

Henrik Aase Hole

# Analyse av påvirkningen klimagassredukerende tiltak i prosjekteringsfasen av VA-anlegg har på kostnadsestimat og kvalitet på prosjektert løsning

Hovedoppgave i Vannforsynings- og avløpsteknikk

Veileder: Marius Møller Rokstad

Medveileder: Franz Tscheikner-Gratl, Glenn Stenshorne

Juni 2022



Henrik Aase Hole

# **Analyse av påvirkningen klimagassreduksjons tiltak i prosjekteringsfasen av VA-anlegg har på kostnadsestimat og kvalitet på prosjektert løsning**

Hovedoppgave i Vannforsynings- og avløpsteknikk  
Veileder: Marius Møller Rokstad  
Medveileder: Franz Tscheikner-Gratl, Glenn Stenshorne  
Juni 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



---

## Sammendrag

Gamle og utdaterte vann- og avløpssystemer er et kjent fenomen i Norge og fører til et stort fremtidig investeringsbehov i sektoren. Ifølge mange norske Vann og avløps(VA)-normer skal VA-anlegg være bærekraftige og som et resultat av dette må nye VA-prosjekt planlegges og utføres på en bærekraftig måte. Konseptet bærekraft er ikke komplisert, men konsensus i hvordan bærekraft skal hensyntas i prosjekter i vann- og avløpssektoren er ikke oppnådd. Målet med masteroppgaven er å produsere en sjekkliste til prosjekteringsfasen av VA-anlegg som øker muligheten for reduksjon av klimagassutslipp og kostnad, samt hensyntar kvaliteten til løsningen.

Sjekklisten er utarbeidet med utgangspunkt i VA-prosjektet Vassenvika i Gran kommune hvor det i tillegg til bygd løsning presenteres tre alternative løsninger som er evaluert med hensyn til klimagassutslipp, kostnad og kvalitet på løsningen. Vassendvika-prosjektet sto ferdig sommeren 2021 og etablerer ny spillvannspumpekapasitet på 16,3 l/s og legger om 1 300 m vann- og spillvannsledninger. Løsningsalternativene omfatter forskjellige utførelsesmetoder, traseer og materialer. Utførelsesmetodene består av grøftekasser og NoDig-metodene styrt boring, rørpressing og utblokkning. Ledningstraseene varierer mellom ny trasé på land, eksisterende trasé på land og ny trase i innsjø. Materialene varierer blant annet mellom sjøledninger og ledninger på land samt betongkummer og plastkummer.

Klimagassutslippet blir beregnet ved bruk av karbonfotavtrykksanalyse og analysen omregner alle klimagassutslipp til kg  $CO_2$ -ekv. Den funksjonelle enheten er 50 år med transport av drikke- og spillvann, og systemgrensene består av produktmaterialer, transport, byggefasen og 50 år med drift og vedlikehold. Kostnadsestimatet i både byggefasen og driftsfasen blir utregnet til kroneverdien i 2022. Kvalitetsvurderingen består av kvalitativ vurdering av tilgjengelighet, brannslukningsevne, fleksibilitet og rehabiliteringsevne.

Evaluering demonstrerer prosessene peler, gravemaskin, betong og ledninger som de største påvirkningene av klimagassutslipp og kostnadsestimat. Lokasjonsvalg av ledningstraseen og antall kummer er faktorene med størst påvirkning på kvalitet på løsningen. Sjekklisten fører til en vurdering av peler og spunt, kummer, utførelsesmetoder, diameter og trasélengden som øker muligheten for reduksjon i klimagassutslipp og kostnad, men hvert punkt i sjekklisten må vurderes med hensyn på kvalitet på løsning.

Resultatene demonstrerer videre at løsningsalternativene med lavest klimagassutslipp og kostnadsestimat scorer lavere i kvalitetsvurderingen. Reduksjonen av klimagassutslipp og kostnad mellom bygd løsning og løsningsalternativene er mellom 12 og 43 % og 6 og 41 %. Konsekvensen av lavere kvalitetsvurdering er noe dårligere tilgjengelighet, dyrere rehabilitering, mindre fleksibilitet og dårligere brannslukningsevne. Kvalitetsvurderingen sammenligner kun alternativene mot hverandre og alle løsningene har akseptabel kvalitet. Klimagassutslipp var ikke en prioritet ved valg av løsning og kan være en årsak til hvorfor alternativet med størst klimagassutslipp ble bygd.

Hvordan evalueringskriteriene skal vurderes mot hverandre ved valg av løsning svarer ikke masteroppgaven på og burde undersøkes videre. En av de største begrensningene i masteroppgaven er usikkerhet i innsamlet klimagassdata som kan føre til feil prioriteringer ved prosjektering. Fraværende rehabiliteringsvurdering av eksisterende materiell er den andre begrensningen i masteroppgaven fordi rehabilitering framfor erstatning kan redusere både klimagassutslipp og kostnad. Kvalitetsvurderingen har en begrensning ved manglende negativ påvirkning av ødeleggelser i byggefasen, som fører til kunstig god kvalitetsvurdering.

---

## Abstract

Old and outdated urban water systems is a well-known phenomenon in Norway, and significant investments are needed in the future. The majority of the Norwegian municipalities write in the local water and wastewater standard that the water and wastewater systems must be sustainable. Sustainability is not a complicated concept, however consensus regarding how sustainability should be implemented in urban water systems is yet to be agreed upon. The goal of this master thesis is to develop a checklist for the design phase of urban water systems that increases the possibility of reduction of greenhouse gases and cost while taking the quality of the solution into account.

The checklist is developed based on the urban water project Vassendvika in Gran municipality and three alternative solutions that are presented and evaluated based on greenhouse gas emissions, cost, and quality assessment. The Vassendvika project established a new wastewater pump capacity of 16,3 l/s and reroutes 1 300 m of drinking water and wastewater pipelines, and was fully operational in the summer of 2021. The alternative solutions differ in construction method, route, and materials. The construction methods vary between conventional excavating, horizontal directional drilling, auger boring and pipe bursting. The pipeline routes vary between existing land route, new land routes, and water route. The materials vary between underwater pipelines, pipelines on land and concrete and plastic manholes.

The greenhouse gas emissions are calculated with carbon footprint analysis and calculates all the greenhouse gas emissions to kg  $CO_2$ -ekv. The functional unit is 50 years of drinking water and wastewater transportation. The system boundaries contains of materials, transport, construction, and maintenance. The cost from both the construction phase and the maintenance phase is calculated into the value of 2022 NOK. The quality assessment includes evaluation of availability, firefighting ability, rehabilitation, and flexibility of the solutions.

The evaluation demonstrates the processes of piles, excavating machines, concrete, and pipelines to have the biggest impact on greenhouse gas emissions and cost. The location of the pipeline route and number of manholes effects the quality of the solutions the most. The checklist requires an evaluation of piles and sheet piles, manholes, construction method, diameter and pipeline length that increases the possibility of reduction of greenhouse gas emissions. However, every point in the checklist must be evaluated against the quality of the solution.

The results demonstrates that the solutions with the lower greenhouse gas emissions and cost scores lower in the quality assessment. The reduction of greenhouse gas emissions and cost between the build solution and the alternative solutions are between 12 and 43 % and 6 and 41 %. The quality assessment only compares the solution against each other, nevertheless, all the solutions are designed with acceptable quality. Reduction of greenhouse gas emissions is not included in the design phase and may be the reason why the solution with the largest emissions is build.

How greenhouse gas emissions, cost and quality of solution should be prioritized against each other in the design will be not evaluated in this thesis and should be explored further. Furthermore, there is uncertainty related to the collected greenhouse gas data that potentially lead to wrong prioritization in the design phase.

Furthermore, there is uncertainty related to the collected greenhouse gas data that potentially can lead to wrong prioritization in the design phase. In addition, the lack of evaluation of the rehabilitation possibilities of existing material is a limitation of the thesis. Reuse of material would significantly reduce the emissions and cost. Lastly, the quality assessment is not affected negatively when destruction of property occurs in the construction phase, which leads to artificial high-quality score.

---

# Innhold

<b>Figurer</b>	<b>v</b>
<b>Tabeller</b>	<b>vi</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	2
1.1.1 Prosjekteringsfasen . . . . .	2
1.1.2 Livsløpsvurdering . . . . .	2
<b>2 Metode</b>	<b>4</b>
2.1 Karbonfotavtrykkanalyse . . . . .	4
2.2 VA-prosjektet Vassendvika . . . . .	9
<b>3 Resultater</b>	<b>10</b>
3.1 Løsningsalternativer . . . . .	10
3.1.1 Bygd løsning . . . . .	11
3.1.2 Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpe-stasjon . . . . .	13
3.1.3 Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpe-stasjoner . . . . .	14
3.1.4 Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpe-stasjoner	15
3.2 Evalueringskriterier . . . . .	16
3.2.1 Klimagassutslipp . . . . .	16
3.2.2 Kostnadsestimat . . . . .	18
3.2.3 Kvalitet på løsning . . . . .	18
3.3 Typetegninger . . . . .	18
3.3.1 Kummer . . . . .	18
3.3.2 Pumpe-stasjon . . . . .	19
3.3.3 Grøftekasse . . . . .	19
3.4 Datainnsamling . . . . .	20
3.4.1 Klimagassutslipp . . . . .	20
3.4.2 Kostnadsestimat . . . . .	24
3.5 Klimagassutslipp . . . . .	27

---

3.5.1	Bygd løsning . . . . .	28
3.5.2	Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpe-stasjon . . . . .	29
3.5.3	Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpe-stasjoner . . . . .	30
3.5.4	Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpe-stasjoner	31
3.6	Kostnadsestimater . . . . .	32
3.6.1	Bygd løsning . . . . .	33
3.6.2	Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpe-stasjon . . . . .	34
3.6.3	Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpe-stasjoner . . . . .	35
3.6.4	Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpe-stasjoner	36
3.7	Kvalitet på løsning . . . . .	37
3.7.1	Bygd løsning . . . . .	38
3.7.2	Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpe-stasjon . . . . .	39
3.7.3	Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpe-stasjoner . . . . .	40
3.7.4	Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpe-stasjoner	41
<b>4</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>43</b>
4.1	Klimagassutslipp . . . . .	43
4.2	Kostnadsestimater . . . . .	44
4.3	Stort klimagassutslipp - liten kostnad . . . . .	45
4.4	Kvalitet på løsninger . . . . .	46
4.5	Utførelsesmetoder . . . . .	47
4.6	Valg av løsning . . . . .	48
4.7	Valgmuligheter i prosjekteringsfasen . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>52</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>53</b>

---



---

## Figurer

1	Trinn i LCA . . . . .	5
2	LCA gjenbruk . . . . .	6
3	Vassendvika oppgaveforklaring . . . . .	9
4	Alternative løsninger til VA-prosjektet Vassendvika . . . . .	11
5	Bygd løsning . . . . .	12
6	Fremgangsmåte ved styrt boring . . . . .	13
7	Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon . . . . .	14
8	Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner . . . . .	15
9	Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpestasjoner . . . . .	16
10	Systemgrenser . . . . .	17
11	Snitt av grøftekasser med to og tre ledninger . . . . .	20
12	Sammenligning av klimagassutslippet til løsningene . . . . .	27
13	Klimagassutslipp per prosess bygd løsning . . . . .	29
14	Klimagassutslipp per prosess alternativ 1 . . . . .	30
15	Klimagassutslipp per prosess alternativ 2 . . . . .	31
16	Klimagassutslipp per prosess alternativ 3 . . . . .	32
17	Sammenligning av kostnandestimatet til de alternative løsningene . . . . .	33
18	Kostnad per prosess i bygd løsning . . . . .	34
19	Kostnad per prosess i alternativ 1 . . . . .	35
20	Kostnad per prosess i alterantiv 2 . . . . .	36
21	Kostnadsestimat per prosess alternativ 3 . . . . .	37
22	Kvalitetsvurdering av løsningsalternativene . . . . .	38
23	Brannslukningsevne bygd løsning . . . . .	39
24	Brannslukningsevne alternativ 1 . . . . .	40
25	Brannslukningsevne alternativ 2 . . . . .	41
26	Brannslukningsevne alternativ 3 . . . . .	42
27	Typetegning inspeksjonkum (SK) Ø400 i plast . . . . .	59
28	Typetegning kum (BK) DN2000 i betong . . . . .	60

---

29	Detaljprosjektet ny pumpe­stasjon Vassendvika . . . . .	61
30	Veggoppbygging Granumsvegen Vassendvika . . . . .	62
31	Pumpedata ny pumpe­stasjon Vassendvika . . . . .	63

## Tabeller

1	Klimagasser med korresponderende $CO_2$ -ekv. . . . .	7
2	Eksempel av Dpro matrise med sammenhengende D vektor ved bilproduksjon i Norge og Sverige . . . . .	8
3	Pumpe­stasjoner med mengde pumpe­sump, pumper, buffertanker og peler . . . . .	19
4	Datainnsamlet klimagassutslipp . . . . .	21
5	Transportavstand og energiforbruk til utregning av klimagassutslippet ved transport . . . . .	24
6	Prisvekst i prosent . . . . .	25
7	Kostnadsestimat ved NoDig-metoder . . . . .	26
8	Kostnad av ledninger . . . . .	26
9	Klimagassutslipp per m utførelsesmetode . . . . .	28
10	Kostnadsestimat per m utførelsesmetode . . . . .	33
11	Nøkkeltall fra utregningen av klimagassutslippet . . . . .	44
12	Nøkkeltall fra kostnadestimatet . . . . .	45
13	Stort klimagassutslipp - liten kostnad . . . . .	46
14	Klimagassutslipp og kostnadsestimat per m utførelsesmetode . . . . .	48
15	Klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning . . . . .	49
16	Sjekkliste for reduksjon i kostnad og klimagassutslipp i prosjekteringsfasen av VA-anlegg . . . . .	51
17	Hastighet og skjærspenning til ledninger som oppfyller ledninskarakteristikken . . . . .	57
18	Valg av ledningsdiameter til pumpeledning med hensyn på kostnad og klimagassutslipp alternativ 1 . . . . .	57
19	Utregning av vekt og senteravstand av betonglodd på PE 100 ledninger . . . . .	57
20	Sjøledninger med korresponderende vekt og senteravstand på lodd . . . . .	58

---

# 1 Introduksjon

Rådgivende ingeniører finner løsninger på utfordringene i prosessen fra en konseptuell idé til et ferdig immaterielt produkt (Arge mfl. 2010). Det er om lag 17 500 rådgivende ingeniører i bygg- og anleggsbransjen i Norge og bransjen omsetter for mer enn 22.5 milliarder kroner årlig (Rådgivende ingeniørers forening 2022a). Bransjen tar for seg alt fra nybygg til rehabilitering av eksisterende løsninger. Rådgivende ingeniørers forening (2022b) har avdekket store investeringsbehov gjennom rapportene State of the Nation. Rapportene avslører store vedlikeholds- og investeringsbehov i blant annet bygninger, vann og avløp (VA) og vegger. I State of the Nation rapporten Vannforsyning- og avløpsanlegg av Aspestrand mfl. (2019) er det anslått et investeringsbehov i vedlikehold og oppgraderinger i VA-sektoren på 1 450 milliarder kroner. Aspestrand mfl. (2019) hevder at dagens bevilgninger til fornyelse og vedlikehold vannforsyning- og avløpsanlegg er for små og at konsekvensene vil være at oppgradering og vedlikehold blir dyrere på sikt.

En stor utfordring for rådgivende ingeniører er mangelen på evaluering av kvaliteten på prosjektert løsning. En oppdragsgiver betaler for en tjeneste, men ikke for evalueringen av tjenesten. Et rådgivende ingeniørfirma ønsker å selge flest mulig tjenester, og arbeidsoppgaver som ikke skaper inntekter nedprioriteres. Resultatet er få vurderinger av prosjekter og lite til ingen tilbakemeldinger på positive eller negative erfaringer fra ferdigstilte prosjekt.

Evalueringer av gjennomførte prosjekter blir viktigere når fremtidens utfordringer ikke løses av fortidens løsninger. I VA-normen til Gran kommune (2022) står det at VA-prosjekt skal være bærekraftige. Bærekraftig utvikling ble definert i 1987 av Brundtland og Dahl (1987) som “utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov”. Hva bærekraftige VA-prosjekter innebærer er ikke definert og skal ikke masteroppgaven svare på, men uten krav eller definisjon blir fremtidens utfordringer løst med fortidens løsninger. På grunn av klimaendringer må fremtidens løsninger produsere mindre klimagassutslipp. Klimagasser defineres av ISO (2018) som gasser i atmosfæren som absorberer og reflekterer infrarøde strålinger fra jordas overflate, atmosfæren eller skyene.

Målet med masteroppgaven er å produsere en sjekkliste for prosjekteringsfasen av nye VA-anlegg som øker muligheten for reduksjon av klimagassutslippet og kostnaden, samt tar hensyn til kvaliteten på løsningen. Masteroppgaven skal undersøke hvordan livssyklusanalyse (LCA) av klimagassutslippet kan bli utnyttet i prosjekteringsfasen for å redusere klimagassutslippet til VA-anlegg, og hvordan det påvirker kostnaden og kvaliteten på løsningen. En livssyklusanalyse (LCA) eller Life Cycle Assessment er ifølge ISO (2006a) en sammenstilling og evaluering av inngangsfaktorer, utgangsfaktorer og de potensielle miljøpåvirkningene til et produktsystem gjennom dets livsløp. Oppgaven evaluerer VA-prosjektet Vassendvika i Gran kommune som består av en ny avløpspumpestasjon for 2 558 personekvivalenter med kapasitet på 16,3 l/s og omlegging av omlag 1 300 m vann- og spillvannsledninger. I tillegg til evaluering av prosjektert løsning blir tre alternative løsninger presentert og evaluert. Løsningsalternativene differensieres av utførelsesmetode, ledningstrasé og materialbruk. Evalueringskriteriene består av kvantitativ utregning av klimagassutslippet og økonomisk kostnad, og kvalitativ vurdering av kvaliteten på løsningene. Formålet med evalueringskriteriet er å bedre forstå fordelene og ulempene med løsningalternativene.

---

## 1.1 Bakgrunn

### 1.1.1 Prosjekteringsfasen

En prosjekteringsfase defineres av Arge mfl. (2010) som “prosessen med å lansere konseptuelle ideer og bearbeide den valgte ide til et ferdig, immaterielt produkt i form av tegninger, modeller, beskrivelse og lignende”. Strukturen og sammensetningen av prosjekteringsfasen varierer fra prosjekt til prosjekt. Valget av avtaleform mellom aktørene i prosjekteringsfasen delegerer ansvar og risiko i prosjektet. De vanligste avtaleformene i prosjekteringsfasen er ifølge Lædre (2006) totalprosjektering, frivillig gruppeavtale, pålagt gruppeavtale og delprosjektering.

### 1.1.2 Livsløpsvurdering

Forskningen i fagfeltet LCA har økt drastisk de siste 25 årene (Bjørn mfl. 2017). Frem til den første LCA-standarden ble publisert i 1997 ble LCA kritisert for mangel av regler og kontinuitet (Baumann 2004). De nyeste LCA-standarden er ISO 14040:2006 og ISO 14044:2006. ISO 14040 er en generell introduksjon til LCA mens ISO 14044 inneholder krav til gjennomføring av LCA (Finkbeiner 2014).

Det har vært en økning i LCA forskningen innefor vann og avløpssystemer. En oversiktsartikkel skrevet av Byrne mfl. (2017) analyserer 256 LCA-studier om vann- og avløpssystemer. Artikkelen går gjennom 173 artikler om avløpssystemer, 44 artikler om drikkevann, 17 artikler om overvann og 22 artikler om integrerte urbane vannsystemer. Oversiktsartikkelen viser at drift av renseanlegg og pumper er hovedfokuset i analysene. Det er naturlig når en kontinuerlig prosess som behandling av drikke- og avløpsvann har større utslipp sammenlignet med en byggefasen. Vannsystemer er et stort fagfelt og enn så lenge er byggefasen nedprioritert i LCA-studier av vann og avløpssystemer. Byrne mfl. (2017) oppfordrer systemer med lite drift og vedlikehold til å inkludere byggefasen når fasen kan stå for opp mot 40-50 % av utslippene.

Slagstad og Brattebø (2014) har publisert en av få artikler om LCA av vann- og avløpssystemer i Norge. Slagstad og Brattebø (2014) skrev en artikkel om klimagassutslippet til vann og avløpssystemet i Trondheim. Artikkelen demonstrerer klimagassutslippet fra vannbehandling av drikkevann til utslipp i resipient. Utslippene til vannledninger er litt over 4 kg  $CO_2$  per innbygger per år og avløpsledninger litt under 2 kg  $CO_2$  per innbygger per år. Avløps pumpestasjoner har utslipp noe under 2 kg  $CO_2$  per innbygger per år og pumpestasjoner til drikkevann har utslipp over 4 kg  $CO_2$  per innbygger per år. Artikkelen demonstrerer at pumpestasjoner og ledninger har like store utslipp med en funksjonell enhet på 1 år. En pumpestasjon har kontinuerlige utslipp og vil derfor slippe ut mer sammenlignet med ledningene ved en økning av den funksjonelle enheten. Uansett burde byggefasen av prosjekter også prioriteres og alternative måter å redusere utslippene på undersøkes.

En måte å redusere utslippene på er å endre gravemetoden til NoDig-metoder. Ifølge Norsk Vann (2009) defineres NoDig metoder som en “fellesbetegnelse på teknikk for fornyelse av gamle VA-ledninger, eller etablering av nye VA-ledninger, med ingen eller minimal graving”. Rapporten av Hansen mfl. (2010) sammenlignet økonomiske, juridiske, miljø og samfunnsmessige konsekvenser av konvensjonell graving og NoDig- utførsel ved utskifting, fornyelse eller etablering av vann- og avløpsledninger. Den økonomiske sammenligningen av konvensjonell graving mot NoDig metoder demonstrerte en kostnadsreduksjon mellom 18 og 47 % ved utblokking og 76 % ved styrt boring. Styrt boring kan legges under elver

---

og myrer, og derfor total ledningslengde redusert og besparelsen ekstra stor ved det spesifikke tilfellet i rapporten. Det ble gjennomført en miljøsammenligning av anleggsfasen ved utblokking og konvensjonell graving og resultatet demonstrerte en klimareduksjon på 87 %. Den funksjonelle enheten i rapporten er fornyelse av 960 m ledning samt 21 tilkoblingspunkt og 9 kummer. Systemgrensene i miljøanalysen tar kun hensyn til anleggsfasen og forklarer hvorfor den prosentvise reduksjonen er så høy. Hansen mfl. (2010) avslutter miljøkonklusjonen med å oppfordre til å utvide grensene for hva som tas med i fremtidige miljøregnskap for andre prosjekter og samtidig utføre livssyklusanalyser for produkter.

Ariaratnam mfl. (2013) sammenlignet konvensjonell graving med NoDig-metodene styrt boring (HDD), Vacuum microtunneling (VMT) og pilot tube microtunneling (PTMT) og rangerte utførelsesmetodene med Underground Sustainability Index Rating Development (USIR). USIR er en metode som prøver å sammenligne forskjellige utførelsesmetoder, og hensyntar miljø, kostnad og sosialt kostnad på en skala fra 0 til 1. Den prosentvise forskjellen mellom løsningene trekkes fra 1, og den dårligste løsningen scorer 1. Den funksjonelle enheten i artikkelen er utskiftingen av 131 m ledning. Systemgrensene i miljøanalysen er ikke definert og det er uvisst hva som legges til grunn for klimagassutslippet. Reduksjonen i klimagassutslipp fra konvensjonell graving til HDD, VMT og PTMT var henholdsvis 31,7 %, 42,7 % og 48,4 %. Videre demonstreres kostnaden per 30,5 cm å være 311 dollar for konvensjonell graving, 294 dollar for PTMT, 268 dollar for HDD og 305 for VMT. Den sosiale kostnaden vurderer løsningene fra 0 til 1, utfra 12 faktorer som inkluderer blant annet tap av vegetasjon, støy, anleggsvarighet og trafikk. HDD og PTMT kommer best ut med 0,42 etterfulgt av VMT på 0,45 og sist kommer konvensjonell graving med 1. Ved bruk av USIR funksjonen kommer alle NoDig-metodene betydelige bedre ut enn konvensjonell graving. Den metoden som får best resultat av USIR funksjonen er PTMT etterfulgt av HDD og VMT, men forskjellen mellom NoDig-metodene er liten.

Rehan og Knight (2007) analyserte klimagassutslippet til konvensjonell graving og NoDig-metoder ved installasjon av vann og avløpsledninger. Systemgrensene i artikkelen består av utslippene fra materialproduksjon, transport, byggefase og trafikkforsinkelser. Trafikkforsinkelser oppstår under byggefase når en ledningstrasé ligger i eller ved en vei. Rehan og Knight (2007) regnet ut klimagassutslippet fra følgende tre case-studier: trasé gjennom en 2 felts motorvei, trasé i vegskulderen av en 2 felts motorvei og trasé gjennom en hovedgate i et nabolag. Studiet demonstrerte en reduksjon mellom 78 og 100 prosent ved bruk av NoDig metoder sammenlignet med konvensjonell graving. Reduksjon i utslippene fra trafikkforsinkelser og anleggsfasen er hovedgrunnen for lavere klimagassutslipp. NoDig-metoder reduserer tidsforbruket i anleggsfasen og forstyrrer ikke trafikken, som fører til store utslippsbesparelser.

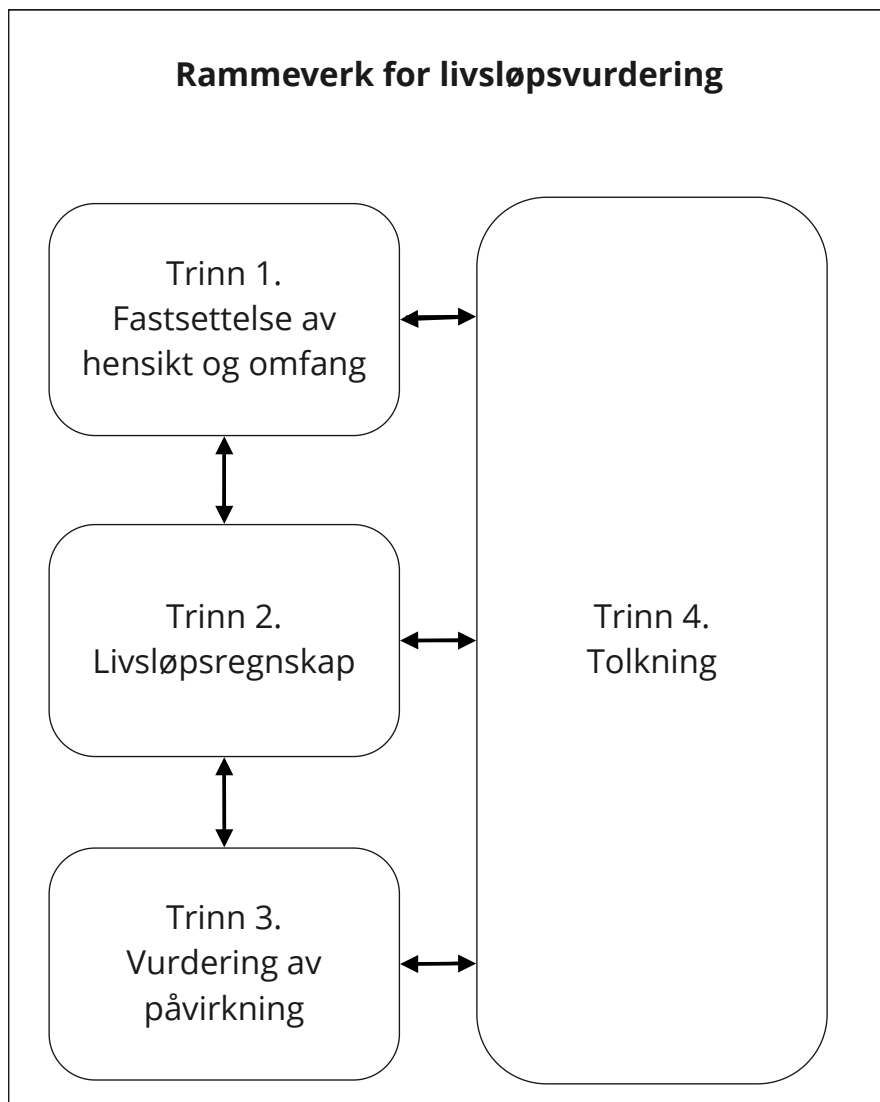
Pumpestasjoner er et tema som mye forskning fokuseres på, og artikkelen av Venkatesh mfl. (2014) ser nærmere på energiforbruket til urbane vannsystemer og publiserte en artikkel som sammenlignet energiforbruket i urbane vannsystemer i byene Oslo, Turin, Toronto og Nantes. Artikkelen konkluderte med at Oslo var byen med lavest klimagasserutslipp, og begrunnelsen er den nordiske energisammensetningen og den fordelaktige topografien i byen. Det medfører mindre pumping og den pumping som kreves slipper ut mindre klimagasser sammenlignet med de andre byene. Świątochowska og Bartkowska (2022) publiserte en artikkel som demonstrerer hvordan velge den optimal pumpe med hensyn på reduksjon av elektrisitetsforbruk og beholde trykkraft. Qun mfl. (2017) publiserte en artikkel om optimalisere energibesparelsen i pumpestasjon basert på BIM teknologi. Li og Yue (2012) undersøkte hvordan endring i pumpehastighet kan redusere energiforbruket til pumper. Det er gjennomført forskning som fører til reduksjon i energiforbruket og dermed klimagassutslippet som ikke er LCA studier.

---

## 2 Metode

### 2.1 Karbonfotavtrykkanalyse

Karbonfotavtrykkanalyse er en LCA som beregner klimagassutslippene gjennom livsløpet til et produkt eller tjeneste. LCA er et verktøy som demonstrerer direkte og indirekte utslipp av et produkt gjennom livsløpet. LCA følger hovedsakelig de to International Organization for Standardization (ISO) standardene 14040 og 14044. ISO er en uavhengig ikke-statlig internasjonal organisasjon med 167 nasjonale standardiseringsorganisasjoner (ISO 2022). Standardene utvikles etter etterspørsel fra markedet og av en gruppe eksperter fra hele verden. Hver nasjonal standardiseringsorganisasjon har rett til å velge en ekspert til utviklingen av en standard. For at en ISO-standard skal godkjennes må det være konsensus mellom alle ekspertene. ISO 14040 omhandler prinsipper og rammeverk mens ISO 14044 tar for seg krav og retningslinjer av livsløpsvurdering. ISO 14040 viser at LCA er en iterativ fremgangsmåte som deles i fire trinn, se Figur 1. Trinn en omhandler hensikten og omfanget til en LCA. Både hensikt og omfang skal tydelig defineres og samsvare med tenkt anvendelse (ISO 2006b). Grunnet LCAs iterative natur er det sannsynlig at omfanget må fastsettes på nytt i løpet av studie. Trinn 2 livsløpsregnskap, defineres av ISO (2006a) som “Fase i livsløpsvurderingen som omfatter sammenstillingen og kvantifiseringen av inngangsfaktorer og utgangsfaktorer for et bestemt produktsystem gjennom dets livsløp”. Trinn tre omhandler livsløpseffektvurderingen (LCIA) og hensikten med trinnet er å forstå og evaluere størrelsen og betydningen av produktsystemets miljøpåvirkning iløpet av levetiden til produktet. Det siste trinnet består av livsløpstolkningen og resultatet av studie skal vurderes i forhold til hensikt og omfang for å komme med konklusjoner og anbefalinger (ISO 2006a).



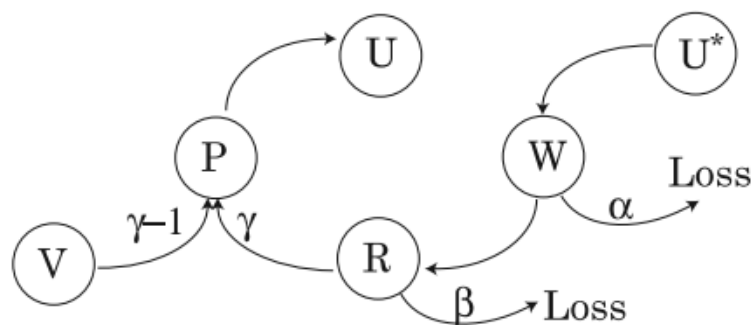
Figur 1: Trinn i LCA inspirert av Figur 1 i ISO (2006a)

For å muliggjøre en sammenligning av utslipp til forskjellige produktsystemer skal en funksjonell enhet og systemgrenser beskrives. En funksjonell enhet beskrives av ISO (2006a) som en "kvantifisert presentasjon for et produktsystem til bruk som en referanseenhet". Den funksjonelle enheten avgjør hva studiet beregner. Ved en LCA analyse av tre forskjellige biler kan to funksjonelle enheter være "en ferdig produsert bil" eller "en ferdig produsert bil med 100 000 km på kilometertelleren". Begge de funksjonelle enhetene tar hensyn til produksjon av bilen, men kun én tar hensyn til deler av den operative fasen til produktet. I produksjonsfasen kan materialer og montering ha størst påvirkning på resultatet. På den andre siden vil de største påvirkningene av resultatene fra dåde produksjonsfasen og den operative fasen mest sannsynlig energikilde og energiforbruk. Dermed vil resultatet av en LCA analyse av tre forskjellige biler avhenge av den funksjonelle enheten. Ved å ta med en større del av livsløpet i den funksjonelle enheten vil resultat bli mer representativt for de totale utslippene til produktet, men det medfører óg større usikkerhet (Weidema mfl. 2014). Eksempler på usikkerheter ved den funksjonelle enheten "en ferdig produsert bil med 100 000 km på kilometertelleren" er drivstofforbruk, antall reparasjoner, gjenbruk og dekkslitasje. Det optimale hadde vært og hensyntatt alle faser i livsløpet til et produkt,

men det byr óg på store usikkerheter og kan føre til feil resultat. Det finnes ikke noe fasit-svar på hva en funksjonell enhet skal være, men heller forskjellige funksjonelle enheter som tar for seg forskjellige deler av livsløpet til et produkt.

Systemgrenser defineres av (ISO 2006a) som “et sett av kriterier som angir hvilke enhetsprosesser som er deler av et produktsystem” og avgjør hvor omfattende produktsystemet beskrives. Videre demonstreres et eksempel på enhetsprosesser som kan inngå i systemgrensene med den funksjonelle enheten “en ferdig produsert bil”. Materialer og montering av bilen antas å stå for de to største utslippene. Monteringen av bilen foregår i en fabrikk, og utslippene fra oppvarmingen og maskinene i fabrikkens inkluderer i analysen. Videre kan utslippene fra byggingen av fabrikkens tas med. Hvis det er konstruert en asfaltert vei mellom fabrikkens og hovedveien kan den også hensyntas. Transporten av fabrikkarbeidere til og fra arbeidsplassen medfører utslipp som kan hensyntas. Eksempelet demonstrerer hvor mange prosesser som påvirker en funksjonell enhet og systemgrensene må settes et sted. Det finnes ikke èn riktig fremgangsmåte å bestemme systemgrensene, men heller forskjellige systemgrenser som hensyntar forskjellige scenarier. Når indirekte prosesser som en maskin skal hensyntas deles utslippene fra maskinen på alle produserte produkter. Hvis en maskin produserer 1 000 000 produkter og utslippet til maskinen er 100 000 kg  $CO_2$ -ekv., vil det legges til 0,1 kg  $CO_2$ -ekv. fra maskinen til utslippene per produserte produkt.

Systemgrensen avgjør videre hvordan klimagassutslippet fra materialer og produkter som fjernes fra systemet hensyntas. I denne masteroppgaven antas gjenbruk av alle materialer og produkter som fjernes fra systemet og derfor legges klimagassbyrden på det nye produktet, se Figur 2. Dette for å motvirke dobbelttelling ved at klimagassutslippene blir medregnet i både eksisterende system og i gjenbrukt system. Et eksempel er en karbonfotavtrykk-analyse av en 10 m ledningstrasé som består av en drikkevannsledning i PE materialet. Ved ødeleggelse eller utskiftning av ledningen resirkuleres PE materialet og gjenbrukes for eksempel som plastposer. En karbonfotavtrykk-analyse av plastposer vil ta klimagassbyrden av omdannelsen fra PE trykkrør til plastpose, mens et nytt PE rør inkluderer i karbonfotavtrykksanalysen av drikkevannsledningen.



Figur 2: Eksempel på utslippene av gjenbruk LCA (Strømmen 2020). Klimagassbyrden i prosess  $U^*$  har blitt medregnet i tidligere steg og vil ikke bli inkludert i klimagassbyrden av det nye produktet  $U$ .  $V$  = ubrukt råvarer,  $P$  = produksjonsprosess,  $U$  = produkt for konsumer,  $R$  = resirkulering,  $W$  = innsamling og søppelsortering,  $U^*$  = eksisterende produkt fra konsumer



Forskjellen på en karbonfotavtrykkanalyse og en LCA er antall effektkategorier. Eksempler på effektkategorier er landbruk, lyd, stråling, økotoksisitet, humantoksisitet og eutrofiering (Baumann 2004). En LCA kan ta for seg alle relevante effektkategorier til det bestemte systemet, mens en karbonfotavtrykkanalyse kun omfatter effektkategorien klimagassutslipp. Det finnes en rekke klimagasser og for å sammenligne forskjellige produktsystemer regnes alle klimagassutslipp om til  $CO_2$ -ekv. Noen eksempler på klimagasser med korresponderende  $CO_2$ -ekv. er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Klimagasser med korresponderende  $CO_2$ -ekv (United States Environmental Protection Agency 2021)

Klimagass	$CO_2$ -ekv.
$CO_2$	1
$CH_4$	25
$N_2O$	298
$SF_6$	22 800

## Resultat av karbonfotavtrykksanalysen

Målet med karbonfotoavtrykksanalyser er å demonstrere de potensielt genererte utslippene fra en gitt funksjonell enhet og bestemte systemgrenser (ISO 2018). Den første måten utslippene kan demonstreres på er en vektor av klimagassutslippet i  $CO_2$ -ekv. (D-vektor), se Tabell 2. D-vektoren er summen av alle utslippene til systemet og gir et tall på det totale klimagassutslippet i  $CO_2$ -ekv. D-vektoren brukes for å sammenligne forskjellige alternativer med et tall. Som forklart tidligere i kapittelet forutsetter en nøyaktig sammenligning lik funksjonell enhet og systemgrenser. Et eksempel på dette kan være en karbonfotavtrykksanalyse av bilproduksjonen i Norge og Sverige, demonstrert i Tabell 2. Den funksjonelle enheten er “produksjonen av en bil” og det antas like systemgrenser. D vektoren av karbonfotavtrykksanalysen vil være summen av utslippene i  $CO_2$ -ekv. til hele produksjonsprosessen til bilen, vist i Tabell 2.

En annen måte å uttrykke utslippene på er en matrise av klimagassutslippet generert fra hver prosess for en gitt funksjonell enhet (Dpro). Dpro skildrer utslippet til hver prosess i systemet og gir en større forståelse av klimagassutslippene til systemet. Dpro av eksempelet ved karbonfotavtrykksanalyser ved bilproduksjon i Norge og Sverige er vist i Tabell 2. I Tabell 2 demonstreres utslippene i prosessene motor, bremses, hjul, understell og interiør. Ved å se nærmere på Dpro-matrisen av bilproduksjon i Norge viser det tydelig at det største klimagassutslippet blir produsert av motoren. Dpro-matrisen til bilproduksjon i Sverige viser også at de største klimagassutslippene blir produsert av motoren, men klimagassutslippet er mindre sammenlignet med den norske. Hvis bilproduksjonen i Norge planlegger å redusere klimagassutslippene er det naturlig å sette søkelys på motoren. Til sammenligning burde bilproduksjonen i Sverige fokusere på både motoren og understellet for å redusere klimagassutslippet. Eksempelet demonstrerer forskjellen mellom to like D-vektorer med forskjellige Dpro-matriser.

Tabell 2: Eksempel av Dpro matrise med sammenhengende D vektor ved bilproduksjon i Norge og Sverige

	Prosess 1	Prosess 2	Prosess 3	Prosess 4	Prosess 5	D vektor
	Motor	Bremser	Hjul	Understell	Interiør	
Norge	2 000	200	200	400	200	3 000
Sverige	1 100	300	400	700	500	3 000

### Innsamling av klimagassutslippsdata

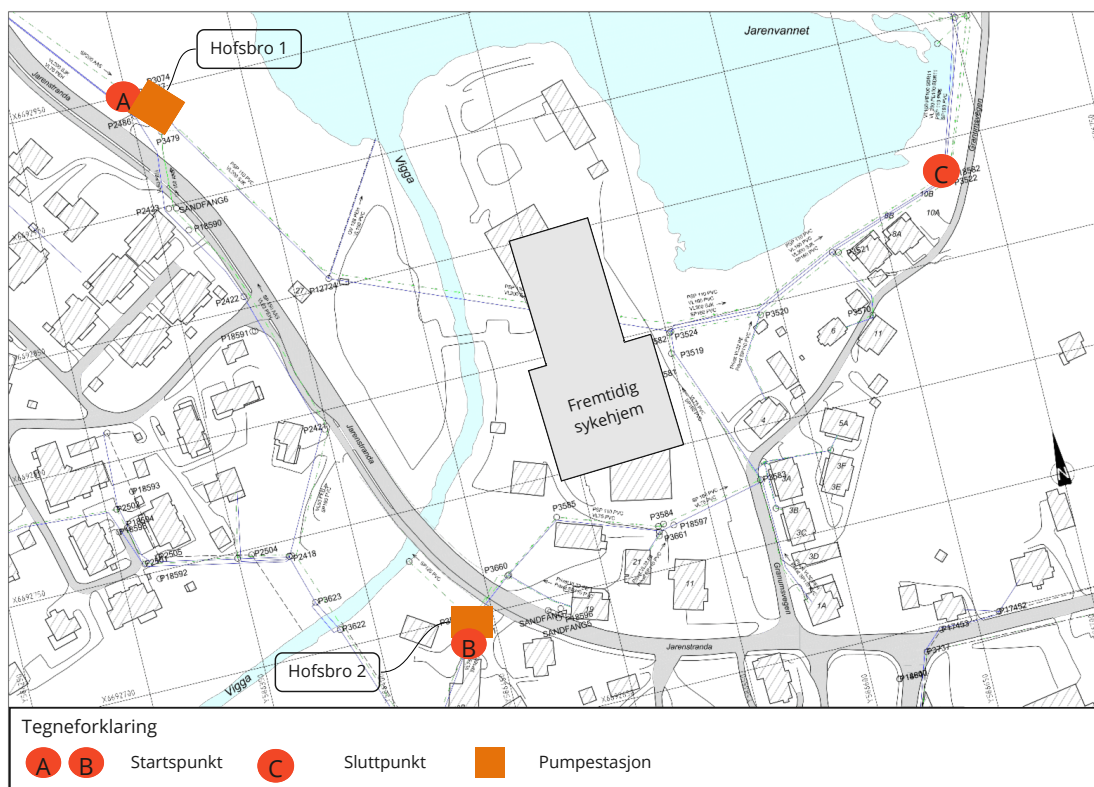
Tilgjengelig klimagassutslippsdata består av Environmental Product Declaration (EPD), publiserte rapporter og kommunikasjon med produsenter og entreprenører. EPD beskrives av Næringslivets Stiftelse for miljødeklarasjoner (2022) som en miljødeklarasjon som "opsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte". Innholdet i en EPD må opprettholde krav og retningslinjer i standarden for miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer (ISO 14025:2006). Målet til ISO 14025 er som følger

1. "å fremskaffe LCA-basert informasjon og ytteligere informasjon om miljøaspektene ved produkter"(ISO 2010).
2. "å sette innkjøpere og brukere i å sammenligne produkter; disse deklarasjonene er ikke komparative utsagn"(ISO 2010).
3. "å oppfordre til forbedring av miljøprestasjoner"(ISO 2010).
4. "å fremskaffe informasjon for å vurdere produktenes miljøpåvirkninger gjennom deres livsløp"(ISO 2010).

For å oppnå målet til ISO 14025 standarden følges blant annet prinsippene om livsløpsgrunnlag, sammenlignbarhet, verifisering, åpenhet og fleksibilitet (ISO 2010). EPDene må følge standardene i ISO 14040 og ISO 14044 som beskriver fremgangsmåten i livssyklusanalyser. EPDer skal være sammenlignbare, som er kritisk for å kunne velge produkter. Standarden har krav om uavhengig verifisering og gjennomgang av vurderinger, antagelser og miljøinformasjon deklarasjonen bygger på. Prinsippet om åpenhet skal medføre muligheten for enhver med interesse i formasjonen å forstå og tolke miljødeklarasjonen. Standardens fleksibilitet skal opprettholde den tekniske troverdigheten samtidig som anvendelsen er fleksibel, praktisk og kostnadseffektiv. For å oppnå dette tillater ISO 14025 standarden blant annet bruk av relevante stadier i livsløpet. Dette medfører at de fleste EPDer inneholder klimagassutslipp fra råmaterialer, transport, tilvirkning og transport til byggeplass. Det resulterer i større fleksibilitet ved utførelsesmetode. Et eksempel kan være en livssyklusanalyse av en 10 m lang ledningstråe med en 200 mm vannledning av polyeten (PE) 100. EPDen til PE100 ledningen gir klimagassutslipp fra råmaterialer til transport til byggeplass. Videre i karbonfotavtrykksanalysen kan utførelsesmetoden variere mellom tradisjonell graving og utblokking. Utførelsesmetoden påvirker klimagassutslippet, men inngår ikke i EPDen til PE100 ledningen. Ved å utelate deler av livsløpet blir EPDene mer generelle, men delen av livsløpsfasen som ikke EPDen innbærer må hensynstas i senere i karbonfotavtrykksanalysen.

## 2.2 VA-prosjektet Vassendvika

Fornyelse av ledningsnett og økning av spillvannspumpekapasiteten i Vassendvika i Gran kommune er et prosjekt gjennomført av rådgiverfirmaet Erichsen & Horgen. Gran kommune ønsket å legge til rette for et nytt sykehjem i Sagatangen. Under planlagt bygningsareal ligger hovedledningstraseen med en 200 mm vannledning og en 110 mm spillvannsledning. I den forbindelse ble det bestemt at ledningsnett skulle legges om og fornyes, øke spillvannspumpekapasiteten og bedre brannslukningsevnen til et fremtidig sykehjem. Løsningen på prosjektet skal transportere vann fra Jarenstranda 27 (punkt A) og Jarenstranda 46 (punkt B) til Granumsvegen 10 (punkt C), se Figur 3. Det skal videre øke pumpekapasiteten til 16,3 l/s, som tilsvarer 2 258 personekv. tilkoblet, og oppgradere ledningsnett med nye spillvanns- og drikkevannsledninger. Eksisterende situasjon består av to pumpestasjoner, Hofsbro 1 og Hofsbro 2. Det er 1 275 personekv. tilkoblet det eksisterende systemet og Hofsbro 1 pumper spillvann for 1 225 personekv. (Stenshorne 2019). De eksisterende tilkoblingene består av en blanding av boliger, hotell, skole, alderpensjonat og et lokalt senter. Kommunen legger til rette for en økning på 165 boliger og et nytt sykehjem (Stenshorne 2019). Totalt tilsvarer økningen i person-ekv. en kapasitetsøkning på pumpekapasiteten på 77 %.



Figur 3: Løsningen på prosjektet skal transportere vann fra punkt A og B til punkt C, utenfor markert område til fremtidig sykehjem.

---

## 3 Resultater

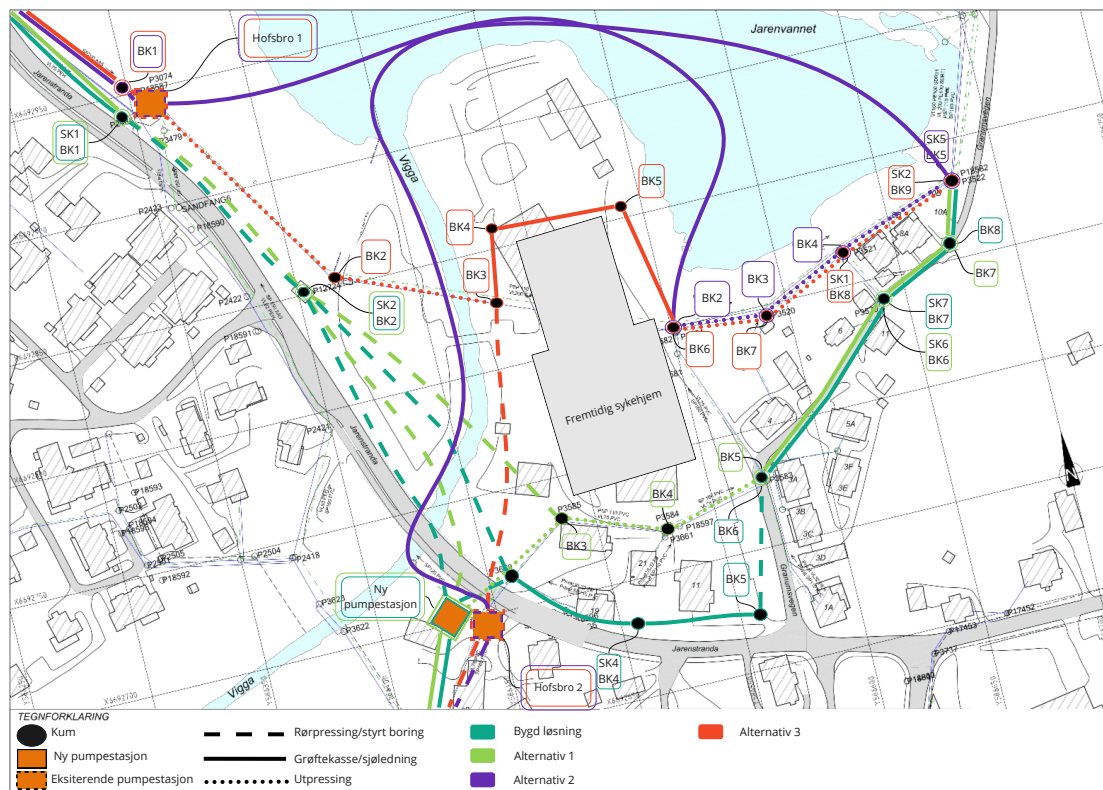
### 3.1 Løsningsalternativer

Vassendvika-prosjektet sto ferdig sommeren 2021. I tillegg til bygd ledningstrasé blir tre alternative ledningstraseer presentert, se Figur 4. Dette for å kunne sammenligne den ferdigstilte løsningen med andre mulige løsninger med tanke på klimagassutslipp, kostnad og kvalitet på løsning. De alternative løsningene er ikke prosjekter, og det er noe usikkerhet knyttet til eventuelt behov for peler eller spunt ved groper, og utforutsette utfordringer i anleggsgjennomføringen. Ledningstraseene varierer mellom eksisterende trasé på land, nye traseer på land og ny trasé i Jarenvannet. Brukt utførelsesmetode til etablering av ledninger varierer mellom en rekke NoDig-metoder og grøftekasser.

Bygd løsning består av ny pumpestasjon og nye ledningstrasé på land, se mørkegrønn trasé i Figur 4. Første del av ledningstraseen fra startpunktet (SK1/BK1) til pumpestasjonen og mellom kummene BK5 og BK6 er NoDig-metoden styrt boring benyttet. Rørpressing er utførelsesmetoden for ledninger fra pumpestasjonen og under veien Jarenstranda frem til kummen BK3. Fra BK3 frem BK5 og fra BK6 frem til sluttpunktet er grøftekasser benyttet. Den første alternative løsningen endrer bygd løsning mellom pumpestasjonen og kummen BK5. Her oppgraderes eksisterende ledninger med Nodig-metoden utblokking, se lysegrønn trasé i Figur 4.

Den andre alternative løsningen oppgraderer eksisterende pumpestasjoner (Hofsbro 1 og 2) og tar i bruk Jarenvannet til store deler av ledningstraseen vist med lilla trasé i Figur 4. Det pumpes spillvann fra både Hofsbro 1 og 2 i sjøledninger til sluttpunktet kumgruppe SK1/BK5. Sjøledninger for drikkevann legges fra startpunktene Hofsbro 1 og 2 og rundt fremtidig sykehjem frem til kummen BK2. Mellom BK2 og frem til sluttpunktet SK1/BK5 oppgraderes eksisterende trasé med NoDig-metoden utblokking. Deler av eksisterende trasé (BK2 til BK5) utnyttes for å sikre tilstrekkelig branntilkoblingsmuligheter i Granumsvegen og til fremtidig sykehjem.

Det tredje løsningsalternativet oppgraderer eksisterende pumpestasjoner (Hofsbro 1 og 2) og oppgraderer store deler av eksisterende ledninger, se rød trasé i Figur 4. Mellom Hofsbro 1 og kummen BK3 og etter kummen BK6 og frem til sluttpunktet oppgraderes eksisterende ledninger ved bruk av NoDig-metoden utblokking. Fra Hofsbro 2 og frem til kummen BK3 utnyttes styrt boring. Rundt fremtidig sykehjem mellom kummene BK3 og BK6 lages ny trasé ved grøftekasser.



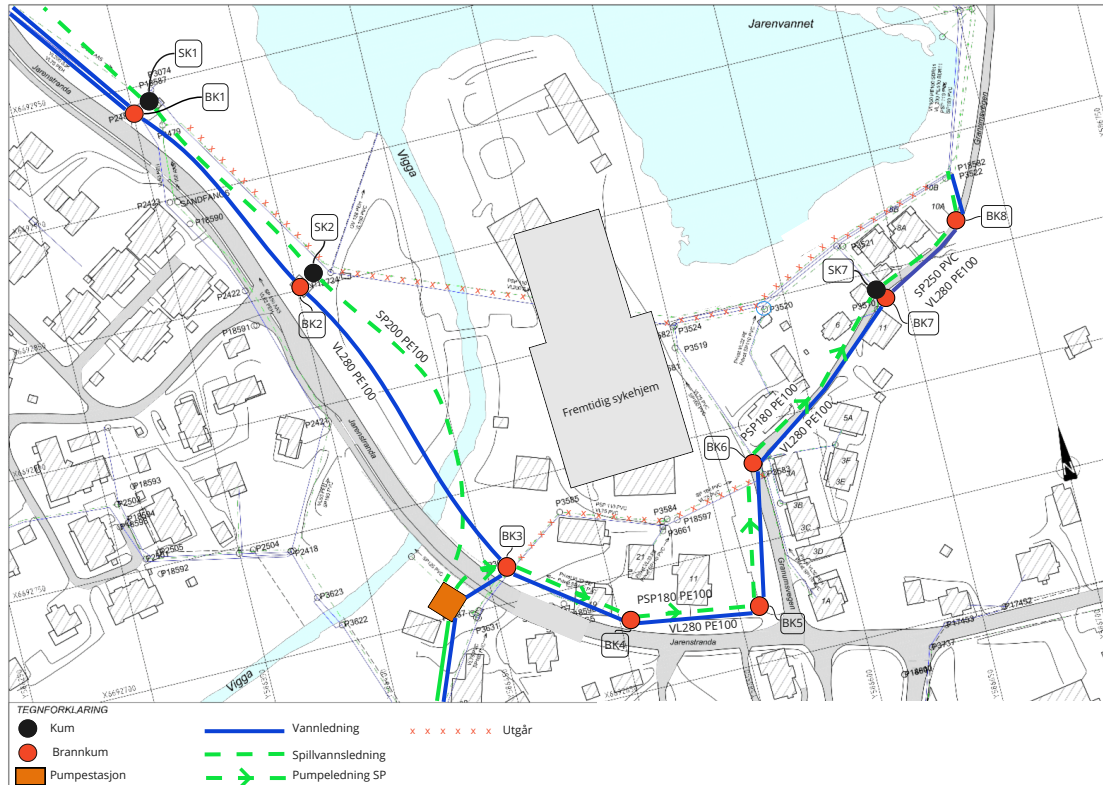
Figur 4: Alternative løsninger til VA-prosjektet Vassendvika

### 3.1.1 Bygd løsning

Prosjektet Vassendvika ble ferdigstilt sommeren 2021 og bygd løsning består av en ny pumpestasjon med en ny trasé for ledningsnett, se Figur 5. Fra startpunktet SK1/BK1 og frem til kummen BK3 er det lagt en 280 mm PE100 vannledning ved bruk av styrt boring. En separat styrt boring ble gjennomført fra startpunktet SK1/BK1 frem til pumpestasjonen der en 200 mm PE100 spillvannsledning ble etablert. Lengden av styrt boring er 250 m for vannledningen og 265 m for spillvannsledningen. Den nye pumpestasjonen er lokalisert sør for Fylkesvei 2306 Jarenstranda. Pumpestasjonen består av pumper, buffertanker, pumpe-sump, pumpehus og betongplate mot oppdrift og er nærmere beskrevet i Delkapittel 3.3.2. Fra pumpestasjonen pumpes det spillvann frem til kum SK8 i en 180 mm PE100 ledning og fra SK8 og til slutt punktet legges en 250 mm Polyvinylklorid (PVC) spillvannsledning. Fra pumpestasjonen og under veien Jarenstranda til kummen BK3 utføres to rørpressinger på 20 m for en pumpeledning spillvann i 180 mm PE100 og en 75 mm PE100 vannledning. Fra kummen BK3 og frem til slutt punktet legges en 280 mm PE100 vannledning. Grøftekasser utnyttes som utførelsesmetode fra BK3 til BK5 og fra BK6 frem slutt punktet, og er en strekning på 309 m. Mellom BK5 og BK6 er NoDig-metoden styrt boring benyttet, og er en avstand på 55 m.

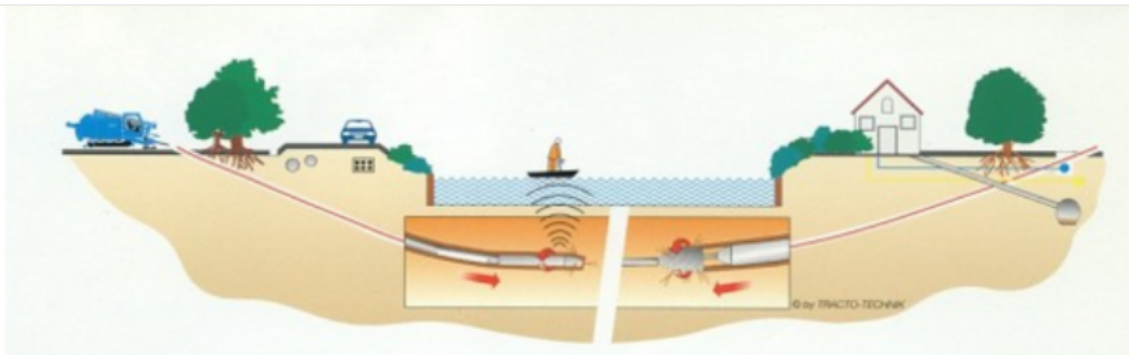
Dimensjonerende pumpekapasitet er 16,3 l/s og kravene for ledningskarakteristikken er en hastighet mellom 0,8 og 1,3 m/s samt en skjærspenning på minst  $2,5 \text{ N/m}^2$  (Stenshorne 2019). Detaljprosjektering av pumpestasjonen i bygd løsning vist i forprosjektrapporten Vassendvika - omlegging VA, se Vedlegg 2. Tabell 17 i vedlegg 1 demonstrerer at valgt ledningsdiameter på 180 mm oppfyller kravene til ledningskarakteristikken. Vedlegg 1 inneholder egenprodusert materiell og annen supplementerende informasjon til master-

oppgaven. Vedlegg 2 inneholder upubliserte dokumenter fra Vassednvikprosjektet brukt i masteroppgaven.



Figur 5: Bygd løsning

Styrt boring er en NoDig-metode brukt i løsningsalternativet. Styrt boring er ifølge Ødegaard mfl. (2014) en metode for etablering av nytt medierør direkte i jomfruelige områder. Vanlige bruksområder ved styrt boring er vernede områder, bymiljø og boligområder, under elver, veier og jernbaner, på store dyp og i myrområder. Det er ikke nødvendig med en byggegrop ved styrt boring, bare en mindre startgrop foran riggen. Fremgangsmåten ved styrt boring er vist i Figur 6 og første steg er å styre et pilothode fra start til ønsket sluttlokasjon. Pilothodet sender ut signal til operatør som følger posisjonen rett over pilothodet i ledningstraseen på bakkenivå. Formålet med signalet er å sikre at ledningen følger den tiltenkte ledningstraseen og oppnå en jevn trasé uten store brekk eller svinger. Når pilothodet har nådd sluttlokasjonen monteres en rymmekrone på pilothodet. Ny PE-ledning påkobles på rymmekronen og trekkes tilbake til startpunktet.

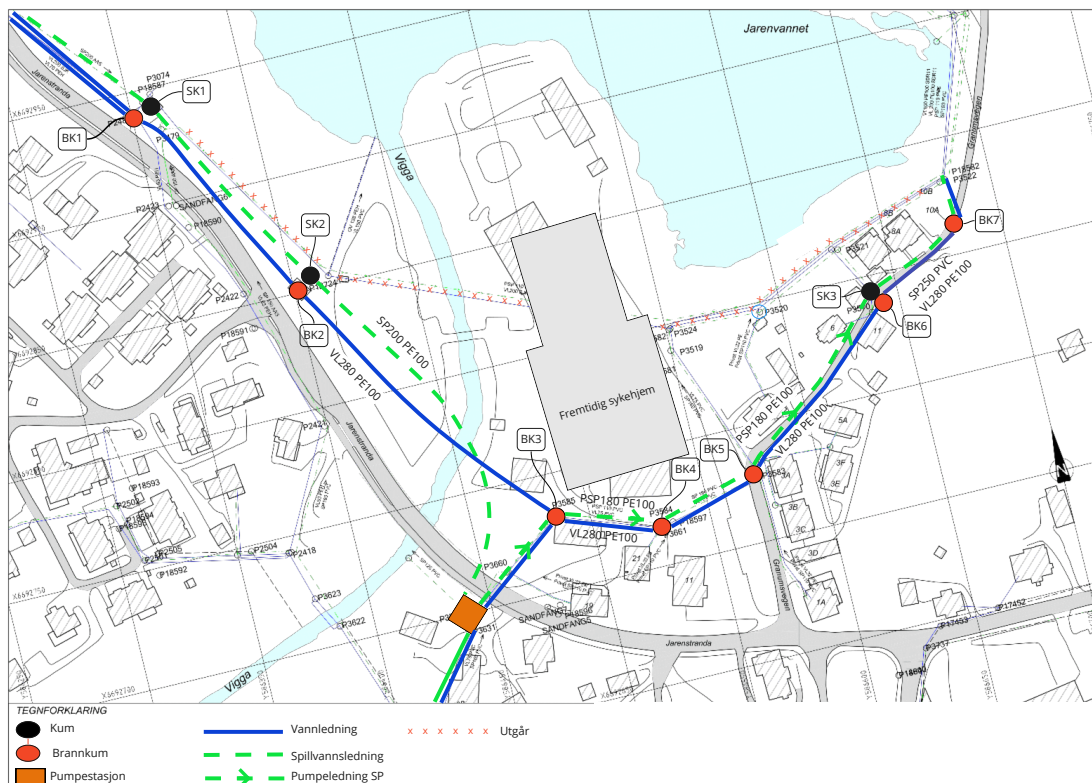


Figur 6: Fremgangsmåte ved styrt boring (Holland Boring 2022)

Rørpressing, også kaldt rørtrykking, er den andre NoDig-metoden brukt i løsningsalternativet og defineres av Ødegaard mfl. (2014) som “etableringen av et nytt medierør direkte i jomfruelige løsmasser eller som et varerør for innføring av nytt medierør”. Rørpressing har en maksimal lengde på 60 m og vanlige bruksområder er under veier, jernbane eller bebygd areal. Det er ikke mulig med retningsendringer langs traseen ved rørpressing. Det finnes forskjellige gjennomføringsmetoder for rørpressing, men den mest brukte metoden er å presse et helsveiset stålrør med åpen front gjennom ledningstraseen. Massen inni stålrøret evakueres fortløpende enten med naverboring eller ved trykkluftspyling ved installasjon. En ny ledning blir lagt gjennom stålrøret og pukk etterfylles. Stålrøret blir liggende rundt den nyetablerte ledningen.

### 3.1.2 Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon

Målet med alternativ 1 er å øke NoDig-utnyttelsen og beholde ny pumpestasjon og ledningstrasé i Granumvegen, se Figur 7. Alternativ 1 endrer trasé og utførelsemetode mellom pumpestasjonen og kummen BK5 og reduserer trasélengden med omlag 100 m. Mellom pumpestasjonen og kummen BK5 blir det eksisterende ledningsnett oppgradert ved bruk av NoDig-metoden utblokking. Eksisterende kummer erstattes mellom pumpestasjonen og kummen BK5 i nye dimensjoner og brukes som trekkegrop for utblokking. Alle dimensjoner og materialer til ledninger og pumpestasjon er like som i bygd løsning.



Figur 7: Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon

Ødegaard mfl. (2014) definerer utblokking som en metoden hvor “det gamle røret blokkes ut med et konisk utblokkerhode av stål, påmontert nytt rør for fortløpende innføring”. Utblokking medfører i likhet med styrt boring svært lite graving og bruksområdet er oppgradering av eksisterende ledninger. Metoden er den eneste som utnytter eksisterende ledningstrasé og kan oppdimensjonere ledningene ved behov.

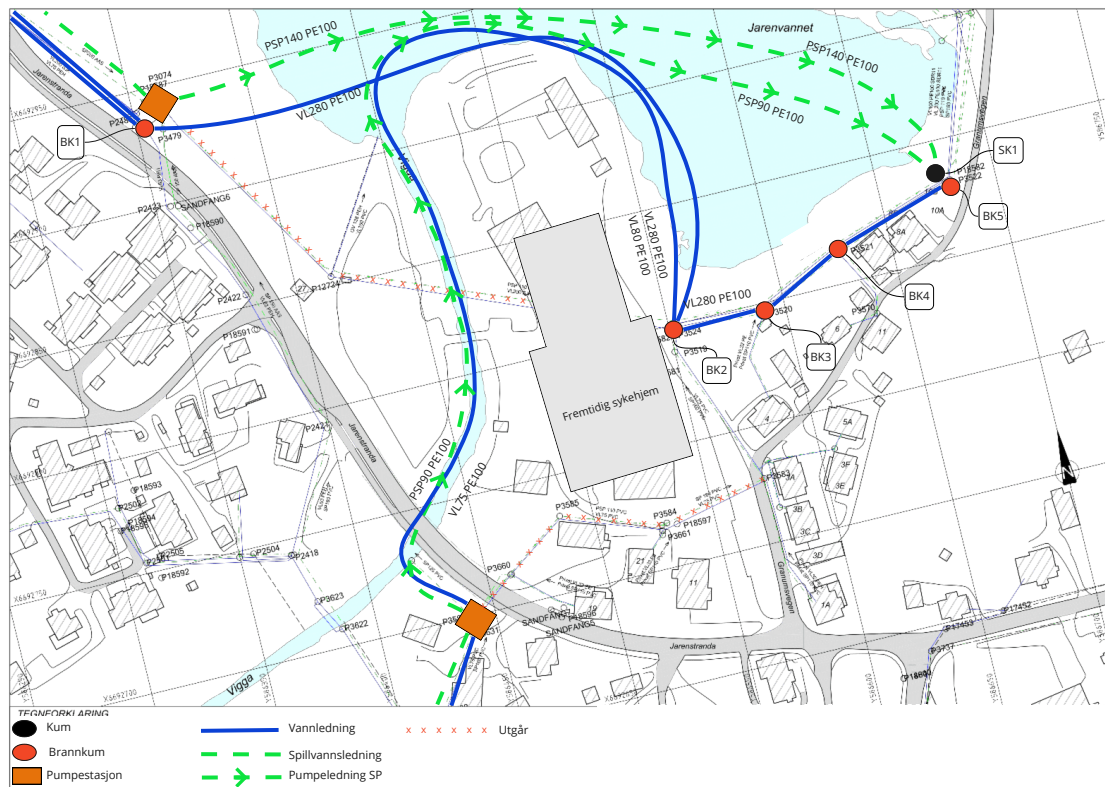
### 3.1.3 Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner

Målet med alternativ 2 er å redusere omfanget av utførelsesmetoder og konvensjonell graving mest mulig. Derfor etablerer alternativ 2 sjøledninger gjennom Jarenvannet og oppgraderer eksisterende ledningstrasé med NoDig-metoden utblokking. De eksisterende pumpene oppgraderes og ny pumpesump, pumpekum, buffertanker og pumper blir dimensjonert, se Delkapittel 3.3.2. Sjøledningene brukt i masteroppgaven er PE100 ledninger med betonglodd. Bakgrunnen for bruk av PE100 ledninger med betonglodd fremfor andre sjøledningsprodukter, f.eks SESU pipe synkerør, er tilgjengeligheten av EPDer. Utrengningen av vekt og senteravstand av betongloddene er vist i Tabell 20 i vedlegg 1 og tar hensyn til rørets oppdrifts, maksimal andel luft i røret, strøm- og bølgekrefter. Det legges totalt fire sjøledninger; to pumpeledninger for spillvann og to vannledninger. Det pumpes spillvann fra Hofsbro 1 og 2 frem til kummen SK1. Fra Hofsbro 1 legges en 280 m pumpeledning spillvann 140 mm pe100 med 40 kg betonglodd med senteravstand på 3,7 m. En 444 m pumpeledning spillvann blir lagt fra Hofsbro 2 til kummen SK1 og er en 90 mm i diameter PE100 ledning med betonglodd på 17,7 kg og senteravstand på 3,2 m. Utrengningen av



ledningskarakteristikken er vist Tabell 17 i vedlegg 1, og begge ledningene tilfredsstiller kravet til pumpeledninger.

Vannledningene i sjøen legges fra Hofsbro 1 og 2 rundt det fremtidige sykehjemmet, frem til kummen BK2 og føres videre til slutt punktet BK5 på land. Trasévalget for vannledningen er begrunnet med å opprettholde brannkravet i Granumsvegen. Vannledningen fra Hofsbro 1 er en 280 mm PE100 ledning med 165 kg lodd med senteravstand på 5,5 m. Fra Hofsbro 2 legges en 75 mm PE100 vannledning med betonglodd på 17,7 kg med senteravstand på 8,3 m. Ledningslengden på vannledningene er 250 og 456 m fra Hofsbro 1 og 2. Utførelsesmetoden for ledningen er utblokking og kummene erstattes gjennom traseen i nye dimensjoner og brukes som trekkegrep for utblokking.

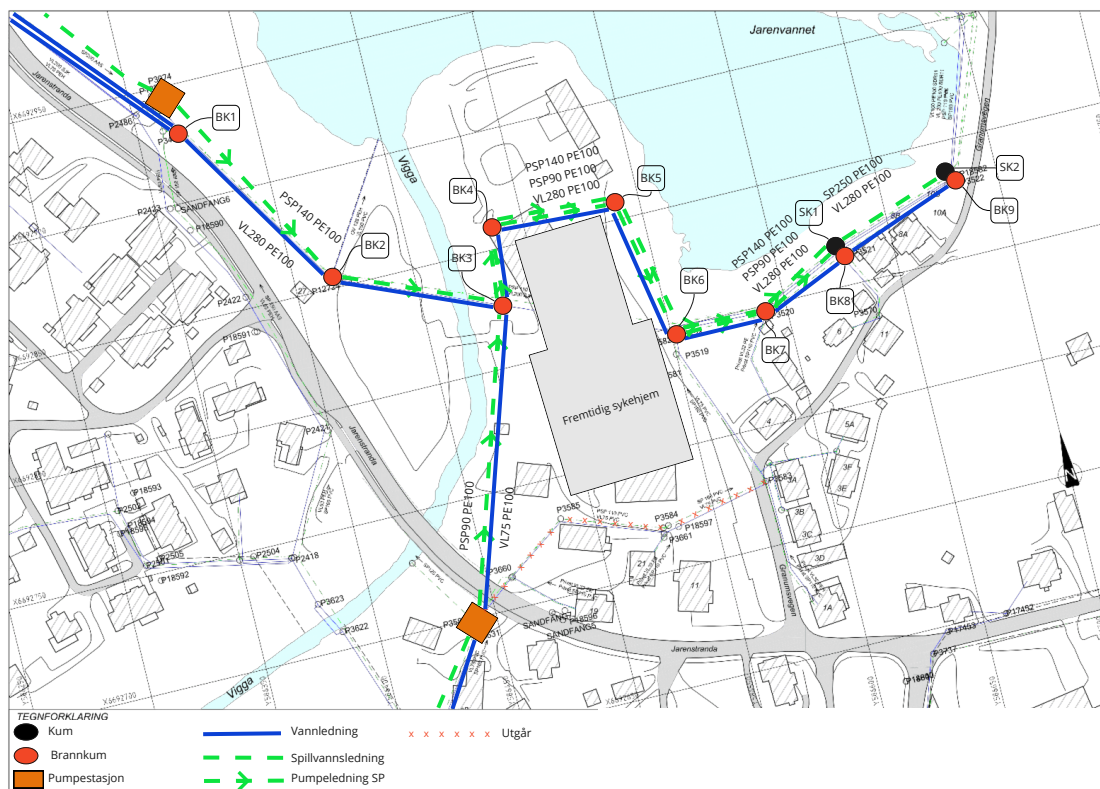


Figur 8: Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner

### 3.1.4 Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpestasjoner

Målet med alternativ 3 er å øke anvendelsen av NoDig-metodene utblokking og styrt boring. Alternativ 3 oppgraderer store deler av eksisterende ledningsnett og pumpestasjoner. Rundt fremtidig sykehjem legges ny ledningstrasé, se Figur 9. NoDig-metoden utblokking blir brukt mellom Hofsbro 1 og BK3 og fra BK6 til SK2/BK9. Rundt fremtidig sykehjem mellom BK3 og BK6 blir ledningene lagt i grøftkasser. Avstanden mellom pumpestasjonen Hofsbro 2 og BK3 er 150 m og ved bruk av NoDig-metoden styrt boring legges en 90 mm pumpeledning spillvann og en 75 mm vannledning. Vannledningene samles i kummen BK3 i en 280 mm PE100 ledning. Eksisterende kummer erstattes gjennom hele traseen i nye dimensjoner og brukes som trekkegrep ved utblokking. Ved oppgradering av pumpestasjonene blir det dimensjonert ny pumpeump, pumpekum, buffertanker og pumper. Dimensjonen på pumpeledningene er 140 mm fra Hofsbro 1 og 90 mm fra Hofsbro 2 tilsvarende som

alternativ 2.



Figur 9: Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpestasjoner

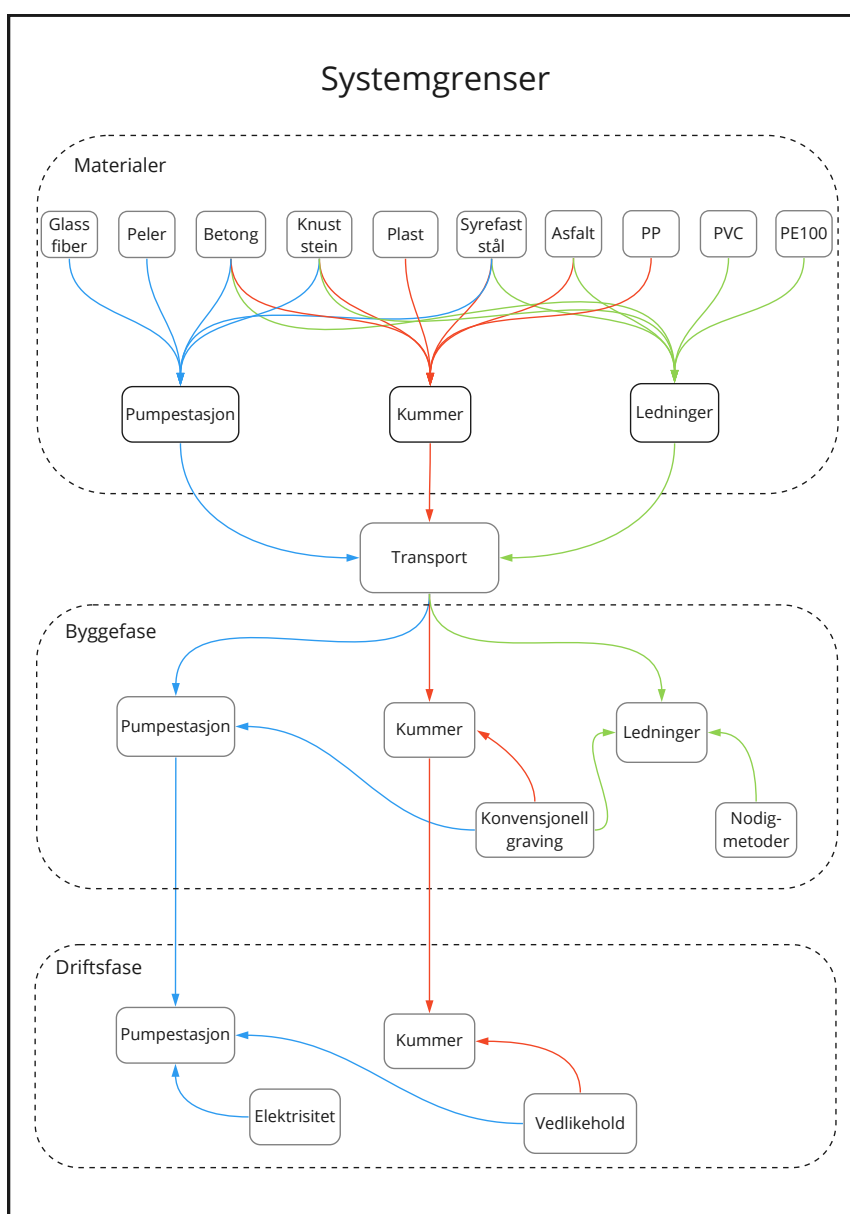
## 3.2 Evalueringskriterier

### 3.2.1 Klimagassutslipp

Det første steget i en karbonfotavtrykksanalyse er å definere hensikten og omfanget med den tenkte anvendelsen (ISO 2006a). Hensikten med karbonfotavtrykksanalysen er å sammenligne klimagassutslippet til de 4 løsningsalternativene på Vassendvika prosjektet, se Figur 4. Den funksjonelle enheten er 50 år med vann- og avløpstransport fra Jarensstranda 27 og 46 til Granumsvegen 10, se Figur 3. Ifølge Vann- og avløps-normen til Gran kommune (2022) skal VA-prosjekt dimensjoneres med mellom 50 og 100 år levetid. 50 år med vann- og avløpstransport ble valgt som funksjonell enhet for å være innenfor levetiden til VA-prosjekt i VA-normen samt redusere risiko ved lang funksjonell enhet. Lange funksjonelle enheter kan ifølge Weidema mfl. (2014) føre til endringer i produkter, miljøinformasjon, politikk og markeder som er vanskelig å forutsi. Dermed øker sannsynligheten for feil forutsetninger og antagelser som påvirker resultatet av analysen. I masteroppgaven kan produktendringer være nye materialer i pumper, ledninger eller kummer. Endring i miljøinformasjon kan være nye EPDer eller energikilder. Politisk beslutninger som påvirker befolkningsveksten i kommunen kan endres. Energimarkedet er et eksempel på et marked som påvirker resultatene og er vanskelig å forutsi i fremtiden. Sannsynligheten for feil forutsetninger er stor de neste 50 årene, men mindre sammenlignet med de neste 100 årene.

Omfanget i karbonfotavtrykksanalyser blir bestemt av funksjonell enhet og systemgrensene. I Delkapittel 1.1.2 ble rapporten av Hansen mfl. (2010) og artikkelen av Rehan og

Knight (2007) presentert. Begge sammenligner klimagassutslippet fra konvensjonell graving og NoDig-metoder med relativ lik funksjonell enhet. Hovedforskjellen er systemgrensene hvor Hansen mfl. (2010) kun tar for seg byggefasen, mens Rehan og Knight (2007) tar for seg materialer, transport til byggeplass, byggefasen og trafikkforsinkelser. Begge artiklene demonstrerer at NoDig-metodene sparer både penger og reduserer klimagassutslippet. Hansen mfl. (2010) demonstrerer en stor reduksjon i drivstoffbruket til anleggsmaskiner ved å bytte gravemaskin med en utblokkingsrigg. På den andre siden viser Rehan og Knight (2007) en svært stor reduksjon i drivstoffbruket til påvirket trafikk. Funnene kan derfor ikke sammenlignes når omfanget og resultatene er svært forskjellige. Systemgrensene i masteroppgaven består av materialer, transport, byggefasen og drift og vedlikehold av de alternative løsningene, se Figur 10. Systemgrensene er en mellomting mellom Hansen mfl. (2010) og Rehan og Knight (2007). Driftsfasen er inkludert i masteroppgaven i likhet med artikkelen til Slagstad og Brattebø (2014), men i masteroppgaven er varigheten på driftsfasen 49 år lenger.



Figur 10: Systemgrenser

---

### 3.2.2 Kostnadsestimat

Den økonomiske kostanden ved bygging og drift sammenlignes ved å regne om kostnadene til kroneverdien i 2022. Kostnaden ved drift regnes om ved bruk av nåverdi (NPV) formelen, Formel 1. NPV står for Net Present Value og  $K_n$  i formelen er kostnaden i år  $n$ . Målet med norsk pengepolitikk er ifølge Norges Bank (2021a) å oppnå en konsumprisindeks over tid på nær 2 %. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2022c) er konsumprisindeksen ofte et mål på prisvekst over tid og  $R$  antas lik 2 i Formel 1.

$$NPV = \sum_{n=1}^{50} \frac{K_n}{\left(1 + \frac{R}{100}\right)^n}$$

Formel 1: Netto nåverdi,  $K_n$  = kostnad i år  $n$ ,  $R$  = prisvekst over tid

### 3.2.3 Kvalitet på løsning

Kvalitetsvurderingen av løsningene er en kvalitativ vurdering av kategoriene opp mot hverandre i kategoriene tilgjengelighet, brannslukningsevne, fleksibilitet og rehabiliteringsevne. Hver kategori blir vurdert på en skala fra 1 til 3 hvor høy score indikerer høy kvalitet og bedre resultat. Tilgjengelighet omfatter tilgang for personell og utstyr ved inspeksjon, rehabilitering, branntilkobling og oppgradering. Eksempler på god tilgang er asfaltert vei i brøyteområdet som gir enkel tilgang hele året. Kommunen ønsker god branndekningen i Granumvegen og ved fremtidig sykehus. Brannslukningsevne vurderer deknningen av brannslukningssoner og tilgangen til brannkummer. Løsningens fleksibilitet vurderer endrings- og tilpasningsmulighetene til utfordringer i fremtiden. Fremtidige utfordringer kan være traseendringer, antall tilkoblingspunkter eller dimensjonsendringer. Rehabiliteringsevne vurderer omfanget og alternative muligheter ved en rehabilitering. Omfanget ved rehabilitering blir større når avstanden mellom kummene øker og når tilgjengeligheten reduseres. Det er eksempelvis mer krevende å rehabilitere en sjøledning sammenlignet med en ledning på land.

## 3.3 Typetegninger

For å sammenligne de forskjellige løsningsalternativene i prosjekteringsfasen lages en standard utforming av kummer, pumpestasjoner og grøftekasser. Det muliggjør enklere utregning av klimagassutslipp og kostnad i alternativene. En type utforming gir endringsmuligheter i alternativene uten krav om å detaljprosjekttere mange forskjellige løsninger. I dette Delkapitlet blir kummer, pumpestasjoner og grøftegasser demonstrert.

### 3.3.1 Kummer

En kum er enten en brannkum (BK) eller en inspeksjonskum (SK). Etter ønske fra VA-avdelingen i Gran kommune skal alle drikkevannskummer være brannkummer og ledningene skal legges frostfritt på 2 m dybde. Det antas at alle kummer og ledninger legges på 2 m dybde uavhengig av terreng og grunnforhold. Indre diameter av BK er 2000 mm

og består av kumlokk, kumringer, kumbunn, ventilkryss, brannventil og bjønnskonsoll, se Figur 28 i vedlegg 1. Under BK kummene ligger det 150 mm med puk og en fiberduk. SK har en indre diameter på 420 mm og er vist i Figur 27 i vedlegg. SK består av kumbunn og stigerør i polypropen (PP) og topplate og kumring i betong samt komlokk. Diameteren på inspeksjonskummene er relativt små når kommuner har minimums størrelse på inspeksjonskummer på 600 mm.

### 3.3.2 Pumpestasjon

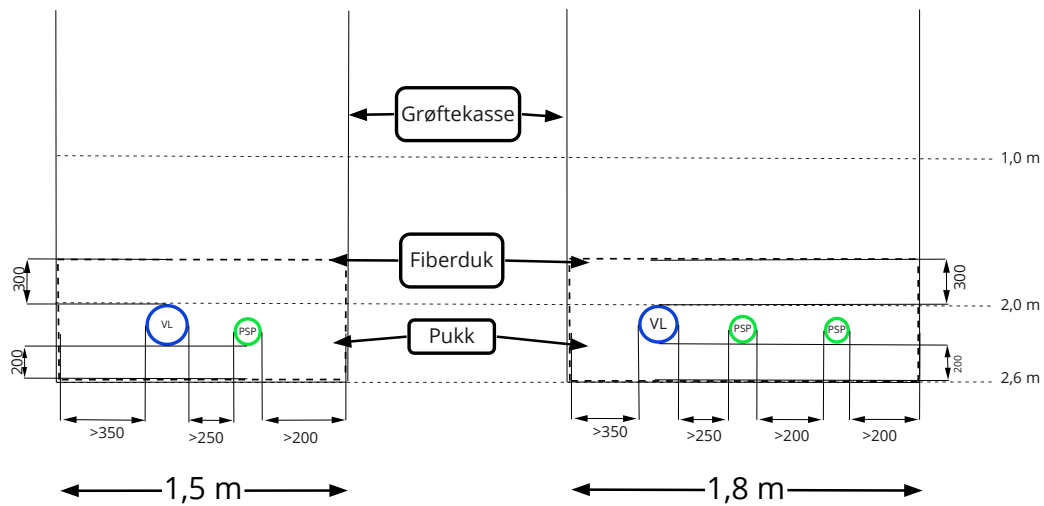
Ved detaljprosjektering av Vassendvika ble ny pumpestasjon prosjektert, se Figur 31 i vedlegg 1. Den dimensjonerte pumpestasjonen inneholder én pumpesump, to buffertanker på 35 kubikkmeter, to pumper, pumpehus og en betongplate mot oppdrift. Størrelse og vekt av pumpeelementene er vist i Tabell 3. Det antas at størrelsen på pumpestasjonen er proporsjonal med dimensjonerende vannføring. Størrelsen og vekt av de oppgraderte pumpestasjonene til alternativ 2 og 3 er vist i Tabell 3. Pelrandelen i pumpestasjonene er avhengig av grunnforholdene til pumpelokasjonen. Grunnforholdene sør for Jarenstranda er utfordrende og peler er nødvendig ved lokasjonen til ny pumpestasjon og Hofsbro 2. Det antas fornyelse av pumpesump, pumper, pumpekum og buffertanker ved oppgradering av de eksisterende pumpestasjonene.

Tabell 3: Pumpestasjoner med mengde pumpesump, pumper, buffertanker og peler

	Ny pumpestasjon	Hosfbro 1	Hosfbro 2
Pumpesump [kg]	1 000	720	280
Pumper [kg]	150	108	48
Buffertank [m <sup>2</sup> ]	70	50,5	18,5
Peler [kg]	54 000	0	15 120

### 3.3.3 Grøftekasse

Grøftekasser benyttes for å redusere grøfteutsalget i løsmasser som gir mindre påvirkning av eksisterende infrastruktur og vegetasjon. Frostfri dybde i Gran kommune er 2,0 m og bredden på topp grøft blir stor uten grøftekasser. Utfordringer ville oppstått i den smale Granumsvegen hvis konvensjonell graving uten grøftekasser hadde blitt benyttet. Grøftekasser reduserer volumet til gravegropen til en åpen grøft ved å stabilisere de vertikale veggene i gravegropen. Gjennomføringen av grøftekasser er vist i Figur 11. Det antas at alle ledninger ligger på 2 m dybde, og derfor endres kun grøftebredden ved endring i antall ledninger. Grøftekasser med tre ledninger er benyttet i alternativ 2 og har en bredde på 1.8 m. Ved bruk av grøftekasser med en eller to ledninger er grøftebredden 1.5 m.



Figur 11: Snitt av grøftekasser med to og tre ledninger

### 3.4 Datainnsamling

#### 3.4.1 Klimagassutslipp

Datainnsamlingen av klimagassutslipp består av EPDer, rapporter og samtaler med produsenter og entreprenører, og er vist i Tabell 4. Datainnsamlingen fra EPDer til produkter innehar klimagassutslippene fra råmaterial til ferdig produsert produkt på lager i Norge. Utslippene fra transport, montering og vedlikehold av produktene beregnes med prosjektspesifikk data. Kostnaden til EPD må dekkes av produsenter eller leverandører, dermed produseres ofte 1 miljødeklarasjon per produkt. Det antas at miljøutslippet er proporsjonalt med vekten av produkter i forskjellige dimensjoner.

Tabell 4: Datainnsamlet klimagassutslipp

Prosess	Klimagassutslipp
	[kg $CO_2$ -ekv.per kg material]
Kumdeler i betong	1,22
Betongplate	0,012
Betonglodd	0,135
Peler	0,365
Duktilt støpejern	0,216
Armeringsjern	0,724
PE 100 ledninger	1,94
PP	2,18
PVC 250 spillvannsledning	1,13
Knust stein 8/18 mm	0,00799
Knust stein 0/8 mm	0,00722
Knust stein 0/60 mm	0,00799
Knust stein 22/120 mm	0,00316
Asfalt 11 mm	0,0492
Graving 1 kubikk	3,23
Glassfiber	2,66
	Klimagassutslipp
	[Liter diesel per m ledningstrasé]
Styrt boring	2,5
Rørpressing	1,33
Utblokking	0,15

## Betong

I løsningsalternativene er materialet betong brukt i kummer, pumpestasjoner og sjøledningene. Beisfjord Sementvarefabrikk AS har publisert en EPD av en Ig kumring DN1600 av betong som demonstrerer et klimagassutslipp 268 kg  $CO_2$ -ekv. per kumring (Remman 2022). En IG 1600 kumring har en egenvekt på 3 240 kg og det fører til et klimagassutslipp per kg betong på 0,122 kg  $CO_2$ -ekv. Det antas at alle deler av betongkummer og pumpesummer har samme kvalitet som kumringen med hensyn til klimagassutslipp.

I pumpestasjonen ligger en betongplate for å sikre buffertankene mot oppdrift. Betongplaten er dimensjonert i bygd løsning, se Figur 29 i vedlegg 1, og betongkvalitet er B30. Ølen betong publiserte en EPD av sin B30 betong som primært benyttes til konstruksjoner som gulv og dekker o.l. EPDen demonstrerer et klimagassutslipp på 0,012 kg  $CO_2$ -ekv. per kg betong (Krossøy 2021).

Rundt sjøledningene ligger det et betongelement og det antas en betongkvalitet med fast-

---

hetskasse B45 og bestandighetsklasse MF40. Vanlige bruksområder for betong B45 MF40 er maritime konstruksjoner er ifølge Standard Norge (2021) i tidevannsoner. Betongservice AS har publisert en EPD av fabrikkblandet ferdigbetong - B45 M40, som demonstrerer et klimagassutslipp på 308,7 kg  $CO_2$ -ekv. per  $m^3$  betong (Vangen 2022). Det tilsvarer et klimagassutslipp på 0,135 kg  $CO_2$ -ekv. per kg betong.

## Metall

I Vassendvika-prosjektet er det brukt metall i form av peler, ventilkryss, bjønnkonsoller, pumper og armeringsjern. Ferrometall AS har publisert en EPD av produksjonen av peler, og klimagassutslippet til peler er 0,365 kg  $CO_2$ -ekv. per kg peler (Jensen 2017). Pelene til Ferrometall er produsert i Kina og klimagassutslippet fra EPD består av råmaterialer, tilvirkning og transport fra Kina til Norge.

Ifølge Hias IKS (2018) skal ventilkryss være av syrefast stål eller duktilt støpejern. Det antas at både ventilkryss og bjønn konsoll er av duktilt støpejern. Furnes Jernstøperi AS produserer duktilt støpejern og har publisert en EPD som demonstrerer at 1 kg duktilt støpejern medfører et klimagassutslipp på 0,216 kg  $CO_2$ -ekv. (Snemyr 2021). Det antas videre at pumpene i pumpestasjonen har samme klimagassutslipp som bjønnkonsoller og ventilkrysser. Armeringsjern blir brukt i pumpestasjonen og Kamstål AS har publisert en EPD av armeringen de produserer som demonstrerer at 1 kg armeringsjern medfører et klimagassutslipp på 0,724 kg  $CO_2$ -ekv. (Krogstad 2020).

## Plast

Polyetylene (PE) 100 er den mest utbredte plastmaterialet i prosjektet, fordi ledningene består hovedsakelig av materialet. Pipelife Norge AS publiserte nylig en EPD av et PE100 robustline RC trykktrør som demonstrerer et klimagassutslipp på 1,94 kg  $CO_2$ -ekv. per kg ledning (Moen 2021). Det er ikke publisert EPD-er til inspeksjonskummer i plast og inspeksjonskummene av plast i prosjektet består av PP materialet. Mannheim og Simenfalvi (2020) gjennomførte en LCA studie av livsløpet til 1 kg PP materialet, og studiet demonstrerte et utslipp på 2,18 kg  $CO_2$ -ekv. i produksjonsfasen. Det antas like stort klimagassutslipp fra 1 kg PP materialet som 1 kg inspeksjonskum av plast. PVC er det andre ledningsmaterialet brukt i prosjektet. Pipelife AB har publisert en EPD av en 250 mm PVC ledning. Ifølge Lennartsson (2021) produserer en 250 mm PVC ledning et klimagassutslipp på 1,13 kg  $CO_2$ -ekv. per kg PVC.

## Knuste masser

Pukk med dimensjonen 8/16 mm benyttes i alle løsningsalternativene og legges i ledningstraseer og under kummer. Oddvar Øygard AS har publisert en EPD av produksjonen av 8/16 mm pukk, og 1 tonn pukk 8/16 mm har et klimagassutslipp på 7,99 kg  $CO_2$ -ekv. (Hundhammer 2021).

Når deler av ledningstraseen ligger i en vei og grøftkasser utnyttes som utførelsesmetode må veien ødelegges og rekonstrueres. Oppbyggingen av veien er vist i Figur 30 i vedlegg 1 og knust stein er benyttet i dimensjonene 22/120, 0/60 og 0/8 mm. Oddvard Øygard AS publiserte en EPD som demonstrerte et klimagassutslippet på 3,16 og 7,99 kg  $CO_2$ -ekv. per tonn knust stein 22/120 mm og 0/60 mm (Hundhammer 2021). NCC publiserte en EPD av produksjonen av 0/8 mm knust stein som demonstrerer et klimagassutslipp på 7,22 kg  $CO_2$ -ekv. per tonn knust stein (Solli 2020).



---

## Maskiner

Ifølge miljøanalysen til Hansen mfl. (2010) er utslippene ved konvensjonell graving i åpen grøft med 25 og 8 tonns gravmaskin i gjennomsnitt 3,23  $CO_2$  per kubikk graving. I analysen av Hansen mfl. (2010) legges det en ny 355 mm vannledning på 1,6 m dyp. Utslippene fra gravemaskinene består av åpning av grøft, montering av ledningen, pukk og etterfylling av masser.

De tre forskjellige NoDig-metodene i masteroppgaven er styrt boring, rørpressing og utblokking. Ifølge Kristian August Olimb prosjektleder hos Olimb AS (Epostkorrespondanse, 07.12.21) er dieselforbruket ved styrt boring med diameter mellom 40 og 500 mm mellom 2 og 3 liter per m. Videre informerer Kristian August Olimb (Epostkorrespondanse, 07.12.21) at rørpressing har et drivstofforbruk mellom 6 og 10 liter per 6 m pressing for diameter mellom 500 og 1200 mm. Utblokking er den siste NoDig-metoden brukt i masteroppgaven og har et lavt drivstofforbruk på 0,15 liter per m ifølge Knut Skorta, anleggsleder NoDig Båsum boring (telefonsamtale. 15.03.2022).

## Glassfiber

I pumpestasjonen er det dimensjonert buffertanker av glassfiber. Selskapet DOMO Chemicals publiserte en EPD av produksjonen av glassfiber. DEMO er et italiensk selskap som opererer i hele verden. EPDen som selskapet DOMO Chemicals produserte er godkjent i Italia og følger ISO 14025 standarden. EPDen demonstrerer et klimagassutslipp på 1,33 kg  $CO_2$  per kg glassfiber (DOMO Chemicals 2017).

## Elektrisitet

Pumpestasjonen bruker elektrisitet som energikilde og energikilden antas å være lik den gjennomsnittlige norske energisammensetningen. Klimagassutslippet til den norske energisammensetningen er 0,03104 kg  $CO_2$ -ekv. per kilowattime ifølge Eliassen (2021).

## Transport

Klimagassutslippet ved transport regnes ut ved å multiplisere energiforbruk ved transport, vekten av produktet og transportavstanden. Benevningen til energiforbruk ved transport er gitt i liter diesel per tonn kilometer. Tabell 5 viser en oversikt over avstand fra Vassendvika-prosjektet og energiforbruket til lastebilene brukt ved transport av produkter. En liter diesel tilsvarer ifølge Hansen mfl. (2010) et klimagassutslipp på 2,66 kg  $CO_2$ -ekv.

Tabell 5: Transportavstand og energiforbruk til utregning av klimagassutslippet ved transport

	Avstand [km]	Energiforbruk [l/tkm]
Betongkum	61,5	0,022606
Platkum	87	
Vannledninger	87	
Spillvannsledninger	87	
Glassfiber tank	156	
Løsmasseboring	79,8	
Rørpressing	26	
Gravemaskin	79,8	
Betong	61,5	
Lagring	10	
Pukk	37,8	
Asfalt	40,4	0,035399
Armering	61,5	0,043626
Peler	160	0,022

### 3.4.2 Kostnadsestimat

Kostnaden av produkter og tjenester er samlet inn i 2022 eller omregnet til kroneverdi i 2022. Datainnsamlingen består hovedsakelig av det vinnende entreprenør anbudet til Vassendvika-prosjektet i 2020, se Vedlegg 2. Prisveksten i Norge har vært uvanlig stor og ujevn mellom 2020 og 2022, og ifølge Norges Bank (2021b) skyldes prisveksten høy etterspørsel og forsinkelser i globale forsyningskjeder. I et forsøk på å finne dagens kostnadsnivå i entreprenøranbudet er prisveksten mellom 2020 og 2022 delt inn i kategoriene plast, betong, stål, stålkomponenter i kum, maskinindustrien og konsumprisindeksen, se Tabell 6. Med valgt oppdeling har over 90 % av anbudet fått egen prisvekstkategori mens de resterende 10 % er justert av konsumprisindeksen. Prisveksten i kategorien plast er funnet ved å sammenligne kostnaden av PE100 ledninger. Kostnaden av PE100 ledninger i 2022 er hentet fra Lisa Leira, Salg VMT Buskerud Brødrene Dahl (Epostkorrespondanse, 18.03.2022) og gir en prisøkning i kategorien plast på 126 %. Kostnaden av kumelementer i betong i 2022 er hentet fra Rørprodukter (2022) og sammenlignet med anbudet i Vassendvika-prosjektet som medfører en prisøkning på 24 %. Prisøkningen i stål er funnet ved å sammenligne pelekostnad, og pelekostnaden i 2022 er innhentet fra Torgeir Gunleiksrud, Salgssjef/produktansvarlig Ferrometall AS (telefonsamtale, 28.03.2022) og gir en prisøkning på 81 %. Prisøkningen i kategorien stålkomponenter i kum er hentet fra Christer Rønning, distriksansvarlig VA-teknikk Midt, Ulefos AS (Epostkorrespondanse, 09.06.2022) og demonstrerer en prisøkning på 24 %. Innsamlet kostnad i 2022 er veiledende pris mens omfanget av eventuelle rabatter eller avtaler i det vinnende entreprenøranbudet er uvisst. Det kan resultere i en for stor prisvekst.

Prisøkningen for maskiner i veganlegg 13,4 % prosent mellom tredje kvart 2020 og først

---

kvartal 2022 Statistisk sentralbyrå (2022a). Statistisk sentralbyrå (2022c) beskriver konsumprisindeksen som “utviklingen i konsumpriser for varer og tjenester etterspurt av private husholdninger bosatt i Norge” og uttaler at endringer i indeksen er et vanlig mål for inflasjon. Konsumprisindeksen har steget med 6,5 prosent fra tredje kvartal 2020 til første kvartal 2022 (Statistisk sentralbyrå 2022c).

Tabell 6: Prisvekst i prosent

Kategori	Prisvekst [%]
Plast	125,7
Betong	23,8
Stål	80,9
Stålkomponenter i kum	24,2
Maskinindustrien	6,3
Konsumprisindeksen	6,5

## Pumpestasjon

Kostnaden av ny pumpestasjon i bygd løsning omregnet til 2022-kostnader er 8 963 000 NOK. Kostnaden av pumpestasjonen i anbudet til Vassendvika-prosjektet er multiplisert med en sammensetning av prisveksten i plast, stål, stålkomponenter i kum, betong og konsumprisindeksen. Det antas at kostnaden av pumpestasjoner er proporsjonal med størrelsen, og kostnaden ved oppgradering av eksisterende pumpestasjoner er henholdsvis 6 369 000 og 2 594 000 for Hofsbro 1 og 2.

Kostnaden rundt drift og vedlikehold av pumpestasjonene deles inn i strømutfgifter og fornyelse av materialer. Det antas at spillvannspumpene må byttes ut hvert 20 år, og kostnaden av en pumpe er 60 500 NOK per pumpe ifølge Trond Mangus Bertnsen, prosjektingeniør Xylem Water Solutions Norge (Epostkorrespondanse, 22.04.2021). Pumpedata fra bygd pumpestasjon i Vassendvika er vist i Figur 31 i vedlegg 1 og tilsier et årlig strømforbruk på 7011 kWh. Pumpen er dimensjonert for en økning i befolkningen men i denne masteroppgaven antas det et likt strømforbruk som i Figur 31 i vedlegg 1 ut den funksjonelle enheten. Valgt kostnadsnivå for strømprisen er 47,88 øre/kWh som er den gjennomsnittlige prisen for variabel pris kontrakter ekskludert mva. for tjenesteytende næringer mellom andre kvartal 2020 og første kvartal 2022 (Statistisk sentralbyrå 2022b). Det er usikkert om kommunen har en strømkontrakt med elspotpris, ny fastpriskontrakt, gammel fastpriskontrakt eller variabel pris. Variabel pris kontrakt ligger nærmest gjennomsnittlig pris av de forskjellige mulige strømkontraktene i SSB og er derfor valgt.

## Kummer

Kummene består av en brannkum i betong eller en inspeksjonskum i plast og kostnaden er funnet ved å multiplisere prisøkningen i Tabell 6 med kostnaden i anbudet til Vassendvika-prosjektet (se vedlegg 2). Betongkummene og inspeksjonskummene er vist i Delkapittel 3.3.1 og inkludert i kostnaden av kummene er kumdeler i betong og plast, bjønnkonsoll, ventilkryss, pukk, graving, fiberduk og transport av masser. Kostnaden av en betongkum og en inspeksjonskum i 2022 er henholdsvis 364 160 og 91 600 NOK.

---

## Nodig

NoDig-metodene utnyttet i løsningsalternativene er styrt boring, rørpressing og utblokking. Styrt boring og rørpressing er brukt i bygd løsning og datainnsamlingen er fra det vinnende entreprenøransbudet (se vedlegg 2) multiplisert med kostnadsøkningen i maskinindustrien, se Tabell 6. Kostnaden av rørpressing varierer stort med tanke på diameter og er derfor vist med begge de brukte diameterne. Kostnadsestimatet ved utblokking er hentet etter samtaler med Knut Skorta, avdelingsleder NoDig Båsum boring (telefonsamtale, 15.03.2022). Kostnaden ved NoDig-metodene er vist i Tabell 7, og er delt inn i pris per oppstilling og pris per m graving. Alle kumgropene er utnyttet som oppstillingsgroper og kostnaden ved graving er lagt til fornyelse av kummene.

Tabell 7: Kostnadsestimat ved NoDig-metoder

NoDig-metode	Kostnad per oppstilling [Nok]	Kostnad per m graving [Nok]
Styrt boring	22 909	583
Rørpressing dy 508 mm	17 743	2 490
Rørpressing dy 244 mm		1 867
Utblokking	8 250	275

## Ledninger

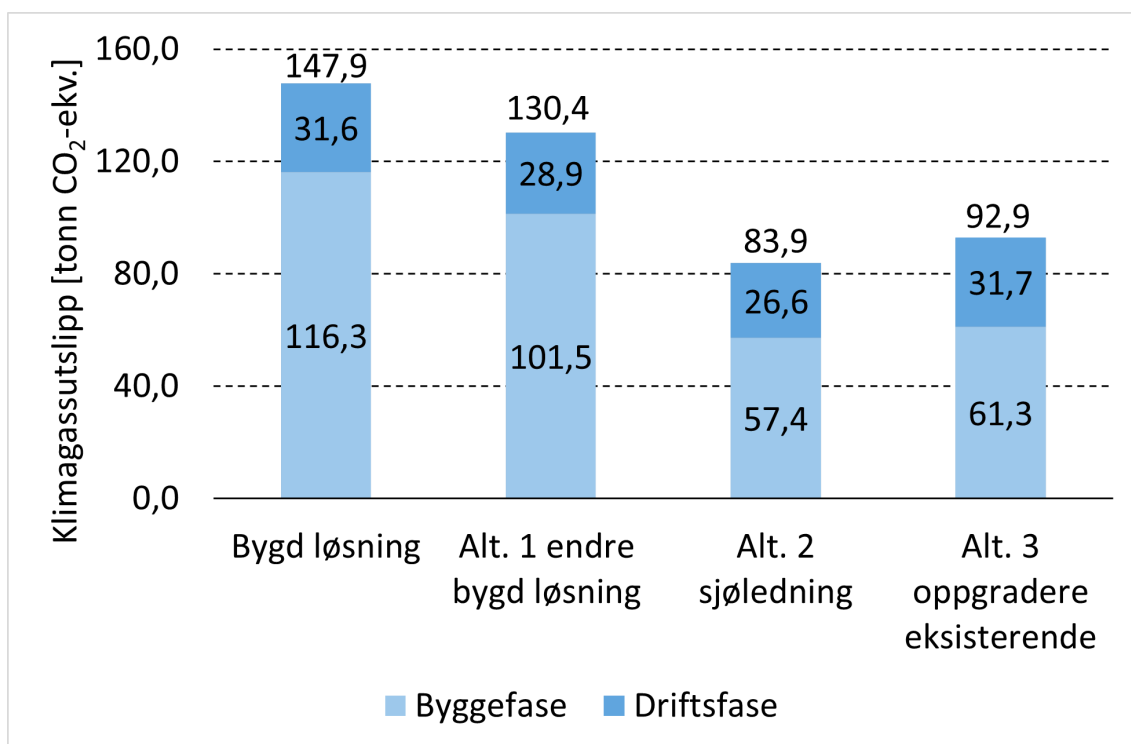
Ledningene brukt i oppgaven består i stor grad av PE100 i dimensjoner mellom 75 og 280 mm. Det er i tillegg én ledning i PVC 250 mm for spillvann. Kostnaden per m ledning er vist i Tabell 8 og hentet fra det anbudsvinnende tilbudet i Vassendvika-prosjektet multiplisert med prisveksten i Tabell 6 eller fra epostkorrespondansen med Lisa Leira, Salg VMT Buskerud Brødrene Dahl (18.03.2022).

Tabell 8: Kostnaden av ledninger

	Diameter [mm]	Kostnad per m [NOK]
Drikkevann- og spillvannsledninger PE100	75	98,6
	140	335
	180	555
	200	690
	280	1 330
Sjøledning PE100 med betonglodd	75 vannledning	139
	75 spillvannledning	158
	140	449
	280	1 637
Avløpsledning PVC	250	799

### 3.5 Klimagassutslipp

Resultatet av beregningene av klimagassutslippet demonstrerer bygd løsning som det løsningsalternativet med størst klimagassutslipp. Deretter følger alternativ 1 (øke utnyttelsen av NoDig-metoder i bygd løsning), 3 (oppgradere eksisterende ledninger) og 2 (etablere sjøledninger), se Figur 12. Utslippet til bygd løsning er 147,9 tonn  $CO_2$ -ekv., etterfulgt av alternativ 1 med et utslipp på 130,4 tonn  $CO_2$ -ekv. Utslippene reduseres kraftig til 83,6 og 91,9 tonn  $CO_2$ -ekv. i alternativ 2 og 3. Klimagassutslippene er videre delt opp i byggefasen og driftsfasen, og i byggefasen er det størst forskjeller mellom løsningsalternativene. Med 116,3 og 101,5 tonn  $CO_2$ -ekv. produserer bygd løsning og alternativ 1 de største klimagassutslippene i byggefasen. Igjen vises en tydelig reduksjon i utslippene til alternativ 2 og 3 med et klimagassutslipp på henholdsvis 57,4 og 61,2 tonn  $CO_2$ -ekv. I driftsfasen produserer alternativ 3 størst klimagassutslipp med 31,7 tonn  $CO_2$ -ekv. etterfulgt av bygd løsning med et klimagassutslipp på 31,6 tonn  $CO_2$ -ekv. Med et klimagassutslipp på 26,6 tonn  $CO_2$ -ekv. produserer alternativ 2 minst klimagassutslipp i driftsfasen. Alternativ 1 har et klimagassutslipp på 28,9 tonn  $CO_2$ -ekv. og dermed nest lavest utslipp.



Figur 12: Sammenligning av klimagassutslippet til løsningene

De forskjellige løsningsalternativene består av forskjellige i utførelsesmetoder, traseer og materialer. Utførelsesmetodene brukt i masteroppgaven er grøftkasser, rørpressing, styrt boring og utblokking. Klimagassutslippet fra hver av utførelsesmetodene per m ledningsstrasé med 2 ledninger er vist i Tabell 9. Utregningen består av klimagassutslipp fra pukk, støpejern, massetransport, dieselforbruk av maskiner og transport av maskiner. Utregningene tar ikke hensyn til materialutslippet ved produksjon av ledninger. Utregningen baserer seg på løsningene i løsningsalternativene og sammenligner derfor ikke utførelsesmetodene på lik ledningslengde. Det kan føre til en skjevfordeling av klimagassutslippet fra transport per m ledningsstrasé.

NoDig-metoden rørpressing har et klimagassutslipp på 67,9 kg  $CO_2$  per m ledningsstrasé

og er utførelsesmetoden med størst klimagassutslipp. Rørpressing har høyt drivstofforbruk og et varerør av stål blir liggende igjen i bakken etter utført rørpressing. For en oppklaring av utførelsen av rørpressing se Delkapittel 3.1.1. I rørpressing står drivstofforbruket for 65 % og varerør står for 31 % av klimagassutslippene. Grøftekasser har det nest største klimagassutslippet med 41,6 kg  $CO_2$  per m trasélengde. Gravemaskin står for 50 % av utslippene fra grøftekasser etterfulgt av pukk og transport med 28 og 19 %. NoDig-metoden styrt boring har det nest laveste klimagassutslippet med 15,8 kg  $CO_2$ -ekv. per m ledningstrasé, og 93 % av utslippene kommer fra drivstofforbruket. Den metoden med lavest klimagassutslipp er utblokking, med 0,42 kg  $CO_2$ -ekv. per m ledningstrasé.

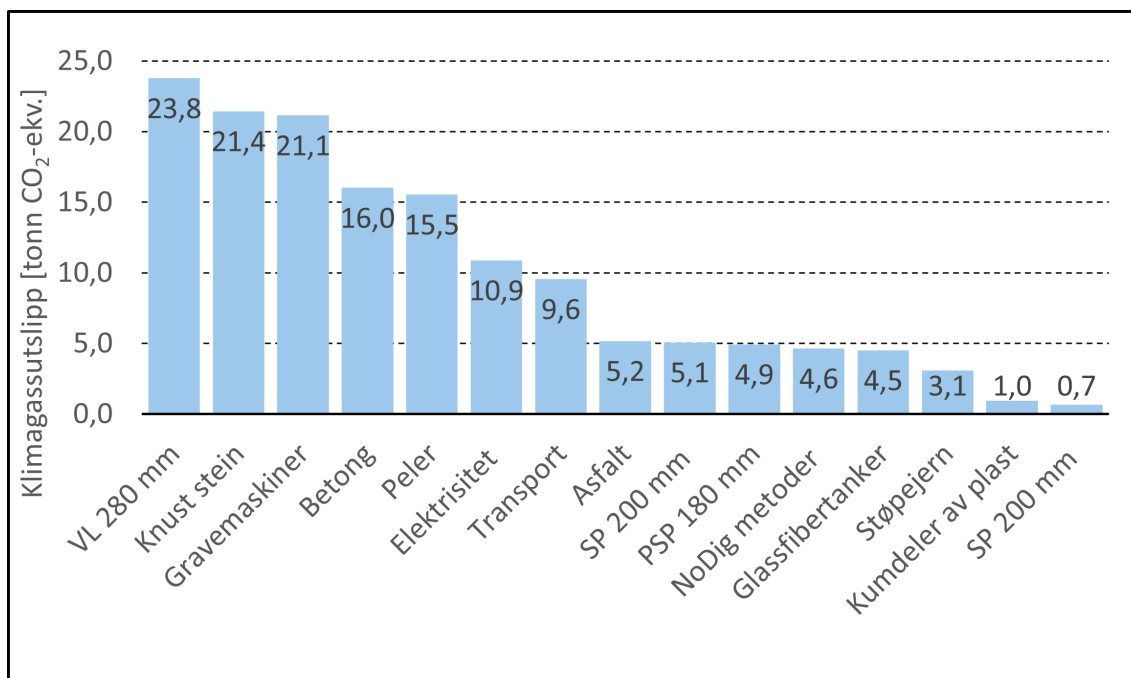
Tabell 9: Klimagassutslipp fra utførelsesmetode per m trasélengde med 2 ledninger

	Grøftekasser	Rørpressing	Styrt boring	Utblokking
Klimagassutslipp [kg $CO_2$ -ekv. per m]	41,6	67,9	15,8	0,42

### 3.5.1 Bygd løsning

Bygd løsning er det løsningsalternativet med størst klimagassutslipp på 147,9 tonn  $CO_2$ -ekv. og Figur 13 demonstrerer prosessene i alternativet med korresponderende klimagassutslipp. Den prosessen med størst klimagassutslipp er en 280 mm vannledning i PE100. Med en ledningslengde på 600 m medfører det et utslipp på 23,8 tonn  $CO_2$ -ekv. Knust stein utgjør den nest største utslippsposten med et klimagassutslipp på 21,4 tonn  $CO_2$ -ekv. Knust stein består av følgende fire dimensjoner; 0/8, 0/60, 8/16 og 22/120 mm. Pukk med dimensjonen 8/16 mm brukes rundt kummer og ledninger, og står for 25 % av utslippene til knust stein. De resterende dimensjonene brukes i veioppbyggingen av Granumsvegen og utgjør resten av utslippene. Den prosessen med det nest største klimagassutslippet er gravemaskiner med utslipp på 21,2 tonn  $CO_2$ -ekv. I løsningsalternativene er det brukt gravemaskin ved graving av groper til pumpestasjoner, kummer og ledninger. Bygd løsning består av åtte brannkummer i betong og tre inspeksjonskummer av plast og graving i forbindelse med kummer står for 11,8 tonn  $CO_2$ -ekv. og 55 % av gravemaskinutslippene. Videre står 31 % av gravemaskinutslippene fra graving i grøftekasser, og trasélengden grøftekasser er benyttet er 305 m. Både brannkummer og inspeksjonskummen består av kumelementer i betong, se Delkapittel 3.3.1 for typetegninger av kummer. Kumelementer i betong står for 96 % av utslippene fra betong og betongutslippet er det fjerde største klimagassutslippet på 16,0 tonn  $CO_2$ -ekv. Det femte største klimagassutslippet kommer fra pelene rundt pumpestasjonen på 15,5 tonn  $CO_2$ -ekv. Hovedgrunnen bak det høye peleutslippet er at pelene blir stående igjen etter konstruksjonen av pumpestasjonen.

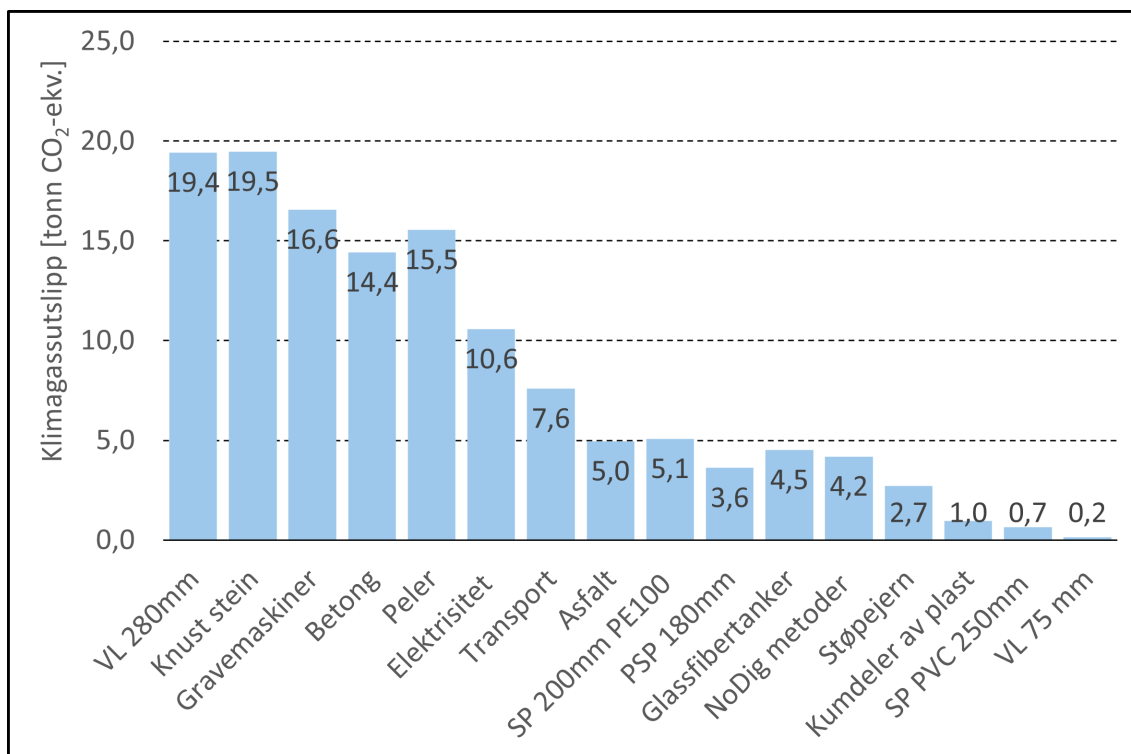
Elektrisitet brukes som energikilde til pumpestasjonen. 50 år med pumping av spillvann akkumulerer i et klimagassutslipp på 10,9 tonn  $CO_2$ -ekv. og gjør elektrisitet til den sjette største utslippsposten. Transport omhandler transport av varer til og fra byggeplassen samt transport av masser til og fra deponi eller midlertidig lagring. Klimagassutslippet fra transport er totalt 9,6 tonn  $CO_2$ -ekv. og gjør det til den syvende største utslippsposten. Klimagassutslippet fra NoDig-metoder består av utslipp fra 40 m rørpressing og 570 m styrt boring, og har klimagassutslipp på 4,6 tonn  $CO_2$ -ekv.



Figur 13: Klimagassutslipp per prosess bygd løsning. VL = vannledning, SP = spillvannsledning, PSP = pumpeledning spillvann

### 3.5.2 Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon

Alternativ 1 endrer traseen i bygd løsning mellom pumpestasjonen og kummen BK5 og reduserer klimagassutslippet med 16,8 tonn  $CO_2$ -ekv. Endringen reduserer trasélengden med om lag 100 m og bytter utførelsesmetode fra grøftekasser og NoDig-metoden styrt boring til NoDig-metoden utblokking. Materialet knust stein har det største klimagassutslippet med 19,5 tonn  $CO_2$ -ekv. Figur 14 demonstrerer klimagassutslipp per prosess i alternativ 1. 83 % av utslippene fra knust stein har opphav i veioppbyggingen i Granumsvegen. Totalt må et veiareal på 466 kvadratmeter rekonstrueres. Den nest største utslippsposten er en 280 mm PE100 vannledning med et utslipp på 19,4 tonn  $CO_2$ -ekv. Klimagassutslippet til vannledningen er avhengig av trasélengde og vannledningen er totalt 490 m lang. Det er en ledningsreduksjon på 110 m sammenlignet med bygd løsning. Den tredje største utslippsposten er graving med 16,6 tonn  $CO_2$ -ekv. Det totale massevolumet gravemaskinene håndterte var 5 587 kubikkmeter som er en reduksjon på 2 236 kubikkmeter i forhold til bygd løsning. Ved å legge om ledningstraseen reduseres antall brannkummer fra åtte til sju, og klimagassutslippet fra betong reduseres med 1,6 tonn  $CO_2$ -ekv. Prosessen betong står for 14,4 tonn  $CO_2$ -ekv. og utgjør den femte størst utslippsposten. Utslippene fra peler og elektrisitet er like som i bygd løsning og forblir på 15,5 og 10,9 tonn  $CO_2$ -ekv., og er den fjerde og sjetteste utslippsposten. Både 180 og 160 mm pumpeledning var innenfor kravene til ledningskarakteristikken i Vassendvika-prosjektet, se Tabell 17 i vedlegg 1. 180 mm pumpeledning påfører mindre klimagassutslipp gjennom 50 år med pumping, se Tabell 18 i vedlegg 1, og 180 mm ledningsdiamter ble derfor valgt. Transport er den syvende største prosessen med et klimagassutslipp på 8,0 tonn  $CO_2$ -ekv. Posten som inneholder alle NoDig-metodene har et klimagassutslipp på 4,2 tonn  $CO_2$ -ekv, og består av 40 m rørpressing, 495 m styrt boring og 142 m utblokking.



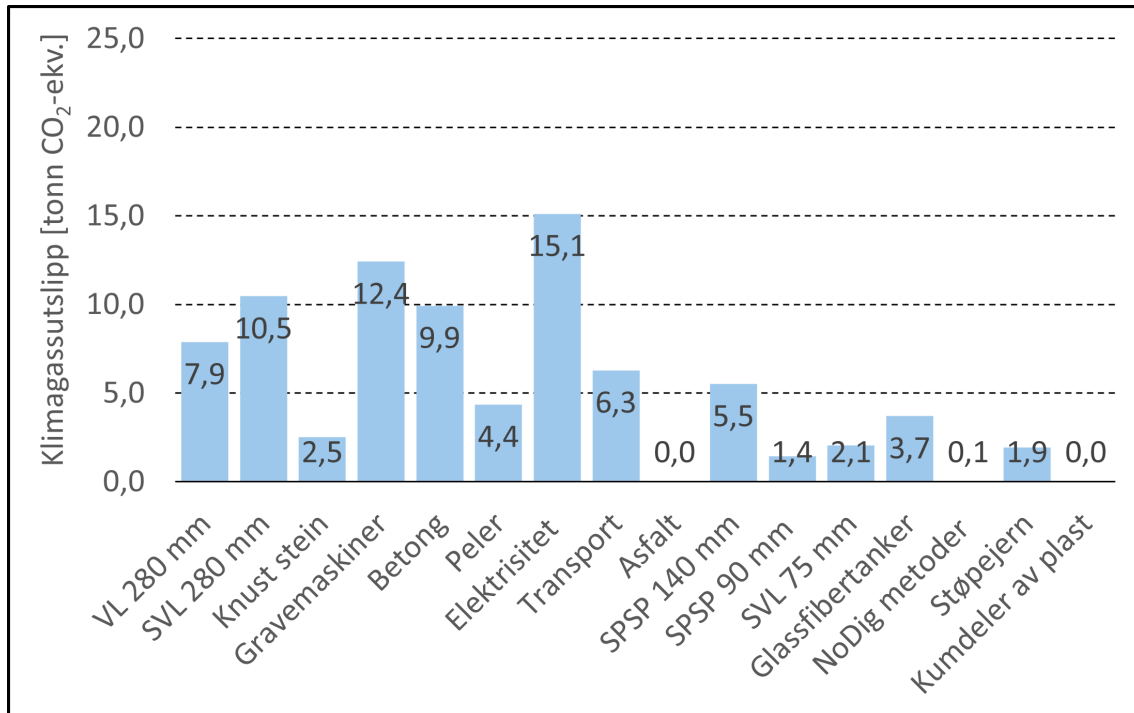
Figur 14: Klimagassutslipp per prosess alternativ 1. VL = vannledning, SP = spillvannsledning og PSP = pumpeledning spillvann

### 3.5.3 Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner

Alternativet har et totalt klimagassutslipp på 84 tonn  $CO_2$ -ekv. og er det alternativet med lavest klimagassutslipp, se Figur 12. Klimagassutslippet per prosess i alternativet er demonstrert i Figur 15 og den prosessen med størst klimagassutslipp er elektrisitet på 15,1 tonn  $CO_2$ -ekv. Det er en økning på 4,2 tonn  $CO_2$ -ekv. sammenlignet med bygd løsning og alternativ 1. Hastigheten og ledningslengde til pumpeledningene er høyere i alternativet. Det fører til økt rørfriksjon og løftehøyde som igjen fører til høyere strømforbruk. Gravemaskin har det nest høyeste klimagassutslippet med 12,4 tonn  $CO_2$ -ekv. 56 % av klimagassutslippene fra gravemaskiner har opphav i graving i forbindelse med kummer, og antall kummer i alternativet er 5 betongkummer og 1 inspeksjonskum i plast. De resterende utslippene fra gravemaskin kommer fra graving ved pumpestasjonene (22 %) og grøftkasser (22 %). En 250 m 280 mm sjøledning i PE100 materialet er den tredje største utslippsposten med et utslipp på 10,5 tonn  $CO_2$ -ekv. En 280 mm PE100 sjøledning med betonglodd har 6 % større klimagassutslipp per m sammenlignet med 280 mm PE100 vannledning. Vannledningen av 280 mm PE100 som ikke er synkende er den femte største utslippsposten med 7,9 tonn  $CO_2$ -ekv., og det totale klimagassutslippet av 280 mm PE100 vannledning i alternativet 18,4 tonn  $CO_2$ -ekv. Videre er betong den fjerde største utslippsposten med 9,9 tonn  $CO_2$ -ekv. Betong omfatter betong i kummer, pumpepumpene og betongplate mot oppdrift, og 97 % av klimagassutslippet fra betong har opphav fra betong i kummer. Transportbyrden er den sjetteste utslippsposten med et utslipp på 6,3 tonn  $CO_2$ -ekv. En 140 mm sjøpumpeledning av spillvann står for 5,5 tonn  $CO_2$ -ekv. og er den syvende største utslippsposten. Pelér står for 4,4 tonn  $CO_2$ -ekv. og er den åttende største prosessen. Pelér er kun utnyttet ved oppgradering av Hofsbro 2 og peleutslippene



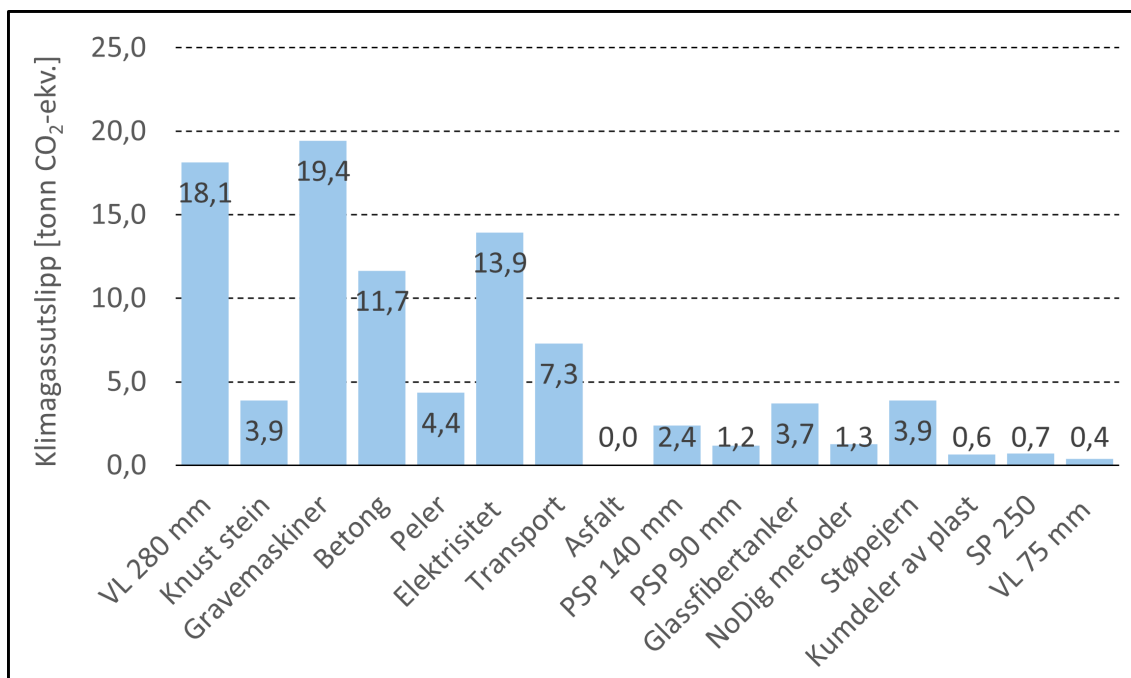
reduseres med 72 % sammenlignet med bygd løsning og alternativ 1.



Figur 15: Klimagassutslipp per prosess i alternativ 2. VL = vannledning, SVL = sjøvannledning, SPSP =sjøpumpeledning spillvann og PSP = pumpeledning spillvann.

### 3.5.4 Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpestasjoner

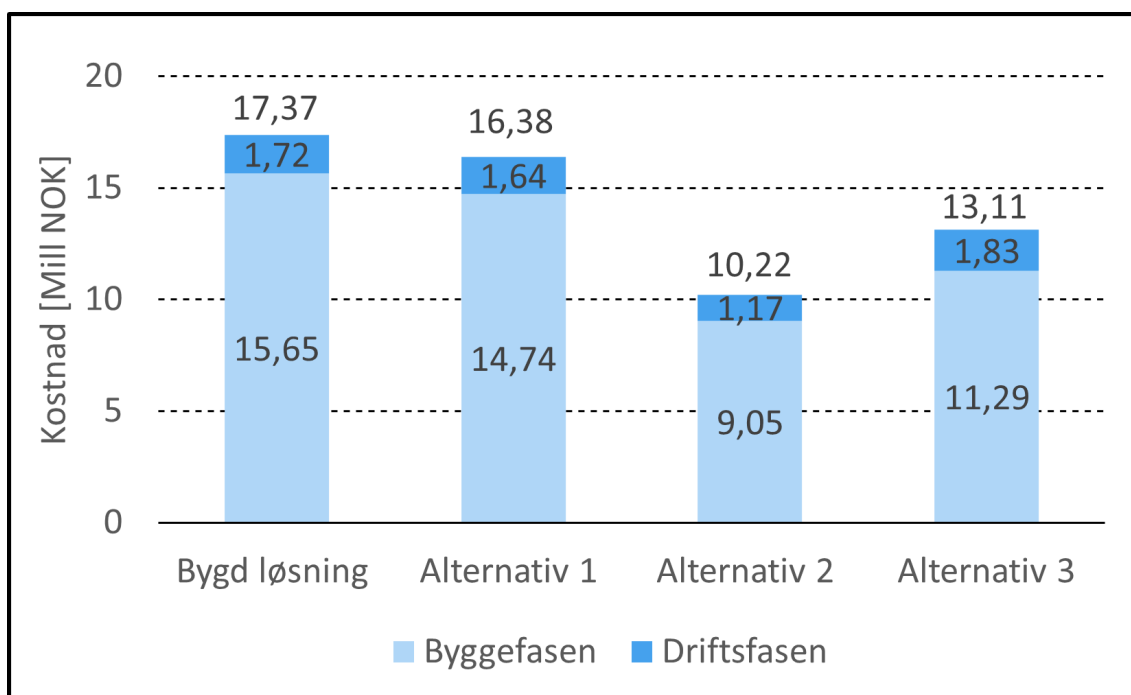
Alternativ 3 har et totalt klimagassutslipp på 93 tonn  $CO_2$ -ekv., og er alternativet med nest lavest klimagassutslipp. Figur 16 demonstrerer klimagassutslippene til prosessene i alternativ 3 og viser at gravemaskiner står for det største utslippet med 19,4 tonn  $CO_2$ -ekv. Gravemaskinutslippet er prosentvis fordelt mellom graving ved pumpestasjoner (14 %), kummer (66 %) og ledninger (20 %). Det er totalt ni brannkummer i betong og to inspeksjonskummer i plast i løsningen. En 280 mm vannledning i PE100 står for 18,1 tonn  $CO_2$ -ekv. og er den prosessen med nest størst klimagassutslipp. Ledningslengden er 460 m og derfor 140 m kortere enn tilsvarende ledning i bygd løsning. Energikilden til pumpestasjonen er elektrisitet og bidrar med et klimagassutslipp på 13,9 tonn  $CO_2$ -ekv. og er den tredje største utslippsposten. Betong er den fjerde største utslippsposten med 11,7 tonn  $CO_2$ -ekv. og består 98 % av kumdeler i betong. Transportbyrden er totalt på 7,3 tonn  $CO_2$ -ekv og den femte største utslippsposten. Transportbyrden kan prosentvis fordeles mellom pumpestasjoner, ledninger og kummer med henholdsvis 11, 43 og 46 %. Den sjetteste største utslippsposten er peler og utgjør 4,4 tonn  $CO_2$ -ekv., og peler er kun benyttet i oppgraderingen til Hofsbro 2. Hofsbro 1 er lokalisert i et område som ikke krever peler ved oppgradering. Selv om 85 % av ledningene i ledningstrasé er utført med NoDig-metoder står prosessen kun for 1,3 tonn  $CO_2$ -ekv.



Figur 16: Klimagassutslipp per prosess alternativ 3. VL = vannledning, SP = spillvannsledning og PSP = pumpeledning spillvann

### 3.6 Kostnadsestimat

Alternativ 2 (etablerer sjøledninger) er løsningsalternativet med lavest total kostnadsestimat på 10,2 millioner NOK. Etterfulgt av alternativ 3 (oppgradere eksisterende ledninger) på 13,1 millioner NOK og alternativ 1 (øke utnyttelsen av NoDig-metoder i bygd løsning) på 16,4 millioner NOK. Det dyreste løsningsalternativet er bygd løsning på 17,4 millioner NOK. Figur 17 demonstrerer kostnaden til løsningsalternativene i byggefasen, driftsfasen og total kostnad. Den gjennomsnittlige kostnaden i driftsfasen er mellom 10 og 14 % av den totale kostnaden. Kostnaden i driftsfasen er størst i alternativ 3 og lavest i alternativ 2, og består av utgifter til elektrisitet og fornyelse av kummer. Byggekostnaden i bygd løsning er 15,7 millioner NOK og er den største av løsningsalternativene. Alternativ 1 endrer på bygd løsning og det medfører en kostnadsreduksjon på 1 million NOK til 14,7 millioner NOK. Alternativ 2 er det billigste alternativet i byggefasen med 9,05 millioner NOK etterfulgt av alternativ 3 på 11,3 millioner NOK.



Figur 17: Sammenligning av kostnadestimatet til de alternative løsningene

En av de store forskjellene i klimagassutslippet er utførelsesmetodene brukt i løsningsalternativene, vist i Tabell 9. Tabell 10 demonstrerer kostnaden av utførelsesmetodene brukt i løsningsalternativene ved etablering av en 280 mm vannledning og en 140 mm spillvann pumpeledning. I utregningene er graving, massetransport, deponering, gjenfylling, pukk, geotekstil og transport hensyntatt. Graving av groper til NoDig-metodene er ikke hensyntatt når gravekostnaden legges til fornyelse av kummene. Tabell 10 er et grovt estimat basert på prosjekterte løsninger i masteroppgaven og forskjellige traselengder av utførelsesmetodene påvirker kostnaden per m. Rørpressing er den dyreste metoden med 9 089 NOK per løpemeter ledningstrasé. Den nest dyreste utførelsesmetoden er grøftekasser på 3 572 NOK per m ledningstrasé. Gravemaskiner og pukk står for 47 og 30 % av kostandene per m grøftekasser. Styrt boring koster 1 344 NOK per løpemeter og NoDig-metoden har svært liten gravekostnad pga mindre inntrekkingsgrop. Utblokking koster 1 165 NOK per løpemeter, og selv om metoden krever en grøftegrop til utblokkingsutstyret legges gravekostanden til fornyelse av kummene.

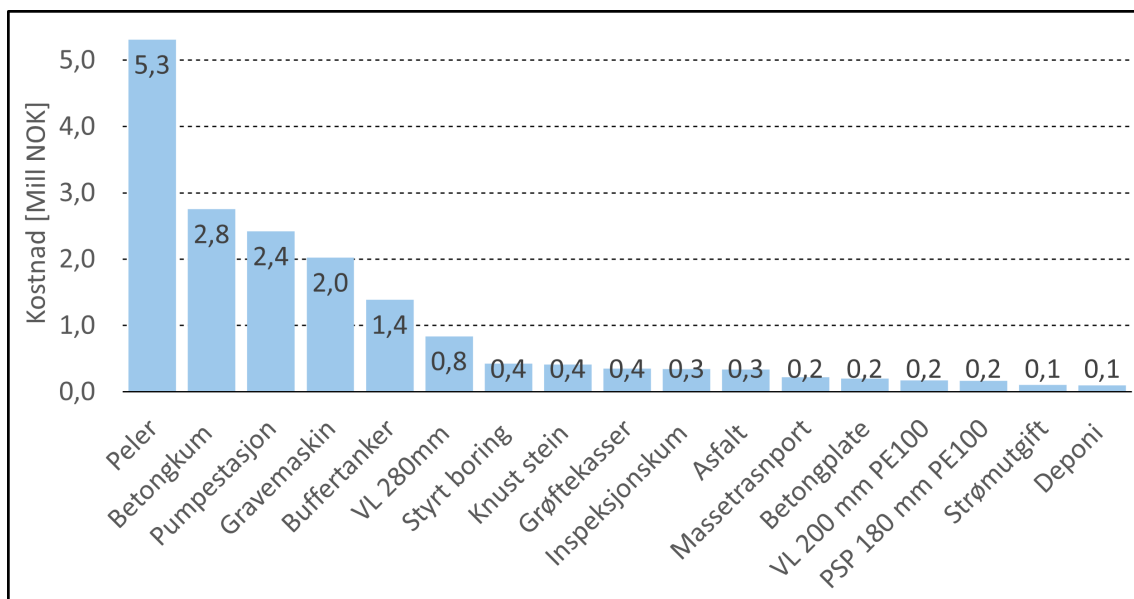
Tabell 10: Kostnadsestimat per m utførelsesmetode

	Grøftekasser	Rørpressing	Styrt boring	Utblokking
Kostnad NOK per m	3 572	9 089	1 344	1 165

### 3.6.1 Bygd løsning

Bygd løsning har et kostnadsestimat på 17,4 millioner NOK, se Figur 17, og er det dyreste alternativet. Figur 19 demonstrerer kostnaden til prosessene i bygd løsning, og den prosessen med størst kostnad er pelene rundt pumpe-stasjonen. Pelekostnaden er 5,3 millioner NOK og 70 % av pelekostnaden har opphav i materialkostnaden av peler. Pelene blir lig-

gende igjen etter byggingen av pumpestasjonen og utnyttet kun 1 gang. Betongkummer er den nest største kostnaden i alternativet med 2,8 millioner NOK. Ledningstraseen i bygd løsning består av åtte brannkummer i betong. Kummene i masteroppgaven har en antatt levetid på 35 år og må derfor fornyes en gang i løpet av den funksjonelle enheten. Den tredje største kostnaden er pumpestasjonen på 2,4 millioner NOK og består av pumpehus, pumpeump og pumper. Deretter følger gravekostnaden på 2,0 millioner NOK som den fjerde største kostnaden. Gravekostnaden kan deles mellom ledninger, kummer og pumpe-stasjon med følgende prosentvise fordeling; 27, 64 og 8 %. 57 % av ledningene i bygd løsning er lagt med grøftekasser, og dette forklarer den store gravekostnaden fra ledninger. Posten buffertanker koster 1,4 millioner NOK og består av to buffertanker på 35 m<sup>3</sup>. Buffertankene er den femte største kostnaden og er sikret mot oppdrift av en betongplate. Betongplaten koster 200 000 NOK og er den ellefte største kostnaden prosessen i alternativet. Den 280 mm vannledningen av PE100 koster 800 000 og er den sjette største kostnadsprosessen. NoDig-metoden styrt boring står for 400 000 tusen og er den syvende største kostanden og etablerer totalt 605 meter ledning.

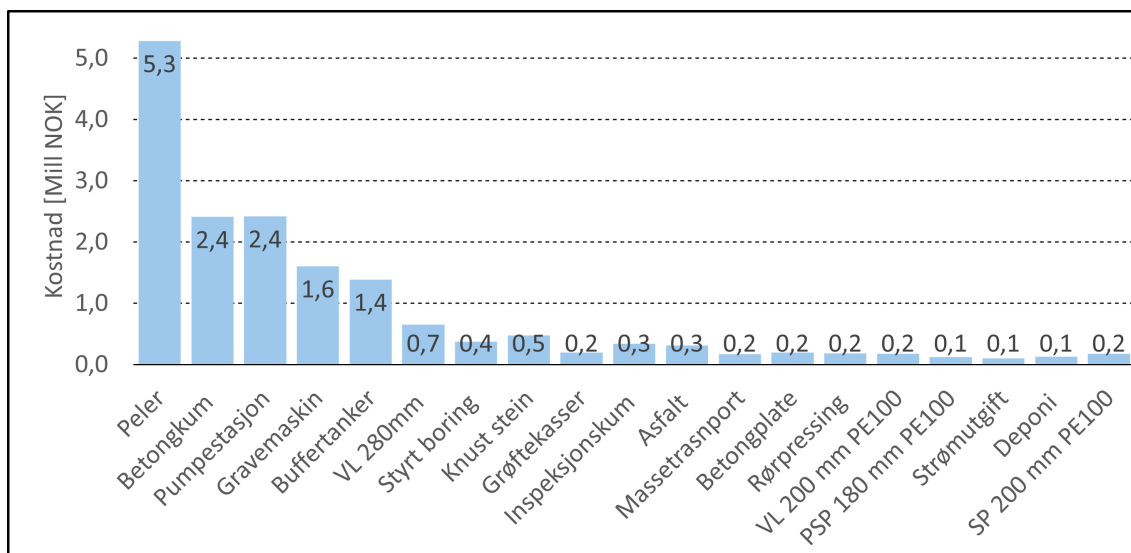


Figur 18: Kostnad per prosess i bygd løsning. VL = vannledning og PSP = pumpeledning spillvann

### 3.6.2 Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon

Alternativ 1 endrer traseen og utførelsesmetoden mellom pumpestasjonen og kummen BK5 i starten av Granumsvegen. Figur 19 demonstrerer kostnadsestimatet til prosessene i alternativ 1 og i likhet med bygd løsning er peler den største utgiften med 5,3 millioner NOK. Etterfulgt igjen av betongkummer, men ved endring av traseen reduseres trasélengden og antall kummer. Alternativet har totalt sju brannkummer i betong og tre inspeksjonskummer i plast. Materialkostnaden til betong er 2,4 millioner NOK som er en reduksjon på 400 000 NOK sammenlignet med bygd løsning. Det er ingen endring på pumpestasjonen og kostnaden forblir lik for pumpestasjonen, buffertanker og betongplate på 2,4, 1,4 og 0,2 millioner NOK, og det utgjør den andre, femte og tolvte største kostnaden. Utførelsesmetoden mellom pumpestasjonen og kummen BK5 i starten av Granumsvegen er byttet fra grøftekasser og styrt boring til utblokking, og det medfører en 65 % reduksjon i bru-

ken av grøftekasser. En reduksjon i både graving fra grøftekasser og antall kumgrupper fører til en gravekostnad i alternativet på 1,6 millioner NOK, og den fjerde største kostnaden. Gravekostnaden er prosentvis fordelt mellom 17 % ledninger, 72 % kummer og 11 % pumpestasjon. Ved reduksjon av trasélengden reduseres også kostnaden av ledninger, den dyrest ledningen er en 280 mm vannledning i PE100 materialet på 700 000 tusen. Tabell 18 i vedlegg 1 demonstrerer valgmulighetene av pumpeledning og selv om en 160 mm ledning hadde redusert kostnaden noe er klimagassutslippet større ved 160 mm sammenlignet med 180 mm.

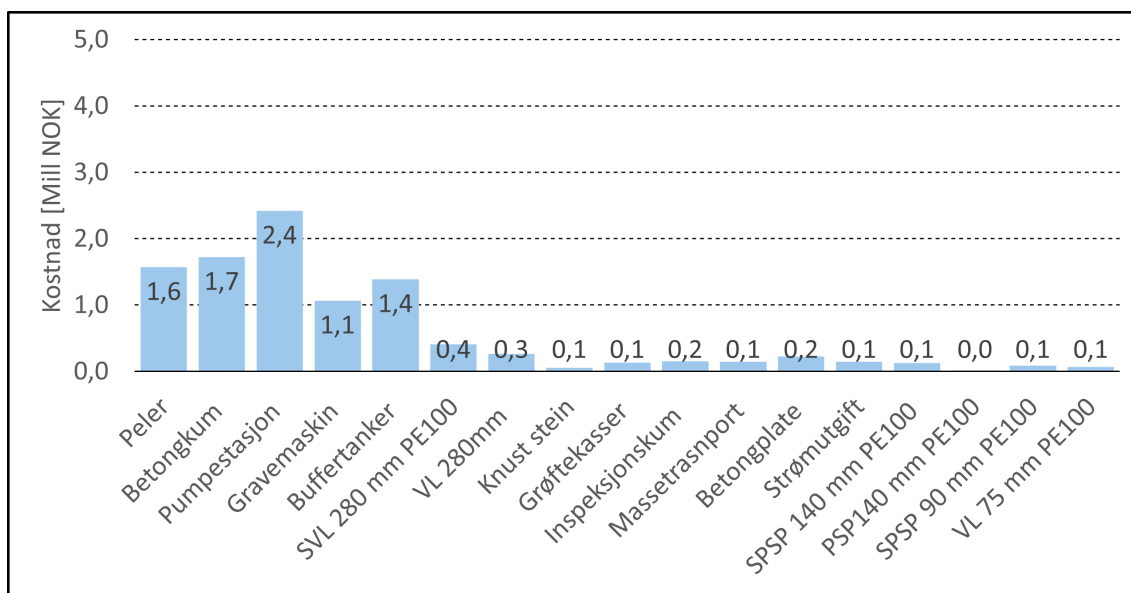


Figur 19: Kostnad per prosess i alternativ 1. VL = vannledning, SP = spillvannsledning og PSP = pumpeledning spillvann

### 3.6.3 Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner

Med et kostnadsestimat på 10,2 millioner er alternativ 2 det billigste alternativet. Figur 20 demonstrerer kostnaden per prosess i alternativet og det er pumpestasjonen som bærer den største kostnaden. I masteroppgaven antas det at kostnaden til pumpestasjon er proporsjonal med størrelsen. Dermed er kostnaden for pumpestasjonen og buffertanker lik i alle løsningsalternativene. Pumpestasjon og buffertanker står for den største og fjerde største kostnaden. Den nest største kostnaden er betongkummer med 1,7 millioner NOK som er 1,1 millioner NOK mindre enn i bygd løsning. Løsningsalternativet består av fem betongkummer og en inspeksjonskum og er alternativet med laveste antall kummer. Peler er den tredje største kostnaden med 1,6 millioner NOK. Alternativet oppgraderer eksisterende pumpestasjoner Hofsbro 1 og 2. Hofsbro 1 er den største av pumpestasjonene og står for 72 % av pumpingen, mens Hofsbro 2 står for 28 %. Reduksjonen i pelekostnaden kommer av reduksjon i størrelse av Hofsbro 2 sammenlignet med ny pumpestasjon. Hofsbro 2 er lokalisert sør for Jarenstranda i likhet med den nye pumpestasjonen i bygd løsning og alternativ 1, og grunnforholdene krever peler ved bygging. Gravemaskinkostnaden er 1,1 millioner NOK og den femte største kostnaden, og gravemaskinutnyttelsen kan prosentvis fordelen mellom ledninger (10 %), kummer (74 %) og pumpestasjonene (16 %). Ved å utnytte Jarenvannet som ledningstrasé reduseres graving i store deler av ledningstraseen, men det er benyttet 120 m grøftekasser fra pumpestasjonene til Jarenvannet og Viggå. I ledningstraseen mellom BK2 og BK5 er NoDig-metoden utblokkning tatt i bruk.

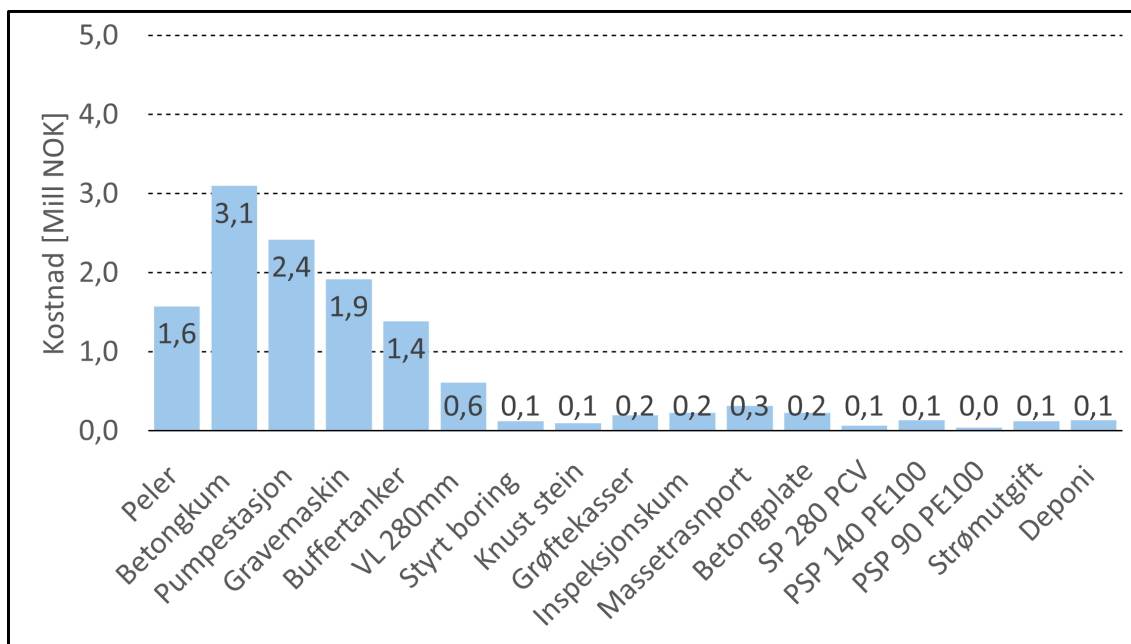
Ledningstraseen består av en 280 mm vannledning og andel av vannledningen som ligger Jarenvannet koster 400 000 og er den sjette største kostanden. Andelen av den 280 mm vannledningen som ligger på land koster 300 000 NOK og er den syvende største kostnaden.



Figur 20: Kostnad per prosess i alternativ 2. VL = vannledning, SVL = sjøvannledning, SPSP = sjøpumpeledning spillvann

### 3.6.4 Alternativ 3 - Oppgraderer eksisterende ledningene og pumpestasjoner

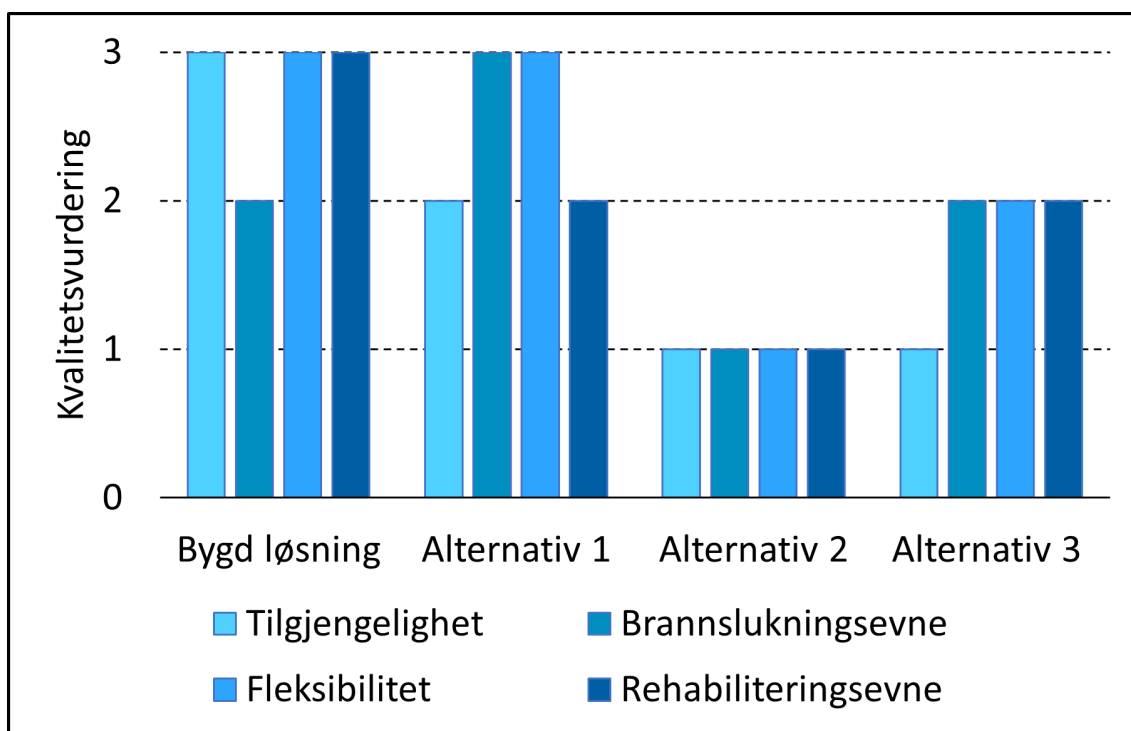
Det totale kostnadsestimatet til alternativ 3 er 13,1 millioner NOK, og er det nest laveste kostnadsestimatet. Løsningen oppgraderer eksisterende pumpestasjon og store deler av den eksisterende ledningstraseen med NoDig-metoden utblokking. Valgt ledningstrasé inneholder totalt ni betongkummer og to inspeksjonskummer, og er løsningsalternativet med flest antall brannkummer i betong. Kostnadsestimatet til prosessene i løsningen er vist i Figur 21 og den største estimerte kostnaden i alternativet er betongkummer med 3,1 millioner NOK. Utgiftene fra pumpestasjon, peler, buffertanker og betongplate er like som i alternativ 2 og er den andre, fjerde, femte og tiende største kostnaden. Gravemaskin er den tredje største kostnaden med totalt 1,9 millioner NOK og kan prosentvis fordeles mellom 17 % ledninger, 74 % kummer og 9 % pumpestasjoner. En 280 mm vannledningen i PE100 materialet har en estimert kostnad på 600 000 og den sjette største kostnadsprosessen i alternativet.



Figur 21: Kostnadestimat per prosess i alternativ 3. VL = vannledning, SP = spillvannsledning og PSP = pumpeledning spillvann

### 3.7 Kvalitet på løsning

Kvaliteten på løsningene blir vurdert på en skala fra 1 til 3, hvor høy score indikerer høy kvalitet og bedre resultat, vist i Figur 22. Bygd løsning får gjennomsnittscore på 2,75, etterfulgt av alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning) på 2,5, alternativ 3 (Oppgradere eksisterende ledninger) med 1,75 og sist alternativ 2 (etablere sjøledninger) på 1. Kvalitet på løsning er delt i følgende fire deler; tilgjengelighet, brannslukningsevne, fleksibilitet og rehabiliteringsevne.



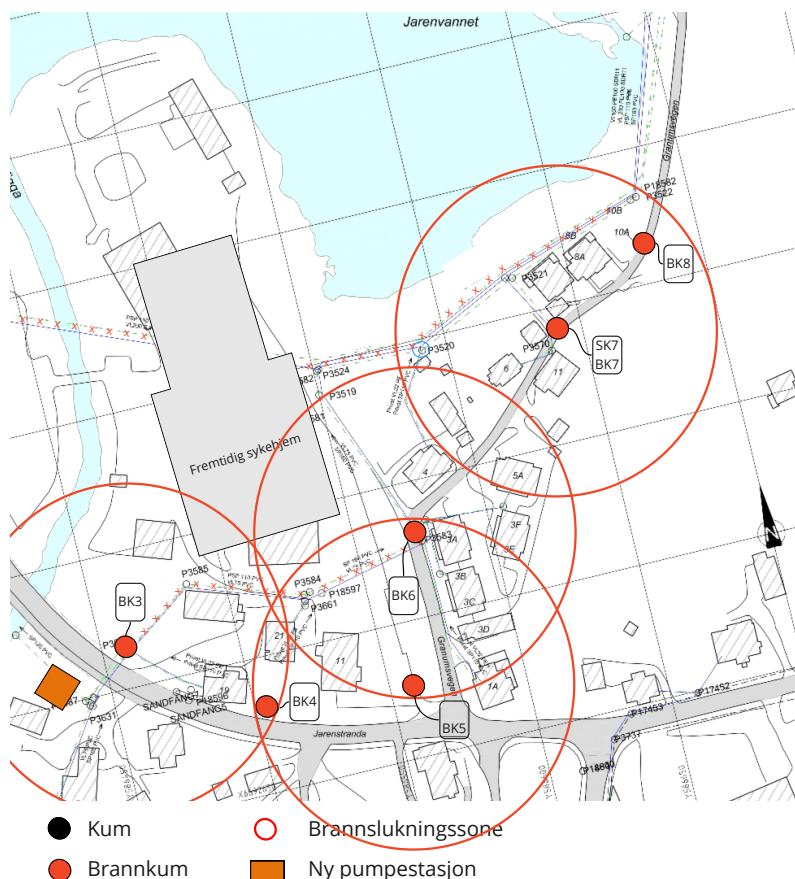
Figur 22: Kvalitetsvurdering av løsningsalternativene. Høy score indikerer høy kvalitet og bedre resultat

### 3.7.1 Bygd løsning

Resultatet av kvalitet på bygd løsning er vist i Figur 22 og demonstrerer en gjennomsnittscore på 2,75. Bygd løsning scorer 3 på tilgjengelighet fordi kummene og ledningstraseen ligger i nærheten av veger som medfører at personell med utstyr enkelt har tilgang ved bruk av kjøretøy. Videre er brannkummene i Granumsvegen lett tilgjengelig i et brøytet område. Brøytet området er områder som brøytes om vinteren, og eksempler på dette er veier. Brannslukningssonene har en radius på 50 m som samsvarer med VA-normen i Gran kommune (Gran kommune 2022). Brannslukningssonene viser også god dekning i sørlig deler av fremtidig sykehjem og i Granumsvegen, se Figur 23. Brannslukningsevne vest og nord for fremtidig sykehjem er redusert og resulterer i en brannslukningsevne på 2. Brannslukningssonene er kun vist der det påvirker slukningsevnen, derfor er ikke brannslukningssonen til BK4 vist i Figur 23.

Det er mange tilkoblingspunkter ved fremtidig utbygging i hele Granumsvegen og sør for fremtidig sykehjem. Mange kummer med kort avstand som gir gode endringsmuligheter i fremtiden fører til en fleksibilitetsscore på 3. Rehabiliteringsevnen til bygd løsning scorer 3 med små avstander mellom kummene og enkel tilgang i store deler av ledningstraseen. Strekningene som kan by på utfordringer for bygd løsning er under elven Vigga mellom kummen SK2 og pumpestasjonen og mellom BK2 og BK3, se Figur 5. Utførelsesmetoden på strekningen er styrt boring og avstanden mellom kummene er mellom 150 og 160 m.





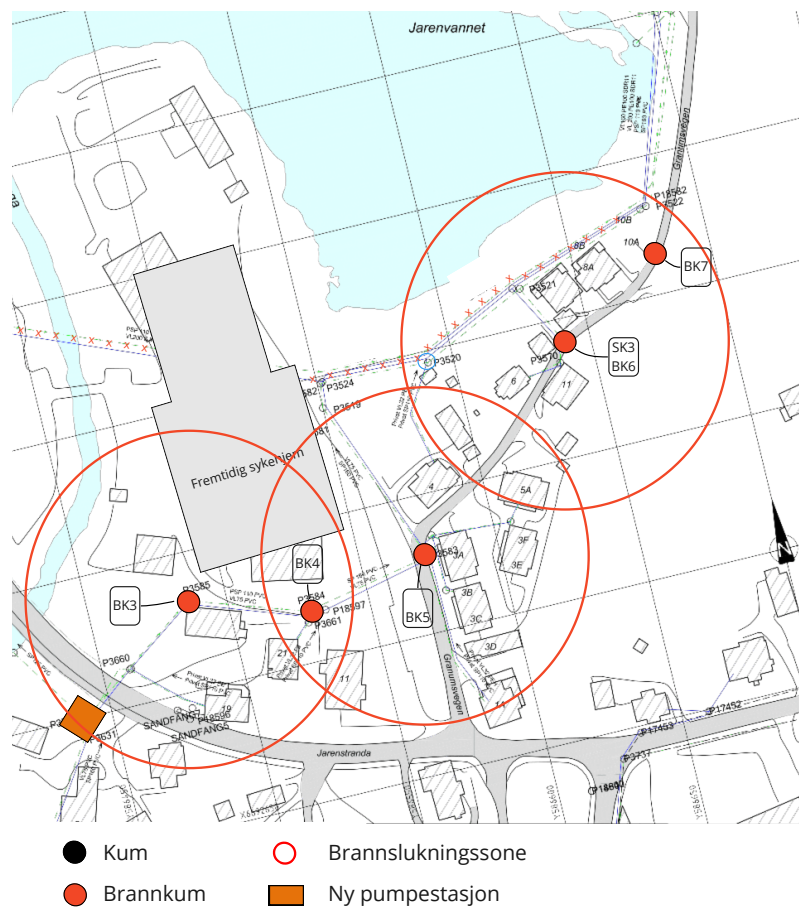
Figur 23: Brannslukningsevne bygd løsning

### 3.7.2 Alternativ 1 - Øke utnyttelse av NoDig-metoder i bygd løsning og beholde ny pumpestasjon

Alternativ 1 scorer 2 på tilgjengelighet, fordi tre strekninger har redusert tilkomstmuligheter. Den første strekningen er mellom pumpestasjonen og Graumsvegen som ligger i hagene til en rekke hus. Den andre strekningen er mellom kummen SK2 og pumpestasjonen, og den tredje strekningen er mellom kummene BK2 og BK3. Alternativ 1 har gode tilkoblingsmuligheter fra startpunktene til fremtidig sykehjem, sør for fremtidig sykehjem og også gjennom hele Granumsvegen. Videre er avstanden kort mellom kummene som fører til en fleksibilitetsscore på 3. Tilkoblingsmulighetene påvirker brannslukningsevnen og derfor er brannslukningsevnen god i hele Granumsvegen og sør for fremtidig sykehjem, se Figur 24. Brannslukningssonene i Figur 24 består kun av soner som påvirker brannslukningsevnen, og brannslukningssonen til BK4 derfor ikke vist.

Rehabiliteringsevnen til alternativ 1 får karakter 2 grunnet små avstander mellom kummene og enkel tilgang til store deler av ledningstraseen. Strekningen mellom kumgruppen SK2/BK2 og kummen BK5 kan by på utfordringer, se Figur 7. Strekningen starter med styrt boring under elva Vigga, og her er avstanden mellom 150 og 160 m fra kum til kum. Videre kan nøyaktig plassering av ledningene være en utfordring ved styrt boring. Ledningstraseen mellom pumpestasjonen og kummen BK5 går gjennom en rekke hager og nærme hus, se Figur 7. Det medfører graving inntil husvegger ved konvensjonell graving og større avstand til veiene. Ved rehabilitering med NoDig-metoder oppstår ikke disse utfordringene, men kummene er lokalisert i ledningstraseen og krever konvensjonell graving

ved utskiftning.

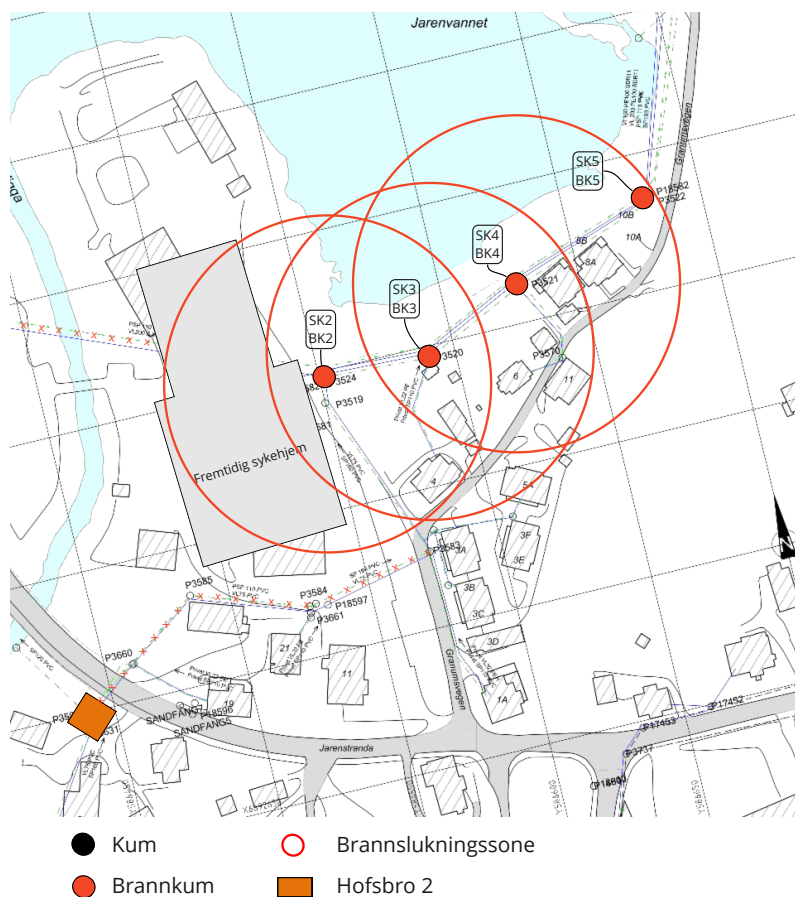


Figur 24: Brannslukningsevne alternativ 1

### 3.7.3 Alternativ 2 - Etablere sjøledninger i Jarenvannet og oppgradere eksisterende pumpestasjoner

Ved å etablere sjøledninger i Jarenvannet blir tilgjengeligheten til ledningene svekket, og tilgjengelighetsscoren til alternativet er 1. Det er totalt 4 sjøledninger med lengder mellom 250 og 456 m. Videre oppgraderes eksisterende trasé fra kummen BK2 til BK5 ved NoDig-metoden utblokking. Traseen ligger i hager og nærme bebyggelse og det begrenser tilgjengeligheten for både kjøretøy og personell.

Det er god brannslukningsdekning øst for fremtidig sykehjemmet og nord for Granumvegen som vist i Figur 25. Brannkummene er lokalisert utenfor asfaltert område og tilgangen er derfor redusert om vinteren. Kummer skal helst lokaliseres i brøytet område for en rask lokasjon og påkobling ved brann. På bakgrunn av det scorer brannslukningsevnen til alternativet 1. Flexibiliteten til løsningen er redusert grunnet store avstander mellom kummene og en ledningstrasé gjennom Jarenvannet. I Alternativet er tilkoblingsmulighetene redusert til pumpestasjonene (Hofsbro 1 og 2) og ledningstraseen nord for Granumsvegen. Det fører til små endringsmuligheter ved få antall kummer og store avstander. Rehabiliteringsevnen til sjøledninger er antatt mer krevende enn ledninger på land. Det er store avstander mellom kummene og sjøledningene er loddet som gjør NoDig-rehabiliteringsmetode som utblokking ikke mulig.

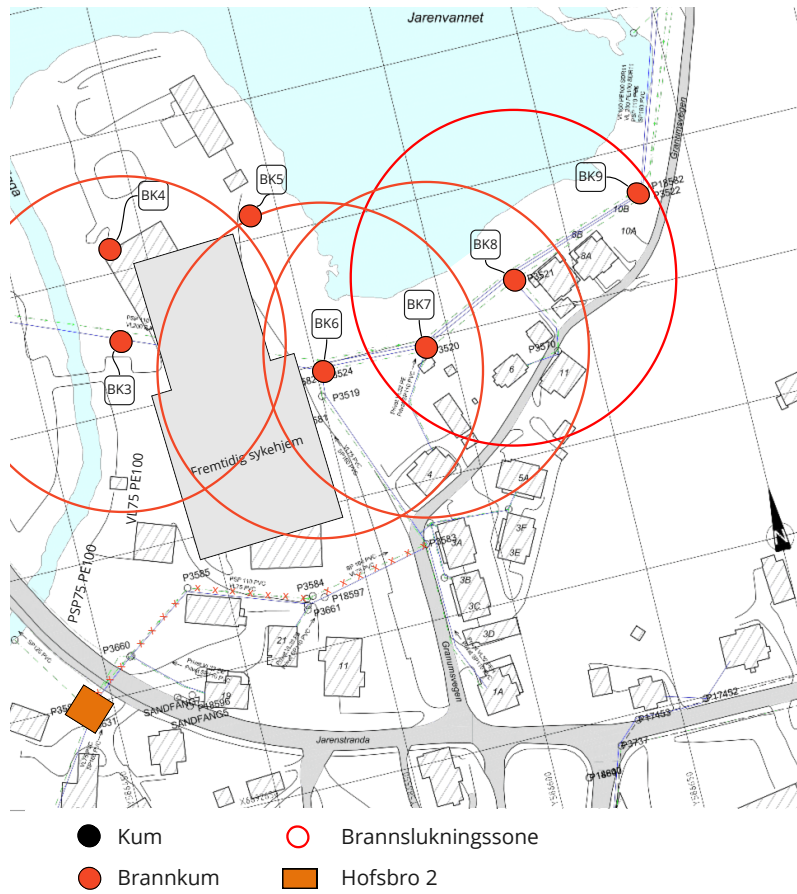


Figur 25: Brannslukningsevne alternativ 2

### 3.7.4 Alternativ 3 - Oppgradere eksisterende ledningene og pumpestasjoner

Ved å oppgradere eksisterende ledningstrasé og legge nye ledninger rundt fremtidig sykehjem blir tilgjengeligheten redusert og alternativet får karakteren 1. Bakgrunnen er lokasjonen til ledningstraseen som er plassert utenfor asfaltert område og på privat eiendom. Videre er brannslukningssonene gode nord for Granumsvegen og svært god rundt fremtidig sykehjem med dekning fra både sør og vest, se Figur 26. Tilgangen til brannkummer er redusert da alle kummene er lokalisert i hager og et stykke unna veien. Det kan oppstå utfordringer med å finne kummene når vegetasjon får vokse fritt. Det fører til brannslukningsscore på 2, og dermed samme score som bygd løsning. Brannslukningssonene til BK4, BK5 og BK9 er ikke vist i Figur 26 fordi de ikke påvirker brannslukningsevnen i alternativet.

Fleksibiliteten til løsningen er god fordi avstanden mellom kummene er liten. Alternativ 3 har tilkoblingsmuligheter i pumpestasjonene (Hofsbro 1 og 2), mellom pumpestasjonene og fremtidig sykehjem, nord for fremtidig sykehjem og nord for Granumsvegen. På den andre siden gjør ledningstraseen det vanskelig for ny bebyggelse sør for fremtidig sykehjem å koble seg på ledningsnett og løsningen scorer derfor 2 i fleksibilitet. Rehabiliteringsevnen til løsningen scorer 2, fordi det er kort avstand mellom kummene og lengden ledninger som må skiftes ved rehabilitering er liten. Ledningstraseen nord for Granumsvegen ligger på privat tomt og nærme boliger, og konvensjonell graving vil bli en utfordring. Ledningene kan rehabiliteres med NoDig-metoder, men rehabilitering av kummer antas å måtte gjennomføres med konvensjonell graving og sannsynligheten for ødelegges øker.



Figur 26: Brannslukningsevne alternativ 3

---

## 4 Diskusjon

### 4.1 Klimagassutslipp

Bygd løsning har det største klimagassutslipp etterfulgt av alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning), 3 (oppgradere eksisterende ledninger) og 2 (etablere sjøledninger). Alternativ 1, 3 og 2 reduserer klimagassutslipp til bygd løsning med hhv. 12, 37 og 43 %. Tabell 11 demonstrerer nøkkeltall for de største forskjellene i klimagassutslipp, og utslipp fra gravemaskin er den første store forskjellen. Dette samsvarer med rapporten av Hansen mfl. (2010) som demonstrerer at reduksjon i gravemaskinutslipp var den største forskjellen mellom konvensjonell graving og utblokking. Det finnes elektriske gravemaskiner og hvis grønn elektrisitet erstatter dieseldrevne gravemaskiner reduseres utslippet fra gravemaskiner betraktelig. Gravemaskin blir brukt ved etablering av kummer, ledninger og pumpestasjoner, og graving i kummene står for mellom 52 og 69 % av gravemaskinutslippene i løsningsalternativene. Dermed har antall kummer og kumutforming stor påvirkning på utslippet fra graving med gravemaskin. I masteroppgaven har en standard brannkum i betong og inspeksjonskum i plast vært brukt ved utformingen av kummer for enklere antallsendring og utregning av klimagassutslipp og kostnad, se Delkapittel 3.3.1. Vurdering med tanke på reduksjon av kumdiameter til alle eller deler av kummene er ikke gjort. En reduksjon i diameter vil reduserte klimagassutslippet og kostnaden ytterligere. Inspeksjonskummene i plast har en diameter på 420 mm i masteroppgaven og burde ikke reduseres ytterligere. Betongkummene på den andre siden kan vurderes med tanke på reduksjon i diameter. Klimagassutslippet fra kumdeler av betong er mellom 11 og 13 % av det totale klimagassutslippet i alle løsningsalternativene. Videre ligger ledningene på 2 m dybde for å ligge frostfritt, og metoder for frostisolering er ikke vurdert. En reduksjon av diameteren til kummene eller ledningsdybden ville ført til reduksjon i utslippene fra gravemaskin, kumdeler av betong, pukk og massetransport.

Antall kummer påvirker også utslippsmengden fra knust stein og er den neste store forskjellen mellom løsningsalternativene. Utslippet fra knust stein er vist i Tabell 11 og demonstrerer et betydelig større utslipp fra bygd løsning og alternativ 1 sammenlignet med alternativ 2 og 3. Ledningstraseen til bygd løsning og alternativ 1 går gjennom Granumsvegen og grøftekasser er utførelsesmetoden. Mengden knust stein er stor ved rekonstruksjonen av veien. Gjenbruk av eksisterende knust stein ville ført til et lavere klimagassutslipp, men er ikke vurdert i masteroppgaven. For å redusere mengden knust stein burde ledningstraseen enten legges utenfor vegareal eller utnyttelse av NoDig-metoder økes.

Utslippet fra peler er 11,1 tonn  $CO_2$ -ekv. større i bygd løsning og alternativ 1 sammenlignet med alternativ 2 og 3, se Tabell 11. Bakgrunnen for differansen er omfanget av pumpestasjonen som bygges eller oppgraderes sør for fylkesvegen Jarenstranda. Grunnforholdene er utfordrende i området, og peler må benyttes i byggefasen. Bygd løsning og alternativ 1 bygger ny pumpestasjon lokalisert sør for Jarenstranda. Alternativ 2 og 3 oppgraderer de eksisterende pumpestasjonene Hofsbro 1 og 2, hvor Hofsbro 2 er den minste av de to og er lokalisert sør for Jarenstranda. Hofsbro 2 er vesentlig mindre enn den nye pumpestasjonen og reduserer peleutslippet med 72 %. Hofsbro 1 er lokalisert i et område hvor grunnforholdene ikke krever peler i byggefasen. Grunnforhold burde derfor hensyntas i stor grad i prosjekteringsfasen for å kartlegge hvor behovet for peler er minst. Det er ofte knyttet stor usikkerhet rundt grunnforhold, og hvordan grunnforholdene er forblir uvisst frem til byggefasen har startet. Et forsøk på å redusere sannsynligheten for bruk av peler er fordelaktig med tanke på klimagassutslippet. Pelestålet i Vassendvika blir liggende igjen etter byggefasen og blir kun brukt én gang. Hvis pelene i prosjektet ble gjenbrukt 10 ganger

ville materialutslippet fra pelestålet bli redusert med 90 %. Gjenbruk av peler vil medfølge større utslipp når pelene må trekkes og transporteres vekk fra byggeplassen, men det totale utslippet fra pelene vil reduseres betraktelig ved gjenbruk. Grunnforholdene avgjør om pelene må bli liggende igjen eller kan trekkes, men den største utfordringen i Norge ved gjenbruk er økonomi. Ifølge Torgeir Gunleiksrud, Salgssjef/produktansvarlig Ferrometall AS (telefonsamtale, 28.03.2022) er det billigere å produsere peler for engangsbruk sammenlignet med å gjenbruke peler. Peleproduktet solgt av Ferrometall AS produseres i Kina og fraktes med båt til Norge og fører til ekstra store klimagassutslipp Jensen (2017).

Klimagassutslipp øker betraktelig med større ledningsdiameter fordi vekten øker. Alle ledningsalternativene har en 280 mm PE100 vannledning, og ledningslengden er lengst i bygd løsning. Alternativ 2 har lengst total ledningslengde, men reduserer ledningslengden på de største diameterne. Dette tyder på at en reduksjon av diameteren til de største ledningene reduserer klimagassutslipp mer enn kun å sette søkelys på lengdereduksjon. På den andre siden fører større total ledningslengde som regel til økte trasélengder og antall kummer. Avhengig av utførelsesmetoden påvirker det utslippet fra gravemaskiner, massetransport, betong, plast, knust stein og materialtransport. En økning i ledningslengde burde vurderes opp mot økt utslipp som følge av valgt utførelsesmetode.

Hvis livssyklusanalyse gjennomføres fremfor karbonfotavtryksanalyse, kan alle aktuelle miljøaspekter hensyntas, og eksempler på aktuelle miljøaspekter er støy, risiko for forurensing og andre miljøgasser. Hvordan en økning i antall miljøaspekt påvirker resultatet er uvisst, men ved å hensynta flere miljøaspekter øker grunnlaget for å bygge bedre miljømessige VA-anlegg. Utvidelse av antall miljøaspekter som påvirker valg av løsning i prosjekteringsfasen burde undersøkes videre.

Tabell 11: Nøkkeltall fra utregningen av klimagassutslippet

	Bygd løsning	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Klimagassutslipp [tonn $CO_2$ -ekv.]	147,9	130,4	83,9	92,9
Gravemaskinutslipp [tonn $CO_2$ -ekv.]	21,1	16,6	12,1	19,4
Antall kummer	11	9	6	11
Utslipp fra knust stein [tonn $CO_2$ -ekv.]	21,4	19,5	2,5	2,9
Peleutslipp [tonn $CO_2$ -ekv.]	15,5	15,5	4,4	4,4
Utslipp fra ledningsmaterialet [tonn $CO_2$ -ekv.]	34,5	28,9	26,6	22,4
Total ledningslengde [m]	1 210	1 070	1 630	1 345
Ledningslengde VL 280 mm [m]	600	490	250	460

## 4.2 Kostnadsestimat

I likhet med klimagassutslippet kommer bygd løsning dårligst ut av kostnadsestimatet, etterfulgt av alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning), 3 (oppgradere eksisterende

ledninger) og 2 (etablere sjøledninger). Tabell 12 demonstrerer postene som utgjør den største forskjellen i kostnadsestimatet mellom løsningsalternativene. Den største differansen mellom kostnaden i løsningsalternativene er pelekostnaden som er 3,7 millioner NOK større i bygd løsning og alternativ 1 sammenlignet med alternativ 2 og 3. Bakgrunnen til forskjellen i pelekostnaden er lokasjonen av pumpestasjonene, beskrevet nærmere i Delkapittel 4.1. Klimagassutslippet fra pelestålet er stort fordi det blir liggende igjen etter etableringen av pumpestasjonen og gjenbruk av peler er ikke utbredt. Om lag 30 % av det totale kostnadsestimatet i bygd løsning og alternativ 1 kommer fra peler, men hvordan gjenbruk av peler påvirker kostnad er ikke undersøkt i masteroppgaven. Økt kostnad ved trekking og transport av brukte peler bør undersøkes og settes opp mot reduksjon i kostnad av pelestål. Ifølge Torgeir Gunleiksrud, Salgssjef/produktansvarlig Ferrometall AS (telefonsamtale, 28.03.2022) blir kostnaden større ved gjenbruk av peler sammenlignet med engangsbruk.

Den totale kostnaden av pumpestasjoner, buffertanker og betongplate mot oppdrift er likt i løsningsalternativene etter antagelse om proporsjonal reduksjon i pumpestørrelse og kostnad. Det er videre antatt et ønske fra kommunen om nye pumpestasjoner ved oppgradering av eksisterende pumpestasjoner. Det er uvisst hvordan kostnadsestimatet ville blitt påvirket ved rehabilitering av eksisterende pumpestasjoner fremfor å bygge nytt. Masteroppgaven bygger også nye kumgrupper og tar derfor ikke hensyn til mulighetene ved rehabilitering av eksisterende kummer når ledningstraseen tillater det. Kumutgifter er den neste store forskjellen mellom løsningene og alternativ 2 kommer best ut grunnet få kummer, vist i Tabell 12. I løpet av den funksjonelle enheten koster en kumgruppe med en brannkum og en inspeksjonskum i plast 658 000 NOK. Reduksjon i antall kummer er derfor gunstig i et kostnadsperspektiv, men kan medføre ulemper til kvaliteten på løsningen. I likhet med klimagassutslippet reduseres kostnaden til kummer ved reduksjon av diameter og dybde, men størrelsesreduksjonen er ikke undersøkt i masteroppgaven.

Masteroppgaven ser på forskjellen mellom brannkum i betong og inspeksjonskum i plast, og brannkummene står for 77 % av utgiftene i en kumgruppe. Videre arbeid burde se på forskjellen mellom brannkummer i plast og betong i et klimagassutslipp- og kostnadsperspektiv.

Tabell 12: Nøkkeltall fra kostnadsestimatet

	Bygd løsning	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Kostnadestimat [Mill NOK]	17,4	16,4	10,2	13,1
Peler [Mill NOK]	5,3	5,3	1,6	1,6
Antall kummer	11	9	6	11

### 4.3 Stort klimagassutslipp - liten kostnad

Det er spesielt to prosesser som har stort klimagassutslipp og liten kostnad, og det er elektrisitet og knust stein. Tabell 13 demonstrerer prosentvis klimagassutslipp og kostnad av total belastning.

Prosentandelen av utslipp fra elektrisitet er om lag 10 ganger større enn prosentandelen av kostnad, og all elektrisitet er brukt i pumpestasjonen. Świątochowska og Bartkowska

(2022), Qun mfl. (2017) og Li og Yue (2012) undersøkte måter å redusere energiforbruket til pumpestasjoner på. Masteroppgaven demonstrerer at reduksjon i energiforbruket er viktig for å redusere klimagassutslippet og viser dermed viktigheten med videre forskning på fagfeltet. Hvordan kostnaden og klimagassutslippet fra norsk strøm vil endre seg i fremtiden er usikkert. Det siste året har strømprisen vært vesentlig høyere enn tidligere. Strømprisen brukt i oppgaven er gjennomsnittsprisen de siste 2 årene, se Delkapittel 3.4.2. Hvis strømprisen stabiliserer seg på prisnivået mot slutten av 2021 vil kostnaden for drift av pumper bli større enn utregnet i masteroppgaven. En utfordring med karbonfotavtrykksanalyser er datainnsamling og problematikken oppstår også ved energisammensetning. Ved å følge EPDer er den norske energisammensetningen 31,04 g  $CO_2$ -ekv. per kWh (Eliassen 2021). En utregning av NVE (2022) demonstrerer dog et klimagassutslipp på 11 g  $CO_2$ -ekv. per kWh. I masteroppgaven er EPDer foretrukket fordi de følger ISO 14025:2006 standarden, se mer om EPDer i Delkapittel 2.1. Hvem som beregner det mest nøyaktige klimagassutslippet fra norsk energisammensetning er uvisst fordi datagrunnlaget, forutsetningene og antagelsene som er brukt i utregningene ikke er gjennomgått i masteroppgaven. NVE (2022) viser en 60 % reduksjon i klimagassutslippet sammenlignet med Eliassen (2021) og valg av kilde vil ha stor påvirkning på karbonfotavtrykksanalysen. Dette demonstrerer usikkerheten av datainnsamling i karbonfotavtrykksanalyser og hvordan publisert informasjon som ikke følger ISO 14040 standardene eller demonstrerer fremgangsmåte skaper usikkerhet.

Knust stein er den andre prosessen med stort klimagassutslipp og liten kostnad, demonstrert i Tabell 13. Masteroppgaven hensyntar ikke muligheten for gjenbruk av eksisterende knust stein som vil påvirke klimagassutslippet. Knust stein er benyttet ved ledningsetablering med rørpressing og grøftekasser, samt i veioppbygging. I masteroppgaven er utslippene fra knust stein størst fra vegoppbygging fordi mengden knust stein er størst. Videre forskning for å redusere klimagassutslippet fra VA-anlegg kan innebære løsninger som gjenbraker knust stein eller reduserer bruken av knust stein.

Tabell 13: Stort klimagassutslipp - liten kostnad. Tallene i tabellen er prosentandeler av total byrde.

	Bygd løsning	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Utslipp fra elektrisitet [%]	6,9	7,6	18,2	14,2
Strømkostnad [%]	0,6	0,6	1,5	0,9
Utslipp fra knust stein [%]	13,9	14,3	3,0	4,2
Kostnad av knust stein [%]	2,4	2,9	0,6	0,7

#### 4.4 Kvalitet på løsninger

Bygd løsning er blitt vurdert til toppkarakteren 3 i tilgjengelighet og rehabiliteringsevne grunnet kort avstand mellom kummene og enkel tilgang til ledningstraseen. En begrensning i kvalitetsvurderingen er at den ikke hensyntar ødeleggelse av materiell i byggefasen. Ved å se nærmere på ledningstraseen til bygd løsning i Figur 5 går ledningstraseen mellom BK3 og BK4 gjennom huset i Jarenstranda 19. Boligen blir ødelagt i byggefasen og resultatet av ødeleggelsen er toppkarakter i tilgjengelighet og rehabiliteringsevne, og ingen påvirkning av kvalitetsvurderingen. Alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning), 3 (oppgradere



---

eksisterende ledninger) får scorer 2 i rehabilitering på bakgrunn av ledningstraser gjennom hager og nærme boliger. Ved rehabilitering er sannsynligheten for materiell ødeleggelse større og avstanden fra veg lenger. Begrensingen med vurderingen av rehabiliteringsevnen i masteroppgaven er at alternativet som ødelegger materiell i byggefasen scorer høyere enn alternativer som ikke ødelegger materiell i byggefasen, men risikerer noe ødelegges ved fremtidig rehabilitering.

Rehabiliteringsevnen til alternativ 2 (etablere sjøledninger) får scorer dårligst av løsningsalternativene. Ved fornyelse av en sjøledning må hele ledningen erstattes, og sjøledningene er mellom 250 og 465 m lange. Det medfører en større utfordring sammenlignet med en kortere rehabilitering på land. Hvis rehabiliteringen kun hadde hensyntatt ledninger og antatt rehabilitering gjennomført med NoDig-metoder ville alternativ 3 fått toppkarakter, bygd løsning og alternativ 1 fått karakter 2 og alternativ 2 fått karakter 1. Dette fordi avstanden mellom kummene er kortest i alternativ 2 og omfanget av ledningsrehabilitering med NoDig-metoder minst. Men, rehabiliteringen hensyntar også kummer og pumpestasjoner, og ved rehabilitering av kummer og pumpestasjoner brukes konvensjonell graving.

Brannslukningsevnen i alternativ 3 demonstrerer meget god brannslukningsevne nord for fremtidig sykehjem, men kan også indikere for mange brannkummer i løsningen. Avstanden mellom kummene er små, men innebærer retningsendring. Avhengig av ønske fra byggherre i masteroppgaven er det kommunen burde en vurdering av reduksjon av antall kummer gjennomføres.

#### 4.5 Utførelsesmetoder

I masteroppgaven er utførelsesmetodene grøftkasser, styrt boring, rørpressing og utblokking benyttet. Tabell 14 demonstrerer et grovt kostnadsestimat og klimagassutslipp per m ledningstrasé for 1 vannledning og 1 pumpeledning spillvann. Kostnadsestimatet tar utgangspunkt i utregningene i masteren og grunnlaget for utregningene varierer i trasélengde som påvirker resultatet.

Utblokking er den utførelsesmetoden med lavest kostnad og klimagassutslipp, se Tabell 14. Dette samsvarer med rapporten av Hansen mfl. (2010) som demonstrerer reduksjon i både kostnad og klimagassutslipp ved bruk av utblokking fremfor konvensjonell graving. Det negative med utblokking er at metoden er avhengig av eksisterende ledningsnett ved etablering av ny ledning. NoDig-metoden strøpping rehabiliterer eksisterende ledninger, men ble ikke tatt med i masteroppgaven selv om det kan redusere kostnad og klimagassutslipp. I masteroppgaven antas det at kommunen ønsker nye ledninger fremfor å rehabilitere eksisterende ledninger og strøpping ble dermed ikke en aktuell utførelsesmetode.

Styrt boring er utførelsesmetoden med nest lavest kostnad og klimagassutslipp. En av fordelene med styrt boring er muligheten for etablering av lange ledninger. Kostnadsestimatet til styrt boring består av oppstillingskostnad på 21 560 NOK og en meterpris på 548 NOK/m. Med en høy oppstillingskostnad reduseres prisen av styrt boring per m ved lang ledningslengde. I utregningen av kostnad per m er det antatt en ledningslengde på 257,5 m. Kostnadsestimatet til styrt boring er derfor et grovt estimat som vil variere ved endring av trasélengde.

Grøftkasser har nest størst klimagassutslipp og kostnadsestimat, mye grunnet mer graving sammenlignet med NoDig-metodene styrt boring og utblokking. NoDig-metoder reduserer graving til et minimum, og selv om grøftkasser reduserer graving sammenlignet med åpen grøft er mengden graving vesentlig større. De største kostnadene ved grøftkasser er gra-

---

ving og leie av grøftkasser som utgjør hhv. 47 og 30 %. Gravemaskiner står for 33 % av kostnadene og er den største klimagassbyrden per m grøftkasser.

Rørpressing er utførelsesmetoden som er dyrest og har størst klimagassutslipp i masteroppgaven. Resultatet samsvarer ikke med artikkelen av Rehan og Knight (2007) som demonstrerer et vesentlig lavere klimagassutslipp med rørpressing sammenlignet med grøftkasser. Rehan og Knight (2007) tar hensyn til trafikkforurensing og traseen ligger i eller ved en vei. Systemgrensene i masteroppgaven er vist i Figur 10 og tar ikke hensyn til trafikkforurensing. Granumsvegen er også en langt mindre trafikkert veg sammenlignet med veiene i artikkelen til Rehan og Knight (2007). Selv om rørpressing er en NoDig-metode brukes den som regel i tilfeller hvor konvensjonell graving er utfordrende å gjennomføre. Eksempler på situasjoner hvor rørpressing benyttes er under en vei eller under jernbaneskinner. Ved rørpressing blir et rør av stål liggende igjen etter etablering av ny ledning og fører til store klimagassutslipp. Videre er den maksimale avstanden for rørpressing 60 meter. Kostnaden for oppstilling er 16 700 NOK og kostnaden per m er 2 591 NOK/m eller 1 943 NOK/m avhengig av diameter. I likhet med styrt boring er rørpressing billigere ved lengre ledningstrasé. I masteroppgaven er rørpressing brukt med en avstand på 20 m og derfor er kostnadsestimatet per m rørpressing i ekstra høyt. Kostnadsestimatet er et grovt estimat som varierer med trasélengde, men brukes for å vise tendenser.

Tabell 14: Klimagassutslipp og kostnadsestimat per utførelsesmetode per m trasélengde med 2 ledninger

	Grøftkasser	Rørpressing	Styrt boring	Utblokkning
Klimagassutslipp [kg $CO_2$ -ekv. per m]	41,6	67,9	15,8	0,42
Kostnad [NOK per m]	3 572	9 089	1 344	1 165

#### 4.6 Valg av løsning

Hva som er den beste løsningen varierer med hva som prioriteres av prosjekteier. Denne masteroppgaven forsøker å kvantifisere klimagassutslipp, kostnad og kvalitet på løsning i prosjekteringsfasen av VA-prosjekt Vassendvika, se Tabell 15. Prosjekteier må velge hvordan prioriteringen mellom klimagassutslipp, kostnad og kvalitet på løsning gjennomføres, men Delkapittelet demonstrerer valgmuligheter og utfordringer ved valg av løsning.

Hvis økonomi prioriteres er det tydelig at alternativ 2 (etablere sjøledninger) er den foretrukne løsningen. Kostnadsestimatet til alternativ 2 er 7,2, 6,2 og 2,9 millioner NOK billigere enn bygd løsning, alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning) og 3 (oppgradere eksisterende ledninger). Videre produserer alternativ 2 det laveste klimagassutslippet og er derfor foretrukket ved prioritering av klimagassutslipp. Klimagassutslippet er mellom 16 og 79 tonn  $CO_2$ -ekv. mindre i alternativ 2 sammenlignet med de andre løsningsalternativene. Det lave kostnadsestimatet og klimagassutslippet i alternativ 2 kommer av reduksjon av løsningens omfang. De resterende løsningene består av 11 eller 9 kummer mens alternativ 2 består av 6 kummer. I tillegg ligger store deler av ledningstraseen i Jarenvannet som reduserer utgiftene i forbindelse med utførelse til det minimale.

Ved å prioritere kvalitet på løsning er enten bygd løsning eller alternativ 1 det foretrukne alternativet. Bygd løsning scorer bedre i tilgjengelighet og rehabiliteringsevne, mens

alternativ 1 scorer bedre på brannslukningsevne. Trasévalg mellom ny pumpestasjon og kummen i Granumsvegen er grunnen til differansen i kvalitet på løsningene. Hva som skal velges hvis kvaliteten på løsningen skal prioriteres avhenger av prioriteringene av tilgjengelighet og rehabiliteringsevne opp mot brannslukningsevne.

Utfordringen med rangering av løsningsalternativene kommer når klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning skal hensyntas. Bygd løsning er alternativet som scorer høyest i kvalitet på løsning, men er dyrest og har størst klimagassutslipp. Bygd løsning ødelegger i tillegg en bolig i ledningstraseen under byggefasen, men som diskutert i Delkapittel 4.4 tar ikke kvalitetsvurderingen hensyn til ødeleggelse i byggefasen. Alternativ 1 scorer lavere i tilgjengelighet og rehabiliteringsevne, men høyere i brannslukningsevne sammenlignet med bygd løsning. Videre ødelegger ikke alternativ 1 noen boliger i byggefasen og har et lavere klimagassutslipp og kostnadsestimat. Alternativ 1 burde dermed foretrekkes foran bygd løsning når klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning hensyntas.

For å differensiere alternativ 1, 2 og 3 må viktighetsgraden av kvalitetsvurderingen, kostnadsestimat og klimagassutslipp rangeres. Kvalitetsvurderingen hensyntar tilgjengelighet, brannslukningsevne, fleksibilitet og rehabiliteringsevne, og hvordan de forskjellige burde prioriteres opp mot hverandre er vanskelig å bedømme. Alternativ 1 scorer høyest i tilgjengelighet, brannslukningsevne og fleksibilitet og like høyt som alternativ 3 i rehabiliteringsevne, men er dyrest og har høyest klimagassutslipp. På den andre siden har alternativ 2 lavest kostnad og klimagassutslipp, men scorer lavest i tilgjengelighet, brannslukningsevne, fleksibilitet og rehabiliteringsevne. Rehabiliteringsevnen til alternativ 2 scorer dårlig på grunn av lange sjøledninger som krever store utskiftninger ved ødeleggelse som fører til større kostnader ved en rehabilitering. Samtidig er kostnadsestimatet til løsningen mye lavere og en dyrere rehabilitering er mindre enn differansen i kostnadsestimat. Derfor reduseres betydningen av den lave karakteren i rehabiliteringsevne. Alternativ 3 ligger mellom alternativ 1 og 2 i fleksibilitet, rehabiliteringsevne, kostnadsestimat og klimagassutslipp. Alternativet scorer like høyt som alternativ 1 på rehabiliteringsevne og like lavt som alternativ 2 på tilgjengelighet. Hva som er det beste løsningsalternativet basert på kvalitet på løsning, kostnadsestimat og klimagassutslipp er opp til prosjekteier å bestemme når løsningene har forskjellige styrker og svakheter.

Tabell 15: Klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning

	Bygd løsning	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv.]	147,9	130,4	83,9	92,9
Kostnadestimat [Mill NOK ]	17,4	16,4	10,2	13,1
Tilgjengelighet	3	2	1	1
Brannslukningsevne	2	3	1	2
Fleksibilitet	3	3	1	2
Rehabiliteringsevne	3	2	1	2

---

## 4.7 Valgmuligheter i prosjekteringsfasen

Valgmulighetene i prosjekteringsfasen varierer fra prosjekt til prosjekt, men i prosjekteringsfasen burde forskjellige ledningstraseer utforskes. Målet med de alternative ledningstraseene burde være å utforske alternative løsninger for pumpestasjon, kummer, utførelsesmetoder til ledninger og lengde av ledningstrasé. Tabell 16 inneholder en sjekkliste for reduksjon av kostnad og klimagassutslipp og kan følges ved utforskningen av forskjellige ledningstraseer. I vurderingen av hvert punkt i sjekklisten må påvirkningen på kvalitet på løsning hensyntas. Forskjellige alternative løsninger for pumpestasjon burde innebære forskjellige lokasjoner med forskjellige grunnforhold. Utrekningene av klimagassutslippet og kostnadsestimatet demonstrerer at grunnforholdene til pumpelokasjonen har stor betydning, fordi peler benyttes i områder med utfordrende grunnforhold. Peler står for 15,5 tonn  $CO_2$ -ekv. og en estimert kostnad på 5,2 millioner NOK i bygd løsning og alternativ 1 (øke NoDig-bruken i bygd løsning). I alternativ 2 (etablere sjøledninger) og 3 (oppgradere eksisterende ledninger) er en av to pumpestasjoner lokalisert uten behov for peler og kostnadsestimatet samt klimagassutslippet er redusert med 72 %. I bygd løsning og alternativ 1 står peler for hhv. 28 og 30 % av kostnadsestimatet og er den største økonomiske forskjellen på løsningsalternativene. Det første spørsmålet i sjekklisten omhandler reduksjon i peler og spunt. Spunt blir i likhet med peler benyttet for å stabilisere byggegroppen og består også av stål. Klimagassutslippet til spunt er ifølge (Jensen 2019) noe lavere enn for peler, men fortsatt høyt sammenlignet med andre prosesser i masteroppgaven. Spunt og peler utnyttes på lik linje og begge har høyt klimagassutslipp, derfor inkluderes begge i sjekklisten.

Punkt 2 i sjekklisten i Tabell 16 er å redusere antall kummer til ytterst nødvendig. Antall kummer burde kun bestå av kummene krevd i den aktuelle VA-normen, eller kummer med veldig klar grunn for å bli inkludert. Ved å redusere antall brannkummer av betong reduseres kostnaden og klimagassutslippet med henholdsvis 335 000 NOK og 1,8 tonn  $CO_2$ -ekv. per brannkum. På den andre siden kan ikke antall kummer reduseres uten å ta hensyn til tilgjengeligheten, fleksibiliteten og brannslukningsevnen, men en vurdering av hva som er nødvendig må gjennomføres.

Forskjellige utførelsesmetoder kan være grøftkasser og NoDig-metodene utblokking, styrt boring og rørpressing. Før utførelsesmetodene utforskes burde sjøledninger vurderes. Løsningsalternativet med sjøledninger produserte minst klimagassutslipp og kostnadsestimat, men scoret lavest i kvalitet på løsning. Tilgjengeligheten og fleksibiliteten reduseres i stor grad ved sjøledning og konsekvensene av dette må inkluderes i vurderingen av sjøledninger. Utblokking er den første NoDig-metoden som burde vurderes da metoden benytter eksisterende ledninger. Hvordan eksisterende trasé påvirker kvaliteten på løsningen må inkluderes i vurderingen. Tabell 14 demonstrerer utblokking som utførelsesmetoden med lavest klimagassutslipp og kostnad, etterfulgt av styrt boring. Styrt boring er derfor den andre utførelsesmetoden som burde utforskes. Styrt boring er billigere ved større avstand mellom kummer, og en stor avstand mellom kummene påvirker kvaliteten på løsningen som må hensyntas i vurderingen. Vist i Tabell 14 er rørpressing den utførelsesmetoden med størst kostnad og klimagassutslipp. Rørpressing benyttes som regel under vei og jernbane, og hvis rørpressing kan unngås enten ved traséendring eller valg av annen utførelsesmetode burde det prioriteres.

Valg av rørdiameter har stor betydning for kostnad og klimagassutslipp. Det burde gjøres en vurdering av reduksjon av rørdiameter i drikkevannsledninger for å redusere kostnaden og klimagassutslippet. Ved reduksjon av rørdiameter til pumpeledninger må besparelsen i kg  $CO_2$ -ekv. i byggefasen fra reduksjon i kg materiale være større enn økningen i strømfor-

bruk og eventuelt behovet for større pumpe i driftsfasen. En slik vurdering er gjennomført i alternativ 1, se Tabell 18 i vedlegg 1. Når ledningsdiameterne er vurdert redusert burde trasélengden forsøkes å reduseres. Tabell 14 demonstrerer kostnad og klimagassutslipp per m utførelsesmetode og Tabell 4 demonstrerer blant annet utslippet per kg ledningsmateriale. Kostnaden og klimagassutslippet av materialer og tjenester øker med mengde, og en reduksjon av trasélengden reduserer mengden og derfor kostnaden og klimagassutslippet.

Tabell 16: Sjekkliste for reduksjon i kostnad og klimagassutslipp i prosjekteringsfasen av VA-anlegg

	Ja/nei
Kan peler og spunt unngås?	J/N
Er antall kummer redusert til ytterst nødvendig?	J/N
Er sjøledninger et alternativ?	J/N
Kan NoDig-metoden utblokking benyttes?	J/N
Kan NoDig-metoden styrt boring benyttes?	J/N
Kan rørpressing unngås?	J/N
Er ledningsdiameterne redusert til et minimum?	J/N
Er er trasélengden redusert til et minimum?	J/N

---

## 5 Konklusjon

Målet i masteroppgaven var å produsere en sjekklister for prosjekteringsfasen av VA-anlegg som øker muligheten for reduksjon av klimagassutslipp og kostnad, samt tar hensyn til kvaliteten på løsningen. Forskningen på reduksjon av klimagassutslipp i prosjekteringsfasen av VA-anlegg er begrenset, og det finnes ikke mange komparative studier publisert der man sammenligner alternative løsninger mtp. klimagassutslipp i prosjekteringsfasen. For å kartlegge påvirkningen av klimagassutslippsreducerende tiltak i prosjekteringsfasen ble VA-prosjektet Vassendvika i Gran kommune og tre alternative løsninger på prosjektet presentert og vurdert med hensyn til klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning. En karbonfotavtrykksanalyse ble gjennomført for å beregne klimagassutslippet, et kostnadsestimat ble beregnet til kroneverdien i 2022 og en kvalitativ vurdering av kvaliteten ble gjennomført. Den funksjonelle enheten til karbonfotavtrykksanalysen og kostnadsestimatet er 50 år med transport av drikke- og spillvann, og systemgrensene inneholder fasene materialer, transport, byggefasen og driftsfasen.

Evalueringen av de alternative løsningene demonstrerer at en reduksjon i klimagassutslipp og kostnad medfører en reduksjon i kvalitetsvurderingen på løsningene. Løsningsalternativene reduserer klimagassutslippene og kostnadene med mellom 12 og 43 % og 6 og 41 % sammenlignet med bygd løsning. Kvalitetsvurderingen er kun en sammenligning av de alternative løsningene, men alle løsningsalternativene har akseptabel kvalitet. Årsaken til at løsningen med størst klimagassutslipp ble bygd kan være fordi klimagassutslippet ikke blir hensyntatt i prosjekteringsfasen. På den andre siden ble løsningen med størst kostnad bygget og årsaken kan være konservative byggherrer og rådgivere som ikke utfordrer valgene til byggeherrene.

Hvordan klimagassutslipp, kostnadsestimat og de forskjellige delene i kvalitetsvurderingen skal vurderes opp mot hverandre svarer masteroppgaven ikke på. Resultatene av evalueringen av løsningsalternativene demonstrerer hvilke prosesser som påvirker klimagassutslippet, kostnadsestimatet og kvalitet på løsning, og er grunnlaget til sjekklisten i Tabell 16. Sjekklisten fører til en vurdering av peler og spunt, kummer, utførelsesmetode, rørdiameter og total trasélengde. Sjekklisten øker muligheten for en reduksjon av klimagassutslipp og kostnad, men hvert punkt må vurderes med hensyn til kvaliteten på løsningen.

Den første begrensingen i oppgaven er usikkerheter i datagrunnlaget til karbonfotavtrykksanalysen, som kan føre til feil prioriteringer. Desto større andel av datagrunnlaget som følger ISO 14040 standardene enten som publiserte studier eller EPDer reduserer sannsynligheten for feil i datagrunnlaget. Den andre begrensningen er fraværende rehabiliteringsvurdering av eksisterende materiell fordi alle løsningene ble antatt bygd nytt ettersom bygd løsning ikke gjenbrakte materialer. Rehabilitering av eksisterende løsninger kan føre til store kutt i klimagassutslipp og kostnad, men byggherre må godkjenne gjenbruk. Den tredje begrensningen er manglende påvirkning av materielle ødeleggelser i byggefasen i kvalitetsvurderingen, som fører til kunstig god kvalitetsvurdering.

Videre arbeid burde undersøke hvordan klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet på løsning skal vurderes opp mot hverandre. Hvordan rehabiliteringen av eksisterende løsninger påvirker klimagassutslipp, kostnadsestimat og kvalitet til løsning, burde også undersøkes. Masteroppgaven tar bare hensyn til klimagassutslipp, men andre miljøaspekt påvirker også miljøvurderingen og burde inkluderes. Til slutt burde kvalitetsvurderingen hensynta ødeleggelser i byggefasen og hvordan det påvirker kvalitetsvurderingen burde undersøkes.

---

## Bibliography

- Arge, K., K. Moe og H. Westgaard (2010). *Prosjekteringsplanlegging og prosjekteringsledelse*. Tekn. rapp. Strindvegen 4, 7034 Trondheim: Sintef. URL: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/prosjekteringsplanlegging-og-ledelse.pdf>. (Hente: 3.mars 2022).
- Ariaratnam, Samuel T mfl. (2013). «Quantification of Sustainability Index for Underground Utility Infrastructure Projects». eng. I: *Journal of construction engineering and management* 139.12. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000763.
- Aspestrand, I. mfl. (2019). *Norges tilstand 2019 Vannforsyning- og Avløpsanlegg*. Essendropsgate 3, 0305 Oslo: Rådgivende Ingeniørers Forening. URL: <https://rif.no/wp-content/uploads/2019/08/Vann-Avl%5C%C3%5C%B8psanlegg.pdf>. (Hentet: 20. Januar 2022).
- Baumann, Henrikke (2004). *The hitch hiker's guide to LCA : an orientation in life cycle assessment methodology and application*. eng. Edition 1:10. Lund: Studentlitteratur. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.05.018.
- Bjørn, A. mfl. (2017). «LCA History». I: *Life Cycle Assessment*. Cham: Springer International Publishing, s. 17–30. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_3.
- Brundtland, G.H. og O. Dahl (1987). *Vår felles fremtid*. Oversatt fra Our Common future av G.H. Brundtland. Oxford. URL: [https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2007080601018](https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2007080601018).
- Byrne, D.M. mfl. (2017). «Life cycle assessment (LCA) of urban water infrastructure: emerging approaches to balance objectives and inform comprehensive decision-making». I: *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* 3 (6), s. 1002–1014. DOI: 10.1039/C7EW00175D.
- DOMO Chemicals (2017). *EPD FL 66 unfilled and reinforce, Demo Chemicals*. URL: <https://www.domochemicals.com/sites/domo/files/2019-10/domofl66-epd-29917-epd.pdf>. (Hentet: 21. mars 2022).
- Eliassen, C. (2021). *Environmental Product Declaration ig Trapp og repos (B35-MF45), Elementsør AS*. Technical report NEPD-3094-1757-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1320506-1631620421/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-3094-1757\\_Trapp-og-repos--B35-MF45-.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1320506-1631620421/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-3094-1757_Trapp-og-repos--B35-MF45-.pdf). (Hentet: 20. februar 2022).
- Finkbeiner, Matthias (2014). «The International Standards as the Constitution of Life Cycle Assessment: The ISO 14040 Series and its Offspring». I: *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment*. Red. av Walter Klöpffer. Dordrecht: Springer Netherlands, s. 85–106. DOI: 10.1007/978-94-017-8697-3\_3.
- Gran kommune (2022). *VA-norm Gran kommune*. Standard. Rådhusvegen 39, 2770 Jaren: Gran Kommune. URL: <https://www.va-norm.no/pdf/0/all/34/>. (Hentet: 01. juni 2022).
- Hansen, A. mfl. (mai 2010). *NoDig versus åpen grøft. Miljømessige-, økonomiske- og juridiske betraktninger*. Technical report 01. Norsk Vann. URL: <http://d21dbafykdck9.cloudfront.net/1448877382/nodig-klimaregnskaprapport-nodig-vs-åpen-grøft.pdf>. (Hentet: 22. mars 2022).
- Hias IKS (2018). *Norm for VA-ledningsanlegg*. Hamar. URL: <https://www.hias.no/siteassets/plan-og-prosjekt---dokumenter/va-norm-ledninger-hias--rev-28.01.21>. (Hentet: 08. november 2021).
- Holland Boring (2022). *Styrt boring i løsmasser*. URL: <https://www.holland-nodig.no/tjenester/styrt-boring-i-losmasser>. (Hentet: 06. mai 2022).
- Hundhammer, B. (des. 2021). *Environmental Product Declaration Oddvar Øygars AS*. Technical report NEPD-3285-1928-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321837-1639659868/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-3285-1928\\_Knuste-masser-produisert-ved-Hol-Pukkverk.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321837-1639659868/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-3285-1928_Knuste-masser-produisert-ved-Hol-Pukkverk.pdf). (Hentet: 19. februar 2022).

- 
- ISO (2022). *About us*. URL: <https://www.iso.org/about-us.html>. (Hentet: 25. april 2022).
- (2010). *ISO 14025:2006 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=438649>. (Hentet: 17. februar 2022).
- (2006a). *ISO 14040:2006 ISO Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236802>. (Hentet: 25. januar 2022).
- (2006b). *ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=236803>. (Hentet: 18. januar 2022).
- (2018). *ISO 14067:2018-08 Greenhouse gases - Carbon footprint of products- Requirements and guidelines for quantification*. Standard. Geneva, CH: International Organization for Standardization. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1009158>. (Hentet: 17. januar 2022).
- Jensen, M.M. (mar. 2017). *Environmental Product Declaration Welded Steel Tubes Ferromental AS*. Technical report NEPD-1300-421-NO. Oslo: The Norwegian EPD Foundation. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/137249-1490262986/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-1300-421\\_Welded-Steel-Tubes.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/137249-1490262986/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-1300-421_Welded-Steel-Tubes.pdf). (Hentet: 25. april 2022).
- (mar. 2019). *EPD Steel sheet piles Ferromental AS*. Technical report NEPD-1740-708-NO. The Norwegian EPD Foundation. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1310069-1552900295/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-1730-708\\_Steel-sheet-piles.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1310069-1552900295/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-1730-708_Steel-sheet-piles.pdf). (Hentet: 25. april 2022).
- Krogstad, M.A. (2020). *Environmental Product Declaration Armeringsløsninger fra Kamstål AS*. Technical report NEPD-2201-1007-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313442-1593776381/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-2201-1007\\_Armeringsprodukter-fra-Kamstal-AS.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313442-1593776381/EPDer/Byggevarer/St%5C%C3%5C%A5lkonstruksjoner/NEPD-2201-1007_Armeringsprodukter-fra-Kamstal-AS.pdf). (Hentet: 19. februar 2022).
- Krossøy, T. (2021). *Environmental Product Declaration B30 M60 D22, Ølen Betong AS*. Technical report NEPD-3204-1846-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321340-1635776903/EPDer/Byggevarer/Ferdig%5C%20betong/NEPD-3204-1846\\_B30-M60-D22.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321340-1635776903/EPDer/Byggevarer/Ferdig%5C%20betong/NEPD-3204-1846_B30-M60-D22.pdf). (Hentet: 1. Mars 2022).
- Lennartsson, Y. (aug. 2021). *Environmental Product Declaration PVC Sewage pipe 250x7,3 SN8 6m*. Technical report NEPD-3000-1677-EN. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1319792-1628771863/EPDer/Byggevarer/R%5C%C3%5C%B8systemer/NEPD-3000-1677\\_PVC-Sewage-pipe-250x7-3-SN8-6m.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1319792-1628771863/EPDer/Byggevarer/R%5C%C3%5C%B8systemer/NEPD-3000-1677_PVC-Sewage-pipe-250x7-3-SN8-6m.pdf). (Hentet: 19. mars 2022).
- Li, H. og X. Yue (2012). «Study on energy-saving of Urban Water Supply System Variable frequency pumping station». eng. I: 383-390, s. 254–259. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.254.
- Lædre, Ola (2006). *Valg av kontraktsstrategi i bygg- og anleggsprosjekt*. nor. Dr.art. avhandling Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. URL: <http://hdl.handle.net/11250/231308>.
- Mannheim, V. og Z. Simenfalvi (2020). «Total life cycle of polypropylene products: Reducing environmental impacts in the manufacturing phase». eng. I: *Polymers* 12.9, s. 1901. ISSN: 2073-4360. DOI: 10.3390/polym12091901.
-



- 
- Moen, B. (des. 2021). *Environmental Product Declaration PE 100 Robustline RC trykkrør, Ppielife Norge AS*. Technical report NEPD-3265-1906-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321768-1638958771/EPDer/Byggevarer/R%5C%C3%5C%B8systemer/NEPD-3265-1906\\_PE-100-Robustline-RC-trykkror.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321768-1638958771/EPDer/Byggevarer/R%5C%C3%5C%B8systemer/NEPD-3265-1906_PE-100-Robustline-RC-trykkror.pdf). (Hentet: 19. februar 2022).
- Norges Bank (2021a). *Norges Bank pengepolitiske strategi*. URL: <https://www.norges-bank.no/tema/pengepolitikk/pengepolitisk-strategi/>. (Hentet: 24. april 2022).
- (2021b). *Pengepolitisk rapport med vurdering av finansiell stabilitet*. Tekn. rapp. Norges banks rapportserie 4/2021. Oslo: Norges Bank. URL: [https://www.norges-bank.no/aktuelt/nyheter-og-hendelser/Publikasjoner/Pengepolitisk-rapport-med-vurdering-av-finansiell-stabilitet/2021/ppr-42021/innhold/#\\_idTextAnchor016](https://www.norges-bank.no/aktuelt/nyheter-og-hendelser/Publikasjoner/Pengepolitisk-rapport-med-vurdering-av-finansiell-stabilitet/2021/ppr-42021/innhold/#_idTextAnchor016). (Hentet: 15. mars 2022).
- Norsk Vann (2009). *NoDig-metoder for hovedledninger - Metodeoversikt*. Technical report (VA-blad 90). Rådgivende Ingeniørers Forening. URL: <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2014/11/renovering.pdf>. (Hentet: 21. mars 2022).
- NVE (2022). *Hvor kommer strømmen vår fra*. URL: <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/>. (Hentet: 04. Mars 2021).
- Næringslivets Stiftelse for miljødeklarasjoner (2022). *What is EPD?* URL: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>. (Hentet: 8. mars 2022).
- Qun, M., J. Wang og C. Liu (2017). «Energy-Saving Optimization of Water Supply Pumping Station Life Cycle Based on BIM Technology». eng. I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 100.1, s. 12201. ISSN: 1755-1307. DOI: 10.1088/1755-1315/100/1/012201.
- Rehan, R. og M. Knight (sep. 2007). *Do Trenchless Pipeline Construction Methods Reduce Greenhouse Gas Emissions?* Tekn. rapp. 01. Preliminary Rep. Waterloo, Canada: Centre for the Advancement of Trenchless Technologies, Waterloo Univ. URL: [https://www.academia.edu/9233679/PRELIMINARY\\_REPORT\\_Do\\_Trenchless\\_Pipeline\\_Construction\\_Methods\\_Reduce\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emissions](https://www.academia.edu/9233679/PRELIMINARY_REPORT_Do_Trenchless_Pipeline_Construction_Methods_Reduce_Greenhouse_Gas_Emissions). (Hentet: 14. mai 2022).
- Remman, K. (mar. 2022). *Environmental Product Declaration Ig Kumring DN1600, Beisfjord Sementfabrikk AS*. Technical report NEPD-3415-2028-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1323251-1648573523/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-3415-2028\\_Ig-kumring-DN1600.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1323251-1648573523/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-3415-2028_Ig-kumring-DN1600.pdf). (Hentet: 19. februar 2022).
- Rørprodukter, Loe (2022). *Kumelementer med glidepakning*. URL: [https://loe-ror.no/produkter/kumelementer\\_og\\_tilbehor/kumelementer\\_glidepakning\\_ns\\_3139/](https://loe-ror.no/produkter/kumelementer_og_tilbehor/kumelementer_glidepakning_ns_3139/). (Hentet: 21. april 2022).
- Rådgivende ingeniørers forening (2022a). *Om RIF*. URL: <https://rif.no/om-rif/>. (Hentet: 11. mars 2022).
- (2022b). *State of the Nation - Norges tilstand*. URL: <https://rif.no/state-of-the-nation/>. (Hentet: 1. april 2022).
- Slagstad, H. og H. Brattebø (2014). «Life cycle assessment of the water and wastewater system in Trondheim, Norway - A case study». eng. I: *Urban water journal* 11.4, s. 323–334. DOI: 10.1080/1573062X.2013.795232.
- Snemyr, H. (2021). *Environmental Product Declaration One tonne of ductile cast iron produced by Furnes Jernstøperi AS*. Technical report NEPD-3175-1816-EN. Oslo: The Norwegian EPD Foundation. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321122-1634298573/EPDer/Byggevarer/NEPD-3175-1816\\_Ductile-Cast-Iron.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321122-1634298573/EPDer/Byggevarer/NEPD-3175-1816_Ductile-Cast-Iron.pdf). (Hentet: 25. februar 2022).
- Solli, M. (2020). *Environmental Product Declaration Pukk, produsert ved Gjølme pukkverk, NCC Idusry AS Stone Material*. Technical report NEPD-2535-1130-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: <https://www.epd-norge.no/getfile>.
-

- 
- php/1316434-1606990953/EPDer/Byggevarer/Asfalt/NEPD-2535-1130\_NCC-Gjolme-pukkverk.pdf. (Hentet: 19. april 2022).
- Standard Norge (2021). *Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*. Norsk Standard NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2021. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1411586>. (Hentet: 6. april 2022).
- Statistisk sentralbyrå (2022a). *Byggekostnad for veganlegg*. URL: <https://www.ssb.no/statbank/table/08662/tableViewLayout1/>. (Hentet 27.05.2022).
- (2022b). *Elektrisitetspriser, 09634: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet, etter kontraktstype, statistikkvariabel og kvartal*. URL: <https://www.ssb.no/statbank/table/09364/tableViewLayout1/>. (Hentet: 05. mai 2022).
- (2022c). *Konsumprisindeksen*. URL: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/konsumpriser/statistikk/konsumprisindeksen>. Hentet: 11. april 2022).
- Stenshorne, G. (2019). *Forprosjektrapport Vassendvika - omlegging VA*. Se vedlegg 2.
- Strømmen, A. (2020). *TEP4223 livssyklusanalyse, syllabus*. Se vedlegg 2.
- Świątochowska, M. og I. Bartkowska (2022). «Optimization of Energy Consumption in the Pumping Station Supplying Two Zones of the Water Supply System». eng. I: *Energies (Basel)* 15.1, s. 310. DOI: 10.3390/en15010310.
- United States Environmental Protection Agency (2021). *Inventory of U:S Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019*. Tekn. rapp. EPA-430-R-21-005. United States Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/us-greenhouse-gas-inventory-report-archive>. (Hentet: 25. mars 2022).
- Vangen, S. (2022). *Environmental Product Declaration Fabrikkblandet Ferdigbetong B45, MF40, D22, S4, CI 0,1, Betongservice AS*. Technical report NEPD-3339-1977-NO. Oslo: Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. URL: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1322606-1644245559/EPDer/Byggevarer/Ferdig%5C%20betong/NEPD-3339-1977\\_Fabrikkblandet-Ferdigbetong-----B45-MF40--D22--S4--CI-0-1.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1322606-1644245559/EPDer/Byggevarer/Ferdig%5C%20betong/NEPD-3339-1977_Fabrikkblandet-Ferdigbetong-----B45-MF40--D22--S4--CI-0-1.pdf). (Hentet: 2. Mars 2022).
- Venkatesh, G., C. Arthur og H. Brattebø (2014). «Understanding the water-energy-carbon nexus in urban water utilities: Comparison of four city case studies and the relevant influencing factors». I: *Energy* 75, s. 153–166. DOI: 10.1016/j.energy.2014.06.111.
- Weidema, B. mfl. (2014). *The Product, Functional Unit and Reference Flows in LCA*. eng. Technical report Environmental news. 70. København: Danish Environmental Protection Agency. URL: [https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-233-7/html/helepubl\\_eng.htm](https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-233-7/html/helepubl_eng.htm). (Hentet: 15. april 2022).
- Ødegaard, H. mfl. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Hamar: Norsk Vann. ISBN: 9788241403569.

## Vedlegg 1

Tabell 17: Hastighet og skjærspenning til ledninger som oppfyller ledningskarakteristikken. I prosjektet er det satt krav om vannhastighet mellom 0,8 og 1,3  $m/s$  og skjærspenning over 2,5  $N/m^2$  (Stenshorne 2019)

	Diameter ytre [mm]	Hastighet [m/s]	Skjærspenning [ $N/m^2$ ]
Bygd løsning	180	0,96	2,76
Alternativ 1	160	1,21	4,38
Alternativ 1	180	0,96	2,76
Alternativ 2 Hofsbro 1	140	1,13	3,99
Alternativ 2 Hofsbro 2	90	1,06	3,87
Alternativ 3 Hofsbro 1	140	1,13	3,99
Alternativ 2 Hofsbro 2	90	1,06	3,87

Tabell 18: Valg av ledningsdiameter til pumpeledning med hensyn på kostnad og klimagassutslipp alternativ 1

Ledningsdiameter	160 mm	180 mm
Pumpeforbruk [ $kWh$ ]	389 214	340 833
Ledningslengde [m]	220	220
Strømkostnad [NOK]	186 356	163 191
Materialkostnad ledning [NOK]	97 680	122 100
Sum kostnad [NOK]	284 035	285 291
Klimagassutslipp fra strøm [kg $CO_2$ -ekv]	12 077	10 576
Klimagassutslipp fra materialer [kg $CO_2$ -ekv]	2 872	3 624
Sum klimagassutslipp [kg $CO_2$ -ekv]	14 950	14 200

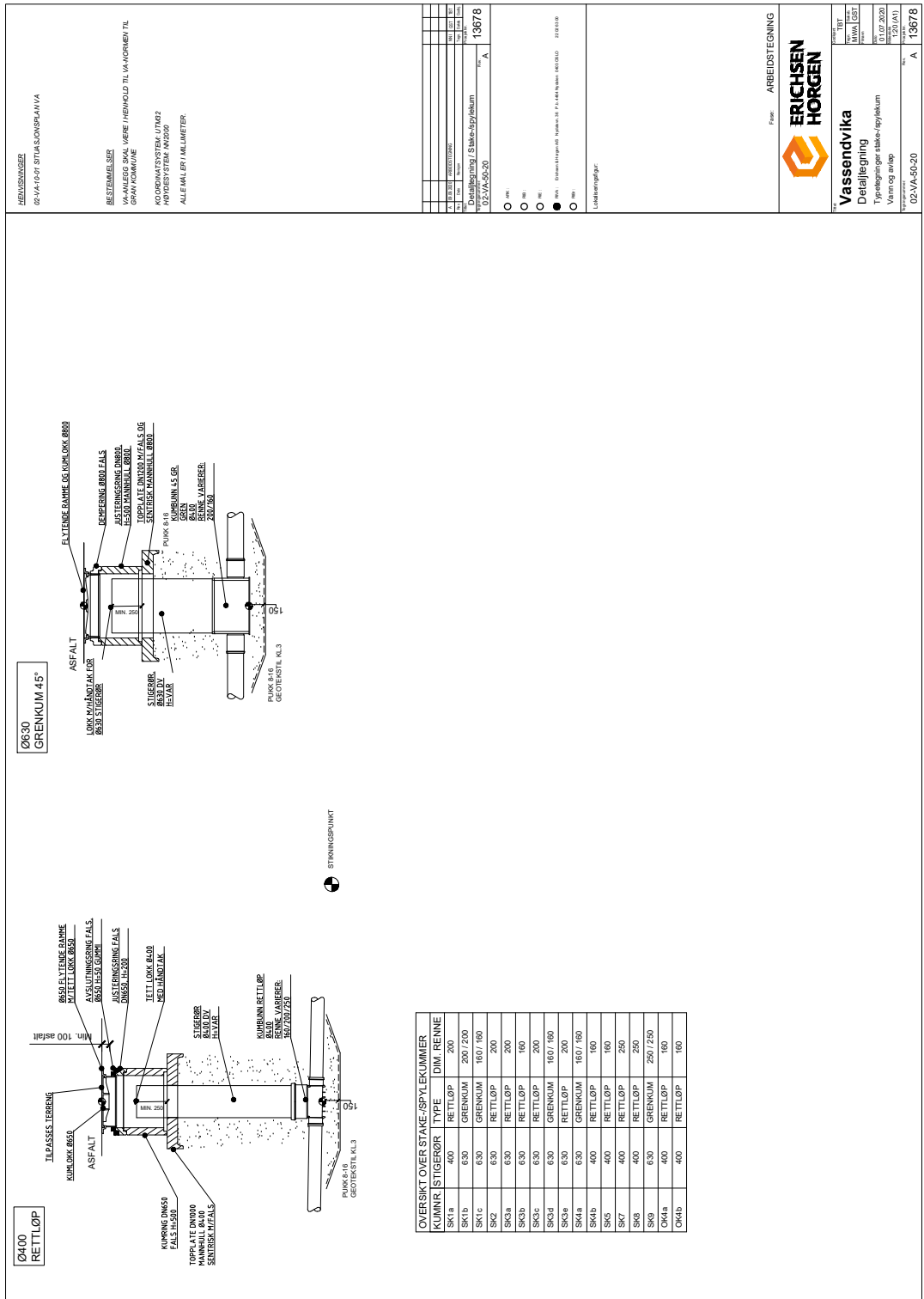
Tabell 19: Utregning av vekt og senteravstand av betonglodd på PE 100 ledninger

	VL 280 mm	VL 75 mm	PSP 140 mm	PSP 90 mm
Nødvendig belastning [kg/m]	29,9	2,2	11,0	4,48
Vekt av betonglodd [kg]	160	17,7	40	17,7
Senteravstand [m]	5,5	8,3	3,6	3,7

---

Tabell 20: Sjøledninger med korresponderende vekt og senteravstand på lodd. Utregning gjennomført med antagelser om fyllingsgrad på 0,4 og 0,6 på henholdsvis vannledninger og sjøledninger

Sjøledninger	Lodd [kg]	Senteravstand [m]
Vannledning 280mm PE100	115	3,8
Vannledning 75mm PE100	18	8,4
Spillvannsledning 180mm PE100	90	5,0
Spillvannsledning 140mm PE100	90	8,2
Spillvannsledning 75mm PE100	18	5,7



Figur 27: Typetegning inspeksjonkum (SK) Ø400 i plast









2021 DATE	PUMPE I	TIMER	PUMPE II	TIMER	KWH TEUER	TIMER
9/5/21	77	5	116	4		
11/5	82	45	120	48	1060	
20/5	127	30	200	32	1295	
27/5	157	21	221	21		
3/6	178	15	237	16		
9/6	193	16	253	16		
15/6	209	22	277	24	1714	
23/6	231	18	295	18	1821	469.
30/6	249	13	307	12	1899	107
7/7	262	14	321	14	1985	78
14/7	276	12	334	13	2064	86
21/7	288	14	347	13	2152	79
29/7	302	12	360	13	2229	88
4/8	314	14	374	14	2314	77
11/8	328	12	387	13	2395	85
18/8	340	13	399	12	2474	81
25/8	353	12	411	12	2553	79
1/9	365	11	424	13	2633	79
8/9	377	14	435	11	2708	80
15/9	388	14	449	14	2805	75
23/9	402	14	463	14	2907	97
1/10	416	14	476	13	2997	102
7/10	430	15	492	16	3113	90
15/10	445	7	499	7	3178	106
19/10	452	16	515	16	3304	65
27/10	468					120

Figur 31: Pumpedata ny pumpestasjon Vassendvika

