbredte metoden som benyttes for rehabilitering av avløpsledninger.

Denne oppgaven vil fokusere på rehabilitering av eksisterende rør. Legging av nye rør ved å opprette en ny trase, og punktreparasjoner vil ikke bli diskutert. Videre vil selvfølgelig trykkløse rør være hovedfokuset, men flere av metodene som nevnes vil kunne benyttes for trykkavløp også, da ved bruk av andre og/eller sterkere materialer. Det ligger mange kriterier til grunn når man velger rehabiliteringsmetode, og noen av de mest relevante vil bli diskutert her. Kostnaden ved valg av metode er kanskje det kriteriet med størst tyngde, men vil ikke bli diskutert her. Dette vil undersøkes og kostnadsestimater for hver metode vil bli funnet i videre arbeid som denne oppgaven vil ende opp i. Videre begrensninger gjort i denne oppgaven er at rehabilitering av kummer og sammenkoblinger til kummer vil ikke bli vurdert. Dette vil og undersøkes i masteroppgaven denne oppgaven legger grunnlaget for. Hovedfokuset for oppgaven vil dreie seg om norske forhold og norske krav. Da de norske kravene anses som konservative, vil funn her mest sannsynlig kunne benyttes internasjonalt uten store endringer.

De sosiale kostnadene kan i stor grad knyttes til hvor store gravebehov hver enkelt metode krever. Utfordringer knyttet til trafikk, innvirkninger på miljøet og omgivelsene samt ulemper for lokale bedrifter, industri og beboere henger sammen med hvor stort gravebehovet er. I denne oppgaven belyses hvor stort gravebehovet er for de aktuelle metodene, og ved å minimere dette vil man kunne unngå mange sosiale kostnader.

Statistikk fra Bergen kommune viser at gravefrie løsninger har normalt mellom 20 og 80 prosent lavere pris enn konvensjonell graving (Olimb, 2015). Konvensjonell graving er dyrt og tidkrevende, ved å sette fokus på alternative metoder og hvilke beslutningskriterier disse oppfyller vil man kunne øke andelen av rehabiliteringsprosjekter som ikke benytter konvensjonell graving og vil kunne være både tid- og kostnadsbesparende i tillegg til å minke stresset på miljøet og omgivelsene. Teorien i denne prosjektoppgaven vil legge grunnlaget for et beslutningsverktøy som skal kunne benyttes som beslutningshjelp for beslutningstakere når det skal velges hvilken rehabiliteringsmetode som skal benyttes.

For denne oppgaven vil problemstillingen som skal besvares være:

Hvordan rehabiliteringsmetodene utblokking, rørinnføring, strømperenovering, tetttilsluttet rør og konvensjonell graving utføres, hvilke kvaliteter de innehar, og hva deres fordeler og ulemper er?

## 2 Metode

Hovedformålet med denne oppgaven er å legge et informasjonsgrunnlag for videre arbeid mot et beslutningsverktøy så arbeidet med denne oppgaven har gått ut på å samle informasjon og tekniske data for de valgte rehabiliteringsmetodene.

VA/Miljø-blad har fått stor betydning i denne oppgaven, da disse ofte benyttes som grunnlag for beslutninger i Norge. Bladene bygger på de nasjonale og europeiske standardene, med norske krav bygget inn. Ta VA-normen til Nedre Romerike som eksempel. Dette er VA-normen til kommunene Lillestrøm, Gjerdrum, Nittedal, Lørenskog, Rælingen, Enebakk, Aurskog-Høland, Flateby vannverk SA, Kirkebygden og Ytre Enebakk vannverk SA. Her refererer alle beslutningskriterier til aktuelt VA/Miljø-blad (VA-norm for Nedre Romerike, 2020).

Videre litteratur er samlet inn fra litteratursøk og gjennom samtaler med autoriserte fagpersoner på NTNU og i VA-bransjen. Teknikken "snowballing" er benyttet hvor det tas utgangspunkt i litteratur allerede skaffet og ved å vurdere dens referanser som relevante.

Konkret informasjon fra utførende entreprenører har vært til dels en utfordring, da dette ofte ikke er tilgjengelig offentlig, og det er et ønske om et spesifikt prosjekt/problemstilling for å kunne anslå visse faktorer. Anslag om utførelsestid og kostnader vil være spesielt for hvert enkelt prosjekt og dets forutsetninger slik at informasjon om dette har vært vanskelig eller uopnåelig å anskaffe for de aktuelle metodene.

Nyhets saker har blitt tilegnet gjennom generelle søk i google, eller ved besøk av relevante nettsteder for VA-bransjen.

## 3 Rehabiliteringsmetoder

Rehabiliteringsmetoder for VA-ledninger kan deles inn tre underkategorier, disse er strukturelle, semi-strukturelle og ikke-strukturelle metoder. Det som skiller de fra hverandre er hvor avhengig det nye røret eller renoveringsproduktet er fra det eksisterende røret for å motstå opptredende krefter under sin levetid (Sægrov, 2014)

Metoder	Strukturelle metoder	Semi-strukturelle metoder	Ikke-strukturelle metoder
Rørtrykking/nytt rør	x		
Boring i løsmasser/nytt rør	x		
Boring i fjell eller kombinasjonsmasser/nytt rør	x		
Rørinnføring("relining")/nytt rør	x		
Utblokking/nytt rør	x		

Strømperenovering		x	
Tett-tilsluttet rør		x	
Belegg (kun for vannledninger)		(x)	x

(Tabell 13.8, s.402, Sægrov, 2014)

I denne oppgaven vil kun metodene rørrinnføring, utblokking, strømperenovering og tetttilsluttet rør bli vurdert.

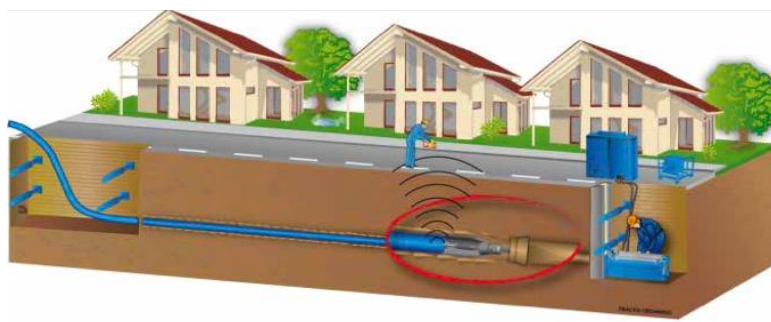
### 3.1 Strukturelle metoder

Strukturelle rehabiliteringsmetoder er metoder hvor det nye røret eller rehabiliteringsproduktet kan stå imot opptredende krefter gjennom hele levetiden uten støtte fra eksisterende rør (Sægrov, 2014). Her vil metodene rørrinnføring og utblokking beskrives videre.

#### 3.1.1 Utblokking

Utblokking er en teknikk hvor det gamle røret splittes og blokkes ut, og det nye røret trekkes inn i samme trasé (SSTT, 2002). Utblokking utføres ved å etablere to arbeidsgroper, en for trekkeutstyr og en for innføringen av ny ledning. I mottakergropen trekkes det nye røret gjennom eksisterende ledning, med et utblokkerhode (ekspander) i front, som kan være utstyrt med skjærekniver ved spesielle rørtyper. (Sægrov, 2014) Dette er den eneste rehabiliteringsteknikken hvor man kan oppdimensjonere eksisterende ledning med ny ledning.

Det finnes to metoder for å utføre utblokking, en er pneumatisk utblokking som benytter seg av en slaghammer med luftdrevet stempel som vibrerer kraftig og vibrasjonene forplanter seg slik at det gamle røret knuses, samtidig som en vinsj trekker i motsatt ende. Den andre metoden er statisk utblokking (også kalt hydraulisk utblokking) som benytter et hydraulikkaggregat som driver en trekkerigg nede i mottaksgropa som trekker skjæreutstyret, ekspanderen og nytt rør gjennom eksisterende rør. Statisk utblokking er den metoden som benyttes mest i Norge i dag. (VA/Miljø-blad 110, 2015)

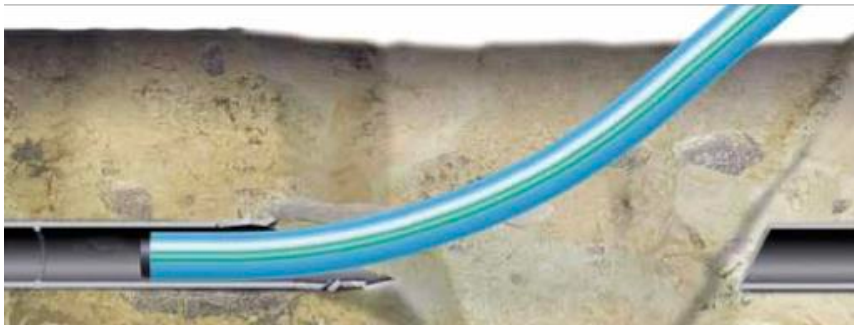


Figur 1: Prinsippskisse for utblokking (Aas et al., 2016)

#### 3.1.2 Rørrinnføring

Rørrinnføring er en metode hvor et nytt rør trekkes inn i eksisterende rør med ferdig sirkulært tverrsnitt. Det benyttes primært helsveiset PE-rør ved fornying av avløpsledninger. Det etableres en innføringsgrop, og en vinsj plasseres i motsatt ende som kan være i en grop eller kum. Det nye røret sveises ferdig over bakken, og legges på ruller for å beskytte mot

skader ved inntrekking før røret trekkes inn med en stålwire. Det anbefales bruk av rør med en PP kappe som beskytter mot riper (Olimb, 2015). Det finnes og en forenklet metode ved rørpressing av kortrør. Kortrørene har lengde på 80-100cm og blir skjøvet inn i eksisterende rør fra kum. Disse har en "not og fjær" skjøt og monteres nede i kummen før de føres videre inn og neste kortrør installeres (VA/Miljø-blad 90, 2009). Nytt rør kan og skyves inn ved hjelp av en skyvemaskin, eller ved hjelp av et skyve/trekke redskap som monteres på en gravemaskin (PE100+ Association, 2018). Hulrommet mellom nytt og gammelt rør bør vurderes utstøpt da det nye røret kan flyte opp dersom det kommer vann inn i eksisterende rør etter leggingen. Ved transport av sedimenter vil dette kunne føre til svanker på det nye røret. (VA/Miljø-blad 90, 2009)



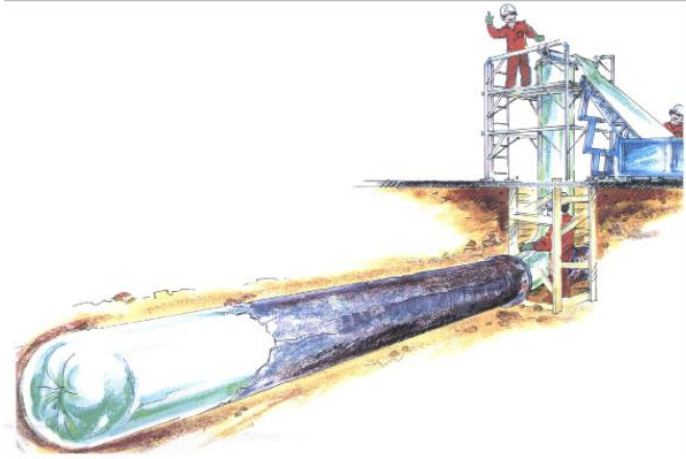
Figur 2: Illustrasjon av rørinnføring (Aas et al., 2016)

### 3.2 Semi-strukturelle metoder

Semi-strukturelle rehabiliteringsmetoder er metoder hvor det nye røret eller renoveringsproduktet vil være delvis avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret for å motstå oppredende krefter gjennom rørets levetid. Her vil metodene strømperenovering og tetttilsluttet rør vurderes videre. Metodene kan vurderes som fullstrukturelle i enkelte tilfeller, men det avhenger av materiale som blir benyttet.

#### 3.2.1 Strømperenovering

Strømperenovering er en metode som oppgraderer eksisterende avløpsledninger. Det er den mest utbredte metoden for fornying av eksisterende avløpsledninger uten graving. (Olimb, 2015) Strømpen føres inn i eksisterende ledning og herdes mot eksisterende rørvegg. Installasjonen skjer via kummer eller innvendig fra hus. Strømpene består av filt som er mettet i epoxy eller polyester som herdes ved trykk/damp, eller en glassfiberarmert strømp som herdes med UV-lys. Grennrør skjæres opp ved hjelp av en robot, hvor det plasseres en "hatt" inn i grennrøret som limes til strømpen og føres videre inn i grennrøret. Det kan monteres lengre "hatter" som fornyer en større del av grennrøret (Aas et al., 2016). Innføringen av slike strømper krever liten plass, og utføres ofte fra kum til kum.



Figur 3: Illustrasjon av installasjon av strømpe (VA/Miljø-blad 91, 2018)

### 3.2.2 Tettisluttet rør

Metoden går ut på å føre et nytt foldet eller innsnevret rør inn i eksisterende rør, hvor det nye røret etter inntrekning blir trykksatt og ekspanderer seg ut mot eksisterende rørvegg. Metoden kan regnes som en strukturell eller semi-strukturell metode avhengig av hvilken variant og materiale som benyttes.

Denne metoden utføres i tre varianter:

- Sammenfoldet fra fabrikk; Røret sammenfoldes umiddelbart etter produksjon på fabrikk og kveles opp på rull. Når røret ankommer anleggsstedet varmes det opp før innføring. Etter innføring tilføres det trykk og varme slik at røret folder seg ut mot eksisterende rørvegg.
- Slange fra fabrikk; Utforing med en armert slange som enten blir etablert som et permanent rør, eller som trykkes ut mot rørveggen når vann transporteres under trykk. (siste er ikke så relevant for avløpssystemer.)
- Dimensjonsredusering på anleggsstedet; PE-rør sveises sammen på anleggsstedet, før det føres gjennom en tversnittreduksjon, mekanisk endring. Røret føres inn og tilføres trykk og varme som utvider det mot eksisterende rørvegg. (Sægrov, 2014)

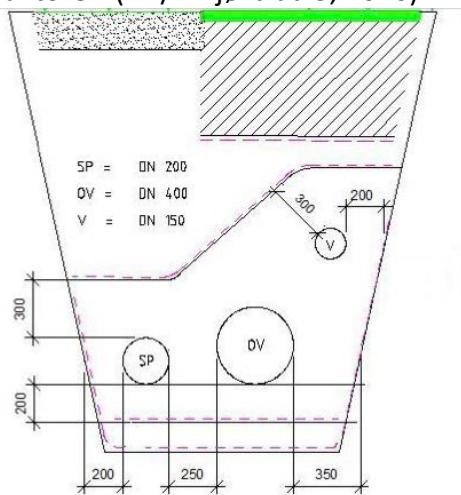
Innføringen av nytt rør vil redusere tverrsnittet, men ofte vil gjennomstrømningsevnen være like god som tidligere på grunn av den glatte overflaten i det nye røret som betyr mindre friksjon inne i røret. (Olimb, 2015)



Figur 4: Sammenfoldet rør fra fabrikk før og etter trykksetting (VA/Miljø-blad 90, 2009)

### 3.3 Konvensjonell graving

Dette er en metode som går ut på å grave opp hele traseen hvor eksisterende ledninger ligger og legge nye rør ned i grøften. Før arbeidet starter skal hensyn til sikkerhet, fremdrift og økonomi vurderes. Grunnforholdene må undersøkes før igangsettelse (VA/Miljø-blad 5, 2016). Ved separering av AF er konvensjonell graving den mest vanlige metoden. Ved bøte grunnforhold og/eller ved store dybder kan konvensjonell graving være umulig å gjennomføre (Sægrov, 2014). Ledningsgrøften kan deles inn i seks forskjellige soner med forskjellige funksjoner. Disse seks er: Overdekning, Beskyttelseslag, Ledningszone, Sidefylling, Øvre fundament og Nedre fundament. Oppbyggingen av disse sonene vil variere avhengig av grunnforholdene, dimensjon på rør, rørmaterialet og andre prosjektspesifikke faktorer. (VA/Miljø-blad 5, 2016)



Figur 5: Eksempel på grøftesnitt. (VA/Miljø-blad 5/6, 2016)

## 4 Muligheter og begrensninger

### 4.1 Utblokking

#### 4.1.1 Dimensjonsområde

I Norge utføres utblokking med dimensjoner fra 75mm opp til 1000mm sier Olimb (2015), VA/Miljø-blad nr. 110 (2015) sier 75mm til 800mm. Metoden er den eneste gravefrie metoden hvor man kan oppdimensjonere eksisterende ledning. For de vanligste ledningsdimensjonene, fra 150mm til 200mm er det mulig å oppnå en dimensjonsøkning på nærmere 100%.

Maksimal lengde på utblokking er ca. 220-230 meter da det er strekkrefter i PE-materialet som er begrensende. (Olimb, 2015)

#### 4.1.2 Utforming av eksisterende ledning

For ledninger med dimensjon større enn 150mm kan bend på opp til 11 grader forseres, ved mindre dimensjoner må alle bend graves opp. (Olimb, 2015) VA/Miljø-blad nr. 110 (2015) nevner at metoden er gjennomførbar for bend opp mot 20 grader, avhengig av ledningsmateriale og dimensjon.

Ikke sirkulære tverrsnitt kan utblokkes, og vil da bli sirkulære etter utblokkingen er gjennomført. Rør med dimensjonsoverganger kan utblokkes til å få samme dimensjon over

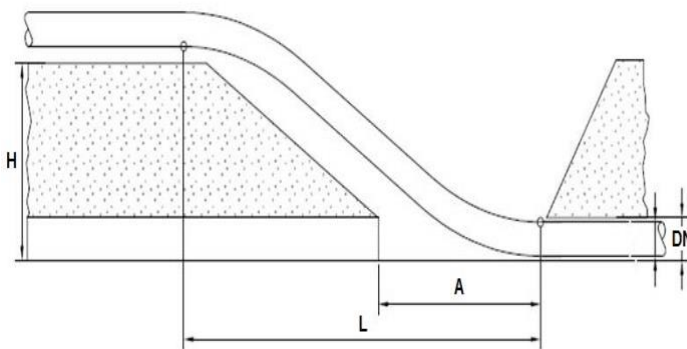


hele strekket, eller kan rehabiliteres med dimensjonsendring underveis. Rør med deformasjoner vil ikke være et problem, og deformasjonene vil fjernes ved utblokking (VA/Miljø-blad 110, 2015). Det vil være nødvendig å lokalisere nærliggende infrastruktur som kabler og parallelle og kryssende ledninger, da metoden vil presse massene rundt røret utover og kan påvirke disse. Mesteparten av massene som blir flyttet på vil gå oppover så infrastrukturen over eksisterende rør er spesielt viktig. Kryssende rør står i større fare for å bli påvirket. Det kan i enkelt tilfeller være aktuelt å strømpereovere parallelle ledninger for å styrke og beskytte disse mot kreftene som følger av utblokking (Olimb, 2015). Hvis eksisterende ledning ligger i trange fjellgrøfter egner det seg ikke med utblokking (Aas et al., 2015).

#### 4.1.3 Gravebehov

##### Innføringsgrop

- For PE rør større enn 180mm kan formelen  $L = T * \sqrt{H * DN}$  benyttes, hvor L er lengde på innføringsgrop, H er grøftedybde, DN er ytre diameter på røret, og T er korreksjonsfaktor for temperatur. T har følgende verdi for temperaturer; T=10 ved 20°C, T=13 ved 10°C, T=16 ved 0°C, T=19 ved -10°C. (VA/Miljø-blad 97, 2016)



Figur 6: Snitt av innføringsgrop for utblokking og rørrinnføring (VA/Miljø-blad 110, 2015)

##### Mottaksgrop

- Mottaksgropen må ha tilstrekkelig størrelse slik at det er plass til trekkeriggen og arbeidet som skal utføres. Trekkestagene demonteres etter hvert som installasjonen gjennomføres slik at det må være plass til å føre trekkestagene helt gjennom før neste går gjennom trekkeriggen (VA/Miljø-blad 110, 2015).

For ledninger under 150mm må alle bend graves opp. Alle stikkledninger må også graves opp i koblingspunktet. (Olimb, 2015)

#### 4.1.4 Forarbeider

Eksisterende rør bør inspiseres for å få oversikt over situasjonen inne i røret før utblokkingen starter. Lokalisering av omkringliggende ledninger og kabler er nødvendig å få kontroll over, da utblokking vil flytte på massene rundt røret. Det må vurderes om nærliggende ledninger bør reoveres i forkant av utblokkingen for å kunne motstå krefter som oppstår ved utblokkingsprosessen. (Olimb, 2015) Vann og avløpsledninger i det aktuelle strekket vil bli satt ut av drift, slik at det er nødvendig å etablere provisoriske løsninger. Dette innebærer ofte overpumping av avløpsvannet. Brannberedskapen i arbeidsperioden må også vurderes. (Olimb, 2015).

Eksisterende kummer som skal beholdes må forberedes ved fjerning av armaturer, og hull i kummene må utvides til ønsket dimensjon (Olimb, 2015)

Nytt rør kobles/speilsveises sammen til et kontinuerlig rør med lengde på strekket som skal utblokkes. Røret bør legges på ruller for å hindre riper på røret ved inntrekking (VA/Miljøblad 110, 2015)

#### 4.1.5 Spesielt for metoden

Ved gunstige forhold kan ledningsstrekke på 100-200 meter utblokkes på en dag. (Olimb, 2015) VA/Miljøblad nr 110 (2015) sier at rør opp mot 200 meter installeres normalt innen 2-4 timer. Videre er det nødvendig med en stabiliseringstid på et døgn før arbeider med tilkobling, forankring og sammenkoblinger starter.

Utblokking gir muligheten for separering av eksisterende AF-ledning ved inntrekking av ny SP- og OV-ledning. Her vil tilgjengelig fall på eksisterende ledning være viktig, og det er nødvendig med minimum 10 promille fall. Den vanligste installasjonen av separering ved utblokking er å trekke en 125 mm SP og 110 mm OV inn i en 225mm AF-ledning. (Olimb, 2015)

## 4.2 Rørinnføring

### 4.2.1 Dimensjonsområde

Dimensjon på eksisterende rør vil være det som setter begrensning for dimensjonen på nytt rør. Nytt rør ha så høy dimensjon som er tillatt i nytt rør for å motvirke eventuelle oppflytning av nytt rør skapt av vann i det gamle røret. Det må forventes at det gamle røret kan kollapse, ved for stor spalte mellom nytt og gammelt rør vil en kollaps av røret kunne føre til innrasing av stein som kan føre til punktlaster på det nye røret, og føre til deformasjoner (VA/Miljøblad 90, 2009). Lengder opp mot 1000 meter kan bli installert under en enkelt utførelse (PE100+ Association, 2018).

Eksisterende ledning $D_i$ (innvendig diameter)	Ny ledning. PE-rør $D_o$ (utvendig diameter)
100 mm	90 mm (75 mm, 63 mm)*
150 mm	125 mm
200 mm	180 mm
230 mm (9")	200 mm
250 mm	225 mm
300 mm	250 mm
350 mm	315 mm
400 mm	355 mm

\*Bør vurdere reoveringsmetode grunnet utilstrekkelig tverrsnitt som spillvannsledning.

Figur 7: Tabell over anbefalt maks dimensjon for ny ledning ved rørinnføring. (Tabell 3, s.4, VA/Miljøblad 3, 2017)

### 4.2.2 Utforming av eksisterende ledning

Normalt kan ikke bend forseres ved rørinnføring. For ikke-sirkulære rør kan rørinnføring benyttes, men det nye røret vil da bli sirkulært og det må tas hensyn til mellomrommet som oppstår mellom nytt og gammelt rør. Dette skal da støpes ut for å forhindre at nytt rør flyter opp og kan skape svanker ved at sedimenter blir liggende i det gamle røret. For eksisterende

rør med varierende dimensjon eller dimensjonsovergangen kan metoden benyttes, men den minste dimensjonen blir begrensende for størrelsen på nytt rør. Her må det og tas hensyn til tomrommet mellom nytt og gammelt rør, og dette skal støpes igjen. For eksisterende rør med betydelige deformasjoner egner metoden seg ikke. (SSTT, 2002)

#### 4.2.3 Gravebehov

Det er nødvendig å grave opp alle tilkoblinger som skal kobles på det nye røret (VA/Miljø-blad 3, 2017).

Størrelse på innføringsgrop kan regnes ut ved hjelp av formelen benyttet for utblokking og tetttilsluttet rør. For dimensjoner opp til 180mm kan røret leveres på kveil, som gjør at kravet på innføringsgropen reduseres betraktelig. Maks lengde på kveil vil være mellom 250 og 290 meter (VA/Miljø-blad 3, 2017). Ved store dimensjoner og/eller ved dyp leggedybde kan det være nødvendig å speilsveise rørene ved innføringsdybden, her vil det kreves en større innføringsgrop som vil ha tilstrekkelig lengde for rørstykkene som skal sveises sammen (SSTT, 2002).

#### 4.2.4 Forarbeid

Før rørrinnføringen kan starte skal eksisterende ledning inspiseres og rengjøres. Graden av rengjøring er avhengig av dimensjonsforskjellen på nytt og gammelt rør. Det vil ofte være nødvendig med høytrykksspyling av eksisterende ledning. Eksisterende tilkoblinger skal angis for å markere hvor det må graves for å koble til stikkledninger (Olimb, 2015). Det skal trekkes en tolk gjennom ledningstrekket med lik dimensjon som nytt rør, denne skal være minimum 2 meter lang for å ta hensyn til eventuelle krumninger. Etter at tolken er trukket igjennom skal denne inspiseres med hensyn til riper og skader. Riper og skader skal ikke overstige 15% på den installerte PE-ledningen. Dersom tolken har store skader bør ytterligere rengjøring eller en reduksjon av dimensjon på den nye ledningen vurderes. (Olimb, 2015)

#### 4.2.5 Spesielt for metoden

Under rette forhold vil rørrinnføring være den enkleste gravefrie metoden for å rehabilitere avløpsledninger. De ideelle forholdene for rørrinnføring vil være på ledningstrekk som er rette uten noen deformasjoner, ingen eller moderate bend, ingen innstukne rør, og ingen eller moderate forskjøvede skjøter. (PE100+ Association, 2018)

### 4.3 Strømperenovering

#### 4.3.1 Dimensjonsområde

Dimensjonsområdet til strømperenovering avgjøres av type strømpe og hvilket herdeprinsipp som benyttes. Dette bestemmer også maksimum installasjonslengde. For uarmerte strømper herdet med varmt vann, kan det renoveres rør i dimensjonsområdet DN 100 – 2000, med en maks installasjonslengde på inntil 600m. Alle strømper herdet med damp har dimensjonsområdet DN 50-600 for inntil 300m. Armerte strømper herdet med UV-lys har dimensjonsområdet DN 150-1600 for inntil 400m. Uarmerte strømper herdet med UV-lys/LED har dimensjonsområdet DN 100-300 for inntil 100m. (VA/Miljø-blad 91, 2018) Strømperenovering vil føre til en liten reduksjon av eksisterende tverrsnitt.

I Norge er det utviklet en preakseptert løsning hvor ledningseier stiller krav om en selvberende strømpe, som når minimumskravene til kort- og langtids ringstivhet. I Norge er disse kravene:

$SN_{korttid}$  = minimum 5 000 N/m<sup>2</sup> (tre minutter)

$S_{langtid}$  = minimum 2 000 N/m<sup>2</sup> (50 år)

minimum strømpetykkelse,  $t = 3$  mm

Dimensjoneringen i Norge er konservativ slik at strømpenes styrke vil stort sett være oppfylt (VA/Miljø-blad 91, 2018).

#### 4.3.2 Utforming av eksisterende ledning

Kan installeres i bend på opptil 90 grader (Aas et al., 2016). Forsering av bend vil kunne føre til et massoverskudd i innersvingen og et masseunderskudd i yttersvingen. Dette vil føre til folder i innersvingen, samt en mulighet for en spalte mellom eksisterende rørvegg og strømpe i yttersvingen. Bend på under 15 grader vil kunne forseres uten noen folder for de fleste strømtypene. Noen strømpetyper kan forseres betydelig større bend uten problemer (VA/Miljø-blad 91, 2018).

Dimensjonsoverganger på et strekke kan og føre til folder. For armerte, sømløse fleksible strømper kan dimensjonsoverganger på 25-50% forseres. Noen av strømpetyper kan sy inn dimensjonsoverganger (VA/Miljø-blad 91, 2018).

Det er mulig å installere strømpe på strekk med svanker, men her må det vurderes opp mot totalt ledningsfall og det kan ikke være stikkledninger i nærheten av svanken. Installasjonen med svanker er en utfordring da det normalt vil være vann i svanken som ikke har drenert vekk. Det finnes eksempler på strømpereovering hvor det har vært vannfylling > 50% i svanker (VA/Miljø-blad 91, 2018).

Ved deformasjoner som fører til innsnevring på rørtverrsnittet kan deformasjoner på under 15% normalt forseres uten problemer. Ved større deformasjoner kreves det punktutbedring (VA/Miljø-blad 91, 2018).

#### 4.3.3 Gravebehov

Strømpereovering krever opprinnelig ingen gravearbeider, da det normalt utføres fra kum til kum. Stikkledninger åpnes og kobles til ved hjelp av en robot, og påkoblingspunktene kan forstekes ved bruk av en "hatt". (Olimb, 2015)

#### 4.3.4 Forarbeider

Før strømpereovering kan utføres må den aktuelle ledningen inspiseres og renses. Her skal alle tilkoblinger lokaliseres slik at arbeidet med å kutte opp strømpen ved grenrør skjer på riktig sted. Hvis det er deformasjoner, innstukne rør eller røtter som går inn i røret må dette skjæres bort før strømpereoveringen kan skje. Ledningen bør høytrykkspyles og renses før strømpen føres inn (VA/Miljø-blad 91, 2018). Før ledningen inspiseres første gang anbefales en lett rengjøring som sikrer fremkommeligheten til inspeksjonsutstyret. Før ledningsreoveringen skal en grundig rengjøring utføres. Alt skal fjernes, det vil si røtter, utfellinger, avleiringer med mer (VA/Miljø-blad 71, 2006). Punktrepasjoner kan utføres før ledningstrekket strømpereoveres dersom det er nødvendig, enten ved bruk av en lokal strømpe eller ved å grave seg ned ved det aktuelle punktet.

Strømpereovering krever en tørr ledning, slik at det skal ikke gå noe avløpsvann i røret når arbeidet utføres. Dette krever en "plugging" og overpumping av avløpsvannet oppstrøms.

For stikkledninger på strekket benyttes varslingsrutiner ovenfor stikkledningseierne for å hindre uønsket avløpsvann under installasjon. (VA/Miljø-blad 91, 2018)

Da strømperenovering krever tilgang for tunge kjøretøy, må det sikres at det er god adkomst og sikkerhet for disse (VA/Miljø-blad 91, 2018).

#### 4.3.5 Spesielt for metoden

Strømperenovering kan og benyttes på ledninger som er eggeformet, slik at funksjonen til eggeformen blir beholdt. Metoden kan og benyttes i kombinasjon med andre metoder som styrt boring eller konvensjonell gravning. Dette kan benytte for å separere felles-avløp ved å strømperenovere eksisterende AF om til ny OV, og legge en ny SP-ledning. (Olimb, 2015)

## 4.4 Tettisluttet rør

### 4.4.1 Dimensjonsområde

Tettisluttet rør kan leveres i diameter 100mm til 500mm i ulike SDR-klasser. For de mindre dimensjonene 100mm – 150mm kan det leveres lengder opp mot 700m på trommel. For dimensjonene 400mm – 500mm er maks lengde på trommel ca. 100m. Total leggelengde kan være så lang man ønsker, men det er nødvendig å grave opp og sveise skjøter. (Olimb, 2015)

Metoden kan regnes som strukturell ved benyttelse av for eksempel PE100 RC rør. Compact Pipe produsert av Wavin har styrke som et selvstendig rør, med en SDR på 17 som normalt. Wavin har og produsert Compact Pipe med en SDR på 13,6 i kvalitetsklasse PE100RC+ som da gir røret kvalitetene og egenskapene til et fullstrukturelt rør, med en sikkerhetsfaktor på 1,6 som gir ekstra beskyttelse for eventuelle skader under transport, håndtering, installasjon og 100 års drift (VA/Miljø-blad 97, 2016). Dette røret ble for første gang benyttet i Bergen kommune i 2019 hvor det ble rehabilitert en 400m lang vannledning. (SSTT, 2019)

### 4.4.2 Utforming av eksisterende ledning

Retningsendringer kan ikke overstige 22 grader. (Olimb, 2015) Metoden egner seg ikke dersom det er dimensjonsendring på et ledningsstrek mellom to kummer. (Olimb, 2015) (Aas et al., 2016)

### 4.4.3 Gravebehov

Innføringsgrop:

- For mindre dimensjoner kan tettisluttede rør installeres direkte i nedstigningskummer, dersom det er plass. Det er rørets fleksibilitet og tillatte bøyeradius som bestemmer størrelsen på innføringsgropen. for PE rør kan samme formel som ved utblokking benyttes for å bestemme nødvendig lengde på innføringsgropen. Dersom røret leveres på trommel, minker kravet til størrelse på innføringsgropen. (Aas et al., 2016)

Mottaksgrop:

- Kan være en kum, hvor en vinsj trekker fra over overflaten via en trinse. Eller trekkeutstyr som står nede i gropen, typisk størrelse på gropen er da ca 1,5m x 2,0m (Aas et al., 2016)

Alle stikkledninger er nødvendig å grave opp for å kobles til. Olimb (2015) og Aas et al. (2016) nevner at fornyingsmetoden er økonomisk lønnsom dersom antall tilkoblinger ikke overstiger 7-10 stk per 100 meter, avhengig av hvilken dybde ledningene befinner seg på.

#### 4.4.4 Forarbeider

Det er nødvendig å ha oversikt over tilstanden til den eksisterende ledningen før man begynner. Hvilket materiale, når den er lagt, hvor høy bruddfrekvens er det osv. Dette er viktig for å vite om man kan utføre metoden som semi-strukturell, eller om det er nødvendig at det nye røret oppfyller kravene til et nytt fullstrukturelt rør. Ofte er rørene begrodd slik at det ikke er mulig å gjennomføre en rørinspeksjon. I disse tilfellene må røret høytrykk spyles og renses før en rørinspeksjon blir gjennomført. I rørinspeksjonen skal alle grenrør og tilkoblinger markeres, slik at man vet hvor man er nødt til å grave opp for å koble til stikkledninger etter rørfornyelsen. (Olimb, 2015)

#### 4.4.5 Spesielt for metoden

Ledningen må kobles fra stikkledningene før ledningsfornyelsen skal begynne. Dette innebærer at abonnentene på strekket må få provisorisk avløpsløsning i installasjonsperioden. (Olimb, 2015)

### 4.5 Konvensjonell graving

#### 4.5.1 Dimensjonsområde

Grøftens størrelse er det eneste som setter begrensninger for hvilken dimensjon nye rør kan ha. Det stilles krav til lysåpning mellom nye rør, og mellom rør og grøfteside.

Rørdiameter [mm]	Minste avstand <sup>1)</sup>	
	til grøfteside [mm]	mellom rør [mm]
DN ≤ 225	200	200
225 < DN ≤ 350	250	200
350 < DN ≤ 700	350	250
700 < DN ≤ 1200	425	400
1200 < DN	500	500

Figur 8: Krav til minste lysåpning ved konvensjonell graving. (Tabell 2 s.3 VA/Miljø-blad 5, 2016; VA/Miljø-blad 6, 2016)

Det stilles forskjellige krav til fundamenttykkelse avhengig av størrelse på røret, og grunnforhold. Dette er for at større dimensjoner kombinert med harde grunnforhold som fjell kan ha større fare for punktlaster (VA/Miljø-blad 6, 2016). Det stilles og krav til kornstørrelse for fundamentmasser avhengig av rørdimensjon og rørtype. Det skilles her på termoplast, herdeplast, betongrør og stål- og støpejernsrør. (VA/Miljø-blad 5, 2016; VA/Miljø-blad 6, 2016)

#### 4.5.2 Utforming av eksisterende ledning

Utformingen av eksisterende ledning setter ingen begrensninger på om konvensjonell graving kan benyttes som metode da de gamle ledningene vil erstattes med nye. Det som setter begrensninger for metoden er hvordan muligheten for å grave grøften er. Ved for

store dybder, vil det kunne oppstå problemer ved sidefyllinger og sikkerhet vil være et veldig viktig moment. Ved trange plassforhold, som for eksempel i bygater bør en avstivet grøft vurderes. Dette kan løses ved spunt eller gravekasser (VA/Miljø-blad 5, 2016).

Ved trafikk over ledningen bør overdekningen være minimum 3 ganger rørdiameteren, og ikke mindre enn 0,5 meter. For PE, PP og PVC skal det benyttes rør med en korttids ringstivhet på minimum SN 8 (8kN/m<sup>2</sup>) For eksempel PE100 rør med høy SDR kan ha for lav ringstivhet. (VA/Miljø-blad 5, 2016)

#### 4.5.3 Forarbeid

Det er viktig med forarbeid for å lokalisere all nærliggende infrastruktur der gravearbeidet skal utføres. Hensyn til sikkerhet, framdrift og økonomi skal vurderes samt at grunnforhold skal være undersøkt. Jordart, jordens fasthet, dybde til fjell og grunnvannstand kan påvirke utførelsen. (VA/Miljø-blad 5, 2016)

#### 4.5.4 Spesielt for metoden

Vann og avløp vil være utilgjengelig for beboere på det aktuelle ledningsstrekket slik at det vil være nødvendig med provisorisk vannforsyning og avløpshåndtering. Det kan være aktuelt å kun rovere korte strekk av gangen, da i tidsrommet når beboere er på jobb for å minimere antall personer som vil være uten vann og avløp til enhver tid. Dette vil øke tiden for utskiftingen av hele strekket totalt. Olimb (2015) viser til at det ved konvensjonell graving kan legges 3-10 meter ledning per døgn, mens ved gravefrie metoder kan det oppnå 50-150 meter ledning per døgn.

## 5 Sammenligning

I dette avsnittet vil de aktuelle metodene sammenlignes for forskjellige forhold som vil være en del av beslutningskriteriene når man bestemmer hvilken metode man skal benytte.

Dersom rehabiliteringsprosjektet krever en økning i dimensjon på aktuelt avløpsrør vil kun metodene utblokking og konvensjonell graving være tilstrekkelig. Disse er de eneste hvor det er mulig å gjennomføre en dimensjonsøkning. For utblokking vil det være begrensninger på hvor stor dimensjonsøkning som vil være mulig å gjennomføre. Konvensjonell graving kan være eneste mulighet dersom dimensjonsøkningen vil være betydelig. Strømperenovering, tetttilsluttet rør og rørrinnføring vil alle føre til et mindre tverrsnitt i eksisterende rør, i forskjellig grad. Strømperenovering vil ha den største reduksjonen da ny strømpe vil legge seg helt ut mot eksisterende rør og ha liten tykkelse. Tetttilsluttet rør vil redusere tverrsnittet med rørtykkelsen på det nye røret, da denne metoden og legger seg helt ut mot eksisterende rør. Rørrinnføring vil ha størst negativ endring av eksisterende tverrsnitt, da denne metoden er avhengig av å kunne føre røret inn "ferdig oppblåst"/sirkulært. Typisk 25-50mm mindre enn eksisterende rør.

Separering av felles avløpsledning ved å legge en spillvannsledning og en overvannsledning kan også kun utføres med metodene utblokking og konvensjonell graving. Det er en mulighet, og finnes eksempler av at eksisterende AF ledning strømperenoveres og omgjøres til ny SP-ledning mens en ny OV-ledning etableres med styrt boring. Ved separering av AF ved bruk av utblokking vil ny OV og SP-ledning ligge helt inntil hverandre slik at krav om

lysåpning ikke vil være tilstede, og må godkjennes av aktuell kommune før utførelse. Her vil det og være større krav til fall på stedet da ny SP- og OV-ledning vil kunne vri seg om hverandre ved gjennomføring skape varierende fall på ledningsstrekket. Den vanligste metoden for separering er i dag ved konvensjonell graving, det er den letteste metoden for å legge flere nye rør samtidig som samtidig oppfyller kravene om lysåpning mellom dem.

Kravet til forarbeider før utførelse av aktuell metode er ofte veldig likt for alle metodene, da avløpsrøret bør inspiseres ved for eksempel CCTV. Inspeksjonen av røret utføres som regel før beslutningen blir tatt om hvilken rehabiliteringsmetode som skal benyttes. Stikkledninger må lokaliseres selv for metoden konvensjonell graving da oversikten til kommunen ofte er mangelfull og kan være feil. For metodene strømpereovering, rørrinnføring og tetttilsluttet rør vil det ikke være nødvendig å lokalisere parallelle og kryssende ledninger da disse metodene kun benytter seg av eksisterende rør, og vil ikke ha noen innvirkning på bakken rundt. For metodene utblokking og konvensjonell graving er ikke dette tilfellet. Ved utblokking vil det nye røret presse ut området rundt og hvis det er ledninger eller annen infrastruktur i nærheten kan disse bli påvirket og muligens svekkes. Ved konvensjonell graving vil det være nødvendig å lokalisere all infrastruktur som befinner seg i området grøften skal graves.

Kravet til rengjøring av eksisterende rør varierer for metodene, utblokking og konvensjonell grøft krever ingen form for rengjøring, gitt at trekkestagene kommer seg gjennom hele røret. For rørrinnføring og tetttilsluttet rør vil det være krav om at eksisterende rør er tilstrekkelig rengjort slik at nytt rør kan føres trygt inn, og det vil ikke kunne oppstå noen svanker av sedimenter som ligger i det gamle røret. Strømpereovering har det strengeste kravet til rengjøring da ny strømpe skal limes til eksisterende rørvegg, og ved bruk av semi-strukturell strømpe vil det være nødvendig å ha gjennomført en grundig rørinnspeksjon for å se tilstanden og styrken på røret. Dette gjøres best etter at røret er rengjort ved høytrykksspyling.

Rehabiliteringsmetoder krever et startpunkt og et sluttunkt, og størrelsen på gravebehovet her vil variere mye avhengig av metodene. Strømpereovering utføres ofte fra kum til kum, slik at det her ikke være noe krav til graving. Det krever nok plass i kummene for innføring og mottak. Rørrinnføring ved hjelp av kortrør er og en metode som kan utføre fra kum til kum som ikke vil kreve noen form for graving. Her og kreves det tilstrekkelig størrelse nede i kummen for å kunne utføre arbeidet. Tetttilsluttet rør, utblokking og rørrinnføring av hele lengder er avhengig av en innføringsgrop som er stor nok slik at nytt rør ikke overskrider bøyestyrken til materialet. For mindre dimensjoner kan disse leveres på kveil slik at kravet til størrelsen på innføringsgropen er betydelig mindre. Tetttilsluttet rør og rørrinnføring kan benytte en trinse i mottakene kum, og trekke med en vinsj fra overflaten hvis trekkstyrken tillater det. For utblokking vil det være nødvendig med en mottaksgrop hvor trekkeriggen kan stå og det må være plass til å arbeide der. Ofte sammenfaller gropene med kummer som skal rehabiliteres eller byttes. For konvensjonell graving vil hele ledningsstrekket graves opp. I denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til eventuelle gravebehov ved tilkobling til eksisterende kummer for de gitte metodene.

Tetttilsluttet rør, utblokking, rørrinnføring og konvensjonell grøft krever alle graving for tilkobling av stikkledninger. Strømpereovering benytter seg av en robot som går inne i det nye røret og skjærer opp tilkoblingen til stikkledninger, før det kan føres inn en hatt som forsterker sammenkoblingen. Strømpereovering kan og føre inn en lengre hatt som vil



renovere et lengre strekk av stikkledninger. Dette er den eneste metoden som har denne muligheten.

Hvordan eksisterende utforming av strekket som skal renoveres er det større forskjeller i hva de forskjellige metodene kan benyttes til. Strømperenovering har en fordel her da bend opp til 90 grader kan forseres med noen komplikasjoner, men bend under 15 grader kan forseres uten problemer og noen strømpetyper kan forseres betydelig større bend uten problemer. For utblokking vil bend opptil 11 grader kunne forseres, men dette gjelder kun for dimensjoner større enn 150mm. Tettisluttede rør kan benyttes i strekk hvor det er opp til 22 grader bend. For dimensjonsoverganger så kan strømperenovering forseres dimensjonsendringer på 25-50%, her kan det og sys inn en dimensjonsovergang der den aktuelle dimensjonsovergangen er. Utblokking har heller ingen problemer med dimensjonsoverganger på eksisterende ledning da metoden kan utblokke dimensjonsovergangen og legge en ny ledning med større dimensjon på hele strekket, eller så kan strekket rehabiliteres med dimensjonsendring underveis. Ved konvensjonell graving kan hvis ønsket dimensjonsendring legges direkte ned i grøften.

Tettisluttet rør og rørrinnføring er avhengig av samme dimensjon på hele strekket som skal rehabiliteres. Dersom rørrinnføring skal benyttes på et strekk med økning i dimensjon bør det tomrommet mellom nytt og eksisterende rør støpes ut som vil sikre at det nye røret ikke kan flyte opp på strekket hvor dimensjonen på eksisterende rør er betydelig større enn nytt rør. For konvensjonell graving er det ingen begrensninger i hvilke bend som kan i teorien legges så lenge det er plass. Det er ledningeiers krav til største bend som vil avgjøre hva som kan legges. For eksempel sies det i VA-normen til Nedre Romerike at for spillvannsledninger at *bend i grøft tillates normalt ikke. Vinkelendring i forbindelse med kummer bestemmes av kommunens VA-ansvarlig. Bendene skal da være langbend, maksimalt 30 grader.* (VA-Norm for Nedre Romerike, s. 6-41, 2020)

Dersom eksisterende rør har betydelige deformasjoner eller har kollapset ved noen punkter, vil utblokking og konvensjonell graving være eneste mulighet, med mindre det graves opp i det aktuelle punktet og det utføres en punktrepasjon før en annen metode kan benyttes.

I figur 9 vil alle kriteriene som er diskutert i denne oppgaven oppsummeres for alle metodene. Her er generelle verdier benyttet, og det er ikke sikkert at en metode kan oppnå alle maks verdiene samtidig. For konvensjonell graving vil alle kriterier kunne oppfylles, da grøftestørrelse er den eneste begrensningen for metoden for disse kriteriene.

Kriterie		UTBLOKKING	STRØMPE	TETTILSLUTTET RØR	RØRINNFØRING	KONVENJONELL GRØFT
Dimensjonsområde	diameter	75mm-1000mm	50mm - 2000mm	100mm - 500mm		-
	lengde	220-230m	maks 600m *(1)		1000m	-
Utforming	bend	<150mm ingen	≥ 90 grader	<22 grader		-
		>150mm 11 grader				
	tverrsnitt	må ikke være sirkulært	må ikke være sirkulært	sirkulært	må ikke være sirkulært	-
	dimensjonsovergang	kan utblokkes	25-50% uten problem	ikke egnet	ikke egnet	-
deformasjoner	kan utblokkes	>15% uten problem	ikke egnet	ikke egnet	-	
Gravebehov	bend	<150mm alle må graves opp		over 22 grader		hele ledningsstrekket
		>150mm over 11 grader				
	innføringsgrop	$L = T * (H * DN)^{0.5}$	kum til kum	$L = T * (H * DN)^{0.5}$	$L = T * (H * DN)^{0.5}$	-
	mottaksgrop	plass til trekkeutstyr	kum til kum	kum / ca 1,5x2,0m	avhengig av trekke/dytte utstyr	-
stikkledninger	alle koblingspunkt	ikke nødvendig	alle koblingspunkt	alle koblingspunkt	-	
Tid	metodeutførelse	200m på 2-4 timer				3-10m i døgnet
	stabiliseringstid	1 døgn	herdetid			
Annet	Separering	kan trekke inn SP og OV i AF	AF til SP + ny OV *(2)	ikke mulig	ikke mulig	Ingen problemer
	eksisterende svanker	kan utblokkes	vannfylling >50%	ingen	ingen	ingen problemer
***	(1) - maks lengde endres utifra herdetype og dimensjon					
	(2) - mulig å strømpereovere AF til SP og installere ny OV ved feks styrtboring					

Figur 9: Oppsummering av forskjellige kriterier diskutert i oppgaven for hver metode

## 6 Konklusjon

Behovet for å benytte seg av alternative metoder som ikke er konvensjonell graving er stort, og vil bare være økende med tanke på graden av bærekraft de andre alternativene har i forhold til konvensjonell graving. I stadig mer urbaniserte områder vil tilgjengeligheten til rørene også bli et økende problem hvor gravefrie metoder kan bli eneste mulige løsning. Ved å sette ett fokus på hvordan de forskjellige metodene utføres og under hvilke forhold de kan benyttes kan det øke andelen beslutningstakere som vil vurdere gravefrie metoder før en beslutning blir tatt. Det kan være både tid og kostnadsbesparende.

Det er fordeler og ulemper med alle metodene, men som en rask oppsummering kan det sies at dersom ledningsstrekket som skal renoveres inneholder dimensjonsoverganger vil utblokking, strømperenovering og konvensjonell graving være aktuelle løsninger. Hvis det er behov for å øke kapasiteten/dimensjonen til røret er utblokking og konvensjonell graving eneste aktuelle løsning. Om tilgjengelig plass over eksisterende ledning er avgjørende vil strømperenovering og rørinnføring ved kortrør være aktuelle metoder.

Et stadig større fokus på å bevare naturen og omgivelsene taler for å benytte seg av gravefrie metoder hvor inngrep i bakken er minimert, eller i noen tilfeller ikke tilstede.

Denne oppgaven legger grunnlaget for en masteroppgave som skal ende opp i et flere-kriterier beslutningsstakingsverktøy som skal gi beslutningshjelp ved valg av avløpsrehabiliteringsmetode. Videre vil det jobbes med å implementere flere kriterier og hvordan de ulike metodene oppfyller disse. Rehabilitering av kummer har ikke fått en plass i denne oppgaven selv om det er en stor del av rehabiliteringsoppgaven som skal utføres når et ledningsstrek skal rehabiliteres. Dette vil bli undersøkt og implementert i videre arbeider. Det kanskje viktigste beslutningskriteriet som er kostnader er heller ikke diskutert i denne oppgaven, i videre arbeider vil det legges et fokus på å etablere kostnadsestimater for hver enkelt metode, og hvordan dette kan variere. Forhåpentligvis kan beslutningsverktøyet bidra til å øke fokuset på at gravefrie metoder kan benyttes, og kan ha et konkurransefortrinn i vanlige rehabiliteringsprosjekter.

## Referanser

Aas H. N., Killingmo E. og Busk V. (2016) *Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder*. (Norsk vann rapport 221)

Norsk Vann (2017) *Nasjonal bærekraftstrategi for vannbransjen*. Tilgjengelig fra: [https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi\\_2017.pdf](https://www.norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi_2017.pdf) (Hentet: 10. desember 2020).

Norsk Vann (2020) *Tilstandsvurdering av kommunale vann- og avløpstjenester*. (bedreVANN Resultater 2019). Tilgjengelig fra: <https://bedrevann.no/pdf/bedreVANN2019.pdf> (Hentet: 10. desember 2020).

Olimb (2015) *ABC for gravefri fremtid*. 2. opplag. Olimb AS.

PE100+ Association (2018) *Slip lining process with PE100 pipe*. Tilgjengelig fra: <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/Trenchless/Methods/Pipe-Rehabilitation/Slip-lining-i1306.html> (Hentet: 08. desember 2020).  
Snowballing fra VA/Miljø-blad 97

Scandinavian Society for Trenchless Technology (SSTT) (2002) *NO-DIG HANDBOOK*

Scandinavian Society for Trenchless Technology (SSTT) (2019) *150 år gammel vannledning klar for nye 150*. Tilgjengelig fra: <https://www.sstt.se/?cid=1737> (Hentet: 06. desember 2020).

Sægrov S. (2014) Ledningsteknologi for vann og avløp, i Ødegaard, H (red.) *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utgave. Norsk vann, s.374-409.

VA/Miljø-blad 3 (2017) *Renovering med innføring av kontinuerlige rør*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 03. november 2020)

VA/Miljø-blad 5 (2016) *Grøfteutførelse fleksible rør*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. desember 2020)

VA/Miljø-blad 6 (2016) *Grøfteutførelse stive rør*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. desember 2020)

VA/Miljø-blad 71 (2006) *Høytrykksspyling av trykløse avløpsledninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 10. desember 2020)

VA/Miljø-blad 90 (2009) *NoDig-metoder for hovedledninger – Metodeoversikt*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

VA/Miljø-blad 91 (2018) *Strømperenovering av avløpssystem*. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 08. november 2020)

VA/Miljø-blad 97 (2016) *Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

VA/Miljø-blad 110 (2015) *Renovering av VA-ledninger ved utblokking*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.va-blad.no/utgitte-blader/> (Hentet: 04. november 2020)

*VA-norm for Nedre Romerike* (2020) Tilgjengelig fra:  
<https://www.lorenskog.kommune.no/f/p11/ie7761adb-61fd-4a21-8780-7e895a36824e/felles-va-norm-nedre-romerike-rev03.pdf> (Hentet: 15. november 2020).

