



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

NoDig Ledningsrenovering En teoretisk casestudie av økonomiske & miljømessige fordeler

Trenchless Pipe Replacement
A theoretical case study of economic &
environmental benefits

Jesper Aamot Langbraaten
Industriell økonomi

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min utdannelse innen Industriell økonomi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er utarbeidet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, under Fakultetet for miljøvitenskap og teknologi. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng, som tilsvarer et semesters arbeid, og ble skrevet våren 2016.

Jeg ønsket å skrive en oppgave som var tilpasset mitt studieområde ved å kombinere et økonomisk og teknologisk aspekt. Ønsket var å benytte masteroppgaven til å bli kjent med en bedrift gjennom et samarbeid. Jeg ønsker derfor å takke NCC som tok meg imot og ga meg muligheten til å skrive en oppgave for dem. Spesielt vil jeg takke min mentor Mikkel Myrvold for gode samtaler og en flott mottagelse i bedriften. Jeg må også rette en takk til NCC Ledningsreovering, med Tage Odland, Magne Myrset, Øyvind Enger og Kjell Arne Finstad, for alle bidrag til oppgaven. Tusen takk til alle i NCC som har bidratt med innspill og hjulpet meg med oppgaven.

I tillegg vil jeg rette en takk til min veileder ved NMBU, Tor Kristian Stevik, for gode diskusjoner, konstruktive tilbakemeldinger og et godt samarbeid gjennom hele perioden. Tusen takk til medstudent, Marte Hemma, for alt samarbeidet og alle diskusjonene vi har hatt gjennom de mange timene vi har tilbragt på Ø27 denne våren.

Avslutningsvis vil jeg rette en stor takk til Kristine, mamma og pappa for tilbakemeldinger, hjelp til korrektur og full støtte gjennom en spennende og utfordrende masterperiode.

Ås, mai 2016

Jesper Aamot Langbraaten

Sammendrag

Dagens ledningsnettverk i Norge består av et omfattende system av vann- og avløpsledninger med et markant renoveringsbehov (Skjærstad 2013). Et aldrende ledningsnett der omtrent en tredjedel av vanntransporten går til vannlekkasjer, vil ha et betydelig investeringsbehov i tiden som kommer (Ødegård et al. 2013).

Denne studien undersøker potensielle fordeler ved bruk av gravefrie, «NoDig», metoder for ledningsrenovering kontra konvensjonell graving. Det utvikles en modell for estimering av kostnader, tidsbruk og utslipp av miljøskadelige gasser for et teoretisk case. NoDig metodene som vurderes er NCCs PU-liner og utblokking. Modellen er bygd opp på innsamlet data fra både kvalitative og kvantitative metoder. Datagrunnlaget består av en sammensetting av samtaler med NCC Ledningsrenovering, egne observasjoner, prosjektkontrakter, økonomiske sluttrapporter og litteratur.

Studien har startet utviklingen av et verktøy som med tiden kan bli et program med stor nytteverdi for virksomheten. Diskusjonen går inn på hvilke deler av modellen som er rammet av svakheter og hvor usikkerheten i modellen ligger. Det utarbeides konkrete tiltak for hvordan datainnsamlingen kan omstruktureres for å skape et bedre grunnlag for en pålitelig estimeringsmodell i det videre utviklingsarbeidet.

Modellen, i samsvar med tidligere litteratur, gir klare indikasjoner på at ved bruk av NoDig metoder for ledningsrenovering vil man kunne oppnå store økonomiske og miljømessige besparelser. Det gjenspeiles også i NCC Ledningsrenoverings tidligere prosjektresultater som leverer solide driftsmarginer innenfor både PU-Liner og utblokking. En markedsanalyse viser videre at dersom NCC Ledningsrenovering skal opprettholde dagens marginer, spesielt i forbindelse med PU-Liner, må avdelingen være proaktive i forhold til endringer i markedet.

Det er ikke bare NCC som vil dra nytte av NoDig metoder. Med tanke på en bærekraftig utvikling vil NoDig kunne bidra på en svært positiv måte og vil kunne redusere de samfunnmessige konsekvensene sammenliknet med konvensjonell graving (Brundtland & Dahl 1987).

Abstract

The current underground pipe network in Norway contains a comprehensive system of water and sewer pipes with a significant replacement demand (Skjærstad 2013). An ageing pipe network, where about a third of the water transportation goes to water leaks, will as a consequence have a significant investment need in the future (Ødegård et al. 2013).

This study examines potential benefits of trenchless pipe replacement compared to traditional open-cut renovation of water pipes. It will develop an estimating model of costs, time and greenhouse gases for a theoretical case. The trenchless methods that would be analyzed are NCC's own PU-Liner and bursting. The model is constructed based on data collected from both qualitative and quantitative methods. The data consist of an assembly of discussions with NCC, own observations, project contracts, economical reports and literature.

The study has developed a tool that could eventually become a helpful program for the division in NCC. The discussion will examine which parts of the model that is affected by weaknesses and uncertainty. Later on, the study will provide specific actions in how to collect a dataset which gives more value to the developed model.

The model provide evidences that using trenchless pipe replacement will potentially gain both economic and environmental benefits, which is consistent with the literature. This result is also reflected from previous project results that delivered solid margins for both PU-Liner and bursting. A marked analysis will show that if NCC wants to maintain their current margins, especially regarding PU-Liner, the department must be proactive to changes in the marked.

It is not only NCC that would benefit from using trenchless pipe replacement methods. Considering a sustainable developing society, trenchless methods would contribute in a positively way and would reduce the social consequences compared to traditional open-cut replacement (Brundtland & Dahl 1987).

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	V
Figurliste.....	VIII
Tabelliste	IX
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 NCC Norge og NCC Ledningsrenovering.....	2
1.3 Problemstilling og formål	3
2 Teori	5
2.1 Vannledningsnettverket	5
2.1.1 Oppbygning	5
2.1.2 utfordringer.....	6
2.1.3 Rørtyper.....	7
2.1.4 Rørdimensjoner og uttrykksforklaringer	8
2.2 Ledningsrenovering	9
2.3 Tidligere litteratur	10
2.4 Økonomi	12
2.4.1 Økonomiske begreper	12
2.4.2 Konkurransesituasjonen og markedet	13
2.4.3 Anskaffelsen av prosjekter	13
2.4.4 Internanalyse	14
2.5 Miljø	15
2.5.1 Bærekraft og miljø	15
2.5.2 Utslipp av miljøskadelige gasser.....	17
2.6 Modellteori	18
2.7 Prosjektteori.....	20
3 Metode.....	21
3.1 Forskningsdesign: Casestudie.....	21
3.2 Innsamling av data.....	22
3.3 Kvalitative metoder	22
3.3.1 Litteraturstudier	22
3.3.2 Intervjuer og uformelle samtaler	23
3.3.3 Informantutvalget	24

3.3.4	Observasjoner	24
3.4	Kvantitative metoder	25
3.5	Validitet, reliabilitet og generalisering	26
3.6	Etiske vurderinger.....	27
4	Renoveringsmetoder, prosessgjennomgang og prosjektutvalg	29
4.1	PU-Liner, belegging med polyuretan (PU).....	29
4.2	Utblokking	32
4.3	Konvensjonell graving.....	33
4.4	Gjennomføring av ledningsrenoveringsprosjekter	34
4.5	Prosjektutvalg	36
5	Modellutvikling	37
5.1	Utarbeidelse av case	37
5.1.1	Geotekniske forhold	37
5.1.2	Eksisterende ledninger	38
5.1.3	Nye ledninger	38
5.1.4	Ledningsnettverk	39
5.1.5	Kumarbeider.....	39
5.1.6	Terrenget	39
5.1.7	Oppsummering av casesituasjon	40
5.2	Nødvendig arbeid på prosjektet	42
5.2.1	Gjennomføring med PU-Liner	43
5.2.2	Gjennomføring med utblokking	43
5.2.3	Gjennomføring med konvensjonell graving.....	44
5.3	Miljøbetraktninger	45
5.3.1	Fellesprosesser	45
5.3.2	Masser og massetransport	46
5.3.3	Trafikk.....	47
5.3.4	Materialutslipp	49
5.3.5	Asfaltarbeider	50
5.3.6	Miljøregnskap for PU-Liner.....	51
5.3.7	Miljøregnskap for utblokking.....	52
5.3.8	Miljøregnskap for konvensjonell graving	54
5.4	Sammenlikning av PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving	55
5.5	Fysisk oppbygning av modellen	57
6	Resultater.....	59
6.1	Økonomiske parametere	59
6.1.1	Driftsmarginer	59

6.1.2	Omsetning og prosjektstørrelser.....	61
6.1.3	Meterkostnad.....	62
6.1.4	Tidsperspektivet	62
6.2	Sammenlikning av teoretisk modell og virkelig prosjektdata	63
6.3	Internanalyse.....	65
6.4	Usikkerhet ved gjennomføring av prosjekter	67
7	Diskusjon.....	69
7.1	Metodevurdering	69
7.1.1	Innsamling av data	69
7.1.2	Valg av modelltype	71
7.1.3	Teoretisk case	71
7.2	Modell.....	72
7.2.1	Utforming og valg av prosesser	72
7.2.2	Usikkerhet, utprøving og kvalitetssikring av modellen	74
7.2.3	Videreutvikling av modellen.....	79
7.3	Økonomiske betraktninger	83
7.4	Miljøbetraktninger	84
7.5	Samfunnsmessige betraktninger	85
7.6	Konkurransesituasjonen.....	85
8	Konklusjon	87
9	Referanser.....	89
	Vedlegg A – Prosjektinformasjon	i
	Vedlegg B – Casebeskrivelse (modell)	iv
	Vedlegg C – Kostnader og tid (modell)	iv
	Vedlegg D – Generelle miljøbetraktninger (modell)	v
	Vedlegg E – Miljøberegninger PU-Liner (modell)	vi
	Vedlegg F – Miljøberegninger Utblokking (modell)	vii
	Vedlegg G – Miljøberegninger konvensjonell graving (modell)	viii
	Vedlegg H – Resultat (modell).....	ix
	Vedlegg I – Sammenlikning (modell)	x
	Vedlegg J – Utslippsfaktorer (modell)	xi
	Vedlegg K – Økonomiske beregninger	xii

Figurliste

Figur 2.1: 180 PE100 SDR11 rør med PP-kappe og diff.sperre.	8
Figur 2.2: Rørkveil med 180 PE100 SDR11.....	9
Figur 2.3: NCCs Sustainability Framework (NCC 2016a)	16
Figur 2.4: Modell som en fremstilling av virkeligheten (Evensmo 1990).	18
Figur 2.5: Hierarkisk inndeling av ulike modeller (Evensmo 1990).....	18
Figur 2.6: Kontraster mellom ulike modelltyper (Evensmo 1990).	19
Figur 2.7: "The Plan-Do-Check-Act Cycle" (Rose 2005).....	20
Figur 4.1: Sprøytehodet ved belegging i Uelands gate.	30
Figur 4.2: DN400 støpejernsrør sprøytet med 2 x 3,3 mm FLP.....	30
Figur 4.3: PU-bilen før belegging i Uelands gate.	31
Figur 4.4: Innføring av trekkerør før utblokking ved Ullevål Hageby.....	32
Figur 4.5: Skjærekniv og blokkerhodet.	33
Figur 4.6: Prosessrekkefølgen i et ledningsrenoveringsprosjekt.....	34
Figur 5.1: Illustrasjon av studiens teoretiske case.	41
Figur 5.2: Grøftetverrsnitt	44
Figur 5.3: Mulige fremstillinger av kjøremønsterendringer i ETSI (Vegvesen 2016).....	48
Figur 5.4: Totalt utslipp av klimaskadelige gasser ved bruk av de ulike renoveringsmetodene illustrert i henhold til postene i de individuelle miljøregnskapene.	56
Figur 6.1: Driftsmarginer gruppert etter renoveringsmetodene: PU-Liner (blå), utblokking (oransje) og graving (grønn). Søylenes tilhørende prosjekt er navngitt langs den horisontale aksene, se prosjektutvalget i vedlegg A.	59
Figur 6.2: Gjennomsnittlig tidsforbruk gitt i timer per løpemeter ledning, basert på en 40 timers arbeidsuke.....	62
Figur 6.3: Sammenlikning av teoretiske kostnadsintervaller med gjennomsnittsverdier for kostnader basert på studiens prosjektutvalg. Kostnadene er gitt per løpemeter rør.64	
Figur 6.4: Sammenlikning av teoretiske tidsintervaller med gjennomsnittsverdien for virkelig tidsbruk basert på studiens prosjektutvalg. Tidsbruken er gitt per løpemeter rør. ..	64

Tabelliste

Tabell 2.1: Metodeklassifisering av renoveringsmetoder (AsplanViak 2009).	10
Tabell 2.2: Konkurrenter av NCC i Oslo	13
Tabell 5.1: Oppsummering av fiktivt prosjekt.	41
Tabell 5.2: Oversikt over nødvendig arbeid på studiens teoretiske case.....	42
Tabell 5.3: Utslippsfaktorer benyttet i beregningene for klimagassutslipp fra ulike materialer	45
Tabell 5.4: Fordeling av masser til ulike deponier avhengig av massens tilstandsklasse.	46
Tabell 5.5: Dieselforbruk til massetransport.	47
Tabell 5.6: Utslipp forårsaket av kjøremønsterendring.....	49
Tabell 5.7: Rørmaterialets livssyklusutslipp av CO ₂ -ekvivalenter.	50
Tabell 5.8: Totalt utslipp fra veiarbeider ved bruk av PU-Liner, utblokking og graving.	51
Tabell 5.9: Miljøregnskap ved bruk av PU-Liner.	52
Tabell 5.10: Miljøregnskap ved bruk av utblokking.	53
Tabell 5.11: Miljøregnskap ved bruk av konvensjonell graving.....	54
Tabell 5.12: Sammenlikning av kostnads-, tids- og miljøutslippsestimater ved bruk av PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving for renovering av studiens teoretiske case.	55
Tabell 6.1: Omsetning og prosjektstørrelser.	61
Tabell 6.2: Kostnad per meter ledning for PU-Liner, utblokking og graving.....	62
Tabell 6.3: VRIN-analyse.....	65
Tabell 6.4: PU-Liner og potensielle substitutter (KjeldaasAS 2016; OlimbAS 2014; PipelinerAS 2016).....	66
Tabell 7.1: Rammeverk for kategorisering av prosesser for kostnads- og tidsregistrering.....	80

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Vannledningsnettverket i Norge består av 41 000 km med rør som opplever store utfordringer med lekkasjer, fremmedvann og korrosjon, samtidig som vannkapasiteten er for dårlig til å møte samfunnets fremtidige behov (Skjærstad 2013). Oslo kommune Vann- og Avløpsetaten (VAV) har i deres hovedplan for perioden 2014-2030 satt fokus på tilstanden av det aldrende ledningsnett for å sikre at infrastrukturens standard skal samsvare med befolkningsveksten som er ventet i Oslo for tilsvarende periode (VAV 2014). Et av hovedplanens satsningsområder er ledningsfornyelse av VA-nettet med fokus på helheten av ledningens tilstand. Et viktig prinsipp for VAV er å benytte miljøvennlige metoder for ledningsfornyelse og etablering av nye ledninger.

Store deler av dagens vannledningsnett har sin opprinnelse fra tidligere deler av 1900-tallet. Gjennom en lang levetid har problemer som lekkasjer oppstått. Årsakene til lekkasjer er sammensatte, men kan ofte knyttes til skjøter som ikke er tette på grunn av manglende vedlikehold, oppsprekking og sammenbrudd, i tillegg til utvendig og innvendig korrosjon av rørene (VAV 2014). Statistisk Sentralbyrå (SSB) viser at andelen av den totale vanntransporten som går til lekkasjer har økt fra 19 % i 2009 til 34 % i 2014. Det betyr at nesten en tredjedel av vanntransporten i Oslo forsvinner ut til ingen nytte (SSB 2014).

VA-nettets tilstand vil føre til et stort investeringsbehov for de kommende årene (Ødegård et al. 2013). Ledningsreoveringer er ikke noe nytt, men fokuset på det som Ariaratnam og Sihabuddin (2009) omtaler som den «bortgjemte infrastrukturen» har ikke vært tilstrekkelig. Prioriteringen har i lengre tid vært å investere i oppgradering knyttet til behandlingsanlegg for drikkevann, avløpsvann og slam på grunn av strengere krav fra myndighetene. Dette har følgelig gått på bekostning av å oppgradere det eksisterende VA-nettverket (Myhre et al. 2015).

Årlig reoveringsbehov uttrykker hvor stor del av ledningsnett som må reoveres årlig for at vanntilførselen skal være tilstrekkelig. Et rørs levetid er mellom 50-100 år, som medfører en årlig reoveringsgrad på mellom 1-2 %. Frem til 2009 har årlig reoveringsgrad vært på rundt 0,5 %, noe som har medført et enormt etterslep (SSB 2014). For å kompensere for deler av dette har derfor Oslo kommune VAV satt et mål om en årlig fornyelsesgrad på 1,6 % frem mot 2030 (VAV 2014).

De siste 20-30 årene har den verdensomspennende organisasjonen The International Society For Trenchless Technology (ISTT) og den skandinaviske fagforeningen, Scandinavian Society For Trenchless Technology (SSTT), arbeidet for å få begrepet NoDig ut i verden (Myhre et al. 2015). NoDig er teknologi som benytter ingen eller minimalt med graving. Teknologien skal potensielt ha store miljømessige og økonomiske fordeler sammenliknet med konvensjonell åpen grøft renovering (Hansen et al. 2010).

I Oslo-området finnes det flere aktører som konkurrerer om de tilgjengelige prosjektene. Metodene som tilbys varierer, men vanlige metoder er strømpereovering, utblokking, rørinnføring, belegging og styrt horisontal boring. De mest fremtredende aktørene på området er NCC, Olimb, Pipeliner, TT teknikk, Kjeldass og Per Aarsleff (informant 2).

1.2 NCC Norge og NCC Ledningsrenovering

NCC Norge er et av Nord-Europas ledende bygg- og eiendomsutviklingselskaper. Konsernet har 18 000 ansatte og en årlig omsetning på 52 milliarder NOK. Den norske delen, NCC Norge, er en av de største entreprenørene i Norge med en omsetning på 8,2 milliarder og 2 400 ansatte. Organisasjonen er delt inn i tre ulike forretningsområder: industrivirksomhet, bygg- og anleggsvirksomhet og en utviklingsenhet. NCC utvikler og bygger blant annet næringsbygg, boliger, infrastruktur og veier (NCC 2016b).

NCC Ledningsrenovering er en avdeling i NCC Water and Environment. Avdelingen har 30-40 års erfaring med ledningsrenovering og tilbyr et stort utvalg av renoveringsmetoder for både vann- og avløpsledninger. I tillegg til å benytte velkjente teknologier har avdelingen utviklet egne teknologier som i dag benyttes på den eksisterende infrastrukturen i Oslo og Bærum kommune (informant 2).

NCC sin visjon er «å fornye vår bransje og levere de beste bærekraftige løsningene». Organisasjonens nye strategi for perioden 2016-2020 har fokus på lønnsom vekst gjennom en årlig gjennomsnittlig omsetningsvekst på 5 %, samt en driftsmargin på minimum 4 %. Et økende miljøfokus har resultert i at spesifikke miljøkrav har blitt implementert i strategimålene (NCC 2016a).

1.3 Problemstilling og formål

Denne studien er et samarbeidsprosjekt med NCC Ledningsreovering. Målet med oppgaven er å vurdere potensielle lønnsomhetsforskjeller ved bruk av NoDig metoder kontra konvensjonell graving for reovering av hovedvannledninger. NoDig metodene som vil bli analysert er belegging og utblokking.

Lønnsomhet er et omfattende begrep og vil i oppgaven betraktes i henhold til økonomisk, miljømessig og markedsmessig lønnsomhet. Økonomisk lønnsomhet vil vurderes gjennom driftsinntekter, driftskostnader og driftsmarginer. Miljømessig lønnsomhet vil bli analysert på bakgrunn av utslipp av klimaskadelige gasser. Avslutningsvis vil det gjøres en vurdering av konkurransesituasjonen for å vurdere den markedsmessige lønnsomheten.

NCC Ledningsreovering har et ønske om å utarbeide en brukervennlig modell for beregning av klimagassutslipp ved bruk av NoDig metoder. Modellen skal være en beregningsmodell som sammenlikner metodene PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving. I tillegg til utslippet av klimagasser vil det utarbeides estimater for kostnader og tidsforbruk.

På bakgrunn av disse opplysninger vil denne oppgaven baseres på følgende problemstilling:

Hvilke økonomiske og miljømessige fordeler kan forventes ved bruk av NoDig metoder kontra konvensjonell åpen grøft reovering av hovedvannledninger?

2 Teori

Kapittel 2 er et teorigapittel som danner grunnlaget for oppgavens videre diskusjon. Innledningsvis vil informasjon vedrørende oppbygningen og utfordringer ved dagens VA-anlegg presenteres, samt litt detaljer omkring ulike rørtyper og rørdimensjoner. Begrepet ledningsrenovering og NoDig vil utdypes, sammen med en oppsummering av tidligere litteratur som har undersøkt potensielle fordeler ved bruk av NoDig. I forbindelse med lønnsomhetsaspektet vil enkelte økonomiske og miljømessige begreper forklares, som vil være grunnlag for videre betraktninger i oppgaven. Avslutningsvis vil kapittelet presentere noe generell modell- og prosjektteori.

2.1 Vannledningsnettverket

2.1.1 Oppbygning

Under overflaten finner vi i hovedsak tre typer rørsystemer: vannledninger, avløp- eller spillvannsledninger og overvannsledninger (informant 2). Hovedvannledningen transporterer drikkevannet over store avstander. Til hovedvannledningen er det tilkoblinger, også kalt anboringer, av abonnementenes stikkledninger som frakter vannet inn til eiendommer eller mindre fordelingsnett. Avløpsledningen eller spillvannsledningen transporterer kloakken og avfallsvannet, mens overvannsledningen samler opp overskuddsvann fra terrengoverflaten (Folkehelseinstituttet 2004).

Ledninger kategoriseres i forhold til om de er utsatt for et konstant trykk eller ikke.

Avløpsledningen er sjeldent full og vil derfor ikke være utsatt for konstant trykk.

Vannledningen skal derimot være utsatt for et overtrykk. Hovedårsaken er for å ivareta en tilstrekkelig god vannkvalitet. VA-ledninger ligger ofte i samme grøft og lekkasjer fra avløpsledningen må derfor antas som sannsynlig. Det betyr at grøften kan være forurenset på grunn av kloakkvannet som renner ut (Folkehelseinstituttet 2004).

I tillegg til vann- eller avløpsledningen består en rørstrekning av kummer, som igjen inneholder armaturer og tilkoblinger. Kummer kan utformes på mange ulike måter og finnes i varierende størrelser. Plasseringen er som regel der ledninger møtes eller der det skal være en retningsendring på røret. Formålet med en kum er å gi nødvendig tilgang til et eller flere rør slik at det skal være mulig å rense eller spyle ledningene og eventuelt foreta nødvendig vedlikehold og rørinspeksjoner. Ideelt burde det være separate kummer for vann- og avløpsledningen for å forhindre et forurensingspotensiale ved å ha dem i samme kum.

Armaturene og tilkoblingene i kummene varierer på bakgrunn av kummens bruksområde. Mulige installasjoner er avstengningsventiler, lufterventiler, spyleventiler og brannuttak. I områder med ulike trykksoner på grunn av høydeforskjeller vil det også kunne være reduksjonsventiler eller reduksjonskamre. Alle ventiler vil kunne skade vannkvaliteten ved at forurenset vann kan bli sugd inn dersom det er undertrykk i vannledningen (Folkehelseinstituttet 2004).

2.1.2 utfordringer

I avsnitt 1.1, ble lekkasjetallet fra Statistisk Sentralbyrå introdusert. Folkehelseinstituttet (2004) illustrer derimot at sannheten kan være enda høyere 34 %. Sammenlikner vi oss med andre land som Danmark (6 %) og Sverige (14 %), ser vi at Norge har et meget høyt lekkasjetall. Det er viktig å redusere vannlekkasjene fordi det er svært uøkonomisk at ledningsnettverket må overdimensjoneres for å kompensere for vannmengdene som forsvinner. Lekkasjene er i tillegg ofte svært vanskelig å lokalisere, noe som gjør det krevende å beregne strømnings- og trykkforhold, samt at optimal kapasitetsutnyttelse vil være uoppnåelig. Potensielt vil lekkasjene kunne føre til økt forurensningsutslipp da lekkasjevannet vil bidra til å fordele ut vannet i ledningsgrøftene som kan bestå av forurensete stoffer fra avløpsvannet (Folkehelseinstituttet 2004).

Et annet problem er beleggdannelse og innvendig korrosjon i drikkevannsledningene. Mange rør av duktilt støpejern fra 1950-tallet består av kun et tynt innvendig belegg som har vist seg ikke å være like beskyttende som først antatt (Myhre et al. 2015). Problemet med beleggdannelse og korrosjon er at det kan forhindre vanngjennomstrømningen, men også påvirke vannkvaliteten i form av farge og organismer eller partikler. I verste fall kan slitasten fremkalle negative helseinnvirkninger for vannforbrukeren (Folkehelseinstituttet 2004).

Innvendig belegg kan skyldes organiske stoffet i vannet, som humusstoffer og mikroorganismer eller innhold av oppløst jern, mangan eller kalk. Korrosjonen som oppstår i rørene skyldes en kompleks sammenheng mellom faktorer som pH-verdi, oksygeninnhold, karbondioksid, alkalitet, hardhet og temperatur (Folkehelseinstituttet 2004).

Konsekvensene av innvendig korrosjon er blant annet dannelsen av groptæringer og rustknoller. Førstnevnte er gropdannelser som skyldes at oksygen blir samlet under belegg av for eksempel mikroorganismer og humusstoffer. Det oppstår da en galvanisk strøm på grunn av forskjellig elektronegativitetsforskjell, som sørger for at metallet forsvinner gradvis slik at det dannes en grop under belegget. Rustknoller er tilvekster i røret som virker begrensende på

rørets kapasitet og som kan føre til at vannet blir ubrukelig. En av årsakene til dannelsen av rustknoller er vannbakterien «Gallionella ferruginea» som har en evne til å feste seg og lage kolonier. Det vil også her oppstå en galvanisk strøm som fører til at rustpartikler dannes før de stivner og danner tilvekster i form av «knoller» (Folkehelseinstituttet 2004).

2.1.3 Rørtyper

Folkehelseinstituttet (2004) har foretatt en inndeling av rør som benyttes til vanntransport basert på rørmaterialet: metalliske rør, sementbaserte rør og plastrør. Støpejernsrør har vært mye brukt frem til 1970-tallet da plastrør begynte å ta over i større grad. Stikkledninger var tidligere av galvanisert stål, men i dag benyttes det stort sett rør av kobber og plast.

Metalliske rør omfatter støpejernsrør, med og uten innvendig belegg, stål- og kobberrør. Støpejernsrør deles ofte inn i grått og duktilt/seigt støpejern. Rør av grått støpejern ble avviklet til bruk på 1970-tallet på grunn av materialets sprøhet, som medførte sprekker og korrosjon. Det har ført til et stort vedlike- og utskiftingsbehov i dag. Duktilt eller seigt støpejern er grått støpejern tilsatt magnesium som gjør at materialet blir seigt, smidig og bøyelig (PAM 2011). Støpejernsrør kan lages i store dimensjoner og har en høy vekt. Rørene blir utsatt for både innvendig og utvendig korrosjon. Innvendig beskyttelse på nye rør er ofte en sementmørtelforing, mens vanlig utvendig beskyttelse er en maling med innhold av blant annet sink og asfalt (Folkehelseinstituttet 2004).

Sementbaserte rør omfatter rør av betong og asbestsement. Til vanntransport ble rør av asbestsement mye brukt på 1950-1960-tallet da det var et meget økonomisk fordelaktig produkt. Rørene ble i 1976 ulovlig å bruke i nye installasjoner på grunn av arbeidsmiljøfaktorene i tilknytning til asbestholdige materialer. Det er påvist at asbestfibre som løses i drikkevannet ikke vil medføre noen helsefare på grunn av at fibreene er små. Et problem med rørene av denne typen er svakheter fra installasjonen i form av brudd og sprekker. I tillegg er rørene utsatt for stor innvendig og utvendig korrosjon. Innvendig korrosjon skyldes det kalkfattige vannet vi har i Norge, mens utvendig korrosjon blir et problem dersom røret ligger i en våt grøft (Folkehelseinstituttet 2004).

I dag er det i hovedsak plastrør som er mest utbredt å bruke ved installasjon av nye vannledninger. Det kan være rør av polyetylen (PE), polyvinylklorid (PVC) eller glassfiberarmert umettet polyester (GUP). I motsetning til rør av støpejern og betong har rørene god motstand mot både innvendig og utvendig korrosjon, samt at de i større grad er fleksible. På grunn av fleksibiliteten stilles det strengere krav til rørfundamentering og

massene som fylles rundt rørene. Ved benyttelse av PE-rør må det tas hensyn til potensielle stoffer som kan diffundere gjennom plasten, spesielt hydrokarboner som olje- og bensinprodukter. Det benyttes derfor ofte en diffusjonssperre for å forhindre gjennomtrengingen (AsplanViak 2010). Dagens plastrør er av en bedre kvalitet enn for kun 30 år siden og har en forventet levetid på minimum 100 år (Folkehelseinstituttet 2004).

2.1.4 Rørdimensjoner og uttrykksforklaringer

For denne studiens relevans omtales kun detaljer tilknyttet støpejernsrør og PE-rør med utvendig beskyttelseskappe og diffusjonssperre. Støpejernsrør leveres i dimensjonene DN40-DN2000, men for VA-anlegg er de mest aktuelle dimensjonene DN100-DN600 mest aktuelle. DN står for nominell diameter og betegner rørets innvendige diameter (Fossum 2012).

PE-rør benevnes med utvendig diameter, plastkarakteristikk og en klassifisering. Utvendige diametere strekker seg fra 20 – 2000 mm (PipeLife 2008). Plasttypen karakteriseres som PE80 eller PE100. Forskjellen mellom plasttypene er den minste tillatte bruddspenningen (MRS = minimum required strength). PE80 har en MRS verdi på 8,0 MPa, mens PE100 en verdi på 10,0 MPa. Rørklassen defineres i henhold til et standard dimensjoneringsforhold (SDR = standard dimension ratio). Verdien viser forholdet mellom rørets ytre diameter og godstykkelsen. Lavt SDR-tall betyr at tykkelsen til røret er stor sammenliknet med rørdiameteren, mens et høyt SDR-tall betyr at tykkelsen til røret er liten i forhold til rørdiameteren. Tallet gjenspeiler også trykklassen til røret. Liten SDR tilsvarer en høy trykkklasse, mens en høy SDR tilsvarer en lav trykkklasse.

PE-rør leveres i klassene SDR7,4, SDR11, SDR17 og SDR26. Plastrør kan bli utsatt for ytre påkjenninger og leveres ofte med en beskyttelseskappe av polypropylen (PP). Den sørger for at rørets lange levetid blir opprettholdt selv om røret utsettes for riper og punktbelastninger (PipeLife 2013). I henhold til Miljø Blad Nr. 97 (AsplanViak 2010) skal bruk av PE-rør ved utblokking av vannledninger ha kvalitet PE100 og klassifisering SDR11, med beskyttelseskappe og diffusjonssperre.



Figur 2.1: 180 PE100 SDR11 rør med PP-kappe og diff.sperre.

Figur 2.1 og Figur 2.2 illustrerer bilder av et 180 PE100 SDR11 rør fra observasjon av utblokking ved Ullevål Hageby del 2. Bildet til venstre viser rørets komponenter fra ytterst til innerst: beskyttelseskappe (PP), diffusjonssperre og PE-røret. På bildet til høyre er røret vist som en rørkveil bestående av en kontinuerlig rørlengde. Utvendig diameter på 180 mm er den største dimensjonen som leveres på kveil. Dersom større dimensjoner benyttes, må ledningen sveises til ønsket lengde på anleggsplassen (informant 2).



Figur 2.2: Rørkveil med 180 PE100 SDR11.

2.2 Ledningsreovering

Ledningsreovering omhandler ulike teknikker for å reovere og vedlikeholde det eksisterende ledningsnettverket. Prinsipielt kan man dele ledningsreovering inn i tre overordnede kategorier (Myhre et al. 2015):

- Konvensjonell graving
- Tiltak på eksisterende ledning
- Etablering av ny ledningstrase

Innenfor hver kategori finnes det forskjellige utførelsesmetoder for reovering eller etablering av nye ledninger. Konvensjonell graving er den tradisjonelle reoveringsmetoden som tilsvarer å grave opp ledningen (avsnitt 4.3). Når det gjelder de to andre kategoriene er ønsket å benytte metoder hvor gravearbeidene minimaliseres, såkalte NoDig metoder. Det finnes metoder som er helt gravefrie og metoder som er mindre gravefrie sammenliknet med konvensjonell graving.

NoDig metodene PU-Liner (belegging) og utblokking vil bli omtalt i kapittel 4. I tillegg til disse metodene er strømpereovering og rørrinnføring av et nytt rør vanlige metoder. For etablering av en ny ledningstrase kan man blant annet benytte en teknikk som heter horisontal styrbar boring (NCC 2016c).

Ved å unngå gravearbeider vil man slippe unødige inngrep på terreng- og veioverflater, samt at massetransporten og oppbevaringsbehovet av masser vil reduseres. Trafikale og andre samfunnsmessige påvirkninger vil også potensielt kunne minimaliseres (Myhre et al. 2015). Hvilke konsekvenser og besparelser som kan oppnås vil variere fra metode til metode.

Myhre et al. (2015) illustrer hvor viktig det er å få kunnskap om NoDig og miljøvennlige løsninger ut til byggherrene. Kunnskap om metodene og NoDig tankegang gjennom prosjekteringen, sammen med en langsiktig tankegang vil kunne føre til mange fordeler for hele samfunnet. Engasjement må bygges og kunnskap må utvikles fra lærebenken, eller som rapporten sier: «Det må etableres NoDig skoler på NMBU og NTNU!».

Resultatet fra rørfornyningen kan være en helt ny ledning eller en oppgradering av den eksisterende ledningen. En viktig kategorisering er i hvilken grad metoden tilfører ledningen strukturelle forbedringer. De ulike strukturelle forbedringene er klassifisert i henhold til Miljø Blad Nr. 90 (AsplanViak 2009) og er presentert med respektive definisjoner i Tabell 2.1. Klassifiseringen deles inn i strukturelle, semi-strukturelle og ikke-strukturelle metoder.

Tabell 2.1: Metodeklassifisering av reoveringsmetoder (AsplanViak 2009).

Metodeklassifisering	Definisjon
Strukturelle metoder	Reoveringsproduktet (det nye røret) kan alene motstå opptredende krefter i hele levetiden.
Semi-strukturelle metoder	Reoveringsproduktet er delvis avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.
Ikke-strukturelle metoder	Reoveringsproduktet er helt avhengig av radiell støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.

2.3 Tidligere litteratur

Litteraturen har ved flere anledninger forsøkt å fremstille fordelene ved bruk av NoDig metoder sammenliknet med konvensjonell graving, med fokus på NoDig metoden utblokking. Sihabuddin og Ariaratnam (2009) utviklet en metode for hvordan man skal håndtere utslippet av miljøskadelige gasser ved reovering av infrastruktur under bakken. Deres vurdering var en sammensetning av utslippet fra maskiner og utstyr i produksjon, samt utslipp forbundet med transport av masser til og fra anleggsplassen. Resultatet av deres analyser var en beregningskalkulator, «E-calc».

Ariaratnam og Sihabuddin (2009) utga også en artikkel der et virkelig eksempel ble brukt for å illustrere forskjellene mellom utblokking og graving ved bruk av beregningskalkulatoren. Studien vurderte et prosjekt i New Mexico (USA) der oppgaven var å erstatte den

eksisterende 200 mm avløpsledningen av betong med en 250 mm PE-ledning.

Ledningslengden var 349 ft (ca. 106 meter) med en overdekning på 2,1 meter. For utblokking ble det konstruert en inntrekksgrøp på 11 ft x 6 ft (3,4x1,8 meter), en mategrøp og to punktoppgravinger på 5 ft x 5 ft (1,5 x 1,5 meter). For graving ble det etablert en grøp med bredde 4 ft (1,2 meter). Kumarbeider ble ikke vurdert, kun prosesser i direkte tilknytning til installasjonen. Modellens resultat viste at bruk av utblokking kunne generere en besparelse av klimagassutslipp på omtrent 80 % sammenliknet med konvensjonell graving.

Griffin (2008) indikerer hvordan miljøgevinster ved bruk av NoDig metoder kan oppnås på bakgrunn av metodens innvirkning på det lokale kjøremønsteret. Rehan og Knight (2007) gjennomførte en studie for å kartlegge konsekvensene av hva en endring i trafikkbildet ville ha for miljøet. Artikkelen vurderte renoveringsmetodene, utblokking og graving, i henhold til tre ulike trafikkscenarier kalt flaggperson (omkjøring via motsatt kjørefelt), omkjøring via veiskulder eller full omkjøring. Ledningsarbeidet som ble vurdert var installasjonen av en 250 meter lang ledning med diameter 300 mm som skulle erstatte en eksisterende vannledning. Produksjonen ble kartlagt i forhold til bruk av diesel ved installasjonene som ble omregnet til utslipp CO₂. Resultatet fra analysen viste at NoDig metoder kunne redusere utslippet av klimagasser med om lag 78-100 % avhengig av hvilke metoder som ble brukt, og hvilke trafikale konsekvenser som oppstod som følge av arbeidet. Artikkelen antyder at materialutslippet og utslipp fra massetransporten er faktorer som burde vurderes, men som ikke er belyst i den gjeldende studien.

Asplan Viak utga i 2010 en rapport som gjennomførte miljømessige-, økonomiske- og juridiske betraktninger ved bruk av NoDig metoder kontra åpen grøft renovering. Artikkelen vurderer faktorer i forbindelse med påvirkning av klima og luft, beslaglagt areal, massebehov, støy, energibruk, trafikkulempet, anleggstid, helse og sikkerhet, boforhold, anleggskostnader, indirekte kostnader og næringsvirksomhet. Studien gjør en analyse av et virkelig prosjekt i Skjelsvik der eksisterende støpejernsledning med diameter DN200 og lengde 960 meter ble erstattet med et PE-rør, med utvendig diameter 355 mm. Dette er den eneste studien av de nevnte som tar hensyn til kummer i sine vurderinger. I alt ble 6 nye kummer etablert og 4 kummer bygget om. Ledningen hadde 21 tilkoblinger av stikkledninger. Selv om mange faktorer blir diskutert er det til slutt dieselutslippet fra produksjonen og massetransporten som er tellende i beregningene. Artikkelen utviklet en modell for overslagsberegninger, kalt «NoDig-kalkulator». Modellen resulterer i at NoDig metoder kan redusere utslippet av miljøskadelige gasser med ca. 87 % sammenliknet med konvensjonell graving. Ved

utblokking fant artikkelen et utslipp på 14 kg CO₂-ekvivalenter per meter ledning ved utblokking og 105 kg CO₂-ekvivalenter per meter ledning ved konvensjonell graving.

I tillegg til de overnevnte kalkulatorene har «The North American Society for Trenchless Technology» utviklet en klimakalkulator for sammenlikning av en rekke NoDig metoder med konvensjonell graving (O'Sullivan 2010). Kalkulatoren går under navnet «NASTT-BC Carbon Calculator». Det er viktig å ta hensyn til at alle kalkulatorene kan ha skjevheter i form av at de ofte heller mot det lavere sjiktet av karboninnhold ved vurdering av NoDig metoder (informant 4). Kalkulatoren hevder å ha miljøbesparelse på rundt 80 % ved bruk av NoDig metoder sammenliknet med graving.

2.4 Økonomi

Lønnsomhet kan betraktes som et prestasjonsmål i henhold til Hoff et al. (2015) hvor vi ønsker å se på prosessene og det økonomiske resultatet når de ulike metodene er benyttet. Det er ønskelig å se hvordan avdelingen utvikler seg, også i lys av konsernets mål og forventninger som er presentert i den nye konsernstrategien for 2016-2020. Økonomisk lønnsomhet vil vurderes i henhold til driftsmarginer, driftsinntekter, driftskostnader og prosjektenes omsetning.

2.4.1 Økonomiske begreper

Hoff et al. (2012) har definert begrepene driftsinntekt, driftskostnad og driftsmarginen. «Driftsinntekter er de inntektene som ikke er finansinntekter eller ekstra ordinære inntekter». De omfatter stort sett de aller fleste inntektene til en virksomhet. Tilsvarende er det for driftskostnadene som inneholder følgende poster i henhold til regnskapslovens oppstillingsplan: «3. Endring i beholdning av varer under tilvirkning og ferdig tilvirkede varer 4. Endring i beholdning av egentilvirkede anleggsmidler 5. Varekostnad 6. Lønnskostnad 7. Avskrivning på varige driftsmidler og immaterielle eiendeler 8. Nedskrivning av varige driftsmidler og immaterielle eiendeler 9. Annen driftskostnad». Det er lite hensiktsmessig å se driftsinntekter og driftskostnader hver for seg. De bør sees i sammenheng og over samme tidsperiode for å gi noen mening.

En måte å fremstille en virksomhets lønnsomhet er via driftsmarginen som Hoff et al. (2012) definerer som:

$$\text{Driftsmargin} = \frac{\text{Driftsresultat}}{\text{Driftsinntekter}} \times 100 \%$$

Driftsmarginen uttrykker hvilken andel av driftsinntektene bedriften sitter igjen med før finansielle forhold trekkes inn, det vil si hva bedriften får igjen for hver omsatt krone. Tilsvarende uttrykker driftsresultatet hvordan virksomheten har prestert, uten å ta hensyn til hvordan bedriften er finansiert.

2.4.2 Konkurransesituasjonen og markedet

Innledningen av oppgaven illustrerer en bransje som har hatt et fokus på andre områder enn vedlikehold av det eksisterende ledningsnett. Hovedvannledningene er nødvendige for transporter av vann i hovedstaden og med en renoveringsgrad på 1-2 % årlig, vil behovet for ledningsrenovering være tilstede ikke bare nå, men også i fremtiden.

I Oslo-området er det flere tilbydere av ulike NoDig metoder for renovering av vannledninger. I Tabell 2.2 blir et utvalg aktører presentert innenfor metodene belegging, strømpeforing, utblokking og innføring av PE-rør. Alle metodene i denne sammenheng vil kunne vurderes som helt eller delvis NoDig. Informasjonen er basert på aktørens hjemmesider og samtaler med NCC Ledningsrenovering (informant 2).

Tabell 2.2: Konkurrenter av NCC i Oslo

Renoveringsmetode for vannrør	Tilbydere
Belegging	NCC (PU-Liner)
Strømpeforing	Olimb, Pipeliner, Kjeldaas AS
Utblokking	NCC, Båsum Boring AS, Steg Entreprenør AS
Innføring av PE-rør	NCC, Olimb, Kjeldaas AS, TT Teknikk

2.4.3 Anskaffelsen av prosjekter

Byggherren i de fleste prosjektene hos NCC Ledningsrenovering er vann- og avløpsetatene i Oslo og Bærum kommune. Prosjekter utlyses ofte som tilbudskonkurranser via den offentlige innkjøpsportalen Doffin. Videre blir prosjekter silt ut ved hjelp av det innleide selskapet Merzell, før NCC mottar de aktuelle prosjektilbudene. Avdelingsledelsen bestemmer hvilke prosjekter som skal opp til vurdering og dernest hvilke prosjekter som skal regnes på (informant 2). Det er stort sett snakk om utførelsesentrepriser der prosjekteringen allerede er gjennomført.

Dersom NCC vinner anbudsrunderen blir det inngått en kontrakt i henhold til Norsk Standard, NS8406 Forenklet norsk bygge- og anleggskontrakt eller NS8405 Norsk bygge- og anleggskontrakt. Det er her muligheter for NCC til å komme med innspill til hvilke metode de

mener er den beste løsningen, noe som åpner for å implementere mer NoDig i prosjektene. Da metodene er avhengige av forhold som rørets tilstand og grunnforhold, vil det oppstå uforutsette situasjoner på byggeplass som medfører at andre metoder bør vurderes underveis.

2.4.4 Internanalyse

Internanalyse kan gjennomføres for å kartlegge mulige kilder til et konkurransefortrinn i markedet. En måte å gjennomføre en internanalyse på er gjennom et ressursbasert syn (Barney 1991; Collis & Montgomery 1995).

En bedrifts ressurser inkluderer alt av eiendeler, evner og kapabiliteter (sammensetning av ressurser), organisatoriske attributter, kunnskap, etc. som gjør det mulig for en bedrift å implementere strategier som vil bidra til økt effektivitet og produktivitet (Barney 1991).

Ressurser og kapabiliteter kan deles inn i tre hovedkategorier:

- Fysiske ressurser: anlegg, utstyr, teknologi, lokasjon, etc.
- Menneskelige ressurser: intelligens, kunnskap, erfaring, relasjoner, etc.
- Organisatoriske ressurser: planlegging-, kontroll- og koordineringssystemer, relasjoner på tvers av organisasjoner, etc.

For at en ressurs skal kunne gi en bedrift et konkurransefortrinn utdypes det hvordan både ressurser eller kapabiliteter må være idiosynkratiske, samt ikke-mobile. Idiosynkratisk vil si at ressursene er heterogene, som betyr at ikke alle bedrifter i marked har de samme ressursene. Med ikke-mobilitet menes det at ressursen ikke kan overføres eller flyttes slik at konkurrenter kan utnytte ressursen til å implementere en verdiskapende strategi. For å avgjøre hvorvidt ressursene oppfyller disse kravene kan det gjennomføres en rammeverkstest, en såkalt VRIN-analyse, der VRIN står for verdifull (valuable), sjelden (rare), ikke-imiterbar (inimitable) og ikke-substituerbar (non-substitutable).

I denne sammenheng er en verdifull ressurs en ressurs som utnytter muligheter og nøytraliserer trusler. Ressursen må også gjøre det mulig for bedriften å implementere strategier som forbedrer effektiviteten og produktiviteten. For å være sjelden, må ressursen være unik i forhold til ressursene konkurrentene har. Ikke-imiterbar betyr at andre bedrifter ikke har mulighet til å etterlikne eller kopiere ressursen. Til slutt har vi ikke-substituerbare ressurser som vil si at det ikke finnes noen direkte, likeverdige substitutter til ressursen bedriften har.

Collis og Montgomery (1995) har en oppfatning av konkurransefortrinn som omhandler mange av de samme aspektene. Det viktige ved dette synet er at ressursene og kapabilitetene må være verdifulle i den riktige kontekst. For at ressursene skal være verdifulle må de bestå en test av fem elementer. De må være ikke-imiterbare, ikke-substituerbare, varige, approprierbare, sjeldne og ha en konkurranseoverlegenhet. Varighet handler om at verdien til ressursen øker når varigheten av ressurser er lang. En approprierbar ressurs vil gi en verdiskapning til bedriften som innehar ressursen. Det er ikke alltid profitten fra en ressurs går direkte til bedriften selv, men i tillegg gir en gevinst til andre parter som kunder, produsenter, partnere, etc. Det siste elementet omhandler konkurranseoverlegenhet som regelrett betyr om bedriften har en ressurs som er bedre enn konkurrenten.

2.5 Miljø

Klima og miljø har fått økt fokus de siste årene. Et voksende forbrukersamfunn med stadig nye behov har gjennom lengre tid ført til økt energiforbruk og økt utslipp av miljøskadelige klimagasser (SSB 2015). For å ivareta miljø og klima valgte Stortinget i 2012 å inngå klimaforliket, et bestemt mål for Norges klimapolitikk med klare retningslinjer for miljøtiltak og overordnede mål (Klima- & miljødepartementet 2014). Norge skal opprettholde alle forpliktelser til Kyoto-avtalen, samt fortsette å redusere utslippet av skadelige klimagasser for å nå målet om et karbon nøytralt Norge i 2050. Veien dit er utfordrende, men ble påbegynt allerede på slutten av 1980-tallet med boken «Vår Felles Framtid» (Brundtland & Dahl 1987).

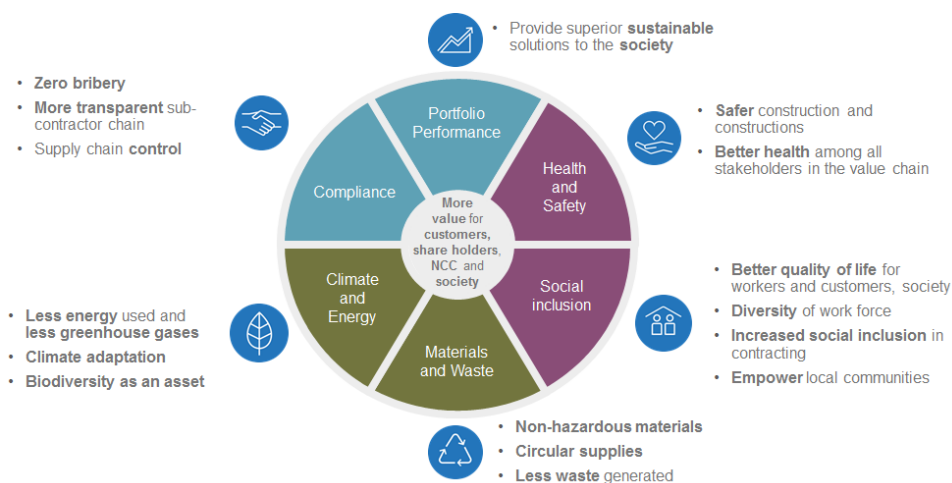
2.5.1 Bærekraft og miljø

Bærekraftig utvikling er et vidt begrep som gir opphav til ulike tolkninger. FN's Verdenskommisjon, med Gro Harlem Brundtland i spissen, gav en beskrivelse av begrepet der utviklingen må tilfredsstille dagens behov i befolkningen, men samtidig ikke ødelegge for neste generasjon (Brundtland & Dahl 1987). Amundsen et al. (1991) beskrev det tilsvarende begrepet noen år senere som at «bærekraft er et krav til ei rettferdig ressursfordeling mellom generasjonene». Bærekraftig utvikling vil si at man handler på en måte som ikke gir negative ringvirkninger for våre etterfølgere, en langsiktig tankegang. Neste generasjon skal minimum ha tilsvarende muligheter som vi har i dagens samfunn.

I forbindelse med en større strukturell omlegging av organisasjonen har NCC satt bærekraft og miljøutviklingen i et større fokus. I en presset bransje kan ofte fokuset på økonomisk suksess gå på bekostning av miljøarbeidet. En av årsakene kan være mangel på kunnskap hevder bærekraftansvarlig i NCC Civil Engineering (informant 1). Enander et al. (2014) gir

uttrykker også kunnskapsmangelen knyttet til miljøarbeid. Rapporten legger vekt på at miljø og bærekraft må implementeres i den daglige driften og NoDig metoder må alltid vurderes.

For å styrke konsernets kunnskap og forståelse av bærekraft har NCC utviklet et rammeverk som skal definere hva bærekraft betyr for virksomheten. Målet er at miljøarbeidet skal være proaktivt fremfor reaktivt og komme samfunnsutviklingen i forkjøpet. Brundtland og Dahl (1987) gir i tillegg til sin definisjon av bærekraft uttrykk for at bærekraftig utvikling er en sammenheng mellom økonomisk, økologisk og sosial bærekraft. En lik fordeling av de overnevnte perspektivene har vært hovedtanken i utarbeidelsen av NCC sin tilnærming til bærekraftbegrepet som gjenspeiles i rammeverket i Figur 2.3 (informant 1).



Figur 2.3: NCCs Sustainability Framework (NCC 2016a)

Økonomisk bærekraft gjenspeiles i samsvar («compliance») og portefølje sammensetningen («portfolio performance»). Gjennom en åpen kommunikasjon og styrket etisk tankegang vil det være mulig å skape en mer effektiv prosjektgjennomføring, redusere risikoen for etiske problemer og skape et merkenavn som vil være attraktivt for nye medarbeidere. Det er viktig å ha en portefølje som svarer til samfunnets etterspørsel og behov. NCC må være rustet til å møte og løse utfordringer knyttet til megatrendene i samfunnet, nemlig urbanisering, klimaendringer, globalisering, kampen om talenter og teknologi. Det vil skape muligheter for å løse prosjektene ved hjelp av bærekraftige løsninger som potensielt vil kunne gi rom for nye markeder og et konkurransefortrinn blant andre aktører på markedet (NCC 2015).

Sosial bærekraft er ivaretatt gjennom helse og sikkerhet («health and safety») og sosial inkludering («social inclusion»). En helsefokuset livsstil for kunder, ansatte og leverandører, samt en trygg arbeidsplass vil kunne bidra til kostnadsbesparelser, lavere risiko og en sterkere

merkevare. Færre ulykker og lavere sykefravær vil for eksempel sørge for en enklere prosjektgjennomføring og skape et godt arbeidsmiljø. Sosial inkludering kan bidra til en bedre utnyttelse av lokalsamfunnet, skape arbeidsplasser og øke kunnskapen for alle i og rundt prosjektet. Det vil kunne føre til utnyttelse av nye markeder og kostnadsbesparelser i form av tilgjengelig arbeidskraft rundt omkring i landet (NCC 2015).

Den siste søylen i bærekraftbegrepet, økologisk bærekraft, er representert med klima og energi («climate and energy») og materialer og avfall («materials and waste»). NCC ønsker å redusere sitt CO₂-avtrykk og jobber aktivt med dette i alle prosjekter. Det er et stort fokus på proaktivt arbeid gjennom hele organisasjonen for å redusere miljøpåvirkningen i hele verdikjeden. En forbedret utnyttelse av materialer og avfall vil føre til miljømessige fordeler og føre til økt lønnsomhet. Bygge- og anleggsbransjen bør i større grad søke å bruke materialer fra resirkulerte produkter og skape løsninger for utnyttelse av fornybare ressurser (NCC 2015).

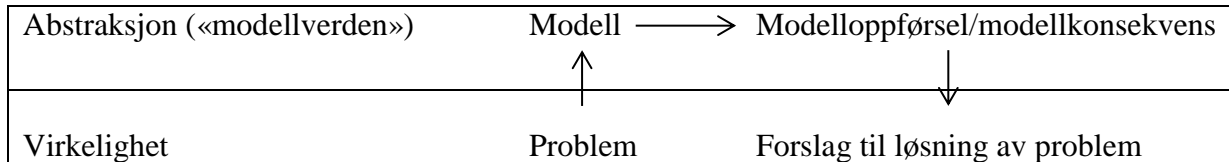
Gjennom utviklingen av rammeverket har NCC definert konsernets tilnærming til hvordan de skal arbeide med bærekraft i virksomheten. Rammeverket ble publisert våren 2016, og det jobbes for tiden med å utforme mål og KPI'er («Key Performance Indicators») som er i samsvar med rammeverket (informant 1).

2.5.2 Utslipp av miljøskadelige gasser

Det er klare indikasjoner på at miljøskadelige gasser bidrar til global oppvarming og en økt drivhuseffekt på jorden (Benestad et al. 2015). Det er ikke kun utslippet av karbondioksid (CO₂) som er skadelig, men også utslipp av metangass (CH₄), lystgass (N₂O) og fluorgasser (HFK, PFK, SF₄) er med på å påvirke dagens klima og miljø. Fellesbetegnelse for disse gassene er CO₂-ekvivalenter (SSB 2015). De siste tallene fra SSB viser at i 2014 var det totale utslippet av CO₂-ekvivalenter i Norge på 53,2 millioner tonn, hvor CO₂ utgjør 43,9 tonn. Det tilsvarer en økning på 2,4 % fra sammenliknet med Kyoto-avtalens nivå fra 1990.

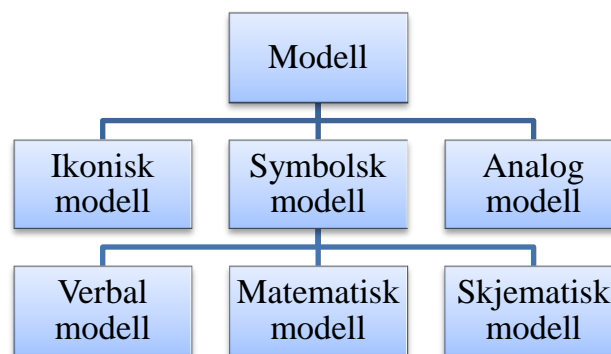
2.6 Modellteori

Modeller er et nyttig verktøy for å fremstille en forenklet virkelighetsoppfatning av et problem for å skape et beslutningsgrunnlag (Evensmo 1990). Virkeligheten omgjøres til en abstraksjon eller en modellverden, før den blir testet og utprøvd, for så å kunne gi en løsning til det opprinnelige problemet. En slik tankegang er illustrert i Figur 2.4.



Figur 2.4: Modell som en fremstilling av virkeligheten (Evensmo 1990).

Modeller kan konstrueres på mange forskjellige måter avhengig av hva modellen skal adressere. Evensmo (1990) har presentert et utvalg modelltyper i det som fremgår som en hierarkisk fremstilling presentert i Figur 2.5.



Figur 2.5: Hierarkisk inndeling av ulike modeller (Evensmo 1990).

På første nivå har vi ikoniske, symbolske og analoge modeller. Ikoniske modeller tilsvarer avbildninger av det som skal modelleres, for eksempel en statue. Analoge modeller bruker lett tilgjengelige egenskaper av virkelighet til å beskrive mer kompliserte egenskaper ved virkeligheten, for eksempel analoge datamaskiner. Symbolske modeller består av matematiske, grafiske og språklige symboler. Slike modeller kan igjen deles inn i et nytt nivå bestående av verbale, matematiske og skjematiske modeller. Verbale modeller uttrykkes ved hjelp av ord, mens skjematiske modeller ofte består av grafiske symboler i form av piler og bokser. Et flytdiagram kan karakteriseres som en skjematisk modell. Til slutt har vi matematiske modeller som uttrykkes gjennom matematiske funksjoner, ulikheter og ligningssystemer (Evensmo 1990).

Modeller kan fremstilles basert på kvalitativ og kvantitativ data, men kan i tillegg betegnes i henhold til ulike motstridende karakteristikk. Figur 2.6 illustrerer en slik inndeling basert på Evensmo (1990).



Figur 2.6: Kontraster mellom ulike modelltyper (Evensmo 1990).

To kontraster til hverandre er deterministiske og stokastiske modeller. I deterministiske modeller vet man med sikkerhet hvilken påvirkning variablene har på hverandre og problemet inneholder liten grad av usikkerhet. I stokastiske modeller vet man dermed ikke variablenes virkning på hverandre. Graden av usikkerhet blir forsøkt beskrevet ved hjelp av sannsynlighetsfordelinger, og usikkerhet står sentralt i modellen.

Forskjellen mellom statiske og dynamiske modeller er i forbindelse med tidsperspektivet som er knyttet til modellen. Statiske modeller omfatter gjerne likevektssituasjoner der tidsvariasjoner ikke vil ha noen påvirkning på modellens utfall. Dynamiske modeller uttrykker tidsendringer over tid og forsøker å kartlegge hvordan variablene endres eller varierer i forhold til tidsperspektivet.

Til slutt har vi deskriptive og normative modeller. En deskriptiv modell eller en konsekvensmodell som forsøker å uttrykke hvordan virkeligheten oppfører seg og gir konkrete handlingsalternativer som resultat. Motsetningen er normative modeller eller preferansmodeller som ønsker å være et grunnlag for beslutningstaking og gir opphav til verdien av ulike tenkte situasjoner.

Utviklingen av en modell er en kreativ prosess med potensielt mange ulike løsninger for et felles problem og kan deles inn i påfølgende trinn (Hillier & Hillier 2014):

Trinn 1: Definere et problem og innsamling av data.

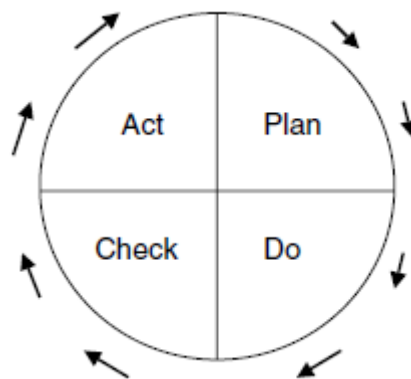
Trinn 2: Formulere en modell til å representere en forenkling av virkelighetsproblemet definert i trinn 1. Matematiske modeller er et alternativ der man benytter kjente formler eller utvikler sine egne uttrykk. Store datamengder vil i dag kunne løses ved hjelp av modeller utviklet i regneark som Microsoft Excel.

- Trinn 3: Utvikle en databasert prosedyre for å utarbeide løsninger til problemet fra modellen.
- Trinn 4: Test modellen og gjør nødvendige forandringer.
- Trinn 5: Bruk modellen til å analysere problemet og utvikle løsninger til problemet som kan brukes til beslutningstagning.
- Trinn 6: Bidra til å implementere anbefalingene som er besluttet å gjennomføre i fase 5.

2.7 Prosjektteori

Et «business case» eller prosjektstrategiplan, er et prosjektdokument som omfatter nøkkelinformasjon knyttet til et prosjekt (Kloppenborg 2014). Dokumentet brukes blant annet til å avgjøre hvorvidt et prosjekt samsvarer med virksomhetens strategi og visjon. Kolltveit et al. (2009) lister opp ulike faktorer som, basert på erfaringer, burde inkluderes i et slikt styringsdokument, det er: visjon, virksomhetsidé, prosjektmål, rammebetingelser (eksterne og interne), mulig strategier, organisering og ressursmessige konsekvenser, valgte strategier og handlingsplaner. Fordelene ved å utarbeide en prosjektstrategiplan er at man ser hvilken konsekvens prosjektet vil ha for virksomheter, med tanke på blant annet kostnader, økonomi og ressurser. Planen brukes blant annet for å sette konkrete mål og avklare roller. Hva som er prosjektets prioritet – levere på tiden, på kostnader eller på en gitt kvalitet – blir også avklart (Kloppenborg 2014).

Et velkjent begrep innenfor kvalitetsforbedring er «plan-do-check-act» syklusen (Rose 2005). Syklusen ble for første gang presentert av Walter Shewhart i 1939 og er et rammeverk for kontinuerlig forbedring av en prosess. I en forbedringsprosess vil planlegging («plan») være startpunktet og omhandler å velge hvilken prosess som skal forbedres. Neste steg er å utføre («do») en mindre endring av prosessen i liten skala, for eksempel gjennom et test case. Videre observerer man effektene av endringene i forrige steg («check»). Til slutt vil man implementere endringen i fullskala, dersom forrige steg var tilfredsstillende («act»). Siden modellen er en syklus, støtter den teorier om kontinuerlig utvikling og forbedring. Dersom en ønsket endring ikke er tilfredsstillende i slutten av syklusen, avslutter man arbeidet eller går tilbake til start.



Figur 2.7: "The Plan-Do-Check-Act Cycle" (Rose 2005)

3 Metode

Metode stammer fra gresk og betyr «å følge en bestemt vei mot et mål» (Johannessen et al. 2011). I dette kapitlet vil det derfor gis uttrykk for hvordan oppgaven har valgt å svare på problemstillingen og hvilke metoder som har blitt benyttet i datainnsamlingen. Det vil også bli presentert noen sentrale begrep innfor metodelære. Til slutt vil det gjøres rede for enkelte etiske vurderinger.

3.1 Forskningsdesign: Casestudie

For å besvare oppgavens problemstilling har det i denne studien blitt utviklet en estimeringsmodell for overslagsberegninger av kostnader, tidsbruk og utslipp av miljøskadelige gasser basert på et teoretisk case. Modellen sammenlikner forskjellene mellom NoDig metoder og konvensjonell graving for renovering av hovedvannledninger.

Frengangsmåten er det Johannessen et al. (2011) betegner som en flercasestudie. Ved hjelp av modellen skal et enkelt case vurderes i henhold til tre ulike renoveringsmetoder. Det medfører at metodene kan sammenliknes og vurderes i forhold til hverandre med bakgrunn i felles forutsetninger og antagelser.

Studien har blitt gjennomført i henhold til Yin (2014) sin prosedyre ved arbeider med flercasestudier. Problemstillingen ble etablert i forhold til å belyse potensielle forskjeller mellom NoDig metoder og konvensjonell graving for ledningsrenovering, samt å undersøke hvor forskjellene ligger og hva som er årsaken til funnene. Nødvendige teoretiske antagelser ble etablert for å skape et felles analysegrunnlag. Hver metode ble individuelt utprøvd på studiens teoretiske case før resultatene ble sammenfattet i en felles modell. Dette gjorde at essensen ved hver metode ble fanget opp, noe som la grunnlaget for en logisk og effektiv sammensetting av dataene. Resultatene av modellen vil bli kritisert og kommentert i diskusjonskapitlet (kapittel 7) for å belyse viktige forenklinger og potensielle feilkilder gjennom arbeidet.

Hovedårsaken til at det ble etablert et teoretisk case ligger i at det var lite tilgjengelige data fra tidligere gjennomførte prosjekter i regi av NCC Ledningsrenovering. Den eneste sluttokumentasjonen som finnes er økonomiske rapporter. Det eksisterer ingen informasjon i forbindelse med hva som ble gjennomført i de enkelte prosjektene. Informasjonen måtte derfor i stor grad baseres på tiltenkt arbeid som beskrevet i prosjektkontraktene.

Hvilke renoveringsmetoder som skulle vurderes i studien ble valgt på bakgrunn av NCC Ledningsrenovering sitt ønske om å skrive en oppgave som tok for seg deres egenutviklede renoveringsmetode, PU-Liner. Dette gav videre føringer om at oppgaven måtte se på hovedvannledninger da metoden er beregnet for drikkevannsledninger og ikke avløpsledninger. Det ble derfor tidlig bestemt at oppgaven skulle vurdere lønnsomheten ved bruk av PU-Liner sammenliknet med konvensjonell graving. Det er tidligere gjennomført ulik forskning som vurderer utblokking opp mot graving. For å kunne vurdere hvordan resultatet fra denne studien samsvarer med annen litteratur, ble utblokking også inkludert i modellen.

Studieområdet falt naturlig ettersom NCC Ledningsrenovering har største deler av sin drift i Oslo og Bærum kommune. Det ble derfor utarbeidet et case for tilsvarende omstendigheter.

3.2 Innsamling av data

Innsamling av data har foregått ved bruk av ulike metoder noe som er i samsvar med det Yin (2014) betegner som bruk av flerkildebeviser. En slik tankegang gjør det mulig å vurdere et problem fra flere synsvinkler noe som øker sannsynlighet for å fange opp helhetsperspektivet av problemområdet. Studien har benyttet et stort utvalg av det som betegnes som «six sources of evidence»: dokumentasjon, arkivmaterialer, intervjuer, direkte observasjoner, deltakerobservasjoner og fysiske gjenstander.

Metodene som har blitt benyttet i studien kan deles inn i kvalitative og kvantitative metoder (Johannessen et al. 2011). Metodene benyttes for å samle inn ulike typer data. Kvalitative data foreligger som myke data, som betyr data i tekstformat, mens kvantitativ data består av harde data som registreres ved tall. Eksempler på myke data kan være filmer og intervjunotater, mens harde data blant annet kan bestå av tall knyttet til alder eller inntekt.

3.3 Kvalitative metoder

Studien har i hovedsak benyttet kvalitative metoder i form av litteratur, intervjuer og samtaler, i tillegg til observasjoner. Disse vil bli forklart i de påfølgende avsnittene.

3.3.1 Litteraturstudier

Litteraturstudier, eller det som Tjora (2012) betegner som dokumentstudier, har i hovedsak blitt benyttet for å tilegne seg et godt teorigrunnlag for studien. Litteraturen har konsekvent blitt brukt for å støtte valgene og forenklingene som er tatt underveis, samtidig som den har vært til stor inspirasjon gjennom arbeidet.

Kildene som har blitt bruk er journalartikler, rapporter og bøker, både nasjonale og internasjonale. En god miks av interne og eksterne dokumenter har også blitt vurdert for å se problemområdet i et helhetlig perspektiv, og ikke nødvendigvis kun slik som NCC oppfatter situasjonen. Litteraturen har hatt betydning gjennom hele studien, i alle faser av oppgaven.

Elektroniske kilder har blitt vurdert med et kritisk syn da verdiene av disse kan være meget variabel (Yin 2014). Fokuset har vært på å benytte journalartikler og rapporter fra velkjente firmaer og institusjoner, samt å minimere bruken av internettsider som kilder.

3.3.2 Intervjuer og uformelle samtaler

Hele oppgavearbeidet har blitt gjennomført fra NCC sitt hovedkontor i Østensjøveien 27, i Oslo. Det har gitt grunnlag for et tett og godt samarbeid som har gjort det mulig å kunne foreta en rekke uformelle diskusjoner og samtaler. Store deler av informasjon som er lagt til grunn i oppgaven finnes ikke nødvendigvis nedskrevet. Det har derfor vært til hjelp å kunne kontakte nødvendige personer i organisasjonen kontinuerlig, når spørsmål dukket opp.

I tillegg til en rekke uformelle samtaler og diskusjoner har det blitt gjennomført en formell fokusgruppe og ett semi-strukturert intervju (Johannessen et al. 2011). Fokusgruppen ble gjennomført med to representanter fra NCC Ledningsreovering for å kartlegge gjennomføringen av de forskjellige metodene i forhold til oppgavens teoretiske case. Gruppesamtalen ble lagt opp på en fri måte for å skape et grunnlag for diskusjon, men det ble forsøkt å følge en agenda i forhold til hvilke temaer som skulle diskuteres. Målet med samtalen var å kartlegge gjennomføringen av prosjektet, estimere kostnadene og tidsbruken, samt gjøre en drøfting av kostnadsvariasjonen i virkelige prosjektdata. Samtalens varighet var i omtrent 1,5 time og ble dokumentert ved lydopptak.

Intervjuet ble gjennomført i forbindelse med å kartlegge NCCs nye bærekraftstrategi og hvilket fokus, samt arbeid som nedlegges fra NCC i forhold til miljøarbeid. Intervjuet kan betraktes som semistrukturelt da det forelå en overordnet intervjuguide, mens utførelsen av intervjuet foregikk som en relativ åpen dialog. Samtalen ble gjennomført over Lync (Skype for Business) og alt er dokumentert ved lydopptak. Varigheten var på omtrent 45 minutter.

I utgangspunktet har det vært et ønske om å få innspill fra aktører utenfor NCC. Det har blitt gjort forsøk på å sende ut e-poster, men tilbakemeldingene har vært begrenset. Dette er ikke overraskende da oppgaven skal være konfidensiell, som gjør det lite attraktivt for

konkurrenter å bidra til oppgaven. Informasjonen som har blitt forsøkt å fremskaffe er stort sett i forhold til marked- og konkurransesituasjonen.

3.3.3 Informantutvalget

Studiens utvalg av informanter har blitt satt sammen av et strategisk utvalg informanter der målet har vært å benytte informanter som har mye kunnskap rundt oppgavens tema (Johannessen et al. 2011). Antall informanter har totalt sett vært 7, men kun et mindretall av disse har blitt benyttet regelmessig gjennom studien. Kjernen av informantene kan derfor betraktes som et homogent utvalg der informantene har mye av den samme bakgrunnen, og har arbeidet sammen over en lang tidsperiode.

Informant 2, 3, 4 og 5 er de som har hatt størst betydning for informasjonen modellen er basert på. Deres roller er henholdsvis avdelingsleder, kalkulatør og anleggsledere. Alle har en leder- eller funksjonærrolle med lang fartstid i bransjen og har fulgt utviklingen over en lang periode. Informant 6 og 7 er yrkesarbeidere, henholdsvis en rørlegger og en maskinfører, som har bidratt med nyttige erfaringstall til modellen. Informant 1 er ansvarlig for bærekraftenheten i NCC Civil Engineering og har bidratt til å gi oppgaven dybde innenfor NCCs bærekraft definisjon.

3.3.4 Observasjoner

Opgavens tema var lite kjent for oppgaveskriveren i begynnelsen av arbeidet og observasjoner på byggeplass var dermed et avgjørende ledd i studien for å opparbeide egne inntrykk og erfaringer som kunne sammenkobles til teorien. Det ble gjennomført to ustrukturerte observasjoner i henhold til Johannessen et al. (2011). Hensikten med observasjonen var å få en innsikt i hvordan metodene, PU-liner og utblokking, ble utført i praksis. En positiv ringvirkning av observasjonene var å komme i kontakt med yrkesarbeidere og funksjonærer som ga medvirkende innspill i forbindelse med gjennomføringen. Det ble ikke lagt noen klare retningslinjer for hvordan observasjonene skulle gjennomføres annet enn å kartlegge prosesser som kan kobles til utslipp av klimaskadelige gasser. Observasjonene ble dokumentert med bilder og notater.

PU-Liner ble observert ved belegging av en delstrekning i Uelands gate (prosjektnummer 518134) den 8. mars 2016. Der ble det gjennomført en belegging av et duktilt støpejernsrør på omtrent 95 meter med dimensjonen DN400 mm, med beleggtykkelse på 3,255 mm. Under observasjonen ble det foretatt informasjonsinnsamling gjennom samtaler med informant 4.

Utblokking ble tilsvarende observert den 12. april 2016 ved Ullevål Hageby (prosjektnummer 518127). Observasjonen skulle dekke en utblokking av den eksisterende hovedvannledning i duktilt støpejern med dimensjon DN125 mm til et 180 PE100 SDR11 rør. På grunn av en uforutsett hendelse i løpet av natten ble dessverre utblokkingen noe utsatt som gjorde at kun forarbeidene med innføring av trekkerør ble observert. Det ble gjennomført en samtale med anleggslederen (informant 5), som gjorde at prosesskartlegging av installasjonen ble komplett.

3.4 Kvantitative metoder

Kvantitative metoder er benyttet for å samle inn og strukturere tallfestede data, i hovedsak tilknyttet økonomiske vurderinger og utarbeidelse av modellen (Johannessen et al. 2011).

I forbindelse med økonomiske analyser ble det innhentet store mengder data i forhold til prising og kostnader fra tidligere prosjekter. Tanken var å bruke denne informasjonen for å undersøke kostnadene og se etter områder for en mulig forbedring i produksjonen. Som videre diskusjon vil vise, ble det ikke lagt så mye vekt på disse tallene da det var utfordrende å verifisere tallens troverdighet.

Tall i forbindelse med priser, samt tekniske tall i tilknytning til gjennomføring av tidligere prosjekter er stort sett basert på prosjektkontrakter fra tidligere prosjekter. Noe av informasjonen er også hentet fra NCC sin interne prosjektportal og direkte fra Doffin. Økonomiske tall som driftsinntekter og driftskostnader er hentet fra NCCs regnskapsprogram, e-analys. Her har prosjektinformasjonen vært gruppert i henhold til de enkelte prosjekter som har gitt muligheten til å sammenlikne økonomiske nøkkeltall mellom prosjekter og mellom ulike metoder.

Håndteringen av den kvantitative dataen som er samlet inn er stort sett lagret og håndtert systematisk i regneark. Det har gjort det mulig å strukturere dataen på en ønsket måte, samtidig som det muliggjør bruken av matematiske formler som ligger i Microsoft Excel.

En del kvantitativ data er også hentet inn ved hjelp av kvalitative metoder. Det dreier seg i hovedsak om teknisk informasjon i forhold til dieselforbruk, utslippsmengder, produktspesifikasjoner, dimensjoner, o.l.

3.5 Validitet, reliabilitet og generalisering

Innsamlingen av data er en selektiv prosess og dataens relevans, gyldighet og pålitelighet må vurderes for å avgjøre om dataen er av verdi i forbindelse med oppgavens problemstilling. For å avgjøre hvor gode data som benyttes er det tre viktige begreper innen metodelære: validitet, reliabilitet og generaliserbarhet.

Validitet handler om hvor relevant dataene er eller hvor godt dataene representerer fenomenet som skal studeres (Johannessen et al. 2011). Begrepet kan deles inn i begrepsvaliditet, intern validitet og ytre validitet. Begrepsvaliditet handler om hvordan relasjonen mellom de spesifikke dataene og det generelle fenomenet kan karakteriseres. Det er en statisk validitet som handler om en generalisering fra et utvalg til en populasjon. Intern validitet handler om påvisning av årsakssammenhenger mellom ulike variabler. Begrepet knyttes stort sett kun til studier i forbindelse med tverrsnittundersøkelser, tidsserieundersøkelser og panelstudier. Ytre validitet er et begrep som tar statisk validitet videre ved å stille spørsmål om resultatene kan overføres i rom og tid. Kan resultatene genereres frem i tid og over til andre kontinenter, eller har dataene egenskaper ved seg selv som kun gjør dem valide i sin opprinnelige kontekst.

I hvilken grad dataene kan betraktes som pålitelige uttrykkes gjennom dataens reliabilitet (Johannessen et al. 2011). Reliabiliteten knytter seg til dataen på ulike måter. Den omhandler både «... nøyaktigheten av undersøkelsens data, hvilke data som brukes, måten de samles inn på, og hvordan de bearbeides.» (Johannessen et al. 2011). Reliabiliteten av dataene kan testes på ulike måter. «Test-retest-reliabilitet» er en test der den samme undersøkelsen blir gjennomført på et utvalg ved to forskjellige tidspunkter med noe mellomrom. Desto mer sammenfallende resultatene fra undersøkelsene er, desto høyere reliabilitet kan betegnes for de innsamlede dataene. Dersom flere forskere undersøker samme problem eller fenomen vil et likt resultat mellom undersøkelsene tyde på en høy reliabilitet. En slik sammenheng karakteriseres som «interreliabilitet».

Generaliserbarhet handler om overførbarheten av studiens resultater fra et spesifikt tilfelle til å gjelde generelt. Yin (2014) har valgt å dele begrepet inn i analytisk generalisering og statistisk generalisering. Analytisk generalisering er mest aktuell for case studier og handler om å bruke funnet fra caset til å belyse hvordan empiriske data kan forklare et teoretisk konsept eller prinsipper. På den andre siden har vi statistisk generalisering som handler om å bruke et utvalg til å forklare årsaker og sammenhenger for hele populasjonen ved hjelp av

statistiske betraktninger. Økonometriske modeller, som regresjonsmodeller, vil ha mye større verdi dersom det er mulig å generalisere modellen til å gjelde for hele populasjonen på bakgrunn av utvalget som dataen er basert på.

3.6 Etiske vurderinger

Etikk er et fagfelt som gjør vurderinger i forhold til om en handling er riktig eller gal, noe som er viktig i forhold til datainnsamling ved samhandling med andre mennesker (Johannessen et al. 2011). Denne studien har lagt vekt på å gi tilstrekkelig informasjon i forbindelse med innhenting av alt av data. Alle berørte parter fikk informasjon om oppgavens tema, hensikt og omfang. De fikk også beskjed om at oppgaven var et samarbeidsprosjekt med NCC Ledningsreovering.

Interne kilder i NCC fikk tydelig beskjed om at oppgaven var taushetsbelagt og at skribenten av oppgaven hadde undertegnet en taushetserklæring. På bakgrunn av at oppgaven inneholder sensitiv bedriftsinformasjon vil den i tillegg bli stemplet som konfidensiell.

Eksterne kilder fikk også tydelig beskjed og forklaring om oppgavens omfang og formaliteter. Dette ble gjort for å være på den sikre siden i forhold til å handle etisk riktig selv om det kan ha gått på bekostning av tilbakemeldinger og innspill.

Opgaven har holdt informantene anonyme for å unngå konflikter i forhold til personopplysningsloven og håndtering av personopplysninger. I forbindelse med intervjuene fikk alle informanter spørsmål om de aksepterte at det ble foretatt taleopptak av samtalene.

Mot studiens slutt fikk alle informantene tilbud om å kvalitetssikre det de enkelte hadde bidratt med gjennom arbeidet med oppgaven og de ble gitt muligheten til å komme med tilbakemeldinger, innspill og rettelser.

4 Renoveringsmetoder, prosessgjennomgang og prosjektutvalg

Kapittel 4 presenterer oppgavens tre metoder for ledningsrenovering: PU-liner, utblokking og konvensjonell graving. Hver metode vil bli presentert, med et spesielt fokus på NoDig metodene. En felles prosessgjennomgang for prosjekter med ledningsrenovering vil videre bli illustrert. Avslutningsvis blir prosjektutvalget, i vedlegg A, presentert.

Informasjon tilknyttet metodene og gjennomføringen av prosjektene er i hovedsak basert på en kombinasjon av samtaler med NCC Ledningsrenovering, NCCs nettsider, egne observasjoner, tidligere prosjektkontrakter og ABC for gravefri framtid (Myhre et al. 2015).

4.1 PU-Liner, belegging med polyuretan (PU)

Belegging av rør ble satt i fokus da duktile støpejernsrør med innvendig bitumen-belegg fra perioden 1965-1972 viste seg å korrodere i større grad enn antatt (Myhre et al. 2015). Den første belegningstypen var av sementmørtel, før et epoxybelegg tok over på midten av 80-tallet. I 2005 introduserte NCC, PU-Liner, som belegger vannledninger med et polyuretanbelegg (PU). Frem til 2013 ble det sprøytet omtrent 45 000 meter med et belegg under navnet Copon-Hycote 169 HB. Gjennom en lengere periode med testing av produkter, gikk PU-Liner over til å bruke det britiske produktet Fast Line Plus (FLP) i 2013. Belegget består fortsatt av polyuretan, men oppnår nå en enda bedre heft med den eksisterende ledningen. Frem til i dag har PU-Liner sprøytet omtrent 10 000 meter med FLP. NCC Ledningsrenovering har selv utviklet sprøyteteknologien og er i dag de eneste tilbyderne av en slik belegningsmetode i Norge.

PU-Liner er en alternativ renoveringsmetode dersom det eksisterende røret er utsatt for innvendig korrosjon og kan brukes på både grått og duktilt støpejern. Metoden tilfører ingen eller semi-strukturell styrke avhengig av beleggtykkelsen som blir brukt. Det eksisterende røret må fortsatt være i tilstrekkelig stand til å kunne motstå de opptredende kreftene i hele rørets levetid (Myhre et al. 2015). Det er mulig å sprøyte inntil to lag med PU, som vil medføre en liten økning i rørets strukturelle styrke (NCC 2016c). Metoden er egnet på dimensjoner fra rundt DN100 til DN500 og vanlig beleggtykkelse er på 3,0 mm.

Resultatet av sprøytingen er et glatt belegg på rørets innside som sørger for optimal kapasitet på vanngjennomstrømmingen, samt at ruheten minimaliseres. Påføringen tetter vanligvis ikke igjen anboringer til hovedledningen. I tilfeller hvor anboringene blir tettet vil man forsøke å

åpne dem med en robot. Dersom dette ikke er mulig vil oppgraving være nødvendig (NCC 2016c).

Folkehelseinstituttet i Norge har godkjent belegget for bruk i kontakt med drikkevann. Teknologien påvirker derfor ikke vannkvaliteten og vannet virker heller ikke nedbrytende på belegget (NCC 2016c).

PU-Liner er en 100 % NoDig-metode, som betyr at ingen graving er nødvendig. Ideelt sett blir røret sprøytet fra kum til kum, så sant avstanden ikke er lenger enn ca.135 meter, som er maksimal kapasitet på utstyret. Dersom kum til kum ikke er mulig, må det graves og røret kappes slik at det blir tilgjengelig. Etter rengjøring, tørking og utblåsing av vannrester vil belegget sentrifugalsprøytes innvendig i røret med høy hastighet. Sprøytehodet sentreres ved hjelp av en «koste»-løsning og trekkes med en konstant hastighet gjennom hele røret for å oppnå et jevnt belegg. Figur 4.1 viser forberedelse til sprøyting ved observasjon i Uelands gate, der man kan se starten av røret som skal belegges og sprøytehodet. Figur 4.2 viser et duktilt støpejernsrør, DN400, med ferdig sprøytet belegg. Her er det sprøytet to lag, hvert med tykkelse 3,3 mm.



Figur 4.1: Sprøytehodet ved belegging i Uelands gate.



Figur 4.2: DN400 støpejernsrør sprøytet med 2 x 3,3 mm FLP.

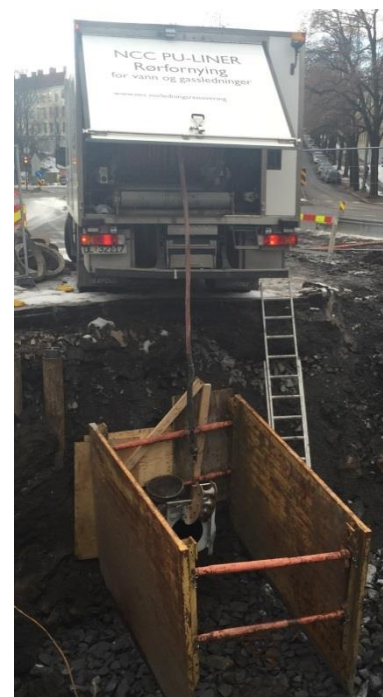
Tiden tilbaketrekningen tar avhenger av forhold som rørets lengde og dimensjon, samt beleggtykkelse. Ved en forkontroll kan det identifiseres dypere groptæringer og skjøter som vil kreve ekstra oppmerksomhet. Dersom slike utfordringer oppdages blir det ofte sprøytet med en tykkelse på 3,5 mm på de aktuelle stedene. Sprøyting kan gjennomføres året rundt, men oppvarming av sprøyteslangen kan være nødvendig dersom det er kaldt. Dette gjøres for at sprøytematerialet skal ha tilstrekkelig viskositet.

Herdingen av belegget starter momentant etter påføringen og total herdetid er på ca. 30 minutter. Det må også påregnes en ventetid på om lag 30 minutter mellom sprøyting av lag 1 og et eventuelt lag 2. Sluttdokumentasjonen gjennomføres som en rørinspeksjon med kamera som kan starte allerede 10 minutter etter påføring av siste lag og vannledningen er klar til drift etter ca. 60 minutter. Den raske herdetiden muliggjør gjennomføring av metoden uten å etablere provisorisk vann.

Hele operasjonen kan bemannes av to til tre personer. Installasjonen krever to lastebiler. Ved den ene kummen blir en mindre lastebil plassert. Her gjennomføres det en siste vannutblåsing, før en wire trekkes gjennom røret og tar med seg sprøyteslangen fra motsatt kum. Ved den andre kummen plasseres PU-bilen. Lastebilen inneholder alt nødvendig utstyr for å gjennomføre selve sprøyteoperasjonen og alt styres fra denne. PU-bilen er en 5040 Scania P320 som er spesialbygget for å kunne belegge vannledninger med PU-Liner. Lasteplanet er bygget inn og delt i to rom. Det første rommet består i hovedsak av et strømaggregat, en kompressor og et elektrisk fordelingssskap. Den bakre delen består av utstyr knyttet direkte til metoden. Her finner man oppbevaringstanken av belegningsmaterialet, slangetrommelen, sprøyteslangen, nødvendig tilleggoutstyr og kontrollpaneler.

Figur 4.3 viser et bilde av PU-bilen ved belegging i Uelands gate. Sprøyteslangen vises på figuren og skal her trekkes over til motstående grop hvor sprøytehodet kobles på. I dette tilfelle skal det bygges en ny stor kum i krysset mellom Collets gate og Uelands gate. Kummen er derfor gravd ut, noe som medfører enkel tilkomst for sprøytingen. Trafikken ledes rundt gropen på en effektiv måte.

PU-Liner er under kontinuerlig utvikling. Belegninger har ved enkelte prosjekter resultert i at skjøtene ikke alltid har blitt tilfredsstillende tett og det arbeides i dag med løsninger for å legge inn elementer i skjøtene før sprøytingen finner sted for å gi en optimal belegning. NCC legger i midlertidig vekt på at problematikken rundt skjøtene ikke er av stor betydning, men ønsker å utvikle produktet til å bli enda bedre (informant 2).



Figur 4.3: PU-bilen før belegging i Uelands gate.

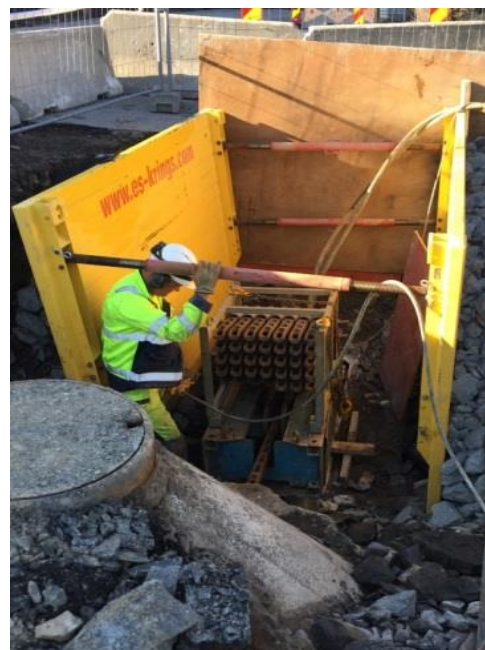
4.2 Utblokking

Utblokking er en metode som gjør det mulig å renovere eksisterende rør på en svært effektiv måte. Metoden er den eneste NoDig-metoden som tillater en oppdimensjonering fra det eksisterende røret og samtidig gir et resultat bestående av et helt nytt rør (Myhre et al. 2015). Utblokking krever lite graving og kan benyttes på dimensjoner fra ca. 75 mm opp til 1 000 mm, med en ledningslengde på ca. 220 m. Metoden benyttes ved renovering av alle typer rør.

Ved utblokking blir et nytt rør presset gjennom det eksisterende røret ved hjelp av et hydraulikkaggregat. Aggregatet fås med forskjellig trekraft, men NCC Ledningsrenovering har en rigg, Grundoburst 800G, med trekraft på 80 tonn som kan blokke rundt 150 meter i et drag. En inntrekksrop må lages til trekkmaskinen, samt en mategrop for innføring av ny ledning på motsatt side. Gropene kombineres ofte med renovering av kummer eller punktoppgravinger for å unngå unødvendige oppgravinger. Det er viktig å lokalisere alt av kryssende og parallelle ledninger og kabler, samt kontrollere grunnforholdene. Dersom for eksempel avløpsledningen ligger parallelt med vannledningen kan det være nødvendig å forsterke avløpsledningen ved blokking av vannledningen. Det gjøres da ved hjelp av en strømpeteknikk som gir forsterket struktur til ledningen. Alt av stikkledninger må kobles fra og plugges. Det medfører gravearbeider ved hver påkobling til hovedledningen (Myhre et al. 2015).

Metoden er en skånsom prosess på omgivelsene og vil ha liten forstyrrelse på terrenget. Innføring av et nytt rør gir i tillegg optimale forhold og lang levetid. Metoden krever lite arbeidsressurser og vil være tidsbesparende sammenliknet med konvensjonell graving. I løpet av en dag er det realistisk å få blokket 100-200 meter ledning avhengig av forholdene ved det aktuelle prosjektet.

Bildene i Figur 4.4 og Figur 4.5 er tatt fra en observasjon ved Ullevål Hageby del 2. I Figur 4.4 er det tatt bilde av inntrekksgropen der trekkerør blir ført gjennom til mategropen som forberedelse til utblokking av et ledningstrekk på om lag 100 meter. Riggeren er plassert i bunn, med en kasse med



Figur 4.4: Innføring av trekkerør før utblokking ved Ullevål Hageby.

trekkerør på toppen. Inntrekningen skjer maskinelt, men det kreves at en person kontinuerlig fester på nye trekkerør à 75 cm. Figur 4.5 viser hvilket utstyr som kobles på trekkerøret etter innføring, «blokkerhodet». Del 1 er et leddet trekkør som gjør at endestykket blir fleksibelt slik at røret blir ledet korrekt inn i den eksisterende ledningen. Delene nummert med 2, er knivene som skjærer opp det eksisterende røret. Etter at rørene har blitt delt knuses de ved utvidende deler (nummer 3) før et siste stålrør, med diameter som er noe større enn det nye røret, tilkobles. Fremst i denne delen (nummer 4) legges det en sensor for å registrere trykkreftene som det nye røret utsettes for.



Figur 4.5: Skjærekniv og blokkerhodet.

4.3 Konvensjonell graving

Konvensjonell graving har alltid vært og kommer alltid til å være et alternativ til de nyere NoDig metodene. Prinsippet er enkelt, den eksisterende ledningen graves frem, fjernes og ny ledning blir plassert i gravegroppen. Terrenget blir deretter tettet igjen. Metoden gir mulighet for oppdimensjonering og medfører lang levetid, samt nye strukturelle egenskaper da det nedlegges et nytt rør. Duktile støpejernsrør skiftes vanligvis ut med nye duktile støpejernsrør (informant 2).

Årsaken til at denne metoden ikke er ønskelig skyldes spesielt utfordringer på steder med mye trafikk og områder der tilgangen til ledningen er utfordrende. Ved åpengrøft reovering blir hele grøften gravd opp og massen må håndteres. I bymiljøet er massene forurensende og må leveres på respektive deponier. Det kan føre til store transportavstander og kostnader. Anleggsområde kan i tillegg medføre store trafikale kjøremønsterendringer. Arbeidet er tidkrevende, samtidig som inngrep på omgivelse kan få konsekvenser for miljøet (Myhre et al. 2015).

4.4 Gjennomføring av ledningsreoveringsprosjekter

Gjennomføringen av prosjekter med ulike metoder innebærer flere felles prosesser, i tillegg til de enkelte metodenes karakteristiske prosesser. Basert på tidligere prosjektkontrakter av NCC Ledningsreovering kan metodene deles inn i forarbeider, installasjon, kummer og stikkledninger, samt etterarbeider. Prosessgjennomføringen er illustrert i Figur 4.6 og viser rekkefølgen på når arbeidet blir gjennomført i løpet av et prosjekt.



Figur 4.6: Prosessrekkefølgen i et ledningsreoveringsprosjekt.

Forarbeidene handler om å tilrettelegge for en effektiv gjennomføring av prosjektet. Etablering av anleggsplassen med brakkerigg, trafikkregulering og avsperringer er prosesser som inngår her. I tillegg etableres det provisoriske løsninger for vann og eventuelt avløp der det er nødvendig. Provisoriske løsninger er stort sett alltid nødvendig da vannet må stenges over en lenger periode. Den midlertidige løsningen blir oftest etablert på overflaten av terrenget og alle stikkledninger kobles til. For belegging vil det provisoriske vannet bli koblet direkte på huset, mens ved utblokking og graving vil vannet kobles på den eksisterende stikkledningen som er gravd frem.

Alle metodene dokumenteres ved hjelp av rørinspeksjoner. Før-inspeksjonen utføres for å avdekke problemområder som anboringer, og for å kontrollere tilstanden til den eksisterende ledningen, spesielt med tanke på belegging. For at en før-rørinspeksjon skal være mulig må ledningen rengjøres ved hjelp av høytrykksspyling med 500-600 bars trykk (informant 4). Her fjernes alt av innvendig belegg, slam og tilvekster.

PU-Liner gjennomføres ideelt sett fra kum til kum, fjerning av eksisterende kumgods er derfor nødvendig. Utblokking og konvensjonell graving krever at stikkledninger kobles fra. Ved utblokking må oppgravninger av inntreks- og mategroper etableres, i tillegg til punktoppgravninger ved hver tilkobling. Ved konvensjonell graving blir eksisterende stikkledninger koblet fra i den etablerte arbeidsgropen.

Prosessene som inngår i installasjonen av det nye produktet er den kategorien som er mest metodeavhengig. Ved PU-Liner blir den eksisterende ledningen sprøytet ved at PU-bilen trekker tilbake sprøyteslangen, se for øvrig avsnitt 4.1.

Utblokking gjennomføres fra inntrekningsgropen og mategropen, som forklart i avsnitt 4.2. For å slippe rørsveising på stedet, som vil oppta stor plass, blir rørene levert på tilhengere som rørkveiler. For å sørge for tilstrekkelig retning på det nye, relativt stive røret benyttes en gravemaskin for å løfte ledningen før den blir dratt inn i den eksisterende ledningen. Når alt er klart ved mategropen starter utblokkingen og røret trekkes mot inntrekningsgropen.

Konvensjonell graving har en installasjonsprosess som går ut på at ledningen graves frem. Grøftene etableres ofte som grøftekasser slik at arbeidet opptar mindre plass (informant 2). Når gropen er tilstrekkelig gravd ut, sikret og avstivet, blir den den eksisterende ledningen demontert og løftet vekk ved hjelp av en gravemaskin. Tilsvarende benyttes en gravemaskin for å løfte den nye ledningen på plass. Ledningen blir deretter pakket med pukk før gropen tilbakefylles med tilfredsstillende masser.

Når det kommer til stikkledningsarbeider er det stort sett snakk om fra og tilkobling til hovedvannledningen. Enkelte prosjekter omfatter i tillegg korrosjonsfjerning og utbedringer av private stikkledninger. Ved PU-Liner kan stikkledningene tettes av belegget og må derfor eventuelt freses opp. Ved utblokking og graving må det lages nye anboringer på den nye ledningen for at stikkledningene skal kunne kobles tilbake på den nyetablerte ledningen.

Kumarbeider handler om å renovere eksisterende kummer ved å bytte ut armaturer og tilkoblinger, eventuelt strukturelle forbedringer. Ofte ønskes også fullstendige utskiftninger og ombygginger av kummene. Arbeider i tilknytning til kummer handler også om frakopling og montering av kumgods for tilgang til eksisterende ledning ved kum til kum reovering. Prosessgangen i dette vil oppgaven ikke gå nærmere inn på da oppgaven fokuserer på selve reoveringsmetodene.

Når ledningen har blitt belagt eller skiftet ut vil den bli rengjort, trykkmålt og desinfisert før alt arbeid dokumenteres ved hjelp av videodokumentasjon ved etter-inspeksjonen. Alle gravearbeider blir tettet igjen og nødvendige overflatearbeider blir gjennomført. Sluttkontrollen sørger for at alt utført arbeid blir dokumentert og innmålt i henhold til regelverket og kravspesifikasjoner. Prosjektet avsluttes ved å rigge ned arbeidsplassen og overlevere prosjektet til byggherren.

4.5 Prosjektutvalg

Oppgaven er delvis basert på prosjektinformasjon fra prosjekter gjennomført de siste 5-8 årene. Prosjektinformasjonen er basert på prosjektenes kontrakter og konkurransegrunnlaget fra Doffin.no dersom annet ikke er spesifisert. Nøkkelinformasjon fra hvert prosjekt er gitt i Vedlegg A. I prosjektkolonnen er det oppgitt prosjektnummer, prosjektnavn, hvilken metode som ble benyttet, tidsperiode, ledningslengde og antall kummer. Prosjektinformasjonen som blir gitt er i hovedsak knyttet til eksisterende ledningssituasjon, prosjektets byggherre og hva som var tiltenkt oppgave i prosjektet. Antall kummer indikerer det antallet som er spesifisert i mengdebeskrivelsen. Det skal ikke nødvendigvis utføres arbeid ved alle kummene i de respektive prosjektene og dersom arbeid utføres vil det være av varierende omfang. Informasjonen har ikke tatt hensyn til hva som faktisk har blitt utført i hvert prosjekt da slik informasjon ikke har vært tilgjengelig.

5 Modellutvikling

Kapittel 5 tar for seg utvikling av studiens modell basert på et teoretisk case som presenteres innledningsvis i dette kapitlet. Videre vil det gås nærmere inn på hvilket arbeid som vil kreves ved utførelse av de respektive metodene PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving. Kostnader- og tidsestimater vil bli presentert sammen med omfattende miljøberegninger på prosessnivå for hver metode. Modellens resultat vil bli presentert og forskjellen mellom metodene vil bli illustrert. Avslutningsvis vil det bli gitt en praktisk forklaring til modelloppbygningen. For mer detaljerte beregninger enn hva som kommer frem av teksten, se modellen i vedlegg B - vedlegg J.

5.1 Utarbeidelse av case

I utarbeidelsen av et realistisk case ble det etablert seks ulike informasjonsområder hvor grunnleggende antagelser og forenklinger måtte vurderes. Disse er valgt på bakgrunn av tidligere prosjektkontrakter og i samarbeid med NCC Ledningsreovering.

Informasjonsområdene er valgt til å være geotekniske forhold, eksisterende ledningsforhold, nye ledningsforhold, omliggende ledningsnettverk, kumarbeider og terrenget. I de påfølgende avsnittene vil alle informasjonsområdene utdypes i mer detalj for de tre aktuelle metodene.

5.1.1 Geotekniske forhold

Geoteknikk handler om hvordan man håndterer jord- og bergartene ved byggetekniske påkjenninger (Thue 2009). I dette tilfelle dreier det seg om informasjon under overflaten, nærmere bestemt massene som omfavner røret. Forholdene er veldig steds- og prosjektavhengige og kan blant annet bestå av leire, silt, sand, puk, fjell, m.m. Det er viktig å undersøke grunnforholdene for å se hvordan det planlagte reoveringsarbeidet vil påvirke de lokale omgivelsene og eventuelle naboledninger. Geotekniske forhold gir også en forståelse av hvilke stabiliserings- og avstivningsarbeider som er nødvendig ved oppgravingsarbeider.

Uavhengig av metodevalget bør grunnforholdene vurderes. Ved belegging har grunnforholdene betydning for hvilken tilstand den eksisterende ledningen befinner seg i. For utblokking og graving vil massene være av betydning da begge metodene utsetter grunnen for fysiske belastninger. Det er avgjørende å ha tilstrekkelig informasjon om grunnforholdene for å kartlegge hvilke konsekvenser omgivelsene vil få av det tiltenkte arbeidet.

I studiens teoretiske case vil massene som omfatter røret være faste masser og vil ikke ha noen påvirkning på prosjektgjennomføringen. Grunnvannstanden antas å være ubetydelig i denne sammenheng.

5.1.2 Eksisterende ledninger

Eksisterende ledningsforhold må være kjent fra prosjektstart, eller ved kartlegging under før-inspeksjonen ved bruk av alle metodene. Parametere som ofte er kjent og oppgitt fra byggherre er rørdiameter, rørmateriale, overdekning, lengde på ledningen som skal renoveres, samt antall kummer og anboringer. Ved enkelte prosjekter må entreprenøren i tillegg kartlegge og registrere kummer og påkoblinger.

Tilstanden til rørene bør også være kjent før arbeidene kan begynne. Ved bruk av PU-Liner blir den eksisterende ledningen liggende og rørets strukturelle styrke må være tilstrekkelig for fortsatt å kunne motstå opptredende krefter i systemet. Kartlegging av svakheter som groptæringer og rustknoller er viktig og må tas ekstra hensyn til. Det samme gjelder rørskjøter og påkoblinger av stikkledninger.

Ved utblokking og konvensjonell graving vil det opprinnelige røret erstattes av et nytt, så rørets tilstand er ikke like avgjørende. Derimot er det viktig å vite plassering av anboringer da disse fysisk må kobles fra som en del av forarbeidene.

I oppgavens case skal 240 meter hovedvannledning av duktilt støpejern renoveres. Innvendig diameter settes til 150 mm (DN150). Rørets overdekning, til senter av røret, er på 2,0 meter. Kummene plasseres med en avstand på 80 meter, som medfører i alt 4 kummer. Mellom hver kum er det 4 stikkledninger, som totalt sett utgjør 12 anboringer.

5.1.3 Nye ledninger

Nytt rør kan være av ulike materialer, dimensjoner og kvalitet. I dag erstattes stort sett eksisterende vannledninger med rør av polyetylen (PE) ved utblokking og duktile støpejernsrør ved oppgraving. Byggherren beskriver i tilbudsutlysningen hvilke dimensjoner, materialer og kvalitet som er ønsket som sluttresultat.

Ved belegging av den eksisterende ledningen blir røret belagt med et polyuretanbelegg der minimum beleggtykkelse oppgis av byggherren. Basert på tidligere prosjekter har det vært en gjenganger at eksisterende DN150 støpejernsrør oppdimensjoneres til 180 mm PE-rør ved utblokking.

I oppgavens prosjekt antas den nye ledningen å belegges med 3,0 mm FLP jevnt over hele ledningen. Det antas at ledningen ikke består av kritiske områder som vil kreve et tykkere belegg, og at tilstanden til det eksisterende røret er tilfredsstillende. Ved utblokking vil det nye røret være av typen 180 PE100 SDR11 og tilfredsstillende kravene i AsplanViak (2010). Bruk av konvensjonell graving vil resultere i at det nedlegges et nytt DN150 duktilt støpejernsrør.

5.1.4 Ledningsnettverk

Ledningsnettverket omfatter alt av eksisterende ledninger og kabler på prosjektområdet. Det er avgjørende å innhente informasjon vedrørende antall og plassering av anbringinger for stikkledninger, samt beliggenheten av andre rør og kabler som kan bli påvirket av arbeidet.

Ved belegging antas det en ideell tilstand der stikkledninger ikke blir påvirket av beleggingen og ingen gravearbeider er nødvendig. Beliggenheten av det eksisterende ledningsnettverket er derfor ikke av stor betydning for denne metoden.

For utblokking og graving er det derimot viktig å kartlegge alt som ligger under overflaten. Utblokking fører til at hver anbringelse må graves frem og kobles fra, før blokkingen kan starte. Ved oppgraving vil hele grøften graves opp og potensielt kryssende kabler må derfor merkes godt for å unngå unødvendige skader. Det antas i dette prosjektet at det ikke vil være andre ledninger eller kabler som vil ha innvirkning på prosjektet, men at kun hovedvannledningen befinner seg på stedet med sine tilhørende 12 anbringelser.

5.1.5 Kumarbeider

Kumarbeider inkluderer alt fra utskifting av hele kummen, reovering eller utskifting av armaturer og tilkoblinger. I prosjektkontraktene er kumarbeidene beskrevet med tilhørende kumlokasjoner og ofte tilstandsbilder. Kummer varierer både i størrelse og utforming. Det forårsaker at arbeider i forbindelse med kummer varierer fra prosjekt til prosjekt. Uavhengig av metode må man vite hvilken mengde kumarbeider som er ønsket av byggherren.

For oppgavens teoretiske case skal ingen kumarbeider gjennomføres, da det er ønskelig å gjøre en vurdering av metoden i seg selv. Alt arbeidet på delstrekningene A, B og C, i Figur 5.1, vil derfor foregå mellom delstrekningenes endekummer.

5.1.6 Terrenget

Ved reovering av underjordisk infrastruktur må forhold på overflaten tas i betraktning. Overflaten kan for eksempel være natur, annen infrastruktur, bilveier eller gang- og sykkelveier. Situasjonen og tilstanden på overflaten er avgjørende for bestemmelse av hvilken

metode som er å fortrekke på den gjeldende strekningen. Overflaten er også avgjørende for hvordan man skal konstruere en arbeidseffektiv anleggsplass, og hvordan løsninger for provisoriske vann og avløp skal håndteres.

Trafikkbildet må kartlegges dersom arbeidet foregår i eller i nærheten av en bilvei. Myndighetene stiller strenge krav til regulering av trafikk, skilting og sikkerhet ved prosjekter der myke og harde trafikanter vil bli påvirket (informant 2). I hvilken grad de ulike renoveringsmetodene drøftet i denne studien påvirker trafikken er svært varierende. Dersom ledningen ligger i en trafikkert vei må følgende tas hensyn til ved hver metode:

PU-Liner: Belegging krever kun et mindre avsperrt område rundt to kummer, med plass til en lastebil ved hver kum. Det betyr at trafikken stort sett kan ledes rundt arbeidsplassene. Rekkevidden på utstyret er omtrent 135 meter, mens vannkummene ofte ligger med 70-80 meters mellomrom.

Utblokking: Utblokking krever inntrekningsgroper, mategroper og punktoppgravinger ved anboringer. Utstyrets rekkevidde er på om lag 150 meter. Det vil være nødvendig med avsperringer rundt hver grop, men omfanget vil variere. Plasseringen av gropene kombineres stort sett med kummer eller steder hvor oppgraving er nødvendig, for eksempel ved store bend på rørstrekningen.

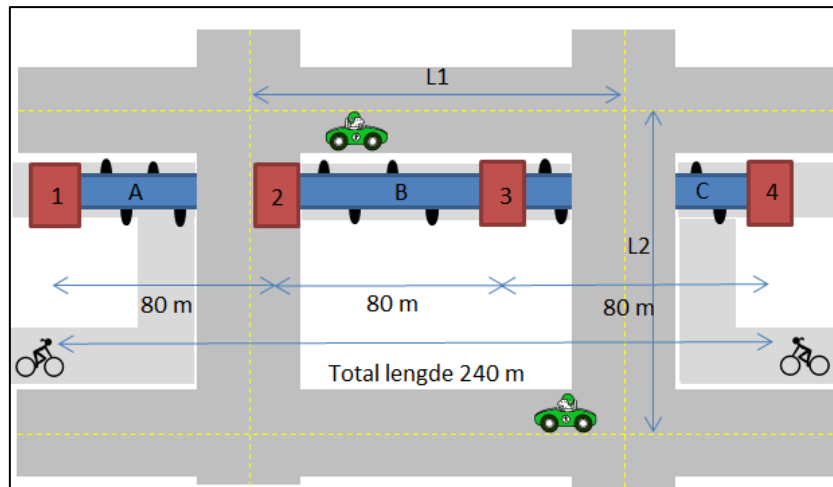
Graving: Grøftene tar ofte stor plass og en lengre veistrekning kan bli stengt, noe som kan føre til store trafikale omlegginger. For en effektiv gjennomføring av prosjektet med lite forstyrrelser på samfunnet vil trafikkavviklingen være en viktig parameter i planleggingsarbeidet.

I studiens fiktive prosjekt antas det at ledningen ligger parallelt med en hovedvei, under en asfaltert gang- og sykkelvei. Bilveien har en gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (ÅDT) på 6 000 biler og fartsgrense på 60 km/t.

5.1.7 Oppsummering av casesituasjon

Informasjonen i avsnitt 5.1.1 til og med 5.1.6, har gitt opphav for illustrasjonen av det teoretiske caset i Figur 5.1. Ledningstraseen er vist som de blå delstrekningene A, B og C, mens kummene er markert som røde firkanter med nummerering 1, 2, 3 og 4. Anboringer til stikkledninger er vist som svarte påkoblinger til ledningstraseen. Mellomgrå trase viser bilveien hvor kjørefeltene er adskilt med gul, stiplet linje. Lysegrå trase viser gang- og

sykkelveien. Aktuelle avstander er markert på bildet. Ledningen er delt inn i tre deler à 80 meter, som totalt utgjør 240 meter. Veilengdene L1 og L2 er begge 100 m.



Figur 5.1: Illustrasjon av studiens teoretiske case.

I tillegg til illustrasjonen av det teoretiske caset er informasjonsområdene i de forrige avsnittene oppsummert i Tabell 5.1. Kolonnen til venstre viser informasjonsområdet, med tilhørende utdypning og konkretisering av nøkkelinformasjon i kolonnen til høyre.

Tabell 5.1: Oppsummering av fiktivt prosjekt.

Informasjonsområde	Utdyping
Geotekniske forhold	Faste masser (ikke fjell)
Eksisterende ledning	Total lengde: 240 m Rørmateriale: Duktilt støpejern Rørdimensjon: DN150 mm Kummer: 4 stk Stikkledninger: 12 stk Overdekning 2,0 meter
Ny ledning	PU-Liner: Belagt eksisterende DN150 Utblokking: 180 PE100 SDR11 med PP-kappe og diff.sperre Graving: Duktilt støpejernsrør DN150
Ledningsnettverk	PU-Liner: Ingen arbeider Utblokking: Punkttoppgravinger, fra- og tilkobling av stikkledninger Graving: Fra- og tilkobling av stikkledninger
Kumarbeider	Ingen
Terrenget	Overflaten: Asfalt Bruksområde: Gang- og sykkelvei, kryssing av hovedvei 2 steder. Trafikk: ÅDT – 6000 biler, Fartsgrense – 60 km/t

5.2 Nødvendig arbeid på prosjektet

I Tabell 5.2 er det gitt en oversikt over nødvendig arbeid på studiens teoretiske case, ved bruk av de ulike metodene. De metodeuavhengige prosessene er i hovedsak etablering av provisoriske løsninger, rengjøring, inspeksjoner og nødvendig administrasjon.

Metodeavhengige prosesser er de som forandrer seg avhengig av hvilken metode som benyttes.

Tabell 5.2: Oversikt over nødvendig arbeid på studiens teoretiske case.

Metodeuavhengig			
Etablering av provisorisk vann Spyling, rengjøring, tørking og utblåsing. Rørinspeksjoner (før- og etter) Administrasjon			
Metodeavhengig	PU-Liner	Utblokking	Graving
Bygge- og anleggsplass	Ja	Ja	Ja
Trafikkregulering	Ja	Ja	Ja
Belegging	Ja	Nei	Nei
Punktoppgravinger	Nei	Ja	Nei
Arbeidsgroper	Nei	Ja	Nei
Full oppgraving	Nei	Nei	Ja
Stikkledninger	Nei	Ja	Ja
Massetransport	Nei	Ja	Ja
Veiarbeider	Ingen	Noe	Mye
Kumarbeider	Nei	Nei	Nei

Etablering av provisorisk vann vil være nødvendig i prosjektet og vil ta omtrent en uke å etablere (informant 2 og 3). Det vil ikke være et behov for provisorisk avløp da det kun er vannledningen som skal renoveres. Den eksisterende ledningen må spyles, rengjøres og tørkes før forkontrollen kan finne sted. Etter installasjonen ved de ulike metodene vil ledningen desinfiseres og trykkmåles, samt videodokumenteres.

For å sørge for en god gjennomføring av prosjektet er det viktig med en administrativ ledelse som kan lede mannskapet gjennom utførelsen. Prosjektets størrelse er avgjørende for hvor mye administrasjon som er nødvendig. NCC har ingen egne gravemaskiner eller lastebiler som betyr at underentreprenører involveres ved gravearbeider. Flere aktører vil føre til et økt behov for administrasjon og koordinering.

Alle renoveringsmetodene vil kreve en bygge- og anleggsplass, men metoden bestemmer blant annet nødvendig riggområde med tanke på oppbevaring av maskiner og utstyr. Tiltent gjennomføringstid for prosjektet vil også være av betydning for hvor omfattende anleggskontor som er nødvendig.

5.2.1 Gjennomføring med PU-Liner

Belegging av ledningstraseen vil gjennomføres fra kum 1 og kum 3 for å minimere påvirkningen på trafikken og omliggende aktivitet. Fra kum 1 vil strekning A belegges, mens fra kum 3 vil strekningene B og C belegges. Ved belegging av rørstrekning A og B vil det være nødvendig med en avsperring rundt kum 2. Det vil likevel være mulig å lede trafikken rundt anleggsplassen siden metoden opptar er liten. Ved kum 1, 3 og 4 må det tas hensyn til at myke trafikanter får en tilstrekkelig sikker passasje forbi anleggsområdene.

Ledningstraseen i vårt tilfelle er kort sammenliknet med virkelige beleggingsprosjekter i regi av NCC Ledningsrenovering. Det bør likevel etableres en mindre brakkerigg da arbeidet foregår i omtrent en måned. Tidligere beskrevne forarbeider vil bli gjennomført og sprøyting av 3,0 mm FLP vil finne sted. Alt arbeid foregår fra kum til kum, noe som medfører at eksisterende armaturer og tilkoblinger må fjernes for å få tilgang til røret. De eksisterende kumdelene, vil i dette tilfelle, monteres tilbake etter at alt ledningsarbeid er gjennomført.

Ved bruk av PU-Liner ligger kostnaden på rundt 4 000 kroner per løpemeter (informant 2 og 3). Det betyr at antatt prosjektkostnad for oppgavens teoretiske case vil være 960 000 kroner. Prosjektet vil kunne gjennomføres på rundt 3-4 uker. Dersom det antas 40 timers arbeidsuke, vil renoveringstiden per meter ledning være 0,5-0,7 timer/meter.

5.2.2 Gjennomføring med utblokking

Utblokkingen vil i dette tilfelle kreve totalt 6 inntrekks- og mategroper, samt en grop per an boring. Årsaken til det høye antallet groper, tatt i betraktning av utstyrets rekkevidde på 150 meter, er at kummene ikke skal renoveres. Det er mulig å blokke gjennom en kum, men det vil føre til ekstra arbeider og høyere risiko med tanke på at kummen kan bli ødelagt (informant 2). Prosjektet vil derfor gjennomføres ved tre separate utblokkinger. Det antas at en an boring på hver ledningsdel A, B og C kan kombineres med enten en inntrekks- eller mategrop som betyr at 9 punktoppgravinger for stikkledninger er nødvendig. Totalt krever prosjektet derfor 15 oppgravinger.

Størrelsene på gropene vil variere. Informant 5 opplyser at inntreksgrøpene ofte er på 4x1 meter, mategropene på 2 x 1 meter og punkttoppgravningene på 2,5 x 2 meter. Inntreks- og mategroper vil stå åpne under hele prosjekttiden, men vil avstives og sikres tilstrekkelig. Punkttoppgravningene graves først fullt ut før en metallsylinder, med diameter på rundt 1 meter, plasseres med anboringspunktet i senter. Området rundt sylindren fylles deretter med pukk slik at punkttoppgravningen skal oppta minst mulig plass.

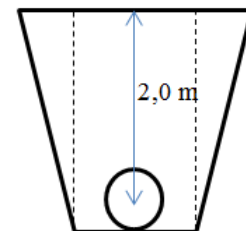
Arbeidet vil påvirke trafikkbildet rundt kum 2. Utenom dette er det stort sett de myke trafikantene som benytter gang- og sykkelveien som vil påvirkes av arbeidet. Etter blokkingen er utført og stikkledningene er tilkoblet den nye ledningen, samt at nødvendig kvalitetssikring og dokumentering er utført, vil oppgravningene fylles igjen, komprimeres og asfaltering vil gjennomføres.

Utbløkking har, i henhold til informant 2 og 3, en løpemeterkostnad på mellom 6 000 og 7 000 kroner. Det gir en total prosjektkostnad på rundt 1 440 000 – 1 680 000 kroner. Prosjektet vil kunne gjennomføres på omtrent 5-6 uker, som tilsvarer mellom 0,8-1,0 timer/meter.

5.2.3 Gjennomføring med konvensjonell graving

Alle delstrekningene A, B og C vil graves opp og den eksisterende ledningen vil bli fjernet og erstattet av en ny ledning.

Grøftetverrsnittet vil være som i Figur 5.2, med en nedre bredde på 1 meter og en øvre bredde på 2 meter. Helningen vil være bratt og grøftekasser benyttes, fremfor å ha en slakere helning som vil oppta mer plass.



Figur 5.2:
Grøftetverrsnitt

Ved graving må det tas hensyn til alle berørte rundt oppgravningene.

Nødvendige tiltak for å regulere myke trafikanter må gjennomføres da anleggsarbeidet vil ta store deler av gang- og sykkelveien. Når arbeidene foregår i bilvei, må veien stenges og trafikken vil bli dirigert rundt anleggsområdet.

Konvensjonell graving vil medføre en meterkostnad på mellom 10 000 og 12 000 kroner.

Total prosjektkostnad vil derfor være omtrent 2 400 000 – 2 880 000 kroner.

Gjennomføringstiden vil være rundt 9-10 uker, som betyr at hver meter tar mellom 1,5 – 1,7 timer (informant 2 og 3).

5.3 Miljøbetraktninger

For å gjøre betraktninger i forhold til miljøet er det laget et miljøregnskap for hver metode. Utslippet har blitt estimert innenfor kategoriene installasjon, utslipp fra nytt rørmateriale, gravearbeider, massetransport, veiarbeider, trafikk og fellesprosesser. Alle kategoriene har blitt vurdert i forhold til utslipp av antall kg CO₂-ekvivalenter. Generell tankegang har vært å finne prosesser med et forbruk av drivstoff, da det er hovedkilden til klimagassutslippet. Valg av prosesser er valgt på bakgrunn av studert litteratur, egne observasjoner og samtaler med NCC Ledningsreovering.

For å finne utslippet fra ulike materialer er det brukt forskjellige utslippsfaktorer. Faktorene som er brukt finnes i Tabell 5.3. Flere av materialene har ulike utslippsfaktorer avhengig av hvilken tilstand stoffet befinner seg i. Det har derfor blitt benyttet en gjennomsnittverdi i beregningene. Fullstendig tabell over utslippsfaktorer, samt tetthetsfaktorer, kan finnes i vedlegg J.

Utslippene som er beregnet for materialene er definert som «embodied carbon» som betyr livssyklusutslippet eller karbonavtrykket til materialet (Jones 2015). Karbonmålet omfatter hele materialets levetid og inkluderer faktorer som produksjon, raffinering, bearbeidelse, i bruk og nedbrytelse etter endt produktlevetid. Alle materialkoeffisientene er hentet fra den britiske databasen ICE (CircularEcology 2015).

Tabell 5.3: Utslippsfaktorer benyttet i beregningene for klimagassutslipp fra ulike materialer

Utslippsfaktor	kg CO ₂ -ekv
Diesel per liter drivstoff	2,93
Bensin per liter drivstoff	2,68
Polyuretan (PU) per kg materiale	4,55
Polypropylen (PP) per kg materiale	3,96
Polyetylen (PE) per kg materiale	2,52
Asfalt (AB 8) per kg materiale	0,08

5.3.1 Fellesprosesser

I vurderingen av utslipp fra fellesprosessene er det i hovedsak rengjøringen av den eksisterende ledningen som vil bidra til utslipp, samt litt fra videokontrollene da disse driftes

fra spylebilen. Det er ikke tatt hensyn til utslipp fra etableringen av provisorisk vann da disse ansees som små. Kjøring til og fra anleggsområdet for ansatte er ikke tatt i betraktning.

Høytrykksspylingen av røret gjennomføres med en hastighet på om lag 0,5 meter/minutt ved DN150 mm, og har et forbruk på ca. 15 liter diesel per time (informant 4). Det betyr at spylingen vil foregå i rundt 8 timer med et totalt forbruk på 120 liter diesel. Før- og etterkontrollen antas å ta en time hver, med tilsvarende forbruk som tørkeriggen som forklares i avsnitt 5.3.6. Totalt dieselforbruk for fellesprosessene vil derfor være 128 liter, med et utslipp på 375 kg CO₂-ekvivalenter.

5.3.2 Masser og massetransport

Masseforflytning vil si flytting av masser fra anleggsplassen til egnet deponi avhengig av massens tilstandsklasse. Ofte foregår ledningsreoveringen i bymiljøer og masseoppbevaring på anleggsplassen vil derfor ikke være mulig. I Oslo antas det at store deler av massene er forurensede og det stilles derfor strenge krav til gjenvinning (informant 5). NCC leverer massene til ulike deponier avhengig av klassifiseringen av massen. I Tabell 5.4 er det gitt en oversikt over hvilke deponier NCC leverer de ulike massene til, avhengig av massens tilstandsklasse. Avstandene er funnet i «Google Maps» der startposisjonen er satt til «Oslo». Til høyre i tabellen er det angitt hvordan fordelingen av masser har vært i forhold til tilstandsklasser på prosjektet Ullevål Hageby del 2 (informant 5). Denne fordelingen blir brukt på oppgavens teoretiske case.

Tabell 5.4: Fordeling av masser til ulike deponier avhengige av massens tilstandsklasse.

Masseklassifisering	Deponi	Avstand [km]	Tur/retur [km]	Fordeling
Tilstandskl. 1	Åsland avd. Assurdalen	20	40	10 %
Tilstandskl. 2 og 3	Esval Miljøpark Vormsund	57	114	70 %
Tilstandskl. 4 og 5	Lindum Oredalen AS	75	150	20 %

Belegging av ledningen vil i dette tilfelle ikke medføre noe graving siden alt arbeid skjer fra kum til kum, og følgelig ikke gir noe behov for massetransport. For utblokking og graving vil derimot massetransporten være en betydelig bidragsyter til utslippet av klimaskadelige gasser.

Ved utblokking skal alle 15 gropene graves opp og fylles igjen. Dybden på gropen skal være rørets overdekning, samt halve rørdiameteren for å nå under røret. Det vil si en dybde på omtrent 2,1 m. Arealoverflaten til gropene er beskrevet i 5.2.2 og totalt volum utgjør i dette tilfelle 132 m³. Det antas at hele volumet transporteres vekk i henhold til fordelingen i Tabell

5.4. Igjenfylling av arbeidsgropene vil skje med tilsvarende volum og alle nye masser vil hentes ved pukkverket til Åsland i Assurdalen. Total tilbakelagt strekning for borttransportering av masser vil dermed være 1 670 km og for tilbakefylling være 560 km.

Konvensjonell graving vil medføre en oppgraving på 240 meter med grøftetverrsnitt som beskrevet i 5.2.3. Totalt volum utgjør 743 m³. Transporten av de eksisterende massene til respektive deponier, vil total utgjøre en avstand på 8 612 km i henhold til fordelingen i Tabell 5.4. Tilbakefyllingen medfører en total transport på 3 000 km.

Utstyret som benyttes til masseforflytning er gravemaskiner og lastebiler. Lastebilene som benyttes har en lastekapasitet på 10 m³ og et dieselforbruk på 0,5 liter/time ved tomgangskjøring og 0,5 liter/km ved bykjøring. Når det gjelder forbruket til gravemaskinene som benyttes er det delt inn i to nivåer avhengig av om arbeidet kan karakteriseres som lett eller tungt. For lett arbeid antas et forbruk på rundt 10 liter/time, mens for tungt gravearbeid antas et forbruk på ca. 13 liter/time (informant 7).

I Tabell 5.5 er det gitt en oppsummering av nøkkeltall for massetransporten. Resultatet er viser totalt dieselforbruk i antall liter til høyre i tabellen. Totalt massevolum og total transportavstand er gitt for både borttransportering av masser og tilbakefylling av masser. Se for øvrig vedlegg D, F og G.

Tabell 5.5: Dieselforbruk til massetransport.

Metode	Volum av masser [m ³]		Avstand massetransport [km]		Totalt dieselforbruk [liter]
	Borttransport	Tilbakefylling	Borttransport	Tilbakefylling	
PU-Liner	0	0	0	0	0
Utblokking	132	132	1 670	560	1 115
Graving	747	747	8 612	3 000	5 806

5.3.3 Trafikk

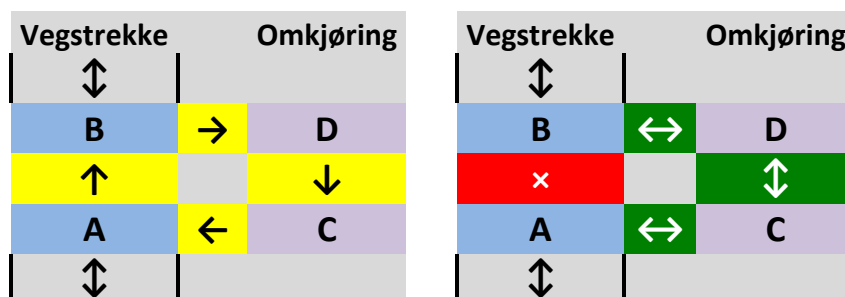
Ledningsreovering i veibanen vil skape en kjøremønsterendring på grunn av nødvendig tilgang til kummer og arbeidsgroper. For å gjøre en vurdering av hvilke ekstra genererte utslipp som skyldes endringen i kjøremønsteret er det benyttet et verktøy utviklet av Statens Vegvesen (Vegvesen 2016). Verktøyet går under navnet ETSI og er i utprøvningsfasen.

Inputparametere i verktøyet er varigheten av arbeidet, hvor mange kjøreretninger som er åpne for trafikk (ingen, én eller to), trafikkbildet som fartsgrense, gjennomsnittlig kjøretøy per dag

og avstander for omkjøringen. Det antas en gjennomsnittlig trafikkflyt hvor køkjøring og fri flyt kombineres. Output fra modellen er ekstra generert forbruk av bensin og diesel i antall kilogram.

Studien har ikke gått inn for å gjøre en vurdering av validiteten og reliabiliteten til modellen, siden utvikleren er Statens Vegvesen og oppgaven har et begrenset omfang. Det antas at modellen kan brukes til å indikere forventede forskjeller mellom metodene. Bakgrunnen for beregningene er basert på blant annet fordelingen av kjøretøy på veien. Det vil si andelen personbiler på bensin (45 %), personbiler på diesel (45%), busser på diesel (3 %) og lastebiler på diesel (7 %). For hver kjøretøy-type er det samlet inn informasjon vedrørende motoreffekt, omdreininger og drivstofforbruk (Vegvesen 2016).

Figur 5.3 viser hvilke kjøremønstersscenarioer ETSI tilbyr. Pilene illustrerer hvilken kjøreretning som er åpen. Den opprinnelige veistrekningen er fra A til B, mens omkjøringsruten er via punktene C og D. Til venstre i figuren vises scenarioet med en kjøreretning stengt, mens figuren til høyre viser situasjonen der begge kjøreretninger er stengt på strekningen AB, og alle bilene blir ledet via omkjøringsruten.



Figur 5.3: Mulige fremstillinger av kjøremønsterendringer i ETSI (Vegvesen 2016)

Problemområdet i oppgavens teoretiske case er rundt kum 2 i Figur 5.1. Kummen ligger i en trafikkert vei og bilene må ledes rundt når renoveringen krever arbeid fra kummen. I forhold til Figur 5.3 vil kum 2 være plassert i punkt B og alle avstander vil være 100 meter ($AB = BD = DC = CA$). Utslagsgivende for modellen vil være antall dager veien må være helt eller delvis stengt. Belegning vil føre til et senario der kun ett felt må være stengt. Varigheten av stengningen ved bruk av PU-Liner vil være i omtrent 4 dager (informant 2 og 3).

For utblokking vil også kun et kjørefelt stenges, men situasjonen vil ha en betydelig lenger varighet da det må graves en grop til høyre for kum 2. Et felt må være stengt i omtrent to tredjedeler av tiden selve utblokkingen tar. Av total prosjektid på 5-6 uker ved utblokking

antas det at selve blokkingen vil ta omtrent 4 uker, som tilsvarer omtrent 14 dager (4 uker x 5 dager x 2/3 = 14 dager).

Graving er den metoden som vil påvirke kjøremønsteret i størst grad. Avgjørende i dette tilfelle er hvorvidt kommunen lar en lastebilen stå i hovedveien langs L1 (Figur 5.1) for pålessing av masser fra gravemaskinen. For å gjøre en generell vurdering hvor det åpnes for at kommunen både kan avslå søknaden om å bruke veibanen eller innvilge søknaden, antas det at felt L1 vil være stengt i halve gravetiden (informant 3). Med en gravetid på 8 uker, tilsvarer det 0,5 x 8 uker x 5 dager = 25 dager. I tillegg vil hele veien stenges i to perioder på omtrent 2-3 dager for arbeidene knyttet til kryssing av hovedveien. Hovedveien antas derfor å være stengt i begge retninger i 5 dager (informant 2 og 3).

Basert på de overnevnte antagelsene viser Tabell 5.6 resultatene utarbeidet i ETSI for hver metode. Tabellen uttrykker hvor lenge hvert scenario for kjøremønsterendring inntreffer med tilsvarende ekstra generert utslipp av bensin og diesel. Kolonnen til høyre viser det totale utslippet for hver metode som skyldes kjøremønsterendringen. Massene med bensin og diesel har blitt omgjort til volum for bruk av tilhørende utslippsfaktor i Tabell 5.3.

Tabell 5.6: Utslipp forårsaket av kjøremønsterendring.

Metode	Et felt stengt			To felt stengt			Totalt utslipp
	Varighet [dager]	Bensin [kg]	Diesel [kg]	Varighet [dager]	Bensin [kg]	Diesel [kg]	CO2-ek [kg]
PU-Liner	4	205	544	0	0	0	2 609
Utblokking	14	717	1 904	0	0	0	9 129
Graving	25	1 280	3 399	5	171	453	18 470

5.3.4 Materialutslipp

For å vurdere de ulike metodenes totale utslipp av CO₂-ekvivalenter, forårsaket av det nye rørmaterialet, er massen av rørkomponentene funnet ved hjelp av volumberegninger for en sylinder, $V = 2\pi rh$. Ved hjelp av materialenes tetthet har deretter materialets totale masse blitt funnet da utslippsfaktorene er gitt per kilogram stoff.

Ved belegging, sprøytes det eksisterende støpejernsrøret med et 3 mm belegg og diameteren reduseres fra 150 mm til 147 mm. Volumet blir følgelig 333 liter FLP. Utslippsfaktoren for FLP er satt til gjennomsnittet av fleksibelt og stivt polyuretanskum. Dette er gjort i samsvar med produsenten av stoffet i Storbritannia (informant 4).

For utblokking trekkes et 180 PE100 SDR11 inn i den eksisterende ledningen. Produktet består av to komponenter: polyetylen (PE) og polypropylen (PP) (diffusjonssperren er så tynn at den neglisjeres). Rørets utvendige diameter er 180 mm, tykkelsen av PP-kappen er 3,5 mm og tykkelsen av PE-røret er 16,4 mm (PipeLife 2013).

Graving fører til at et nytt duktilt støpejernsrør blir nedlagt i traseen med tilsvarende diameter som det eksisterende røret. Det er tatt utgangspunkt i PAMs produktspesifikasjoner for et duktilt støpejernsrør, med dimensjon DN150 og den mest brukte rørklassen C40. Det tilsvarer at rørets vekt er 24 kg/meter og rørets totale masse blir i dette tilfelle 5 760 kg (PAM 2007).

På bakgrunn av de overnevnte verdier er resultatene for livssyklusutslippet til rørmaterialet presentert i Tabell 5.7. For hver renoveringsmetode er rørets materiale oppgitt med tilhørende volum og tetthetsfaktor. Rørmaterialets totale masse er deretter gitt, før utslippet av kilogram CO₂-ekvivalenter for hver metode er presenter til høyre i tabellen. For utblokking har materialkomponentenes samlede utslipp blitt oppgitt.

Tabell 5.7: Rørmaterialets livssyklusutslipp av CO₂-ekvivalenter.

Metode	Materialer	Volum [L]	Densitet [kg/L]	Masse [kg]	Utslipp [kg CO ₂ -ek]
PU-Liner	Polyuretan (PU)	333	1,5	499	2 269
Utblokking	Polyetylen (PE)	1 936	0,93	1 801	6 198
	Polypropylen (PP)	466	0,9	419	
Graving	Duktilt støpejern	N/A	24 kg/m	5 760	11 693

5.3.5 Asfaltarbeider

NCC benytter stort sett asfalt av typen asfaltbetong med steinstørrelse 8 mm, AB 8 (informant 3). Tykkelsene varierer avhengig av hvilken ytre påkjenning asfalten utsettes for. For gang- og sykkelvei benyttes en tykkelse på 4 cm, for veiklasse 1 brukes 12 cm og veiklasse 2 vil tykkelsen være 8 cm (informant 2). Forskjellen mellom veiklasse 1 og veiklasse 2 er at tungtransport, som busser, ikke er tillatt for bruk på veiklasse 2. Store deler av oppgavens teoretiske ledning ligger under gang- og sykkelvei, men for å kompensere for de enkelte hovedveipasseringene velges en asfalttykkelse på 8 cm i snitt over hele ledningstraseen (informant 3).

Utslipp forbundet med asfaltarbeider vurderes til å bestå av asfaltens livssyklusutslipp, samt prosessen med å legge ut asfalten og nødvendig komprimeringsutstyr. Det antas at det

benyttes en vals og en asfaltutlegger ved konvensjonell graving i dette tilfelle. Transport av asfalt antas å inngå i tidligere beskrevet massetransport.

Vurderingen av asfaltens livssyklusutslipp tar utgangspunkt i vekten av asfalt. Volumet er derfor funnet og egenvekten som er brukt er 1500 kg/m³ (DSB). Utslippsfaktoren som er brukt tilsvarer gjennomsnittet av asfalt med et bitumeninnhold mellom 5-7 % (Berntsen 2008). Utførelsen av asfaltarbeidene vil i henhold til informant 2 ta omtrent 1 uke. Maskinene vil omsider ikke være i drift i hele denne tidsperioden. For å beregne tidsbruken til valsen og asfaltutleggeren er det tatt utgangspunkt i Statens Vegvesen sin metode i rapport 352 (Telle 2015). Det antas en utleggerhastighet på 5 meter per minutt og valsehastighet på 33 meter/min. Drivstofforbruket er henholdsvis på 20 liter/time og 5 liter/time (Hansen et al. 2010). For utblokking er det ikke behov for en asfaltutlegger, men det vil bli benyttet vals for å komprimere overflaten (informant 3). Antatt bruk av vals er satt til 1 time.

Utslipp fra asfaltarbeidene er i Tabell 5.8 inndelt i utslipp fra materialet og fra utførelsesarbeidene. Som tabellen viser er det mengden asfalt som har størst betydning for hver metode og maskinforbruket utgjør en minimal del av totalen. Totalt utslipp fra veiarbeidene er gitt i kolonnen til høyre.

Tabell 5.8: Totalt utslipp fra veiarbeider ved bruk av PU-Liner, utblokking og graving.

Metode	Masse [kg]	Materialutslipp [kg CO ₂ -ek]	Dieselforbruk [liter]	Maskinutslipp [kg CO ₂ -ek]	Totalt Utslipp [kg CO ₂ -ek]
PU-Liner	0	0	0	0	0
Utblokking	7 560	575	5	14	589
Graving	57 600	4 378	24	69	4 447

5.3.6 Miljøregnskap for PU-Liner

Vurdering av PU-Liner er gjort på bakgrunn av prosesser observert i Uelands gate i Oslo og samtaler med informant 4. Maskiner og utstyr som inngår i installasjonen ved bruk av PU-Liner er PU-bilen, samt tørking og inntrekking av sprøyteslangen fra en mindre rigg ved motsatt kum.

Avgjørende for utslippet fra PU-bilen, er bilens totale driftstid. Det antas at bilen har en driftstid på 2 timer utenom selve sprøytingen. Sprøytetiden finnes ved å anta en volumstrøm. På observasjon ble det benyttet en volumstrøm på 3,0 liter/minutt ved belegging av DN400 med beleggtykkelse 3,3 mm. Informant 4 gir uttrykk for at 100 meter rør med DN150 vil ta om lag 30 minutter å belegge. Det tilsvarer en volumstrøm på 4,7 liter/minutt. For å ta høyde

for uforutsette hendelser velges derfor en hastighet på 4,0 liter/minutt. Det tilsvarer en sprøytehastighet på 2,9 meter/minutt. Total driftstid på PU-bilen blir derfor omtrent 3,4 timer.

PU-bilen har et dieselforbruk tilsvarende en lastebil på tomgang, samt driften av et aggregat som produserer 20 kW eller 20 kWt i løpet av en times drift. Aggregatet er av typen Hatz 3L41C og produsenten oppgir et dieselforbruk på 230 g/kWt ved maksimal effekt (HatzDiesel 2015). Lastebilen har et dieselforbruk på 0,5 liter/time ved tomgangskjøring og aggregatets bidrag på 5,5 liter/time, gir maskineriets samlede dieselforbruk på 5,9 liter/time.

Lastebilen ved motsatt kum vil være i drift over en kortere periode og det antas at den er i drift i 30 minutter per 100 meter rør. Det tilsvarer en driftstid på 1,2 timer for oppgavens teoretiske case. Forbruket til riggen er på omtrent 4 liter/time (informant 4).

For PU-Liner er det samlede utslippet av CO₂-ekvivalenter på 5 326 kg. Tabell 5.9 viser hvordan utslippet er fordelt over kategoriene installasjon, utslipp fra PU-materialet, utslipp fra trafikkendringene og fellesprosesser med tilhørende relative verdier i forhold til metodens totale utslipp. Tabellen viser at hovedutslippet stammer fra materialet som sprøytes og konsekvensene av kjøremønsterendringene. Fullstendige beregninger av miljøregnskap fra metoden finnes i vedlegg E.

Tabell 5.9: Miljøregnskap ved bruk av PU-Liner.

Prosess	kg CO2-ekv	Relativt
Installasjon	73	1,4 %
Utslipp fra nytt rørmateriale (kg)	2 269	42,6 %
Gravearbeider	0	0,0 %
Massetransport	0	0,0 %
Veiarbeider	0	0,0 %
Trafikk	2 609	49,0 %
Fellesprosesser	375	7,0 %
Totalt utslipp	5 326	

5.3.7 Miljøregnskap for utblokking

Ledningsreovering ved utblokking vil generere utslipp fra det nye rørmateriale, massetransport, veiarbeider og endringen av trafikk mønsteret. Disse utslippene er allerede beskrevet i de tidligere delavsnittene. I tillegg vil utblokking medføre utslipp i forbindelse med oppgravingen og installasjonen.

Installasjonen av det nye røret foregår ved hjelp av et hydraulikkaggregat, Grundoburst 800G, med antatt forbruk på 10 liter/time (Hansen et al. 2010). Tidsbruken til installasjonen varierer, men basert på observasjon på Ullevål Hageby del 2 tar 100 meter mellom 1-1,5 time å blokke. Det antas derfor en blokkertid på 3,0 timer i dette prosjektet. Før blokkingen kan starte blir trekkerøret dratt gjennom det eksisterende røret med omtrent samme hastighet, men med mindre motstand. Installasjonstiden i dette prosjektet er derfor antatt å ligge på rundt 5 timer. I tillegg til aggregatet, vil en gravemaskin bistå under hele arbeidet (informant 5). Arbeidet som utføres av gravemaskinen ansees som lettere og totalt dieselforbruk for installasjonen blir dermed 100 liter.

Gravemaskin blir brukt ved alle oppgravingene. Arbeidet karakteriseres som tyngre, noe som tilsvarer et dieselforbruk på 13 liter/time. Tidsforbruket er basert på informant 5 sine erfaringstall. En inntrekksgrop vil ta mellom 1,5-2 dager, en mategrop vil ta omtrent halve tiden og det er mulig å gjennomføre to punktoppgravinger per dag. Oppgaven har brukt 2 dager per inntrekksgrop og tilsvarende 1 dag per mategrop. Ved omgjøring til timer, vil total driftstid for gravearbeidet være omtrent 95 timer, med et tilhørende dieselforbruk på 1 229 liter.

For utblokking er det flere prosesser som genererer utslipp sammenliknet med bruk av PU-Liner. Totalt gir modellen at utblokking av oppgavens teoretiske case medfører et samlet utslipp på 23 455 kg CO₂-ekvivalenter. I Tabell 5.10 er hver prosesskategori gitt med tilhørende utslipp og prosessens relative verdi i forhold til totalen er gitt i kolonnen til høyre. Fullstendige beregninger av miljøregnskap fra metoden finnes i vedlegg F. Tabellen viser klare indikasjoner på at de mest avgjørende prosessene i forbindelse med klimagassutslipp er kjøremønsterendringene, rørmaterialet, samt gravearbeider og massetransport.

Tabell 5.10: Miljøregnskap ved bruk av utblokking.

Prosess	kg CO₂-ekv	Relativt
Installasjon	293	1,2 %
Utslipp fra nytt rørmateriale (kg)	6 198	26,4 %
Gravearbeider	3 602	15,4 %
Massetransport	3 269	13,9 %
Veiarbeider	589	2,5 %
Trafikk	9 129	38,9 %
Fellesprosesser	375	1,6 %
Totalt utslipp	23 455	

5.3.8 Miljøregnskap for konvensjonell graving

Tradisjonell graving medfører store gravearbeider i forbindelse med etablering av arbeidsgrøp og selve rørinstallasjonen, da alle rør og komponenter må løftes maskinelt. Ved graving i bymiljø er det vanlig å anta at oppgraving, fjerning av eksisterende rør, legging av nytt og tilbakefylling kan gjennomføres med en hastighet på 6 meter/dag (informant 2 og 3). Total tidsbruk for gravemaskinen i denne prosessen vil derfor være 280 timer som tilsvarer et dieselforbruk på 3 360 liter. Arbeidet i denne prosessen ansees som å være tungt arbeid og maksimalt dieselforbruk for gravemaskinen er derfor benyttet. Utslippet fra gravemaskinen er plassert i prosessen gravearbeider i Tabell 5.11.

Installasjonsprosessen i Tabell 5.11 inkluderer derfor ikke u fra gravemaskinen, selv om bruk av gravemaskin er betydelig i installasjonsprosessen. Grunnen til dette er ønske om å illustrere gravemaskinarbeidet som en egen post i miljøregnskapet. Det som gjenstår av utslipp i installasjonen er knyttet til komprimering av tilbakefyllingsmasser (denne prosessen er neglisjert ved utblokking da det ikke vil utgjøre en nevneverdig del av totalen). Tidsbruket komprimeringen vil ta antas å være halve installasjonstiden, det vil si 140 timer. Utslippet fra kompaktoren settes tilsvarende valsen på 5 liter/time (Hansen et al. 2010).

Konvensjonell graving vil medføre et totalt utslipp på 63 911 kg CO₂-ekvivalenter, noe som er desidert mest av de analyserte metodene. Tabell 5.11 viser hvilke prosesser som bidrar til utslipp med tilhørende verdi, samt den relative verdien prosessen utgjør av totalen. Tabellen illustrer at det er mange prosesser som bidrar til et høyt utslipp som rørmaterialet, gravearbeider, massetransport og konsekvensene av kjøremønsterendringen. Fullstendige beregninger av miljøregnskapet for metoden finnes i vedlegg G.

Tabell 5.11: Miljøregnskap ved bruk av konvensjonell graving.

Prosess	kg CO ₂ -ekv	Relativt
Installasjon	2 052	3,2 %
Utslipp fra nytt rørmateriale (kg)	11 693	18,3 %
Gravearbeider	9 851	15,4 %
Massetransport	17 022	26,6 %
Veiarbeider	4 447	7,0 %
Trafikk	18 470	28,9 %
Fellesprosesser	375	0,6 %
Totalt utslipp	63 911	

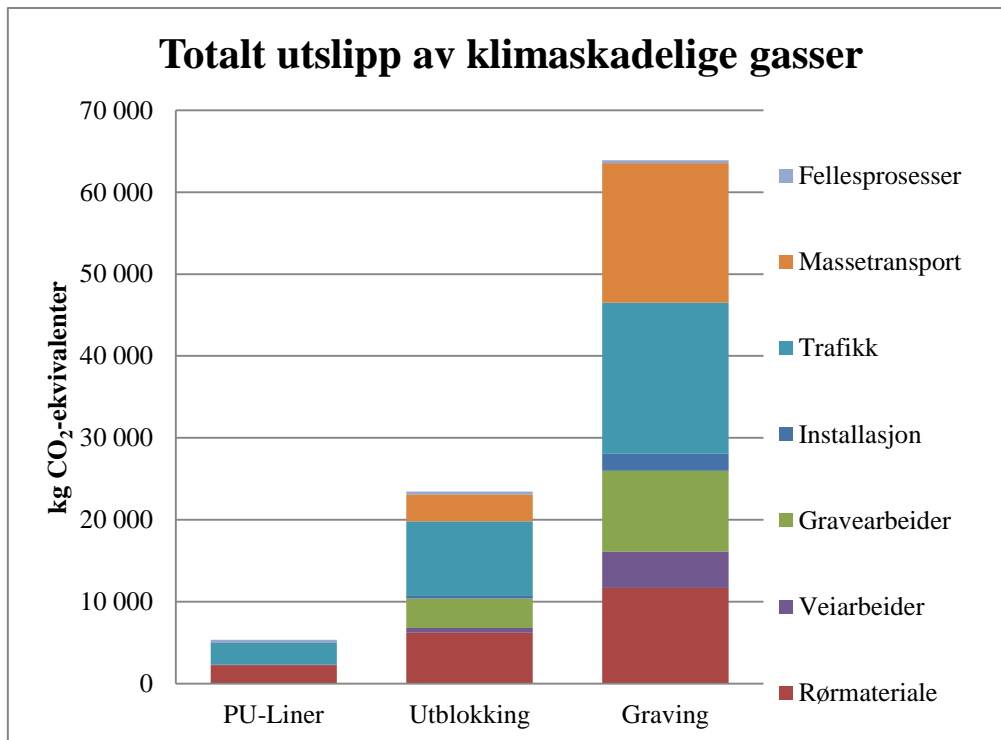
5.4 Sammenlikning av PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving

Modellens resultater er oppsummert i Tabell 5.12 og viser estimater for kostnader, tidsbruk og utslipp av klimaskadelige gasser ved bruk av PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving, for renovering av studiens teoretiske case. Estimatenes er oppgitt som både totalverdier, samt verdi per løpemeter ledning. Tabellen indikerer de høyeste verdiene for kostnads- og tidsestimater beskrevet i kapittel 5.2.

Tabell 5.12: Sammenlikning av kostnads-, tids- og miljøutslippsestimater ved bruk av PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving for renovering av studiens teoretiske case.

Estimat	Benevning	PU-Liner	Utblokking	Graving
Total kostnad	Kroner	960 000	1 680 000	2 880 000
Kostnad per meter	Kroner	4 000	7 000	12 000
Total tidsbruk	Uker	4	6	10
Timer per meter	Timer/meter	0,7	1,0	1,7
Totalt utslipp	kg CO ₂ -ekvivalenter	5 326	23 455	63 911
Utslipp per meter	kg CO ₂ -ekvivalenter per meter	22	98	266

Figur 5.4 viser en grafisk fremstilling av Tabell 5.9, Tabell 5.10 og Tabell 5.11. Metodenes individuelle miljøregnskap er delt inn i de respektive kategoriene som har blitt benyttet gjennom alle miljøberegningene. Alle postene øker fra venstre mot høyre i diagrammet, fra PU-Liner mot konvensjonell graving. Det er tydelige indikasjoner på at undersøkelsen har fanget opp essensielle faktorer når man ønsker å belyse forskjellene. PU-Liner viser stort sett bare utslippene fra trafikken og materialet, men begge kategoriene er betydelig mindre sammenliknet med både utblokking og graving. Ser vi på hovedforskjellene mellom utblokking og graving, er det gravearbeidene og massetransporten som utgjør den store forskjellen. Konvensjonell graving har desidert de største utslagene for hver kategori.



Figur 5.4: Totalt utslipp av klimaskadelige gasser ved bruk av de ulike renoveringsmetodene illustrert i henhold til postene i de individuelle miljøregnskapene.

Både Tabell 5.12 og Figur 5.4 indikerer at NoDig metodene potensielt kan medføre betydelige besparelser innenfor både kostnader, tidsbruk og klimagassutslipp. Bruk av PU-Liner vil i henhold til modellen generere 67 % mindre kostnader, kunne gjennomføres 60 % raskere og spare miljøet for 92 % utslipp av CO₂-ekvivalenter, sammenliknet med konvensjonell graving. Tilsvarende vil utblokking medføre besparelser på 42 %, 40 % og 63 % innenfor de tilsvarende områdene. Et utdrag fra modellens resultater er vist i vedlegg H.

5.5 Fysisk oppbygning av modellen

I utviklingen av modellen har det vært viktig å skape et case som vil være et godt sammenligningsgrunnlag mellom metodene for å illustrere både positive og negative sider ved bruk av de ulike teknikkene. Modellen er konstruert i Microsoft Excel. Fordelen ved bruk av Excel er at det gir mulighet for oppbygningen av en dynamisk og fleksibel modell. Modellen er bygd opp med fanene Casebeskrivelse, Kostnader og tid, Generelt til miljø, PU-Liner, Utblokking, Graving, Resultater, Sammenlikning og Utslippsfaktorer.

Casebeskrivelse-fanen (vedlegg B) tar for seg casepresentasjonen med nøkkeldataen gitt i Tabell 5.1 og en illustrasjon av caset. *Kostnader og tid*-fanen (vedlegg C) illustrerer de innhentede kostnads- og tidsestimatene fra fokusgruppen med NCC Ledningsreovering. *Generelt til miljø*-fanen (vedlegg D) viser beregningene knyttet til fellesprosessene, samt grunndata for massehåndtering og veiarbeider. *PU-Liner, Utblokking og Graving*-fanene (vedlegg E, F og G) viser fremgangsmåten for beregning av miljøregnskapet for hver av metodene. *Resultat*-fanen (vedlegg H) sammenfatter modellens resultater. *Sammenlikning*-fanen (vedlegg I) gir et bilde av hvordan modellens resultater samsvarer med tall fra virkelige prosjekter. Avslutningsvis viser *utslippsfaktorer*-fanen (vedlegg J) hvilke utslippsfaktorer som er benyttet i tillegg til massetetthetsfaktorer brukt for å konvertere mellom volum og masse.

Modellen er konstruert med enkle matematiske sammenhenger hvor linker og koblinger er benyttet konsekvent gjennom hele programmeringen. Det vil derfor være enkelt å tilpasse modellen til andre reoveringsprosjekter.

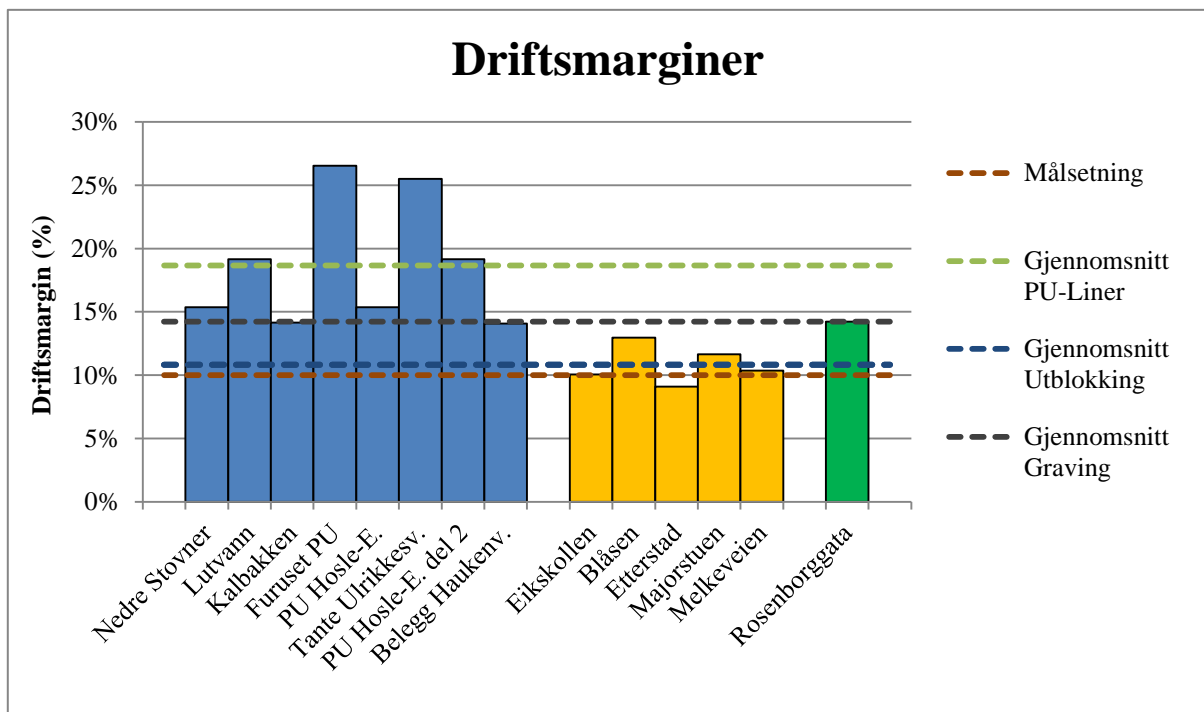
6 Resultater

Kapittel 6 presenterer resultater fra analyser av virkelig tall fra prosjektutvalget i oppgaven. Driftsmarginer, omsetninger, kostnader og tidsbruken vil bli presentert. Kapittelet foretar en sammenlikning med modellen i kapittel 5 og de virkelige prosjektdataene. Internanalysen vil bli presentert og enkelte usikkerhetsaspekter knyttet til utførelsen av de ulike metodene vil bli eksemplifisert.

6.1 Økonomiske parametere

6.1.1 Driftsmarginer

Innhenting av driftsinntekter og driftskostnader fra NCC sitt regnskapsprogram, e-analyse, har gitt grunnlag for å presentere driftsmarginene til prosjektene i prosjektutvalget i vedlegg A. Resultatene er illustrert i Figur 6.1 og viser prosjektenes driftsmarginer gruppert etter renoveringsmetode. Figuren viser også de gjennomsnittlige driftsmarginene for de ulike metodene. PU-Liner har en gjennomsnittlig driftsmargin på 18,7 %, utblokking på 10,8 % og konvensjonell graving på 14,2 %. Alle driftsmarginene er basert på formelen gitt i avsnitt 2.4.1. Avdelingens interne mål på 10 % er gitt av den røde, stiplede linjen.



Figur 6.1: Driftsmarginer gruppert etter renoveringsmetodene: PU-Liner (blå), utblokking (oransje) og graving (grønn). Søylenes tilhørende prosjekt er navngitt langs den horisontale aksens, se prosjektutvalget i vedlegg A.

I forhold til prosjektene som er utført i løpet av de siste årene er to prosjekter utelatt fra figuren, prosjekt 518053 – Østerås (PU-Liner) og 518107 - Rammeavtale for utblokking av VA-ledninger (utblokking). Årsaken til unnlatelsen er store avvik fra resten av prosjektene innenfor de respektive utførelsesmetode. Begge prosjektene gikk med et underskudd og driftsmarginer på henholdsvis -1,0 % og -22,0 %. Informasjon om hva som skjedde i Østerås har ikke vært tilgjengelig. Rammeavtalen med Bærum kommune ble avsluttet da NCC innså at prisene de hadde fått ikke var tilfredsstillende i forhold til arbeidet som måtte utføres. Østerås vil være inkludert i de resterende beregninger, i motsetning til rammeavtalen som er utelatt da det ikke er funnet noen renovert ledningslengde.

Figur 6.1 illustrerer at alle metodenes gjennomsnittlige driftsmargin er høyere enn avdelingens interne mål. Diagrammet viser tydelig at PU-Liner har hatt den mest lønnsomme driftsmarginen i snitt, med høye topper på over 25 %. Utblokkingsprosjektene ligger rundt avdelingens interne mål, mens graveprosjektet, Rosenborggata, gjorde det tilfredsstillende. I hvilken grad det ene graveprosjektet er representativt for metoden på generelt grunnlag, kan man ikke si med tanke på tilgjengelig data. Resultatet indikerer likevel at avdelingen mestret å gjennomføre et konvensjonelt graveprosjekt med en god driftsmargin.

En videre tolkning av driftsmarginen til PU-Liner viser at variasjonene her er størst. I forhold til gjennomsnittlig driftsmargin er standardavviket beregnet til å være 5,0 % for belegging. Det indikerer store variasjoner innad i utførelsen av metoden, som er et nevneverdig funn med bakgrunn i at metoden er relativt standardisert fra prosjekt til prosjekt. Prosjektene som har gjort det bedre enn gjennomsnittet er Lutvann, Furuset PU, Tante Ulrikkes vei og Hosle-Eiksmarka del 2. Felles for disse prosjektene er at ledningslengden er de lengste av PU-Liner prosjektene i utvalget. Det korteste prosjektet av disse var på 3 200 m, mens det lengste var på 6 361 meter. De resterende prosjektene i utvalget (Nedre Stovner, Kalbakken, Hosle-Eiksmarka del 1 og Haukenveien) var alle mellom 1 600 – 2 200 meter.

Studier av driftsmarginene ved utblokking viser et jevnere resultat med snitt på 10,8 % med tilhørende standardavvik på 1,5 %. Det gjenspeiles også i Figur 6.1 hvor toppene er konsentrert rundt den mørkeblå linjen. Resultatene ved utblokkingsprosjekter har vist seg å være mer konstante enn for PU-Liner, men i forhold til prosjektutvalget, er det prosjektene som ligger rundt 200-400 meter ledningslengde som har oppnådd de beste resultatene (Blåsen og Majorstuen). De lengre prosjektene Eikskollen (529 meter) og Etterstad (769 meter) har

gitt resultater litt under snittet. Tilsvarende for Melkeveien som hadde en kort ledningslengde på 76 meter.

Ved enkelte prosjekter har NCC Ledningsrenovering valgt å sette hele prosjektet ut til underentreprenører. Det har vært ved anledninger der avdelingen ikke har hatt egne yrkesarbeidere tilgjengelig, men har hatt nok arbeidskraft til å kunne administrere prosjektene (informant 2). Etterstad og Majorstuen, samt store deler av Melkeveien, var utblokkingsprosjekter som ble satt bort til underentreprenører. Etterstad og Melkeveien presterte begge under snittet, mens Majorstuen leverte et godt resultat på 11,4 % driftsmargin.

6.1.2 Omsetning og prosjektstørrelser

Prosjekter med stor omsetning og god driftsmargin vil gi et godt resultat i form av kroner og ører. Tabell 6.1 illustrer de laveste, høyeste og gjennomsnittlige omsetningene ved hver metode og hvilket prosjekt omsetningen tilhører. Omsetningen er direkte hentet fra regnskapstallene og er representert gjennom driftsinntektene. Gjennomsnittet er konstruert basert på bakgrunn av prosjektutvalget i vedlegg A.

Tabell 6.1: Omsetning og prosjektstørrelser.

Metode	Laveste omsetning		Høyeste omsetning		Gjennomsnittlig Kroner
	Kroner	Prosjekt	Kroner	Prosjekt	
PU-Liner	5 883 717	Nedre Stovner	21 049 626	Furuset PU	11 656 122
Utblokking	1 471 882	Melkeveien	6 542 719	Majorstuen	3 908 654
Graving	10 990 941	Rosenborggata	10 990 941	Rosenborggata	10 990 941

Tilknyttet verdiene for gjennomsnittlig omsetning er det funnet et standardavvik på henholdsvis 5 411 212 kr og 2 276 755 kr for PU-Liner og utblokking. Tallene indikerer store variasjon i prosjektstørrelsen innad i de ulike metodene. Resultatet viser at PU-Liner er en kilde til den største økonomiske inntjeningen.

Gjennomsnittlig omsetning per meter eller inntekt per meter har på tilsvarende måte blitt kartlagt. Verdiene som ble funnet er 3 641 kr (973), 11 862 kr (5 795) og 26 807 kr for henholdsvis PU-Liner, utblokking og graving, der standardavviket er representert i parentesene.

6.1.3 Meterkostnad

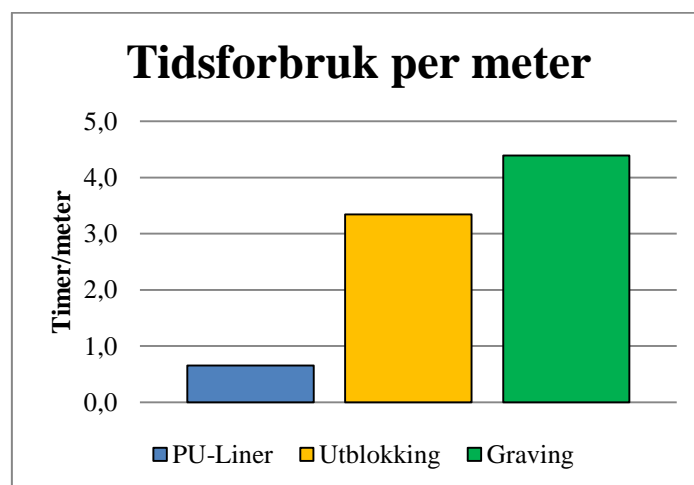
Basert på totale driftskostnader for hvert prosjekt er det konstruert en meterkostnad for alle prosjektene. Kostnaden er funnet ved å dividere total driftskostnad med prosjektets teoretiske ledningslengde i henhold til prosjektkontrakten. Resultatet av utregningene er vist i Tabell 6.2. Kolonene viser henholdsvis metodenes laveste og høyeste meterkostnad med tilhørende prosjekt. Til høyre i tabellen er den gjennomsnittlige meterkostnaden for hver metode gitt, med tilhørende standardavvik på 813 kr for PU-Liner og 5 155 for utblokking.

Tabell 6.2: Kostnad per meter ledning for PU-Liner, utblokking og graving.

Metode	Laveste kostnad		Høyeste kostnad		Gjennomsnitt
	Kroner	Prosjekt	Kroner	Prosjekt	Kroner
PU-Liner	2 070	Østerås	4 556	Belegg Haukenv.	3 018
Utblokking	5 303	Eikskollen	17 359	Melkeveien	10 564
Graving	22 994	Rosenborggata	22 994	Rosenborggata	22 994

6.1.4 Tidsperspektivet

Start- og sluttdato for hvert prosjekt er angitt i NCC sin interne prosjektportal. For å uttrykke et sammenliknbart mål mellom metodene har det blitt konstruert et uttrykk for gjennomsnittlig tidsforbruk i antall timer per meter ledningsreovering for hver reoveringsmetode. Antall dager mellom start og sluttdato har blitt regnet om til antall uker for deretter å bli regnet om til antall arbeidstimer. Det er antatt at en uke består av 7 dager med 40 arbeidstimer i løpet av en uke. Ferier og mengde ressurser, er ikke tatt hensyn til i utregningene. Resultatet er illustrert i Figur 6.2.



Figur 6.2: Gjennomsnittlig tidsforbruk gitt i timer per løpemeter ledning, basert på en 40 timers arbeidsuke.

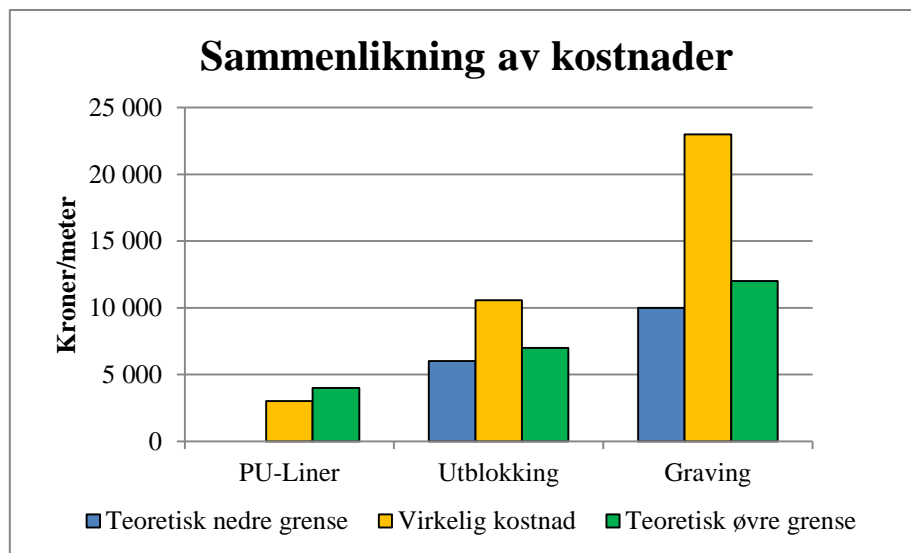
Av figuren kan vi lese at gjennomsnittsverdiene er henholdsvis 0,65 timer/meter (0,29) for PU-Liner, 3,34 timer/meter (3,29) for utblokking og 4,36 timer/meter for konvensjonell graving. Tilhørende standardavvik er gitt i parentesene for PU-Liner og utblokking.

Standardavviket til utblokking er stort, noe som tyder på en stor variasjon i tidsbruken. Ved å studere tidsforbruket til alle utblokkingsprosjektene; Eikskollen (1,67 timer/meter), Blåsen (2,03 timer/meter), Etterstad (1,30 timer/meter), Majorstuen (2,53 timer/meter) og Melkeveien (9,17 timer/meter), ser vi at det siste prosjektet ble gjennomført merkbart tregere enn de andre. En av årsakene vil være at Melkeveien bestod av en kort ledningslengde (76 m), med relativt mang kummer som skulle reoveres (4 stykker). Kumarbeider tar lang tid, noe som medførte en lang reoveringstid i forhold til ledningstraseens lengde (informant 2). Unnlates Melkeveien fra beregningene får vi en gjennomsnittlig tid på 1,88 timer/meter med et standardavvik på 0,52 timer/meter for utblokking.

6.2 Sammenlikning av teoretisk modell og virkelig prosjektdata

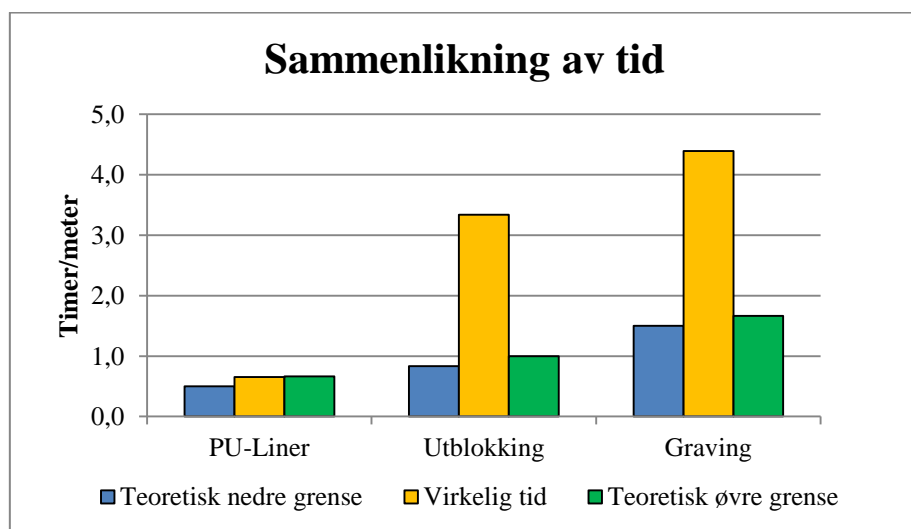
Utprøvelse av den teoretiske modellen utviklet i kapittel 5 har blitt foretatt ved å se de teoretiske verdiene i sammenheng med tall basert på virkelig prosjektdata fra prosjektutvalget. Modellen er testet på kostnader og tidsbruk. De virkelige kostnads- og tidsverdiene er hentet fra henholdsvis Tabell 6.2 og Figur 6.2, mens de teoretiske, nedre og øvre, grenseverdiene er hentet fra avsnittene i kapittel 5.2. Det har ikke vært mulig å gjennomføre en praktisk utprøving av utslippsestimatene på tilsvarende måte.

Resultatet fra sammenlikningene for kostnader og tidsbruk er gitt i Figur 6.3 og Figur 6.4. For modellens kostnadsestimater, viser Figur 6.3, at PU-Liner er det estimatet hvor teoretisk og virkelig kostnad sammenfaller best. Her er de virkelige kostnadene omtrent 1 000 kr lavere per meter sammenliknet med estimatet fra NCC Ledningsreovering. For utblokking og graving, illustrer diagrammet hvordan de virkelige kostandene er markant høyere enn de teoretiske verdiene utarbeidet i fokusgruppen. Her er de virkelige kostnadene ca. 3 500 kr høyere for utblokking og ca. 11 000 kr høyere ved graving, sammenliknet med det teoretiske, øvre kostnadsestimatet. Årsakene til figurens resultat blir drøftet i kapittel 7.



Figur 6.3: Sammenlikning av teoretiske kostnadsintervaller med gjennomsnittsverdier for kostnader basert på studiens prosjektutvalg. Kostnadene er gitt per løpemeter rør.

Figur 6.4 illustrer det tilsvarende bildet for tidsforbruket ved utførelse med de forskjellige metodene PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving. PU-Liner er også her den metoden hvor NCC Ledningsreovering treffer best. Det virkelige tidsforbruket (0,65 timer/meter) er omtrent det samme som den teoretiske, øvre verdien (0,7 timer/meter). For utblokking og graving er derimot det virkelige tidsforbruket betydelig høyere. Her er det virkelige tidsforbruket ca. 2,3 timer/meter høyere for utblokking og omtrent 2,6 timer/meter høyere for graving, sammenliknet med den teoretiske, øvre grensen. Resultatene blir diskutert i kapittel 7.



Figur 6.4: Sammenlikning av teoretiske tidsintervaller med gjennomsnittsverdien for virkelig tidsbruk basert på studiens prosjektutvalg. Tidsbruken er gitt per løpemeter rør.

6.3 Internanalyse

For å gjøre en vurdering av hvorvidt NCC Ledningsreovering har et potensielt konkurransefortrinn ved sine metoder har det blitt gjennomført en VRIN-analyse (se avsnitt 2.4.4). Sett i sammenheng med studiens kontekst er ønsket å vurdere hvorvidt noen av metodene kan være en kilde til et konkurransefortrinn for NCC. Metodene vil av den grunn vurderes som kapabiliteter satt sammen av blant annet teknologi, erfaringer, kunnskap og gjennomføringsevne.

Ved å analysere kapabilitetenes verdi, sjeldenhet, om det er mulig å etterlikne eller kopiere metoden og i hvilken grad det finnes substitutter, kan det vurderes om det finnes et konkurransefortrinn. Resultatet av analysen er oppsummert i Tabell 6.3. Hver metode har hver sin rad innenfor de fire kriteriene som vurderes, «Ja» indikerer at metoden tilfredsstill kriteriet, mens «Nei» betyr at metoden ikke oppfyller kravene som analysen setter.

Tabell 6.3: VRIN-analyse

Kapabilitet	Verdifull	Sjelden	Ikke-imiterbar	Ikke-substituerbar
PU-Liner	Ja	Ja	Ja	Ja
Utblokking	Ja	Nei	Nei	Nei
Tradisjonell graving	Ja	Nei	Nei	Nei

For å avgjøre om det finnes likestilte substitutter til PU-Liner har Tabell 6.4 blitt konstruert. Tabellen sammenlikner NCC sin beleggingsmetode med konkurrentene Olimb, Pipeliner og Kjeldaas sin strømpereoveringsmetode for reovering av hovedvannledninger. Metodene har blitt sammenliknet i forhold til rørdimensjoner, maksimalt ledningsstrek, materialtype, fornyet levetid, om produktet er godkjent av Folkehelseinstituttet, om det er mulig med kum-til-kum reovering, samt styrker og svakheter knyttet til belegging og strømpereovering.

Tabell 6.4: PU-Liner og potensielle substitutter (KjeldaasAS 2016; OlimbAS 2014; PipelinerAS 2016).

Metode	Belegging	Strømperenovering		
Tilbyder	NCC	Olimb AS	Pipeliner AS	Kjeldaas AS
Metodenavn	PU-Liner	Drinking Water Liner	N/A	Primusline
Dimensjoner	DN100-DN500	DN100-DN300	DN75-DN1200	DN150-DN500
Maks lengde	Ca. 135 m	100 m	N/A	2000 m
Renoveringsmateriale	Polyuretan	Helvevd polyestergarn	Tekstilstrømpe av polymerfolie	Polyetylen og kevlar
Økt levetid	50 -100 år	1-2 generasjoner	N/A	50 år
Godkjent av Folkehelseinstituttet	Ja	Ja	Ja	Ja
Kum til kum	Ja	Ja	Ja	Ja
Fordeler	Se kapittel 4.1, på side 29.	«Helt» sluttprodukt uten skjøter og tilfører strukturell styrke til eksisterende ledning. I prinsippet en metode som her helt NoDig.		
Svakheter	Skjøter og tilfører lite strukturell styrke.	Tetter igjen anboringer til stikkledninger som må freses opp. Dette er ekstra arbeid sammenliknet med PU-Liner, men er fortsatt NoDig.		

Installasjonen av strømpene har mange likheter med belegging. Først blir den aktuelle ledning rengjort, tørket og inspisert for så å kartlegge tilstanden til ledningen, samt lokasjonen av eventuelle anboringer. Etter installasjonen vil alle anboringer bli tettet, så disse må håndteres nøyaktig fra entreprenørens side. Olimb løser dette ved først å plugge alle anboringer på ledningstrekingen for så og frese dem opp etter strømpen er installert. Sår i strømpen som oppstår ved fresingen blir forseglest med såkalte hatteløsninger mellom strømpen og stikkledningen. Strømpene har litt forskjellig installasjonsmetode. Olimb folder ut sin ledning litt etter litt med trykkluft og ledningen limer seg til den eksisterende ledningen hele veien (OlimbAS 2011). Kjeldaas derimot trekker ledningen sin gjennom hele røret sammenfoldet, for så å utvide strømpen med trykkluft (KjeldaasAS 2015). Etter installasjonen må ledningene herde i 1-2 dager før videre arbeid kan begynne. Levetiden på den nye ledningen er omtrent tilsvarende PU-Liner, mellom 50-100 år.

6.4 Usikkerhet ved gjennomføring av prosjekter

Avdelingen legger ikke skjul på at det er usikkerhet tilknyttet alle prosjektene som gjennomføres, uavhengig av metode (informant 2). Tidligere prosjekter har bevist at ikke alt går som planlagt. Hovedårsaken til at usikkerhet er vanskelig å kontrollere skyldes at man før prosjektstart har lite informasjon om hvordan de gjeldende forholdene på stedet er.

I planleggingsfasen er det vanskelig å vite hvilke forhold det er i grunnen der ledningen ligger og hva den faktiske tilstanden til ledninger er. Byggherren beskriver ønsket metode de vil at skal gjennomføres, men så er det opp til entreprenøren og avgjøre hvorvidt den lar seg gjennomføre (informant 2). Et eksempel på at prosjekter ikke går som planlagt er det pågående prosjektet i Ullevål Hageby som ble observert. Prosjektet var i utgangspunktet et beleggingsprosjekt, men ledningene fra tidlig 1900-tallet var i for dårlig stand til å sprøytes. Resultatet var at flere strekker måtte blokkes og noen måtte graves. Følgelig har både tids- og kostnadsrammene blitt justert underveis for å tilpasse seg alt det uforutsette (informant 5).

Store deler av transporten av vannet i Oslo- og Bærum befinner seg under veier, i trafikkerte bymiljøer. Det betyr at kommunen skal ha sitt å si i forbindelse med trafikkreguleringer og gravetillatelser. Prosessene kan være tidkrevende og for at prosjektet skal gå som planlagt må følgelig alle tillatelser gå i orden. Nok et eksempel kan hentes fra Ullevål Hageby prosjektet i forbindelse med blokkering av et ledningsstrekke. Her var det nødvendig med en arbeidsgruppe i en nyere etablert miljøgate. Problemet med en miljøgate er at det, i henhold til anleggsleder, ikke er lov til å grave i gaten de første tre årene etter bygging. I påvente av å løse dette problemet oppstod det derfor en forsinkelse i prosjektet.

Til hver metode er det forbundet en metodespesifikk usikkerhet i forbindelse med gjennomføringen. Ved observasjon av PU-Liner, var det for eksempel problemer med sprøytedyse som medførte noe forsinkelse av sprøytingen. Den største usikkerheten er derimot knyttet til heften av materialet, spesielt på rør som har et tidligere bitumenbelegg (informant 2). Rengjøring av ledningen er derfor en sentral prosess. I forbindelse med dekking av rørskjøter har det også vært noen utfordringer med PU-Liner, men det jobbes i dag med å utvikle en sprøytetmasse som legges i skjøter før selve sprøytingen finner sted, for å sikre tilstrekkelig belegging.

Den største risikoen ved utblokkering er at utstyret kan sette seg fast underveis og medføre ekstra oppgravinger. Tidligere renoverte rør kan ha fått installert enkelte skjøtemuffer ved påkoblinger til stikkledninger, som utstyret kan sette seg fast i. Det vil også være en

usikkerhet knyttet til nærliggende infrastruktur dersom vann og avløpsledningen ligger i samme ledningsgrøft. Som nevnt tidligere (avsnitt 4.2), kan dette løses ved å strøppegge naboledningen.

I forhold til konvensjonell graving reduseres mye av usikkerheten ved at man hele tiden har oversikt over hva som ligger i bakken da massene kontinuerlig fjernes. Det gir mulighet for å se alt av eksisterende ledninger på en oversiktlig måte. Til gjengjeld er det viktig å ha nødvendige kabelkart for å unngå skader på deler som ikke skal reoveres. Alt gravearbeid i byer må godkjennes av offentlige etater. Her vil det være en usikkerhet knyttet til om graveplanen er tilfredsstillende. Det samme vil gjelde for sikring av grøfter og trafikkregulering (informant 2).

Forebyggende tiltak for å redusere usikkerheten knyttet til prosjektgjennomføringen er avgjørende. Kilde et al. (2005) vektlegger viktigheten av godt skrevne kontrakter. Tilsvarende er det for NCC Ledningsreovering. De ønsker utfyllende kontrakter med gode mengdebeskrivelser (informant 2). Kontraktene er det ledende dokumentet for prosjekter og viser alt arbeid som skal utføres. Gode beredskapsplaner og tiltak mot uforutsette hendelser vil være betryggende hvis noe uforutsett oppstår under prosjektgjennomføringen.

7 Diskusjon

Kapittel 7 har i hensikt å drøfte oppgavens utviklede modell og resultater. Diskusjonen deles inn i seks deler og begynner med en vurdering av metodikken som er brukt i oppgaven. I den påfølgende hoveddiskusjon blir modellen drøftet i henhold til prosessvalg, usikkerhet og videre utvikling. Følgelig vil det bli gjort noen økonomiske og miljømessige betraktninger på bakgrunn av modellens funn og virkelig prosjektinformasjon. Avslutningsvis vil diskusjonen belyse enkelte samfunnsmessige konsekvenser som kan inntreffe ved ledningsarbeidene, samt gi en vurdering av konkurransesituasjonen i markedet.

7.1 Metodevurdering

7.1.1 Innsamling av data

Oppgaven er skrevet av en student uten tidligere erfaringen innen renovering av rør eller arbeider i forbindelse med ledningsnett. Det har gitt muligheter for opparbeidelse av store mengder ny kunnskap, men kan også ha medført en mangelfull vurdering av problemområdet. Ulleberg (2002) indikerer hvordan vi mennesker kan bli rammet av positivismen og hvilke muligheter vi har for å tilegne oss kunnskap. Tilegning av kunnskap skjer enten gjennom våre sanser eller via vår logiske sans. Studenten har i denne oppgaven måtte gjøre en vurdering av hvilke faktorer og parametere som skal evalueres, samt ta nødvendige antagelser og forhåndsregler. Disse er alle basert på ferske inntrykk og nyervervet kunnskap. Konsekvensen vil kunne være at essensielle faktorer og parametere ikke har blitt tatt i betraktning. Likevel oppfatter studenten at de positive følgene veier opp for dette. Studenten har hatt mulighet til å vurdere et tidligere studert område fra en nøytral synsvinkel uten å ha den samme tilknytningen til bransjen som oppgavens informanter har hatt.

For oppgavens informantutvalg kan det argumenteres for både fordeler og ulemper i forhold til sammensetning, variasjon og størrelse. Fordelene har spesielt vært tilgjengeligheten og tilgangen på ressursene, samtidig som kunnskapen deres bygger på en lang fartstid i bransjen. Et strategisk utvalg av informanter har gjort det mulig å velge informanter på bakgrunn av å samle nødvendig data for å svare på studiens problemstilling (Johannessen et al. 2011).

Potensielle utfordringer ved informantutvalget kan være at deres vurdering av situasjonen har mangel på objektivitet som kan medføre at resultatene er formet av deres subjektive virkelighetsoppfatning. Et homogent utvalg vil samtidig føre til at det er lite variasjon mellom kunnskapen til informantene, da den vil være basert på bakgrunn av mange felles erfaringer.

En annen faktor er informantutvalgets størrelse. I denne studien har gruppen av informanter bestått av et lite antall personer sammenliknet med hva Johannessen et al. (2011) betegner som et tilstrekkelig utvalg. Utvalgets størrelse blir i midlertidig støttet i form av at de har gitt et tilstrekkelig datagrunnlag for å svare på oppgavens problemstilling.

Gjennom egne observasjoner og litteraturstudier har informantenes bidrag blitt styrket da det er mange likhetstrekk mellom de ulike kildene. Det er ingen klare indikasjoner på at den kvalitative informasjonen er begrenset til å belyse problemstillingen kun fra NCC sitt perspektiv. Dataen basert på informantene har derfor blitt oppfattet som en logisk fremstilling av virkelighetsproblemet, men som ved all informasjon så vil det være usikkerhet forbundet med denne. Problematikken i forhold til dataens usikkerhet vil bli drøftet i kapittel 7.2.

Oppgavens kvantitative metoder er innsamling av talldata i forbindelse med prosjekter som tidligere er gjennomført av NCC Ledningsrenovering. Informasjonskildene har i hovedsak vært prosjektkontrakter og økonomiske rapporter. I hvilken grad disse kildene har hatt verdi for studien er en vurderingssak og det stilles derfor spørsmål om kildenes validitet og reliabilitet. Hovedproblemet med prosjektkontraktene er at de bygger på en tiltenkt gjennomføring av prosjektene og det kan være vanskelig å gjøre en analytisk generalisering av informasjonen (Yin 2014). Overførbarheten vil også være en utfordring i forbindelse med de økonomiske sluttrapportene da fokusgruppen avdekket at kostnadsføringen ikke alltid har vært like presis.

Prosjektinformasjonen som har blitt benyttet har vært vurdert som den best tilgjengelige informasjonen. Studien har gjennom hele arbeidet vurdert de utfordringene som har blitt avdekket i forbindelse med datagrunnlaget fra prosjektkontraktene og de økonomiske rapportene.

Oppgaven har hatt et datagrunnlag som er innhentet gjennom ulike kvalitative og kvantitative metoder. Flerkildebevisene vil gi datagrunnlaget en styrket verdi ved at et felles problem er analysert fra ulike innfallsvinkler, såkalt konvergente flerkildebeviser (Yin 2014). Samlet sett vil fremgangsmåten bidra til å styrke resultatenes validitet og reliabilitet. Det legger også et grunnlag for å overføre resultatet til beslektede problemområder på et generelt grunnlag (Johannessen et al. 2011).

7.1.2 Valg av modelltype

Modelltypen er valgt med hensikt å lage en logisk fremstilling av studiens case, basert på den informasjonen som er tilgjengelig. Modellen er bygd opp basert på et teoretisk case og må sies å være en matematisk, statistisk modell i henhold til Evensmo (1990). Den kan i tillegg betegnes som deskriptiv da den forklarer hvilken konsekvens som oppstår ved bruk av de ulike metodene.

Utfordringen blir å vurdere hvilken nytte modellen har når den er tilpasset et spesifikt case som ikke nødvendigvis gir en tilstrekkelig representasjon av virkeligheten. Dersom modellen skal være av verdi for NCC Ledningsreovering vil modellen måtte videreutvikles til å bli en dynamisk og normativ modell der resultatet genererer sikre og troverdige verdier. Da vil modellen kunne brukes ved planlegging og overslagsberegninger ved nye prosjekter. Hvilke tiltak NCC Ledningsreovering kan igangsette for å videreutvikle modellen, vil bli diskutert i avsnitt 7.2.3.

7.1.3 Teoretisk case

Et teoretisk case ble utviklet som grunnlag for modellen. Målet var at det skulle illustrere PU-Liner, utblokking og konvensjonell graving på en representativ måte der utfordringer ved metodene ble tilstrekkelig belyst.

For å illustrere en reell situasjon ble prosjektet lagt til et bymiljø da de største utfordringene oppleves når arbeidet må ta hensyn til eksisterende og utenforliggende parametere, samt annen infrastruktur. Prosjektet er konstruert på bakgrunn av samtaler med NCC Ledningsreovering, egne observasjoner og en helthetsvurdering av ulike litteratur (Ariaratnam & Sihabuddin 2009; Hansen et al. 2010; Rehan & Knight 2007). Litteraturens støtte til valg av vurderingsparametere innenfor de ulike informasjonsområde har bidratt til å styrke casets grunnleggende antagelser da flere uavhengige kilder peket mot et felles sett av kriterier og antagelser (Yin 2014).

En av de større forenklingene i caset er i forbindelse med ekskluderingen av kumarbeider. Disse arbeidene vil i enkelte prosjekter bestå av et stort antall kummer og andre ganger et mindretall kummer. En kum er heller ikke nødvendigvis en kum. De varierer i størrelse, oppbygning, innhold og tilstand, som igjen bidrar til å avgjøre hvilket arbeid som er nødvendig for akkurat den kummen. At kumarbeider er unnlatt fra oppgaven skyldes at det er ønskelig å gjøre en vurdering av selve metodene uten innblanding av arbeider som ikke kan knyttes direkte til metoden.

I forbindelse med ledningsarbeidene er det valgt ledningstrekk på 80 meter. Dette er en kortere avstand enn hva litteraturen har benyttet. Ariaratnam og Sihabuddin (2009) og Hansen et al. (2010) har vurdert ledningslengder på ca. 100 meter, mens Rehan og Knight (2007) analyserte en lengde på 250 meter. Fordelen med lengere ledningslengder er at NoDig metodene kan utnyttes i større grad i forhold til deres kapasitet og rekkevidde. Denne oppgaven studerer vannledninger og har derfor tatt hensyn til at vannkummene er plassert med 70-80 meters mellomrom i et bymiljø, fremfor maksimal utnyttelse av NoDig metodene, da situasjonen virker som en bedre representasjon av virkeligheten.

7.2 Modell

7.2.1 Utforming og valg av prosesser

Modellens mål har vært å fremstille tre ulike parametere ved reovering av hovedvannledninger: forventede kostnader, tidsbruk og miljøutslipp fra de ulike metodene. Kostnader og tidsestimatene i modellen er basert på erfaringer fra NCC Ledningsreovering. Estimaten ble utarbeidet gjennom fokusgruppen og det ble gitt uttrykk for at estimaten vil være omtrentlige verdier tatt i betraktning av et overordnet detaljnivå i caset. Kostnads- og tidsestimatene ble representert som kostnader per løpemeter for hver metode.

For miljøarbeidene finnes det ikke et stort nok bevisgrunnlag til å basere estimaten på erfaringstall. Som konsekvens ble det gjennomført en prosesskartlegging av produksjonen ved de ulike metodene for å analysere hvor og hvilke prosesser som bidro negativt til miljøet. En viktig del av oppgaven har derfor vært å kartlegge hvilke prosesser som har hatt størst betydning i en miljøsammenheng, for å fange essensen i forskjellene mellom NoDig metoder og konvensjonell graving.

I samsvar med Hansen et al. (2010), har det blitt avdekket at utslipp tilknyttet reoveringsarbeider kan overordnet grupperes etter dieselforbruk fra maskiner og utstyr på anleggsplassen, dieselforbruk i forbindelse med massetransport, utslipp fra materialene og til slutt utslippskonsekvenser av kjøremønsterendringen.

For å kartlegge forbruket til maskiner og utstyr i produksjonen har fokuset vært å analysere de prosesser som benytter maskiner og utstyr med lengst driftstid. Valget av en slik metode er gjort på bakgrunn av at dieselforbruket og driftstiden er to parametere som har høy korrelasjon. For å illustrere hvilke prosesser som benytter mest maskiner og utstyr, ble

prosessene gruppert innen følgende kategorier: fellesprosesser, installasjon, gravearbeider og veiarbeider.

Studenten har inntrykk av at de mest avgjørende prosessene innfor kategorien maskiner og utstyr har blitt analysert i modellen, med støtte i litteraturen (Ariaratnam & Sihabuddin 2009; Hansen et al. 2010). Likevel er det flere prosesser som ikke har blitt tatt i betraktning da det har vært lite informasjon og fokus på de aktuelle prosessene. I hovedsak omhandler det utstyr forbundet med sveising av rør, pumping av potensielt grøftevann og nødvendig komprimeringsutstyr ved asfalt og fyllarbeidene. Kompaktorene er delvis vurdert for konvensjonell graving og veiarbeidene, men de er til gjengjeld basert på students antagelser i forhold til driftstiden.

Da litteraturen har gitt lite uttrykk for hvordan massetransporten har blitt vurdert i de ulike studiene, vil denne oppgaven basere utslippene på total tilbakelagt strekning for massetransport. Det vil si avstanden, tur-retur, mellom byggeplass og deponi. På bakgrunn av at lastebilen kjører «hele» turer, har modellen rundet antall turer opp til nærmeste heltall i modellen. Tomgangskjøring ved pålessing av masser ble ansett som et minimalt bidrag i henhold til erfaringer fra en maskinfører, og er derfor ikke vurdert i tallene.

I arbeidet med oppgaven ble det funnet indikasjoner på at materialene som blir benyttet under produksjon kan være en kilde til et betydelig utslipp av klimaskadelige gasser (Hansen et al. 2010). Oppgavens teoretiske case ble derfor utformet for å gjøre en vurdering av potensielle forskjeller i utslippet fra det nye rørmaterialet som ble etablert. Det er ingen tidligere studert litteratur som har gjort en vurdering av materialutslippet da de stort sett har hatt sammenfallende sluttprodukter for NoDig metodene og graving. NCC Ledningsrenovering mener at dersom konvensjonell graving benyttes er det vanligvis nye støpejernsrør som etableres. Dette legges derfor til grunn for at caset benytter PE-rør ved utblokking og støpejernsrør ved graving. Resultatet viser at ved å benytte ulike sluttprodukter vil det bidra til å øke forskjellen mellom NoDig metoder og graving.

En vurdering av livssyklusutslippet til materialet ble ansett som den beste fremstillingen av materialutslippet da alle faser av materialets livsløp blir inkludert i utslippsfaktorene. Fokuset var å vurdere forskjeller i selve rørmaterialet, men det ble senere funnet at flere materialer ville være solide bidragsyttere til det totale utslippet av miljøskadelige gasser. Det resulterte i at utslippet fra asfaltarbeidet også ble vurdert. Utslippene ble ikke slått sammen, da rørmaterialet ble holdt i en egen post og asfaltarbeidene ble inkludert i veiarbeidene.

Hansen et al. (2010) har i tillegg vurdert utslippet fra massene som fylles tilbake, som i hovedsak består av pukk. Dette er ikke vurdert i denne studien, men det gis uttrykk for at parameteren burde vurderes ved videreutvikling av modellen da den utgjør cirka 10 % og 20 % av det totale utslippet for henholdsvis utblokking og graving.

Konsekvensen av kjøremønsterendringen ble vurdert for å undersøke om det genererte noe ekstra utslipp som en følge av reoveringsarbeidene i caset. For å vurdere konsekvensene sto valget mellom å følge metoden beskrevet i Rehan og Knight (2007) eller en modell under utvikling av Statens Vegvesen. Valget falt på Statens Vegvesen sin modell ETSI. Grunnen var at førstnevnte metode var i overkant detaljert i forhold til oppgavens totale formål. ETSI ble vurdert som en hensiktsmessig vurderingsmåte for å kartlegge helhetsbilde. Det ble ikke gjort en vurdering av modellens validitet eller relabilitet da modellen ikke er publisert og i utgangspunktet forbeholdt Statens Vegvesen internt.

Utfordring ved bruk av Statens Vegvesen sin modell var å fremstille caset på en representativ måte. ETSI er selv en forenkling av utviklernes virkelighetsoppfatning og deres bakgrunn er etter all sannsynlighet forskjellig sammenliknet med utvikleren av modellen i denne studien (Evensmo 1990). Oppgavens teoretiske case måtte derfor tilpasses for bruk i ETSI.

Det var ikke mulig å fremstille kjøremønstersscenarioene i caset på en fullstendig, tilfredsstillende måte i forhold til hvordan trafikkreguleringen ville foregått i praksis. Hele veistrekningen A-B i Figur 5.3 ble stengt, noe som ikke nødvendigvis ville vært tilfelle i realiteten. Ideelt ville man bare stengt et mindre område rundt kummen ved PU-Liner og utblokking. Flaggpersontilfellet, fremstilt av Rehan og Knight (2007), ville vært en mer korrekt fremstilling av virkeligheten.

7.2.2 Usikkerhet, utprøving og kvalitetssikring av modellen

I henhold til Kilde et al. (2005) finnes det ikke noe ideelt prosjekt, men det er mulig å gjøre gode tilnærminger så lenge man håndterer usikkerhet på en tilstrekkelig måte. Tidligere diskusjon indikerer at det er betydelig usikkerhet i forbindelse med modellen og følgelig dens resultater. For å kvalitetssikre modellen er det benyttet flere kilder for å belyse problemområdene (Yin 2014).

Kostnadsestimater

Kostnadsestimatene for utblokking og konvensjonell graving er uttrykt ved hjelp av et intervall. Intervallstørrelsen kan betraktes som en usikkerhet opplevd av informantene og vil

illustrere en potensiell fare for variasjon i kostnadene. Størrelsen på intervallene vil i tillegg kunne bidra til å belyse hvilken usikkerhet som er tilknyttet selve utførelsen ved hver metode. For PU-Liner er det kun én kostnad oppgitt, noe som indikerer at informantene føler seg tryggere på estimeringen av PU-Liner sammenliknet med de andre metodene.

At informantene gir minst usikre kostnadsestimater for PU-Liner er ikke så urimelig hvis prosjektutvalget tas til etterretning. De siste fem årene, har PU-Liner stått for den største andelen av prosjektene i porteføljen til avdelingen. Erfaringene fra prosjektene er ervervet i nyere tid og informantene kan derfor føle seg ekstra sikre i henhold til det Mauboussin (2012) omtaler som tilgjengelighet. Mennesker er rasjonelle individer og vektlegger gjerne tilgjengelig og nyere informasjon i sine beslutninger. Tilsvarende tanke kan bidra til å forstå hvorfor graving uttrykker intervallet med størst variasjon, da det kun er utført et graveprosjekt i løpet av den samme perioden.

Ved utarbeidelse av de teoretiske kostnadsestimatene var det kun prosjektkostnader knyttet til renovering av en enkeltstående vannledning, uten kumrenovering, som ble lagt til grunn. Dette er i stor kontrast til de virkelige kostnadene som er benyttet for å sammenlikne og kvalitetssikre kostnadsestimatene. Tall fra den økonomiske sluttrapport vil inneholde alle prosjektkostnader, inkludert eventuelle kum- og avløpsarbeider. Resultat i Figur 6.3 er derfor ikke overraskende. De virkelige kostnadene er relativt mye høyere enn de teoretiske for utblokking og graving, noe som kan spores tilbake til at de virkelige kostnadene omfatter mer enn de teoretiske kostnadsintervallene. Grunnen til at PU-Liner er noe lavere, ganske lik estimatet, kan stamme fra at det ikke alltid er like omfattende kumarbeider ved disse prosjektene og det i utgangspunktet ikke er nødvendig å grave.

I hvilken grad det derfor blir riktig å benytte virkelige prosjektkostnader til å kvalitetssikre et teoretisk estimat vil derfor være en vurderingssak. Et prosjekt er et resultat av unike og komplekse prosesser der omfanget og forutsetningene varierer fra gang til gang (Kloppenborg 2014). Dette gjenspeiles i store standardavvik for både omsetninger, meterkostnader og driftsmarginer (se avsnitt 6.1). For å benytte de virkelige kostnadsestimatene som en kvalitetssikring er man derfor nødt til å gjøre en grundigere vurdering av disse kostnadene. Dersom man klarer å etablere en vektning av det ulike arbeidet tilknyttet et prosjekt vil man potensielt kunne fremstille virkelige kostnader til kun å omfatte det arbeidet som ønskes.

Oppgaven har i stor grad forsøkt å arbeide med NCC Ledningsrenovering sine virkelige kostnader, men har møtt utfordringer knyttet til tallens validitet og relabilitet. Fokusgruppen

avdekket at kostnadene ikke nødvendigvis er ført konsekvent fra prosjekt til prosjekt. For eksempel er felleskostnader ført uten å følge et fast mønster. Det gir kostnadstallene liten troverdighet, spesielt når det heller ikke foreligger informasjon om hva som faktisk ble gjennomført i hvert prosjekt.

Tidsestimater

Tidsestimatene kan i mange tilfeller vurderes tilsvarende som kostnadsestimatene. PU-Liner er også her den metoden som sammenfaller best med de virkelige tallene, hvor årsaken igjen kan være at prosjektene er mindre omfattende og komplekse. Det er veldig mange faktorer som påvirker tidsgjennomføringen av et prosjekt, enten om det er arbeidets omfang eller tilgjengelige ressurser (Kolltveit et al. 2009).

Tidsestimatene er basert på én ukes etablering av byggeplass og tilrettelegging av provisorisk vann for alle metodene, samt én ukes arbeid for veiarbeider og nedrigging av byggeplass ved utblokking og konvensjonell graving. Resten av tidsintervallene indikerer produksjonstiden. Utfordringen med produksjonstiden er at det er mange faktorer som kan være avgjørende for gjennomføringen. Det er ikke nødvendigvis bare faktorer knyttet til arbeidsomfang og ressursbruk, men også uforutsette hendelser som beskrevet i avsnitt 6.4.

Konsekvensen er at det blir utfordrende for informantene å estimere realistiske tidsperspektiver, spesielt med tanke på at caset er utarbeidet på et overordnet detaljnivå. Studenten sitter likevel igjen med at informantene er sikre i sin sak når det gjelder produksjonstidene som er gitt. Usikkerheten er ikke direkte tatt hensyn til i modellens tidsestimater, da det er valgt å benytte det «verste tilfelle», som her er lengst tidsforbruk. En forbedring vil derfor kunne vært å ta høyde for prosjektusikkerheten og vektlegge dette i tidsestimatene.

For å kvalitetssikre tidsestimatene, er det tilsvarende som for kostnadsestimatene, forsøkt å bruke det virkelige tidsforbruket fra prosjektutvalget. De virkelige verdiene vil ha svekket troverdighet i forhold til å kvalitetssikre modellen da de inneholder alt av arbeid som er utført i prosjektet, i motsetning til modellens estimater. Dette kommer tydelig frem i Figur 6.4, der det virkelige tidsbruket for utblokking og graving er mye høyere sammenliknet med det teoretiske intervallets øvre verdi. Tidsbrukens variasjon og usikkerhet illustreres også i det store standardavviket for gjennomføringstiden til metodene, spesielt for utblokking (se avsnitt 6.1.4)

Utslippsestimater

I arbeidet mot en normativ og dynamisk modell i henhold til Evensmo (1990) må usikkerheten vurderes og håndteres på en riktig måte. I forbindelse med miljøberegningene er det gjort en omfattende studie av prosesser og det er mange ulike usikkerhetsaspekter. I fremstillingen av utslippet fra hver metode (se Figur 5.4) er det tydelig at installasjonen og fellesprosessene utgjør lite av det totale utslippet. Usikkerheten her vil derfor være av minst betydning. Likevel er det viktig å poengtere at det vil være usikkerhet knyttet spesielt til antagelsene om tidsforbruket til de ulike maskinene og utstyret ved begge kategoriene, samt deres dieselforbruk. Antagelsene er stort sett basert på flere kilder, noe som styrker estimatenes reliabilitet (Johannessen et al. 2011).

Usikkerheten til gravearbeidene er i hovedsak knyttet til driftstiden til gravemaskinen, som igjen er basert på hvor mye masse som skal flyttes. Vurderingen av gravemaskinen og karakteriseringen av arbeidets tyngde vil også inneholde usikkerhet. Et bevis på at gravearbeidene kan vurderes forskjellig fra studie til studie er «NoDig versus åpen grøft» (Hansen et al. 2010). Rapporten har totalt benyttet en driftstid for gravemaskinen på 0,4 timer/meter ved utblokking og 2,2 timer/meter ved konvensjonell graving. Det er i kontrast til denne studien som har brukt omtrent 0,4 timer/meter ved utblokking og 1,2 timer/meter ved graving.

Den store forskjellen i bruk av gravemaskin ved konvensjonell graving kan spores tilbake til at Hansen et al. (2010) vurderer et prosjekt med flere omfattende kumarbeider som vil kreve betydelig hjelp fra gravemaskinen. I tillegg har det vurderte prosjektet benyttet et bredere grøftetverrsnitt i overflaten, i motsetning til denne studiens teoretiske case som har benyttet grøfttekasser. Det medfører mer masse som må graves vekk per meter byggegrøp.

Massetransporten i denne studien er vurdert på bakgrunn av prosjektet Ullevål Hageby del 2. Fordelingen etter tilstandsklasse er basert på erfaringstall fra prosjektet og er ikke nødvendigvis en god representasjon av en generell virkelighet. Grunnforholdene vil variere avhengig av lokasjonen til prosjektet. For å gjøre massefordelingen mindre usikker kan man sette fordelingen som en input-parameter som justeres fra prosjekt til prosjekt. Hvis ikke må man etablere et større datagrunnlag for så å gjøre en statistisk avveining og lage et estimat som statistisk kan generaliseres (Johannessen et al. 2011).

Usikkerheten til det ekstra genererte utslippet forårsaket av kjøremønsterendringen vil være knyttet direkte til at verktøyet, ETSI, er under utvikling og ikke tilstrekkelig verifisert.

Utfordringene ved å fremstille caset i modellen vil også bidra til økt usikkerhet i forhold til hvor godt virkeligheten kan uttrykkes i modellen.

ETSI gir en indikasjon på at konsekvensene er større ved å stenge et felt i motsetning til å stenge hele veien, under tilsvarende forhold som er benyttet i caset. Det tyder på at trafikken blir mer påvirket av en delvis omkjøring fremfor en total omkjøring. Disse observasjonene gjør at utblokking blir straffet hardt sammenliknet med konvensjonell graving. For å illustrere usikkerheten tilknyttet ETSI, har vedlegg H, presentert det totale utslippet fra metodene uten vurderingen fra ETSI. Resultatet er at PU-Liner og utblokking vil medføre en reduksjon i utslipp av CO₂-ekvivalenter på henholdsvis 94 % og 68 % sammenliknet med konvensjonell graving. Disse besparelsene er mer sammenfallende med resultatene fra studert øvrig litteratur.

Vearbeider inneholder usikkerhet da det er vanskelig å gjøre en eksakt vurdering av tidsforbruket til maskinene i drift. Måten arbeidene ble håndtert på var i henhold til Telle (2015) for konvensjonell graving, som deretter ble nedskalert til å gjelde for utblokking. Vurderingen inneholder noen egne antagelser, men på bakgrunn av at maskinutslippet er en minimal del av veiarbeidernes utslipp ansees dette som en tilstrekkelig tilnærming på nåværende tidspunkt. Resultatet viser tydelig at det er livssyklusutslippet til asfalten som står for omtrent 98 % av utslippet fra veiarbeidene for både utblokking og graving.

For å kvalitetssikre utslippsestimatene ville det mest ideelle vært å foreta målinger av utslipp i et reelt prosjekt. Det har ikke vært mulig i denne studien som medfører at kvalitetssikringen vil bli basert på funn i tilsvarende litteratur. Resultatet i oppgavens beregningsmodell gir at PU-Liner kan føre til en reduksjon på 92 % av CO₂-ekvivalenter og tilsvarende reduksjon på 63 % for utblokking sammenliknet med bruk av konvensjonell graving. PU-Liner viser en meget god miljøbesparelse, noe som samsvarer med litteraturen, mens utblokking presterer noe lavere enn tidligere funn (Ariaratnam & Sihabuddin 2009; Hansen et al. 2010; Rehan & Knight 2007).

Litteraturen gjør det vanskelig å gjøre en vurdering av hvor forskjellene ligger da ikke alle studiene gir en like god innsikt i hvilke metoder eller prosesser som inngår i deres beregninger, men det er naturlig at deler av årsakene kan forklares ut i fra studienes omfang og virkelighetsoppfatningen til utvikleren (Evensmo 1990). Håndteringen av gravearbeider vil utgjøre en betydelig forskjell mellom studiene da den relative størrelsesforskjellen mellom spesielt utblokking og graving er forskjellig (Hansen et al. 2010).

I henhold til litteraturen som har blitt lagt til grunn for denne studien, er denne oppgaven den mest komplekse i henhold til valg av områder for vurdering av de miljømessige utslippene. Det kan også være årsaken til at spesielt utblokking gjør det dårligere. Vi ser blant annet at utslippet per meter ledning er betydelig mindre enn utslippet per meter ledning i rapporten til Hansen et al. (2010), noe som kan spores tilbake til at blant annet faktorer som rørmaterialet eller trafikkendringen ikke er tatt med i studiens vurderinger.

7.2.3 Videreutvikling av modellen

Studiens modell er ikke ferdigutviklet, men befinner seg i en utprøvningsfase hvor vi søker forbedringer (Evensmo 1990). Et slikt tankesett er en vanlig tankegang i forbindelse med prosjektteori og kvalitetsforbedring. Rose (2005) presenterer en velkjent modell for å sikre kontinuerlig forbedring i et prosjekt, «plan-do-check-act» syklusen, som indikerer at vi må tilbake til planleggingsfasen i det videre arbeidet. For å styrke modellens validitet, reliabilitet og kvalitet vil derfor et nøkkelkriterium være å få tak i den *riktige* informasjonen til bruk i beregningene.

For å forbedre modellen bør det etableres et datagrunnlag som har en styrket verdi og pålitelighet sammenliknet med det som eksisterer i dag. For å gjøre det mulig med en god styring av prosjektdata må det etableres et systematisk rammeverk for registrering av kostnader og tidsbruk i forhold til prosessene i produksjonen.

Etter konsernets omorganisering i januar 2016, ble NCC Ledningsreovering en del av en nordisk enhet. Det har medført at avdelingen må strukturere kostnadsføringen i større grad, i samsvar med virksomhetens retningslinjer. Det vil derfor være et egnet tidspunkt for å implementere et spesifikt rammeverk for registrering av data med tanke på å videreutvikle modellen.

Prosjektdataene som innhentes bør omfatte kostnader-, tids- og miljøfaktorer. Studenten mener at en mulighet vil være å etablere et sett med prosesskategorier som kan brukes felles for både kostnads- og tidsregistreringen. I Tabell 7.1 har et forslag til prosesskategorier blitt presentert med tilhørende prosessinnhold. Innholdet er basert på studentens egne oppfatninger og innholdet i studerte prosjektkontraktene. Det er tiltenkt at prosesskategoriene skal samsvare med miljøberegningene og sammenfaller derfor i stor grad med prosessene som er brukt i modellens miljøregnskap. Det er tiltenkt at gravearbeidene, innkjøp av materialer, samt leie av maskiner, inkluderes i de ulike kategoriene avhengig av hvilken prosess som bruker det respektive utstyret.

Tabell 7.1: Rammeverk for kategorisering av prosesser for kostnads- og tidsregistrering.

Kategori	Forslag til prosesser
Riggkostnader	Etablering, drift og nedrigging av anleggsplass, administrasjonskostnader, forsikringer og provisjoner.
Provisoriske løsninger	Etablering og nedrigging av provisorisk vann og avløp.
Trafikksikring	Trafikksikring for myke og harde trafikanter.
Spyling/rengjøring	Spyling, rengjøring og tørking av rør, samt eventuelt borttransportering av spylevann.
Inspeksjoner og dokumentering	Forkontroll, etterkontroll, videodokumentasjon, arbeidsstikning og oppmåling.
Installasjon	<u>PU-Liner</u> : sprøyting av FLP og nødvendige tilleggsprosesser. <u>Utblokkning</u> : Etablering av nødvendige arbeidsgroper, innføring av trekkerør, utblokkning, sikring av naboledning. <u>Graving</u> : etablering av grøftekasser og arbeidsgrop, fjerning av eksisterende rør, nødvendig kabelsikring, installasjon av nytt rør.
Stikkledninger	Korrosjonsfjerning, oppgraving og tilbakefylling.
Kumarbeider	Registrering, fjerning, ombygging og utskifting av deler.
Masser/massetransport	Massetransport og innkjøp av nye masser.
Etterarbeider	Veiarbeider og overflatearbeider.

Utviklingen av et slikt rammeverk kan vurderes som en strategi for hvordan man skal håndtere informasjon og prosjektdata. En av de større utfordringene vil derfor være hvordan man skal implementere strategien til å fungere i den daglige driften (Hoff et al. 2015).

Avdelingen har arbeidet på sine premisser over en lang periode og en implementering av større endringer vil derfor være utfordrende. Et nytt system må derfor utvikles med tanke på brukergrensesnittet og ikke medføre ekstra arbeid for den enkelte medarbeider.

Virksomhetens kostnader føres fra prosjekt til prosjekt og registreres i et regnskapsprogram med fastsatte kontoplaner. I tillegg gir systemet mulighet for bruk av underkontoer. Disse kan defineres i henhold til avdelingens ønsker gjennom for eksempel kategoriene foreslått i Tabell 7.1. Da vil avdelingen kunne hente ut statistikk basert på underkontoene og få frem informasjon med stor nytteverdi for videreutvikling av modellen. Dette er ikke en helt ny tanke for avdelingen, da de i dag bruker egne resursskontoer for registrering av utgifter i strømperenoveringsprosjekter. Nå har man derimot mulighet til å implementere samme tankesett for alle metodene.

Når det gjelder registrering av tidsbruk må hver prosess nøye kontrolleres i forhold til fremdrift og medgåtte timer. Det vil være avgjørende at yrkesarbeidere og funksjonærer på

anleggsplassene har et system for registrering av sine timer i henhold til hvilken prosess de arbeider med. Per i dag foregår dette ved at de timesansatte registrerer timene i henhold til prosesskoder på sine respektive timelister. Disse blir deretter registrert inn i systemene av en tredjepart (informant 3). På grunn av studiens omfang har det ikke vært mulig å gjennomføre en vurdering av hvordan dagens system fungerer, men studenten mener det kan være mye å hente på dette området. Ved å etablere et enkelt system for timeregistrering på byggeplassen vil det kunne bidra til å kartlegge hvor mange timer som medgår i hver prosess, men ikke minst være et grunnlag for å gjennomføre driftsoptimaliserende tiltak og videreutvikling av modellen. Ved at alle ressurser blir registret basert på antall timer, vil estimatene bli mer nøyaktige sammenliknet med denne modellens tidsestimater, som baseres på antall dager og ikke tar hensyn til ressursbruken i prosjektene.

Utviklingen av miljøberegningene vil basere seg på utviklingen av tidsestimatene da utslippet blant annet avhenger av driftstid på maskiner og utstyr. For miljøberegningene vil også en verifisering av utslippstallene gjennom målinger og observasjoner bidra i utviklingen av tallens verdi og troverdighet. Den mest usikre miljøparameteren vil være knyttet til tallene fra ETSI. For at disse skal videreutvikles må det opprettholdes en god dialog med Statens Vegvesen slik at deres utprøvelser og utvikling av modellen vil bli tilgjengelig for avdelingen. En annen parameter som bør videreutvikles er som tidligere nevnt forholdet mellom massefordelingen etter respektive tilstandsklasser (avsnitt 7.2.2).

I utviklingen av modellen har det ikke blitt foretatt en vurdering i forhold til om enkelte av parameterne burde vektas. Her er det et stort potensiale med tanke på videreutvikling av modellen. Prosjektene til avdelingen er ofte kompliserte og vil kunne bestå av ulike utførelsesteknikker. Dataen må derfor først og fremst vektas i forhold til hvilken metode som har blitt bruk ved sammensatte prosjekter. I tillegg kan prosjektene være sammensatte i forhold til om arbeidet utføres på vann- eller avløpsledningen. Enkelte metoder kan bare brukes på vannledningen (PU-Liner), mens noen brukes bare på avløpsledninger (strømper). Det vil også være metoder som utføres på begge ledningstyper (utblokking). I begge tilfeller vil det være mulig å vekte hvilken relativ andel metoden eller ledningstype, utgjør av den totale ledningslengden på prosjektet.

Det er viktig at avdelingen systematiserer all informasjon som kan knyttes til de ulike prosjektene. Et godt tiltak vil være å tilpasse NCCs prosjektportal for avdelingen og etablere den som et verktøy i den daglige driften. Arbeidet med dette er igangsatt og skal etter planen

innføres fra og med 2017. I tillegg mener studenten at avdelingen kan dra nytte av å utarbeide et «business case» eller en prosjektstrategiplan for de enkelte prosjektene (Kloppenborg 2014; Kolltveit et al. 2009). Et slikt dokument vil gjøre det enklere å kommunisere strategien og setter klare retningslinjer for prosjektene med tanke på mål, delmål, prioriteringer og rollefordeling. En tydelig rollefordeling vil gjenspeile en ansvarsfordeling blant annet i forhold til hvem som er ansvarlige for innhenting av ulike typer informasjon.

Kontinuerlig oppfølging og kontroll i henhold til fremdriftsplaner, med gode avviksrutiner for å registrere endringer i kontrakten, vil være viktig for avdelingen (Kloppenborg 2014). De gir i dag uttrykk for at det er lite faste rutiner, noe som strider i mot en effektiv prosjektgjennomføring (Kolltveit et al. 2009). Ved prosjektslutt bør avdelingen utarbeide sluttrapporter med informasjon knyttet til erfaringsoverføringer fra prosjekt til prosjekt, samt hvilket reelt arbeid som har blitt utført ved det enkelte prosjektet.

I tillegg til et datagrunnlag, består en modell av inputparametere, en regneteknisk del, samt et sett med outputparametere. Den regnetekniske delen vil nok fortsette å bestå av relativt grunnleggende matematiske sammenhenger. Når det gjelder input- og outputparameterne vil disse derimot kunne forandres avhengig av hva som ønskes fremstilt i sluttproduktet. Det vil derfor være viktig å gjøre vurderinger om man ønsker å belyse andre sider ved ledningsrenoveringen enn dagens modell. Hansen et al. (2010) introduserer flere områder som kan bli tatt i betraktning slik som arealbruk, støy og energibruk. I tillegg vil man kunne vurdere samfunnsmessige konsekvenser som helse- og sikkerhet, boforhold, støv og luftforurensning. Resultatene indikerer også at samarbeider bør inkluderes i den fremtidige modellen da det utgjør en stor del av prosjektenes ressurs-, tids- og kostnadsbruk.

Avslutningsvis i modelldiskusjonen ønsker studenten å uttrykke at denne oppgaven er vurdert i et relativt lite perspektiv på grunn av studiens omfang, den begrensede litteraturen og samarbeidssituasjonen med NCC. I videre arbeid med modellen kan det være en fordel å inkludere andre entreprenører for å fremskaffe helheten og vurdere metodene fra et bransjeperspektiv fremfor et bedriftsperspektiv. Det vil også kunne være interessant å se problemstillingen i lyset av andre industrier og se hvorvidt avdelingen kan bruke erfaringer fra for eksempel andre produksjonsbedrifter utenfor bygg- og anleggsbransjen.

7.3 Økonomiske betraktninger

I tidligere diskusjon har kostnadene til NCC Ledningsreovering blitt vurdert, men det er ikke tatt stilling til i hvilken grad avdelingen kan karakteriseres som lønnsom. Driftsmarginene til avdelingens prosjekter er god sammenliknet med konsernets overordnede strategiske mål om en driftsmargin på minimum 4 % (avsnitt 6.1.1). Til gjengjeld utgjør avdelingens resultat lite av totalen, men den bidrar på en positiv måte til helheten. I hovedsak blir det hensiktsmessig å se på PU-Liner og utblokking, da det kun er utført ett prosjekt med graving.

Belegging sørger for gode driftsmarginer (Figur 6.1). Resultatene er også de høyeste i reelle kroner da prosjektene ved bruk av PU-Liner har en større omsetning sammenliknet med utblokking (Tabell 6.1). Årsaken til at PU-Liner gjør det så bra kan spores tilbake til konkurransesituasjonen, der konkurransen ved bruk av PU-Liner er liten sammenliknet med utblokking (avsnitt 7.6). NCC Ledningsreovering må derfor tilpasse seg markedet i større grad ved utblokking enn ved bruk av PU-Liner, noe som gjenspeiles i driftsmarginene.

Et annet funn i driftsmarginene er en potensiell trend i belegningsprosjektene. Alle de fire prosjektene som befinner seg over gjennomsnittlig driftsmargin er de med lengst ledningslengde. Det kan indikere at det er snakk om startkostnader, som gjør at mengdeproduksjon blir mer lønnsomt. Startkostnader kan for eksempel være kostnader knyttet til prosesser som er uavhengige av prosjektstørrelsen, som etablering av anleggsriggen. Omsider vil det være vanskelig å trekke en statistisk, signifikant slutning av resultatene på bakgrunn av det begrensede prosjektutvalget.

Tilsvarende for utblokkinger er det funnet at de mest lønnsomme prosjektene er de med en ledningslengde mellom 250-400 meter. Prosjektene som har hatt lenger eller kortere ledningslengde, har gitt et dårligere resultat. En utfordring med utblokkingsprosjektene er at de kan kreve mer administrasjonskostnader på bakgrunn av at underentreprenører (UE) involveres i større grad. Bruk av UE vil kunne øke usikkerheten i prosjektene da det ikke alltid er like gode kunnskap om underentreprenørene som benyttes (Kolltveit et al. 2009).

7.4 Miljøbetraktninger

Studiens modell indikerer tydelig at det finnes store miljømessige besparelser ved å velge NoDig metoder for ledningsrenovering sammenliknet med konvensjonell graving. I det store bilde vil PU-Liner og utblokking også samsvare med NCC sin bærekraftfilosofi. Fordelene knyttet til kostnads- og tidsbesparelse underbygger det økonomiske bærekraftaspektet, mens reduksjon i utslipp støtter fullt oppunder en økologisk bærekraft (Brundtland & Dahl 1987). Når det gjelder sosial bærekraft vil NoDig metoder også bidra på dette feltet ved at en reduksjon av gravearbeider vil redusere trafikale og samfunnsmessige konsekvenser. Det bidrar til blant annet mindre helserisiko knyttet til anleggsarbeidet og et tryggere arbeidsmiljø (NCC 2015).

PU-Liner er et resultat av mange års arbeid og et godt eksempel på at teknologi kan bidra til en positiv bærekraftig utvikling (Undheim & Fixdal 2005). Gjennom ledningsrenovering med NoDig metoder vil vi på en effektiv og miljøvennlige måte bidra til å forbedre vanntransporten og sørge for en god vannkvalitet (Enander et al. 2014). Et forbedret ledningsnettverk vil redusere det store lekkasjetallet og bidra til en reduksjon av vannbruken, samt energiforbruket. I Norge har vi nok råvann i dag, men vi må ikke ta for gitt at det vil være slik for alltid. Det er allerede flere land i verden som sliter med tilgangen på råvann. Kan vi redusere vårt vannforbruk, vil kanskje teknologi i fremtiden kunne frakte rent vann effektivt rundt i verden.

Enander et al. (2014) legger vekt på at bærekraft må settes i fokus og bli attraktivt for entreprenørene. I den sammenheng spiller bransjen som helhet og byggherrene en viktig rolle. I dag er det lite totalentrepriser i forbindelse med ledningsrenovering (informant 2). Det betyr at byggherren har store påvirkningsmuligheter i forbindelse med prosjekteringen. Legges det vekt på miljø, både i valg av metode og gjennom utførelsen, blir entreprenørene nødt til å tilpasse seg markedet og levere bærekraftige løsninger.

Anleggsbransjen kan utnytte erfaringer fra byggebransjen gjennom bransjens økende miljøfokus de siste årene. BREEAM miljøsertifisering har vært en positiv faktor i forbindelse med etablering av nye byggverk. Her stilles det blant annet strenge krav innenfor en rekke områder som skal sørge for et miljøvennlig bygg (BREEAM-NOR 2015). Det må etableres prestisje knyttet til en god miljødrift og informasjon om miljø og bærekraft må ut til alle ledd for å få til en bærekraftig utbygging av ledningsnettverket i Norge (Enander et al. 2014).

7.5 Samfunnsmessige betraktninger

Bygg- og anleggsarbeider vil alltid kunne påvirke samfunnet og lokalmiljøet rundt byggeplassen. I hvilken grad prosjekter påvirker omgivelse er i stor grad variabel og valg av utførelsesmetodene vil være avgjørende for plassbruken og derav hvordan samfunnet vil oppleve arbeidene.

Ved stort sett alle ledningsreoveringsprosjekter vil provisorisk vanntilførsel og eventuelt avløp være nødvendig. Dette medfører at forbrukere må kobles over på den provisoriske løsningen. Konsekvensene for brukeren av systemet kan være at kunden er uten vann i 2-3 timer, mens rørlegger kobler om ledningssystemet. Kunden kan i enkelte tilfeller oppleve at trykket i ledningsnettet vil være noe dårligere når det er koblet til et provisorisk nettverk. I hvor stor grad forbrukeren føler seg plaget av dette vil være en subjektiv vurdering.

Tidsperspektivet for hvor lenge en forbruker må være koblet til en provisorisk løsning er veldig prosjektavhengig, men det oppgis til kunde at «normal» tid er mellom 6-8 uker (informant 6). Kobling til provisorisk vann vil være nødvendig for alle metoder, men som det er vist vil tidsperspektivet mellom metodene variere da prosjekttiden blir lenger i stigende rekkefølge fra PU-Liner, utblokking og graving.

I tillegg vil forbruker kunne sjeneres av arbeider som foregår i tettbebygde strøk. Det kan være snakk om støy, forurensning, anleggstrafikk og avsperrede områder. Forbruker vil kunne oppleve at arbeiderne reduserer flyten i hverdagen og situasjoner som oppfattes negativt kan oppstå. I midlertidig vil konsekvensene igjen være veldig prosjektavhengig. Lokasjon, bebyggelse, terreng og reoveringsmetode vil være avgjørende faktorer. I sammenheng med analysene foretatt i denne studien vil påvirkningen og potensielle negative konsekvenser være minst ved PU-Liner og størst ved graving. Utblokking vil befinne seg et sted mellom disse.

7.6 Konkurransesituasjonen

Resultatene fra internanalysen i avsnitt 6.3, viser at det er liten sannsynlighet for at NCC kan ha noe konkurransefortrinn ved gjennomføring av utblokking og konvensjonell graving.

Hovedårsaken er at det finnes mange aktører som kan tilby de samme tjenestene. Ser man derimot på PU-Liner, så viser Tabell 6.3 at metoden kan være en kilde til et konkurransefortrinn da «ja» kan plasseres under hvert vurderingskriterium. PU-Liner har vist seg å være verdifull for NCC ved at metoden generer gode driftsmarginene, samtidig som prosjektene har den største omsetningen. Metoden er sjelden da det ikke finnes andre tilbydere av produktet på et nasjonalt nivå.

Spørsmålet om hvorvidt PU-Liner kan vurderes som en ikke-kopierbar ressurs er derimot en diskusjonssak. Metoden i seg selv utføres i flere land og kan prinsipielt kopieres. Det er sammensetningen av metoden, utstyret, erfaringene og mannskapet NCC har som gjør at metoden har blitt vurdert til å være ikke-imiterbar. Metoden er utviklet over lang tid, det er utviklet en egen sprøyteteknologi og gjennomført nøye vurdering av sprøytet materialet (informant 4). Utfordringen for andre aktører i Norge vil blant annet være å få et tilsvarende sprøytet materiale godkjent av Folkehelseinstituttet og finne en leverandør med konkurransedyktige innkjøpspriser. Følgelig vil det være vanskelig for et firma å kopiere metoden på kortsikt.

Den mest krevende vurderingen er å avgjøre om det finnes noen fullverdige substitutter til PU-Liner. I dag er det ingen andre tilbydere av belegging, men det finnes flere leverandører av en alternativ metode. Strømperenovering har tidligere vært forbeholdt avløpsledningen, men Olimb, Kjeldaas og Pipeliner har nå strømper som er godkjent for bruk i drikkevannsledninger (se Tabell 6.4). Hovedforskjellene mellom metodene er at strømperenovering vil ha noe lengere installasjonstid, med tanke på herding av strømmen, samt at det er tilknyttet mer arbeid i forbindelse med stikkledningene. Fordelene ved strømperenoveringen, i tillegg til forlenget levetid, er at rørets strukturelle styrke forbedres (KjeldaasAS 2015; OlimbAS 2011; PipelinerAS 2016).

Vurderingen av konkurransesituasjonen i henhold til Barney (1991) og Collis og Montgomery (1995) vil være en subjektiv vurdering av kriteriene. I denne studien er PU-Liner vurdert slik at det kan være en kilde til et konkurransefortrinn for NCC. Varigheten av konkurransefortrinn vil være avhengig av utviklingen i markedet og andre aktørers produkter. Det vil være viktig at NCC Ledningsrenovering vurderer om de må tilpasse seg markedet for å opprettholde en god omsetning og høye driftsmarginer ved bruk av PU-Liner. Videreutvikling av PU-Liner vil være viktig for å utkonkurrere aktører på markedet da strømperenovering potensielt vil kunne overta markedsandeler.

8 Konklusjon

Denne studiens problemstilling har blitt besvart gjennom utviklingen av en teoretisk modell for å illustrere besparelser knyttet til kostnader, tidsbruk og utslipp av klimaskadelige gasser ved bruk av NoDig metoder for renovering av hovedvannledninger. Modellen er basert på et teoretisk case og sammenlikner NoDig metodene PU-Liner og utblokking, med konvensjonell graving.

Modellen inneholder flere antagelser, samt forenklinger og er et resultat av utviklerens virkelighetsoppfatning. Gjennom diskusjonen drøftes modellens styrker, svakheter og usikkerhetsmomenter. Diskusjonens bemerkelser bør vurderes inn i det videre arbeidet i å utvikle en normativ og dynamisk modell som kan benyttes til overslagsberegninger i daglig drift.

Studenten mener det viktigste arbeidet i videreutviklingen av modellen er knyttet til datagrunnlaget, spesielt forbundet med kostnader- og tidsregistrering. Det bør utarbeides et felles rammeverk for registrering av data for alle metodene avdelingen tilbyr slik at et felles sammenlikningsgrunnlag etableres. I tillegg vil en inkludering av kumarbeider og nødvendige vektingsparametere kunne bidra til å styrke modellens gyldighet og troverdighet, som til slutt vil øke modellens nytteverdi for NCC Ledningsrenovering.

Modellens resultater indikerer at bruk av NoDig metoder, vil medføre markante reduksjoner av kostnader, tidsbruk og klimagassutslipp. Resultater fra oppgavens teoretiske case viser en besparelse, innenfor de respektive områdene, på henholdsvis 67 %, 60 % og 92 % for PU-Liner og 42 %, 40 % og 63 % for utblokking, sammenliknet med konvensjonell graving. Resultatenes nøyaktighet har blitt drøftet, men de er i midlertidig i godt samsvar med øvrig studert litteratur.

Tidligere resultater viser at NoDig metodene er lønnsomme for NCC, men de vil også være meget gunstige for samfunnet som helhet, sammenliknet med konvensjonell graving. Metodene opptar mindre plass, reduserer trafikkpåvirkningen og bidrar til å redusere forstyrrelser på lokalsamfunnet og dets beboere. For NCC Ledningsrenovering vil det være viktig å følge med i utviklingen av markedet og hele tiden utvikle sine tjenester, som PU-Liner, da konkurransesituasjonen stadig blir mer utfordrende.

NoDig har kommet for å bli og metodene vil være et godt bidrag for NCC i kampen om å levere «de beste bærekraftige løsningene».

9 Referanser

- Amundsen, E. S., Asheim, G. B., Moxnes, E. & Sandvik, B. (1991). Hva er bærekraftig utvikling? *Sosialøkonomen* (Nr. 3, Årg. 45).
- Ariaratnam, S. T. & Sihabuddin, S. S. (2009). Comparison of Emitted Emissions Between Trenchless Pipe Replacement and Open Cut Utility Construction. *Journal of Green Building*, 4 (2): 126-140.
- AsplanViak. (2009). NoDig-metoder for hovedledninger - Metodeoversikt Nr. 90. *Stiftelsen VA/Miljø-blad*.
- AsplanViak. (2010). Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse Nr. 97. *Stiftelsen VA/Miljø-blad*.
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17 (1): 99.
- Benestad, R., Harstveit, K. E. & Fuglestad, J. S. (2015). *Klimaendringer: Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/klimaendringer> (lest 4.2.2016 Kl. 14.40).
- Berntsen, G. (2008). Bituminøse dekker og bærelag. *PP-presentasjon, Statens Vegvesen*. : Vegdirektoratet/HiN
- BREEAM-NOR. (2015). *Hva er BREEAM?* Tilgjengelig fra: <http://ngbc.no/breem-nor/> (lest 28.4.2016 Kl. 13.00).
- Brundtland, G. H. & Dahl, O. (1987). *Vår felles framtid*. Our common future. Oslo: Tiden norsk forlag.
- CircularEcology. (2015). *Embodied energy and carbon - The ICE database*. Tilgjengelig fra: <http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html#.VyB0bE3Vz4g> (lest 27.4.2016 Kl. 10.15).
- Collis, D. J. & Montgomery, C. A. (1995). Competing in Resources. *Harvard Business Review*: 118-128.
- DSB. §120. *egenvekt av bygningsmaterialer*: Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap. Tilgjengelig fra: <http://www.dsb.no/nn/Rettskilder/Regelverk/Oppslagsverket/3906/3907/6022/6162/6163/6164/> (lest 8.5.2016 Kl. 16.00).
- Enander, L., Fjeldhus, K. & Gyllenhammer, A. (2014). Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene, 205-2015: Norsk Vann.
- Evensmo, J. (1990). *Kvantitative metoder : analyse og simulering av økonomisk/administrative modeller*. Oslo: Tano.
- Folkehelseinstituttet. (2004). Vannforsyningens ABC. Kapittel E- Vannforsyningsnett.
- Fossum, G. (2012). Duktile støpejernsrør EN 545:2010 NS-EN545: SG PAM Norge.

- Griffin, J. (2008). Carbon Calculator Determines Trenchless Benefits. *Underground Construction*, 63 (7): 20.
- Hansen, G. H., Jakobsen, G., Hanserud, O. S., Hansen, A. & Sørtdahl, N. (2010). NoDig versus åpen grøft. I: Asplan Viak, P. K., Norsk Vann, SSTT (red.): Asplan Viak.
- HatzDiesel. (2015). Datasheet 3L41C.
- Hillier, F. S. & Hillier, M. S. (2014). *Introduction to management science : a modeling and case studies approach with spreadsheets*. Fifth edition. utg. New York, NY: McGraw-Hill. xx, 618 pages s.
- Hoff, K. G., Voldsund, T. & Hansen, S. K. (2012). *Analyse av finansregnskapet*: Universitetsforlaget AS.
- Hoff, K. G., Holving, P. A., Metliaas, G. & Gupta, A. (2015). *Balansert Målstyring Strategisk Virksomhetsstyring Satt I System*: Universitetsforlaget.
- Johannessen, A., Christoffersen, L. & Tufte, P. A. (2011). *Forskningsmetode for økonomisk-administrative fag*. 3. utg. utg. Oslo: Abstrakt forl.
- Jones, D. C. (2015). *Embodied carbon assessment*. Tilgjengelig fra: <http://www.circularecology.com/embodied-carbon.html> (lest 18.4.2016 Kl. 9.30).
- Kilde, H. S., Husby, O., Klakegg, O. J., Torp, O., Berntsen, S. R. & Samset, K. (2005). *Usikkerhet som gevinst, styring av usikkerhet i prosjekter*. 3 utg. NTNU.
- KjeldaasAS. (2015). "No dig" Primus Line - Kjeldaas AS. Tilgjengelig fra: <http://www.kjeldaas-as.no/tjenester/no-dig-roerfornyng/rehabilitering-vannledning/> (lest 8.5.2016 Kl. 14.00).
- KjeldaasAS. (2016). *No Dig - Rørfornyng*. Tilgjengelig fra: <http://www.kjeldaas-as.no/tjenester/no-dig-roerfornyng/> (lest 8.5.2016 Kl. 12.00).
- Klima- & miljødepartementet. (2014). *Klimaforliket*: Regjeringen. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/> (lest 4.2.2016 Kl. 09.50).
- Kloppenborg, T. J. (2014). *Contemporary project management*. 3rd Ed. utg. Mason, OH: Cengage Learning. pages cm s.
- Kolltveit, B. J., Lereim, J. & Reve, T. (2009). *Prosjekt - strategi, organisering, ledelse og gjennomføring*. 3rd utg.: Universitetsforlaget.
- Mauboussin, M. J. (2012). The True Measures of Success. *Harvard Business Review*.
- Myhre, S. R., Nordby, P.-C., Killingmo, E. & Borgstrand, O. (2015). ABC for gravefri fremtid. *Bestillerhåndbok NoDig*. Moss: Olimb As, Sweco, Borg Medier.
- NCC. (2015). *Organisering Bærekraft - Workshop 01.06.15 med oppsummering*: NCC Interndokument. Upublisert manuskript.

- NCC. (2016a). Konsernpresentasjon 2016 (Starnet, NCCs intranett).
- NCC. (2016b). *Om NCC*. Tilgjengelig fra: <http://www.ncc.no/om-ncc/> (lest 9.5.2016 Kl. 15.00).
- NCC. (2016c). *PU-Liner, vår No Dig løsning*. Tilgjengelig fra: <http://www.ncc.no/produkter-tjenester/ledningsrenovering/pu-liner/> (lest 8.5.2016 Kl. 19.00).
- O'Sullivan, D. (2010). *NASTT-BC Carbon Calculator*: North America Society for Trenchless Technology. Tilgjengelig fra: <http://utilitycarboncalculator.com/> (lest 11.4.2016 Kl. 12.27).
- OlimbAS. (2011). *OLIMB - Rørfornyning vann*. Tilgjengelig fra: <http://olimb.no/film/> (lest 8.5.2016 Kl. 12.00).
- OlimbAS. (2014). *Stadig flere er nysgjerrig på DW Liner*. Tilgjengelig fra: <http://rorfornyning.no/rehabnyheter/stadig-flere-er-nysgjerrig-pa-dw-liner/> (lest 8.5.2016 Kl. 12.00).
- PAM. (2007). Produktinformasjon duktile støpejernsrør: Saint-Gobain Vann og Avløp.
- PAM. (2011). *Duktilt*: Saint-Gobain. Tilgjengelig fra: <http://www.pamline.no/index.php/duktilt> (lest 17.3.2016 Kl. 09.00).
- PipeLife. (2008). *PE trykkrør og deler*. Tilgjengelig fra: <http://felles.trd.atea.no/pipelife/Diverse/PE%20trykkr%C3%B8r.pdf> (lest 9.5.2016 Kl. 12.00).
- PipeLife. (2013). *PE 100 Robustline RC - Rør for rehabilitering*. Tilgjengelig fra: <http://felles.trd.atea.no/pipelife/Diverse/Robustline%20RC.pdf> (lest 8.5.2016 Kl. 12.00).
- PipelinersAS. (2016). *Gravefrie metoder for rehabilitering av drikkevannssystemer*. Tilgjengelig fra: <http://pipeliner.no/drikkevann/> (lest 8.5.2016 Kl. 12.00).
- Rehan, R. & Knight, M. (2007). *Do Trenchless Pipeline Construction Methods Reduce Greenhouse Gas Emissions?* Waterloo, Ontario: Centre for the Advancement of Trenchless Technologies (CATT), University of Waterloo.
- Rose, K. H. (2005). *Project Quality Management - Why, What, and How*: J.Ross Publishing.
- Sihabuddin, S. S. & Ariaratnam, S. T. (2009). Methodology for estimating emissions in underground utility construction operations. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 7 (1): 37-64.
- Skjærstad, E. M. (2013). *Ledningsnett*: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <http://norskvann.no/index.php/vann/ledningsnett> (lest 8.3.2016 Kl. 14.06).
- SSB. (2014). *Kommunal vannforsyning. Tabell: 04936: I. Vann - nøkkeltall (K)*: Statistisk Sentralbyrå.

- SSB. (2015). *Utslipp av klimagasser, 1990-2014, endelige tall*: Statistisk Sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/klimagassn> (lest 4.2.2016 Kl. 14.38).
- Telle, R. (2015). Riktig utførelse av asfaltdekker. *Rapport nummer 352*. Statens Vegvesen: Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen. Seksjon: Vegteknologi.
- Thue, J. V. (2009). *Geoteknikk*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/geoteknikk> (lest 8.5.2016 Kl. 13.30).
- Tjora, A. (2012). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. 2nd utg.
- Ulleberg, H. P. (2002). *Forskningsmetode og vitenskapsteori (1)*: NTNU. Tilgjengelig fra: <http://www.sv.ntnu.no/ped/hans.petter.ulleberg/vitenskaph99.htm> (lest 3.5.2016 Kl. 08.30).
- Undheim, T. A. & Fixdal, J. (2005). Bærekraftig innovasjons- og teknologipolitikk, ISBN 82-92447-04-0. Oslo, april 2005: Teknologirådet.
- VAV, O. K. (2014). Hovedplan Avløp og Vannmiljø 2014-2030. *Oslo Kommune Vann- og Avløpsetaten*.
- Vegvesen, S. (2016). *ETSI*: Modell under utvikling/utprøving.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods*. 5th utg. United States of America: SAGE Publication, Inc.
- Ødegård, J., Persson, M. & Baade-Mathiesen, T. (2013). Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren. *Norsk Bann Rapport, B17*. Hamar: Norsk Vann. B17 - 2013 s.

Vedlegg A – Prosjektinformasjon

Prosjekt	Prosjektinformasjon
518009 Nedre Stovner 15.4.2008 – 31.12.2008 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 2200 m Antall kummer: 51	Belegging for Oslo Kommune VAV av det eksisterende ledningsnett på Nedre Stovner fra perioden 1967-1972. Total ledningslengde var ca. 2200 m med rørdimensjonene DN150 (1319 m) og DN200 (868 m). Beleggtykkelse som ble benyttet var 2,6 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 3,5 mm ± 10 %.
518024 Lutvann 10.12.2008 – 10.12.2009 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 5400 m Antall kummer: 139	Belegging for Oslo Kommune VAV av de eksisterende vannledningene ved Lutvann fra perioden 1967-1972. Total ledningslengde var om lag 5400 m med rør av duktilt støpejern med dimensjonene DN100 (22 m), DN150 (2809 m), DN200 (554 m), DN300 (1229 m) og DN400 (797 m). Beleggtykkelsen som ble benyttet var 2,6 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 3,5 mm ± 10 %.
518050 Kalbakken 21.6.2010 – 1.3.2011 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 1928 m Antall kummer: 41	Belegging for Oslo Kommune VAV av de eksisterende vannledningene ved Kalbakken fra perioden 1935-1976. Total ledningslengde var omtrent 1930 m. De eksisterende rørene var av duktilt støpejern med dimensjonene DN200 (343 m), DN300 (1010m) og DN400 (575m). Beleggtykkelsen som ble brukt i prosjektet var 2,6 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 2,9 mm ± 10 %.
518053 Østerås 1.8.2010 – 1.9.2011 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 3282 m Antall kummer: 38	Kontrakt ikke tilgjengelig, informasjon basert på Doffin.no og offentlig konkurransegrunnlag. Prosjekt for Bærum Kommune, prosjekt og utbygging. Belegging av 838 meter DN350 og 2444 meter DN300, begge av duktilt støpejern. Tilbudt beleggtykkelse er ukjent.
518069 Furuset PU 10.5.2011 – 10.6.2012 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 6361 m Antall kummer: 162	Belegging for Oslo Kommune VAV av det eksisterende ledningsnett på Furuset fra perioden 1957-1974. Total ledningslengde var på 6361 m med rør av både grått og duktilt støpejern med dimensjonene DN150 (1825 m), DN200 (251 m), DN250 (3046 m) og DN300 (1239 m). Beleggtykkelsen var 2,6 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 3,5 mm ± 10 %.
518072 PU Hosle – Eiksmarka 4.7.2011 – 29.6.2016 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 2000 m Antall kummer: 28	Kontrakt ikke tilgjengelig, informasjon basert på Doffin.no og offentlig konkurransegrunnlag. Prosjekt for Bærum Kommune Eiendom. Belegging av ca. 1500 meter DN150 og ca. 500 meter DN200, begge av duktilt støpejern. Tilbudt beleggtykkelse er ukjent.
518088 Tante Ulrikkes vei	Belegging for Oslo Kommune VAV av det eksisterende ledningsnett i Tante Ulrikkes vei. Total ledningslengde va på ca.

1.5.2012 – 31.12.2012 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 4100 m Antall kummer: 92	4100 m og fordelt seg over dimensjonene DN125 (301 m), DN150 (1954 m), DN200 (1358 m) og DN300 (500 m). Beleggtykkelsen som ble brukt var 2,6 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 3,5 mm ± 10 %.
518092 Belegg Hosle-Eiksmarka del 2 1.9.2013 – 15.6.2014 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 3224 m Antall kummer: 49	Belegging for Bærum Kommune Prosjektenhet av eksisterende ledningsnett i området Hosle-Eiksmarka. Total lengde var 3224 m og ble fordelt over ulike rørdimensjoner: DN150 (2133 m), DN200 (660 m) og DN300 (431 m). For lag nummer 1 ble det benyttet en beleggtykkelse på 2,9 mm ± 10 %. Der det var behov for to lag ble det sprøytet, da med en tykkelse på 2,45 mm ± 10 %. For å dekke spesielt dype groptæringer etc. ble det stedvis benyttet et lag på 3,5 mm ± 10 %.
518104 Belegg Haukenveien 13.6.2013 – 1.11.2013 Metode: PU-Liner Ledningslengde: 1639 m Antall kummer: N/A	Kontrakt ikke tilgjengelig, informasjon basert på Doffin.no og offentlig konkurransegrunnlag. Prosjekt for Oslo Kommune VAV. Belegging av 24 meter DN150, 626 meter DN200 og 989 meter DN300, alle av duktilt støpejern. Tilbudt beleggtykkelse og antall kummer i prosjektet er ukjent.
518118 Ullevål Hageby del 1 22.4.2014 – 1.2.2015 Metode: PU/utblokking Ledningslengde: 3200 Antall kummer:	Belegging for Oslo Kommune VAV av hovedvannledninger. De eksisterende forholdene var rør av grått støpejern anlagt i 1904-1936, men også noen duktile støpejernsrør fra 1965. Dårlig ledningstilstand medførte at deler av traseen måtte blokkes. Total ledningslengde var omtrent 3200 meter med dimensjonene DN100 (317 m), DN150 (522 m), DN200 (1220 m) og DN300 (1142 m). Ønsket beleggtykkelse var på 3,0 mm ± 10 %.
518134 Uelands gate 3.7.2015 – pågående Metode: PU-Liner Ledningslengde: 685 Antall kummer:	Belegging for Oslo Kommune VAV av hovedvannledninger i Uelands gate. De eksisterende rørene var av grått støpejern fra 1943. Total ledningslengde var 685 m med dimensjonene DN400 (465 m) og DN500 (220 m). I dette prosjektet ble det sprøytet to like lag hvor hvert lag hadde tykkelsen 3,2 mm ± 10 %.
518127 Ullevål Hageby del 2 1.12.2014 - pågående Metode: PU/utblokking Ledningslengde: 3734 Antall kummer: 50	Belegging av hovedvannledning for Oslo Kommune VAV. De eksisterende ledningene var fra tidlig og midten av 1900-tallet. Total ledningslengde var ca. 3734 m med dimensjonene DN100 (25 m), DN125 (2620 m), DN150 (327 m), DN250 (736 m) og DN300 (26 m). I tillegg ble det utført utblokkingsarbeider der ledningens tilstand var for dårlig. Beleggtykkelse 3,0 mm ± 10 %.
518078 Blåsen 19.9.2011 – 14.12.2011 Metode: Utblokking Ledningslengde: 242 m	Prosjekt for Bærum Kommune Eiendom der oppgaven var å renovere eksisterende vann- og avløpsledninger med en lengde på 242 m. Avløpsledningen ble forsterket med strømpes, mens den eksisterende vannledningen av duktilt støpejern (DN150) ble blokket og erstattet med 180 PE100 SDR11.

<p>518068 Eikskollen med flere 7.3.2011 – 9.8.2011 Metode: Utblokking Ledningslengde: 529 m Antall kummer: 14</p>	<p>Prosjekt for Bærum Kommune Eiendom der arbeidet bestod av utblokking av eksisterende vannledning og på enkelte strekninger strømping av parallelle avløpsledning i Bærum. Eksisterende forhold var en vannledning 100 mm i grått støpejern (SJG) med en lengde på totalt ca. 529 m. Denne vannledningen ble blokket med en 180 PE100 SDR11.</p>
<p>518095 Rehabilitering av vannledning Etterstad 24.10.2012 – 17.4.2013 Metode: Utblokking Ledningslengde: 769 m Antall kummer: 8</p>	<p>Prosjekt for Oslo Kommune VAV der oppgaven var å renovere hovedvannledningene ved Etterstad ved hjelp av utblokking. De eksisterende ledningene var 150 STJ ledninger. Rørene som ble satt inn var PE-rør med dimensjonene 180 PE100 SDR11 (475 m) og 250 PE100 SDR11 (294 m) med både beskyttelseskappe og diffusjonssperre.</p>
<p>518096 Rehabilitering av vann - Majorstuen 14.11.2012 – 8.5.2013 Metode: Utblokking Ledningslengde: 396 m Antall kummer: 18</p>	<p>Prosjekt for Oslo Kommune VAV der oppgaven var å renovere de eksisterende vannledningene ved Majorstuen ved hjelp av utblokking. De eksisterende rørene var av typen 150 SJG, som ble oppdimensjonert og erstattet med 355 PE100 SDR11 (286 m) og 180 PE100 SDR11 (110 m) med både beskyttelseskappe og diffusjonssperre.</p>
<p>518105 Melkeveien 1.6.2013 – 1.10.2013 Metode: Utblokking Ledningslengde: 76 m Antall kummer:4</p>	<p>Prosjekt for Oslo Kommune VAV der omfanget var å erstatte 76 m av den eksisterende støpejernsledningen (150 SJG) ved hjelp av utblokking med 180 PE100 SDR 11 med utvendig beskyttelseskappe og diffusjonssperre.</p>
<p>518107 Rammeavtale for utblokking av VA-ledninger 2013-2015 (17) 1.9.2013 – 1.9.2015 Metode: Utblokking</p>	<p>Prosjekt i form av en rammeavtale for Bærum Kommune Prosjektenheten med varighet i to år, der Bærum Kommune hadde opsjon på 1 år utvidelse i to år. Rammeavtalen omfattet utblokking av VA-ledninger, inntrekking av VA-ledninger og nødvendig grave-, terreng- og VA-arbeider. Prosjektet viste seg å være ulønnsomt og NCC måtte trekke seg fra avtalen etter to år med et tap på nesten 1,4 million.</p>
<p>518055 Rosenborggata 20.9.2010 – 1.8.2011 Metode: Konvensjonell graving Ledningslengde: 410 m Antall kummer: 8</p>	<p>Prosjekt for Oslo Kommune VAV hvor hovedvannledningen i Rosenborggata fra 1892-1923 skulle erstattes. Renoveringen ble gjennomført ved konvensjonell graving der de eksisterende rørene bestående av både grått og duktilt støpejern med dimensjonene 100 mm – 300 mm ble erstattet av 300 mm duktile støpejernsrør. Total ledningslengde var på 410 m. Avløpsledningen ble også erstattet i dette prosjektet.</p>

Vedlegg B – Casebeskrivelse (modell)

Teoretisk estimeringsmodell

Eksisterende rørstrekning av **duktilt støpejern**

Eksisterende ledningsforhold

Lengde	240 m
Rørdimensjon	150 mm
Antall kummer	4 stk
Antall stikkledninger	12 stk
Overdekning	2 m

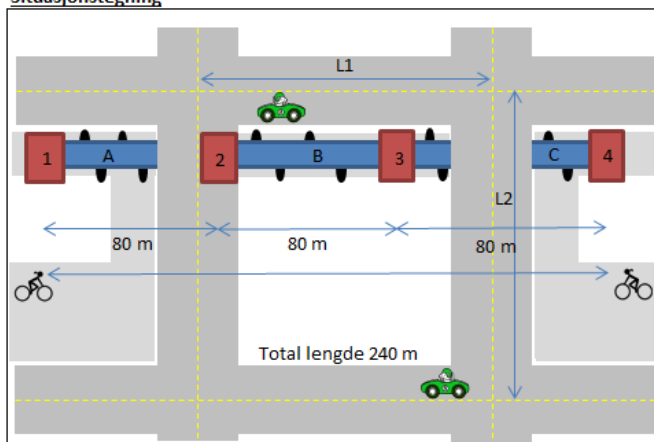
Kumarbeider INGEN

Masser Faste

Terrenget

Overflate	Asfalt
Bruksområde	Gang/sykkelvei (delvis bilvei)
Trafikk:	ÅDT - 6000 biler Farsgrense - 60 km/t

Situasjonstegning



Metode

PU-Liner

Utblokking

Graving

Ny ledning

Belegg av eksisterende DN150

180 PE100 SDR11 m/ PP.kappe + diff.sperre

Duktilt støpejernsrør DN150

Arbeid på ledningsnettverk

Ingen

Punktgraving, til/frakobling stikkledninger

Til/frakobling stikkledninger

Vedlegg C – Kostnader og tid (modell)

Kostnads- og tidsperspektivet

Kostnader

Metode	Nedre verdi (lm)	Øvre verdi (lm)	Nedre totalkostnad	Øvre totalkostnad
PU-Liner	4 000	4 000	960 000	960 000
Utblokking	6 000	7 000	1 440 000	1 680 000
Graving	10 000	12 000	2 400 000	2 880 000

Tidsbruk

Metode	Uker		Dager		Timer		
	Nedre verdi	Øvre verdi	Nedre verdi	Øvre verdi	Nedre verdi	Øvre verdi	
PU-Liner	3	4	15	20	120	160	
Utblokking	5	6	25	30	200	240	
Graving	9	10	45	50	360	400	
En arbeidsuke består av			5 arbeidsdager		Timer/meter ->	0,5	0,7
			8 arbeidstimer per dag		Timer/meter ->	0,8	1,0
			40 arbeidstimer i uken		Timer/meter ->	1,5	1,7

Alle verdier er basert på vurdering fra informanter og deres erfaringer fra tidligere prosjekter.

Vedlegg D – Generelle miljøbetraktninger (modell)

Generelt

Fellesprosesser

Høytrykkspyling	Verdi	Benevning	Liten lastebil med spylerrigg
Forbruk lastebil + rigg	15	liter/time	Informant 4
Hastighet	0,5	meter/min	Informant 4
Tidsforbruk	480	minutter	tid = strekning/hastighet
Tidsforbruk i timer	8	timer	
Dieselforbruk	120	liter	

Forkontrollen og etterkontrollen vil ikke trekke mye diesel.

Det antas at til sammen tar disse kontrollene 1 time hver, dvs. totalt 2 timer. Legger derfor til 8 liter diesel da det antas et forbruk tilsvarende tørkriggen (se PU-Liner) på 4 liter/time.

Sum	Diesel	Utslipp
Totalt utslipp fellesprosesser	128 liter	375 kg CO2-eq

1 Arbeidsdag utgjør*	7 timer
----------------------	---------

*Grunnlag for beregning av driftstider, effektive arbeidstimer ila en dag.

Massehåndtering

Utstyr, maskin	Verdi	Benevning
Lastebilkapasitet	10	m ³
Lastebilforbruk tomgang	0,5	liter/time
Lastebilforbruk*	0,5	liter/km
Gravemaskin - lett arb.**	10	liter/time
Gravemaskin - tungt arb.***	13	liter/time

* Maskinfører oppgir at forbruket er i snitt omtrent 5 liter per mil i bykjøringsmiljøet.

** Maskinfører oppgir at forbruket er i snitt mellom 8-10 liter per time ved lettere arbeider.

*** Ved tyngre arbeider oppgir maskinfører at forbruket er mellom 12-13 liter per time.

Transportavstander avhengig av masseklassifisering

Masseklassifisering	Deponi	Avstand [km]*	Tur/retur [km]	Fordeling
Klasse 1	Åsland avd. Assurdalen	20	40	10 %
Klasse 2 og 3	Esval Miljøpark Vormsund	57	114	70 %
Klasse 4 og 5	Lindum Oredalen AS	75	150	20 %

*Avstandene er funnet i Google Maps med søk fra "Oslo". Korteste vei er valgt.

100 %

Veiarbeider*

Asfalttype	AB 8		Informant 3
Asfaltykkelse	0,08	m	Informant 3
Bitumen innhold	5,5-6,5 %		Fra Tekna presentasjon
Densitet	1500	kg/m ³	Fra DSB
Asfaltutlegger hastighet	5	meter/min	Fra SSV rapport
Asfaltutlegger forbruk	20	liter/time	Tilsvarende asplan viak
Vals bredde	1,5	m	
Vals hastighet	33	meter/min	(2 km/t)
Vals forbruk (også komprimator)	5	liter/time	Tilsvarende asplan viak

* Tidsbruken for asfaltarbeidene er basert på eksemplene i SSV sin rapport

Vedlegg E – Miljøberegninger PU-Liner (modell)

PU-Liner

Installasjon	Verdi	Benevning	Kommentar
Rørlengde (m)	240	meter	
Rørdiameter (m)	0,15	meter	
Beløp/tykkelse (m)	0,003	meter	Arrett "vanlig" tykkelse
V (V-V) (liter)	333	liter	Volum av sylinder (p1*r ² *h)
Masse polyuretan	499	kg	
Volumstrøm (liter/min)	4	liter/minutt	Vålg basert på Informant 4
Sprøyteid (minutter)	83,1	minutter	Volumstrøm q = Volium (V)/Tid (t)
Sprøytehastighet (m/min)	2,9	meter/min	Rørlengde /sprøyteid
Tid i drift utenom sprøyting	120	minutter	Samlet driftstid av bil utenom sprøytingen
Total driftstid PU-bil	203	minutter	
Total driftstid i timer	3,4	timer	Sprøyteid + tidsbruk utenom sprøyting

Utslipp PU-Bil	Verdi	Benevning	Kommentar
Produksjon aggregat	20	kWh	Aggregatet gir 20 kWh => 20 kWh per time
Forbruk aggregat	230	g/kWh	Fra leverandør
Masse diesel	4,6	kg	Tetthet = masse/volum
Diesel/forbruk aggregat	5,4	liter/time	
Diesel/forbruk PU-bil	5,9	liter/time	Aggregat + lastebil på tomgang.
Forbruk prosjekt	20	liter	

Tøking/uttrekking*	Verdi	Benevning	Kommentar
Forbruk	4	liter/time	Oppgitt av Informant
Hastighet	3,3	meter/min	Antar 30 min per 100 meter - fra observasjon
Tidstforbruk	72	minutter	tid = strekning/hastighet
Tidstforbruk i timer	1,2	timer	
Diesel/forbruk	5	liter	

* Lastebil med en liten rigg som forbucker omtrent 15 kW

Trafikk*	Verdi	Benevning	Kommentar
Forbruk diesel	544	kg	
Forbruk diesel	640	liter	
Utslipp diesel/forbruk	1 876	kg CO2-ek	
Forbruk bensin	205	kg	
Forbruk bensin	273	liter	
Utslipp bensin/forbruk	732	kg CO2-ek	
SUM utslipp	2 609	kg CO2-ek	

* Beregningene er gjort i verkøyet ETSI, et program av Statens Vegvesen. NBI Programmet er fortsatt under utvikling.

SAMLET MILJØREGNSKAP

Prosess	kg CO2-ek	Relativt
Installasjon	73	1,4 %
Utslipp fra nytt råmateriale (kg)	2 269	42,6 %
Gravarbeider	0	0,0 %
Massetransport	0	0,0 %
Veiarbeider	0	0,0 %
Trafikk	2 609	49,0 %
Fellesprosesser	375	7,0 %
Totalt utslipp	5 326	

Vedlegg F – Miljøberegninger Utblokking (modell)

Utblokking

Installasjon	Verdi	Benevning	Kommentar
Tidsbruk inntrekk av trekkerer	2,0	timer	
Tidsbruk utblokking	3,0	timer	Antas 2/3 av blokketiden på grunn av mindre motstand
Tidsbruk aggregat	5,0	timer	100 meter på 1,5 timer (2,4-3,5 timer)
Forbruk aggregat	10	L/t	
Gravemaskin under hele arb.	5,0	timer	Antas "lett bruk" av gravemaskin under arbeidet
Totalt dieselforbruk inst	100	liter	

Massenvolum	Verdi	Benevning	Kommentar
Inntrekkingsrop			
Lengde	4	m	
Bredde	1	m	Informant 5
Høyde	2,1	m	Informant 5
Volum	8,4	m ³	Overdekning * en halv diameter
Antall inntrekkingsrop	3	stk	
Volum inntrekk	25,1	m³	
Mategrop			
Lengde	2	m	Informant 5
Bredde	1	m	Informant 5
Høyde	2,1	m	
Volum	4,2	m ³	
Antall mategrop	3	stk	
Volum mategrop	12,5	m³	
Anboringer			
Lengde	2,5	m	Informant 5
Bredde	2	m	Informant 5
Høyde	2,1	m	
Volum	10,5	m ³	
Antall anboringer	9	stk	
Volum anboringer	94,1	m³	
Totalt volum til borttransport	131,7	m³	
Totalt volum til bakenfylling	131,7	m³	Antar at tilsvarende mengder skal fylles tilbake

Massetransport	Verdi	Benevning	Kommentar
Bortkjøring av eksisterende masser			
Masse til Åsland	13	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Åsland	2	turner	
Total tilbakelagt strekning Åsland	80	km	
Masse til Esvøl	92	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Esvøl	10	turner	
Total tilbakelagt strekning Esvøl	1140	km	
Masse til Lindum	26	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Lindum	3	turner	
Total tilbakelagt strekning Lindum	450	km	Summen av transport til de ulike deponiene
Total strekning massetransport	1 670	km	
Diesel forbruk transport	835	liter	Forbruk lastebil, se "Generelt"
Henting av nye masser			
Turer til Åsland	14	turner	Se "Generelt"
Total strekning massetransport	560	km	
Diesel forbruk transport	280	liter	Forbruk lastebil, se "Generelt"
Totalt dieselforbruk massetransport	1 115	liter	Summen av diesel forbrukene til massetransport

Gravarbeider	Verdi	Benevning	Kommentar
Tidsbruk inntrekkingsrop	42	timer	1,5-2 dager per grop, benyttet 2 dager
Tidsbruk utblokking	21	timer	Antar halve tiden til inntrekk
Tidsbruk anbotinger	31,5	timer	2 stikk per dag
Totalt tidsbruk	94,5	timer	
Diesel forbruk gravemaskin	1 229	liter	Antar dette som tungt bruk

Veiarbeider	Verdi	Benevning	Kommentar
Areal	63	m ²	
Volum asfalt	5,04	m ³	
Vekt asfalt	7 560	kg	
Utslipp asfalt	575	kg CO ₂ e	
Valis	1	time	Utrigger ikke nødvendig, mer manuelt arbeid. Antar ca. 1 times bruk av valis
Diesel forbruk asfaltmaskiner	5	liter	

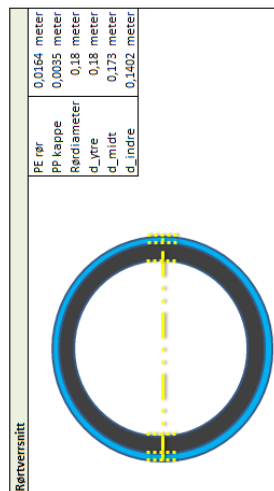
Trafikk*	Verdi	Benevning	Kommentar
Forbruk diesel	1 904	kg	Fra ETSI
Forbruk diesel	2 240	liter	
Utslipp diesel forbruk	6 567	kg CO ₂ -ek	Fra ETSI
Forbruk bensin	717	kg	Fra ETSI
Forbruk bensin	956	liter	
Utslipp bensin forbruk	2 561	kg CO ₂ -ek	
SUM Trafikk	9 129	kg CO₂-ek	

* Beregningene er gjort i verkøyet ETSI, et program av Statens Vegvesen. NB! Programmet er fortsatt under utvikling.

Utslipp fra råmateriale	Verdi	Benevning	Kommentar
Rørlengde	240	meter	
Rørdiameter (utvendig)	0,180	meter	Fra leverandør
Vegtykkelse PE100, SDR11, rør	0,016	meter	Fra leverandør
Vegtykkelse PP-lappe	0,004	meter	Fra leverandør
Volum PE	1 936	liter	Volum av sylinder (π * r ² * h)
Masse PE	1 801	kg	
Volum PP	486	liter	
Masse PP	419	kg	

SAMLET MILJØREGNSKAP

Prosess	kg CO ₂ -ek	Relativt
Installasjon	293	1,2 %
Utslipp fra nytt råmateriale (kg)	6 198	26,4 %
Gravarbeider	3 602	15,4 %
Massetransport	3 269	13,9 %
Veiarbeider	589	2,5 %
Trafikk	9 129	38,9 %
Fellesprosesser	375	1,6 %
TOTALT UTSLIPP	23 455	



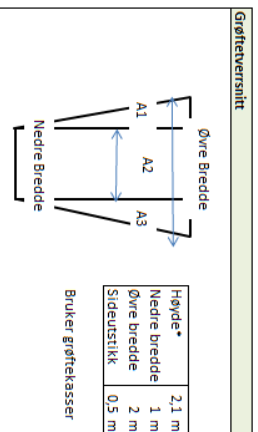
Konvensjonell graving

Installasjon*	Verdi	Benevning	Kommentar
Tidstorbruk	6	meter/dag	Inkluderer oppgraving, uskifting av rør og tilbakefylling.
Tidstorbruk per time	0,86	meter/time	Informant 2 og 3
Tidstorbruk	280	timer	Tungt bruk, se "Generelt til miljø".
Dieselforbruk gravemaskin	3 360	liter	
Tidstorbruk komprimator	140	timer	Antar halve tiden av installasjonen - må kjøre samme
Dieselforbruk komprimator	700	liter	sted flere ganger.
Dieselforbruk installasjon	4 060	liter	

* Nødløst transport av fremming av eksisterende rør da det kun utgjør en tur med lastebil.
 Hvis tverrsnitt ontos 150x150 mm, som utgjør det somlet volum på 5,4 m³ som er mindre en lastebilkapasiteten.

Massevolum	Verdi	Benevning	Kommentar
Area 1	0,52	m ²	Furnet på bakgrunn av grøfttverrsnitt
Area 2	2,08	m ²	
Area 3	0,52	m ²	
Totalt areal	3,11	m ²	
Totalt massevolum borttransport	747	m ³	Antar volum til borttransport tilsvarende som volumet
Totalt massevolum tilbakefylling	747	m ³	av massen som må tilbakefylles.

Massetransport	Verdi	Benevning	Kommentar
Bortføring av eksisterende masser			
Masse til Asland	75	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Asland	8	turer	
Total tilbakeført strekning Asland	320	km	
Masse til Esvål	523	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Esvål	53	turer	
Total tilbakeført strekning Esvål	6 042	km	
Masse til Lindum	149	m ³	Se "Generelt til miljø"
Turer til Lindum	15	turer	
Total tilbakeført strekning Lindum	2 250	km	
Total strekning massetransport	8 612	km	Summen av transport til de ulike deponiene
Dieselforbruk transport	4 306	liter	Forbruk lastebil, se "Generelt".
Henting av nye masser			
Turer til Asland	75	turer	Se "Generelt til miljø"
Total strekning massetransport	3 000	km	
Dieselforbruk transport	1 500	liter	Forbruk lastebil, se "Generelt til miljø".
Totalt dieselforbruk massetransport	5 806	liter	Summen av dieselforbrukene til massetransport



* Høyden antas å være overdekningen pluss halve rørdiameteren

Varebeider	Verdi	Benevning	Kommentar
Area 1	480	m ²	
Volum asfalt	38,4	m ³	
Vekt asfalt	57 600	kg	
Utslipp asfalt	4 378	kg CO ₂ e	
Tidstur asfaltutlegger	0,8	timer	
Dieselforbruk utlegger	16	liter	
Antall drag for vaks	2	drag	
Reelle vakselometer	13	meter/meter	
Kjørelengde vaks	3120	meter	
Tidstur vaks	1,6	timer	
Dieselforbruk vaks	7,8	liter	
Dieselforbruk asfaltmaskiner	24	liter	

Trafikk*	Verdi	Benevning	Kommentar
Forbruk diesel (masse)	3 852	kg	ETSI = 3399+453
Forbruk diesel (volum)	4 532	liter	
Utslipp dieselforbruk	13 286	kg CO ₂ -ek	
Forbruk bensin (masse)	1 451	kg	ETSI = 1280+171
Forbruk bensin (volum)	1 935	liter	
Utslipp bensinforbruk	5 183	kg CO ₂ -ek	
SUM	18 470	kg CO ₂ -ek	

* Beregningene er gjort i veitøytet ETSI, et program av Statens Vegvesen. NB! Programmet er fortsatt under utvikling.

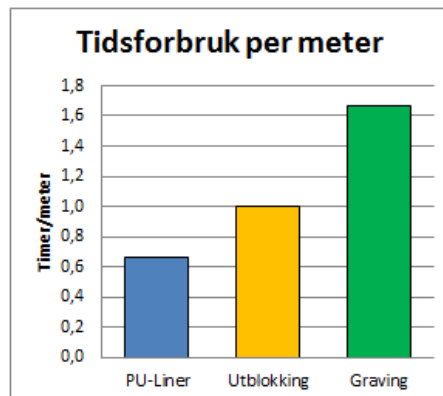
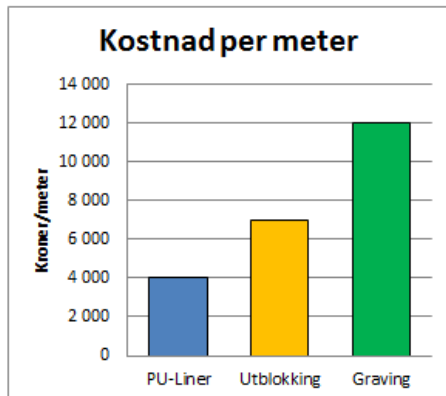
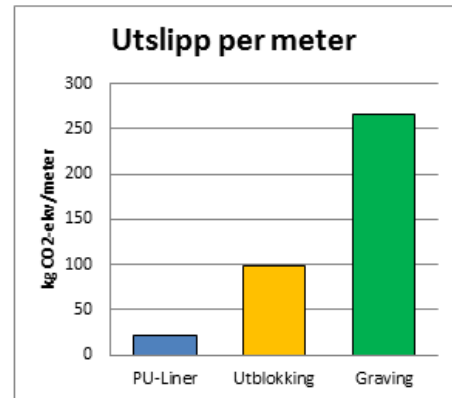
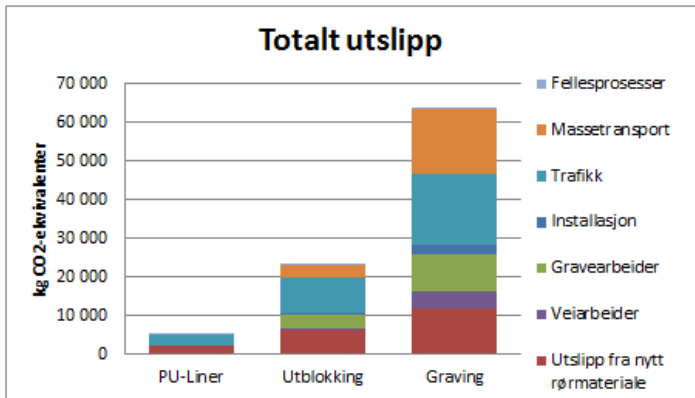
Utslipp fra råmateriale	Verdi	Benevning	Kommentar
Rørlengde	240	meter	
Rørdiameter (unvendig)	0,15	meter	
Masse DN150 C40 Støpejern	24	kg/m	Kilde: PAM Saint-Gobain
Total vekt	5 760	kg	
Utslipp materiale	11 693	kg CO ₂ e	

SAMLET MILJØREGNSKAP		
Prosess	kg CO ₂ -ek	Relativt
Installasjon	2 052	3,2 %
Utslipp fra nytt råmateriale (kg)	11 693	18,3 %
Gravarbeider	9 851	15,4 %
Massetransport	17 022	26,6 %
Veiarbeider	4 447	7,0 %
Trafikk	18 470	28,9 %
Fellesprosesser	375	0,6 %
Totalt utslipp	63 911	

Vedlegg H – Resultat (modell)

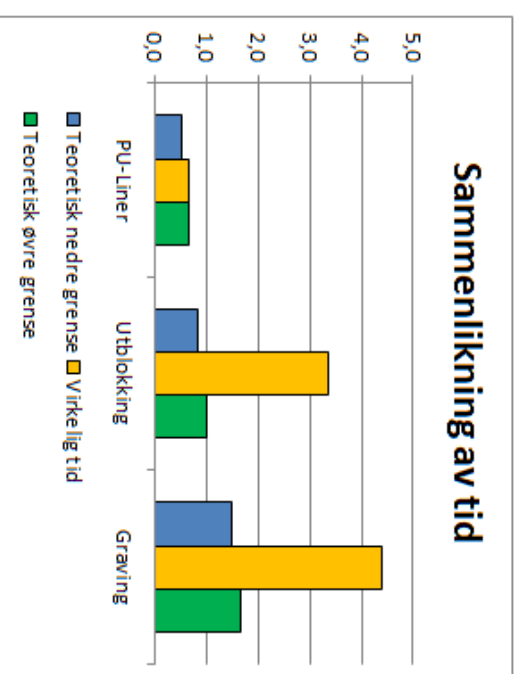
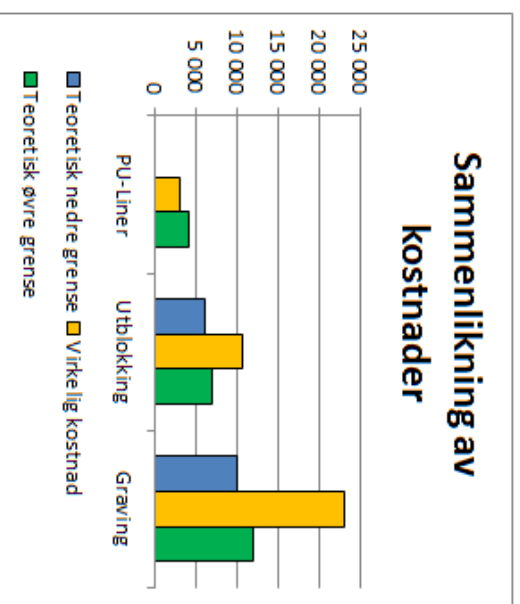
Resultater

	PU-Liner	Utblokkning	Graving
Total kostnad	960 000	1 680 000	2 880 000
Kostnad per meter	4 000	7 000	12 000
Relativ forbedring iht graving	67 %	42 %	
Total tidsbruk (arb. Uker)	4	6	10
Timer per meter	0,7	1,0	1,7
Relativ forbedring iht graving	60 %	40 %	
Totalt utslipp	5 326	23 455	63 911
Utslipp per meter	22	98	266
Relativ forbedring iht graving	92 %	63 %	
Totalt utslipp uten trafikkvurdering	2 717	14 327	45 441
Forbedring i forhold til graving	94 %	68 %	



Sammenlikning av teoretiske og virkelige tall

Metode	Teoretisk nedre meterverdier		Teoretisk øvre meterverdier		Virkelige meterverdier	
	Teoretisk nedre grense	Teoretisk nedre grense	Teoretisk øvre grense	Teoretisk øvre grense	Virkelig kostnad	Virkelig tid
PU-Liner	0	0,5	4 000	0,7	3 018	0,65
Utbløkking	6 000	0,8	7 000	1,0	10 564	3,34
Graving	10 000	1,5	12 000	1,7	22 994	4,39
	Kostnad		Kostnad		Kostnad	
	Tid		Tid		Tid	



Vedlegg I – Sammenlikning (modell)

Vedlegg J – Utslippsfaktorer (modell)

Utslippsfaktorer

Utslippsfaktorer*	kg CO2-ekv	
Dieselolje - ren per liter	2,6769	Kilde: carbonfootprint
Dieselolje - salg per liter	2,5835	Kilde: carbonfootprint
Diesel - veitransport	3,1	Kilde: http://www.transportmiljo.no/tema/nokkeltall/vei/
Diesel - SVV	3,367	Kilde: SSV
Gjennomsnitt	2,93	
Bensin - ren per liter	2,3144	Kilde: carbonfootprint
Bensin - salg per liter	2,2423	Kilde: carbonfootprint
Bensin - veitransport	2,8	Kilde: http://www.transportmiljo.no/tema/nokkeltall/vei/
Bensin - SVV	3,36	Kilde: SSV
Gjennomsnitt	2,68	
Polyuretan - per kg	4,84	Kilde: ICE
Polyuretan - per kg	4,26	Kilde: ICE
Gjennomsnitt	4,55	
Polypropylen - oriented film	3,43	Kilde: ICE
Polypropylen - sprøytetøping	4,49	Kilde: ICE
Gjennomsnitt	3,96	
HDPE pipe	2,52	Kilde: ICE
Støpejern	2,03	Kilde: ICE
Asfalt 5 %	0,071	Kilde: ICE
Asfalt 6 %	0,076	Kilde: ICE Asfalt AB 8 - SE SVV presentasjon, innhold mellom 5,5-6,5 %
Asfalt 7 %	0,081	Kilde: ICE
Gjennomsnitt	0,08	

* Utslippsfaktorene viser utslipp av CO2-ekvivalenter for hele materialets livssyklus

Det inkluderer derfor produksjon, forbruk, forbrenning, etc.

Tetthet/densitet	Verdi	Benevnning	Kommentar
Diesel	0,85	kg/liter	Tetthet dieselolje mellom 0,82-0,89, SNL gir 0,85 kg/l
Bensin	0,75	kg/liter	Tetthet: 720-775 kg/m3 statoil, shell 754 kg/m3
			Bruker 750 kg/m3, volum = masse/tetthet, 1m3= 1000liter
Polyuretan	1,5	kg/liter	Densitet = 1,5 kg/l (Kilde: SNL)
Polyetylen (PE)	0,93	kg/liter	Densitet: 0,910-0,925 og 0,940-0,965 kg/l (SNL)
Polypropylen (PP)	0,9	kg/liter	Densitet: 0,90 kg/l (SNL)

Asfalt	Tykkelse	
Gang og sykkelvei	4 cm	
Veiklasse 1	12 cm	
Veiklasse 2	8 cm	ikke buss, lastebiler etc.
Velger å benytte x cm i snitt	8 cm	Dekker da alle områdene

Vedlegg K – Økonomiske beregninger

Rek nr.	Rek. Tekst	51809	51804	51850	51853	51859	518072	518088	518092	518104	
4	Belegg	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	Prosjekt nr	
5	Prosjekt nr	51809	51804	51850	51853	51859	518072	518088	518092	518104	
6	Prosjekt nr	Nedre Stover	Lutvann	Kollekten	Østetås	Furuset	PU Høle-E	Tante Ulrikke	PU Høle-E del 2	Belegg Hølekv.	
7	Prosjekt nr	5 883 717	17 687 730	8 928 018	6 727 298	21 049 626	7 555 336	15 938 078	12 446 899	8 689 483	
8	Rek nr.	2 574	3 275	3 309	2 050	3 909	3 778	3 897	5 302	5 302	
9	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	Rek. Tekst	
10	20 Tinnslin	2 659 341	351 14 %	2 413 822	35 2 %	6 134 651	39 7 %	1 928 821	30 2 %	2 068 827	30 0 %
11	21 Høydeareal	153 034	5 7 %	207 662	3 0 %	2 312 429	10 0 %	1 566 980	24 6 %	893 891	9 9 %
12	22 Høydeareal	244 079	9 2 %	287 274	4 2 %	506 815	3 3 %	1 477 641	2 3 %	1 68 545	2 3 %
13	23 Underentrepner	1 885 449	70 5 %	788 028	11 5 %	1 326 896	8 6 %	816 965	12 8 %	1 299 007	10 9 %
14	24 Maskin bilr. etc	1 043 217	39 6 %	1 012 344	14 5 %	1 595 459	9 7 %	593 812	9 3 %	1 172 134	15 7 %
15	25 Administrasjon	1 348 054	50 4 %	1 068 876	16 3 %	3 677 278	23 8 %	1 341 381	21 0 %	2 762 596	31 3 %
16	27 Internafare kostnader	0	0 0 %	0	0 0 %	0	0 0 %	0	0 0 %	-300 000	-3 4 %
17	Leidingsengde	4 909 452	18 1 %	7 685 315	1 1 %	15 463 914	1 1 %	6 394 089	1 1 %	11 872 222	1 1 %
18	Kostnad per meter	2 324	3 9 %	2 848	4 2 %	2 921	3 9 %	3 109	4 2 %	2 898	3 9 %
19	Avvik fra snitt	-354	-0 1 %	581	0 1 %	-587	-0 1 %	178	0 0 %	-222	-0 3 %
20	Start	15 04 2008	10 12 2008	0 108 2010	0 109 2011	10 05 2011	0 04 07 2011	0 05 2012	0 109 2012	0 105 2012	
21	Tidsforbruk dager	3 112 2008	10 12 2008	0 103 2011	0 109 2011	10 06 2012	29 06 2012	3 112 2012	15 06 2014	3 112 2012	
22	Tidsforbruk dager	280	365	253	396	397	361	244	652	244	
23	Tidsforbruk uker	37	52	36	57	57	52	35	93	20	
24	Arbeidstimer	1 485	2 095	1 445	2 283	2 289	2 083	1 394	3 785	308	
25	Tidsforbruk timer per meter	0 68	0 39	0 45	0 89	0 36	1 03	0 34	1 18	0 49	
26	Driftsresultat	903 285	3 390 47	1 282 703	-46 820	5 586 612	1 161 247	4 065 156	2 384 202	1 222 429	
27	Driftsmargin PU	15 4 %	19 2 %	14 1 %	-1 0 %	28 5 %	15 4 %	25 5 %	19 5 %	14 1 %	
28											
29											
30											

Rek nr.	Rek. Tekst	51806	51807	51805	51808	51810	51810	51810	51810
20	Tinnslin	915 585	397 163	16 9 %	0 0 0 %	0 0 0 %	29 483	2 2 %	683 918
21	Høydeareal	665 946	342 228	16 9 %	0 0 0 %	0 0 0 %	1 703 604	12 9 %	7 03 604
22	Høydeareal	61 528	43 921	2 2 %	0 0 0 %	0 0 0 %	23 048	0 4 %	29 162
23	Underentrepner	65 236	27 728	2 7 %	0 0 0 %	0 0 0 %	4 916 151	35 7 %	4 199 688
24	Maskin bilr. etc	205 290	560 738	21 7 %	0 0 0 %	0 0 0 %	986 978	7 0 %	1 512 828
25	Administrasjon	168 306	479 287	2 3 %	0 0 0 %	0 0 0 %	65 888	0 5 %	729 464
27	Internafare kostnader	0 0 0 %	0 0 0 %	0 0 0 %	0 0 0 %	0 0 0 %	0 0 0 %	0 0 0 %	-1 020
SUM		2 895 293	2 025 292	1 1 %	6 591 004	1 1 %	5 779 977	1 1 %	7 671 574
Leidingsengde	528	2 422	769	14 8 %	17 28	17 28	17 28	17 28	17 28
Kostnad per meter	530	8 389	2 792	4 2 %	14 585	10 6 %	6 288	4 6 %	11 472
Avvik fra snitt	2 15	2 15	2 15	0 0 %	2 15	0 0 %	2 15	0 0 %	2 15
Start	07 03 2011	18 09 2011	14 11 2012	24 10 2012	14 11 2012	0 106 2013	0 106 2013	0 106 2013	0 106 2013
Slutt	09 08 2011	14 12 2011	17 04 2013	17 04 2013	08 05 2013	0 11 02 2013	0 11 02 2013	0 11 02 2013	0 11 02 2013
Tidsforbruk dager	155	96	175	25	122	17	17	17	17
Tidsforbruk uker	22	12	25	2	25	2	2	2	2
Arbeidstimer	896	491	1 030	1 030	1 030	897	897	897	897
Tidsforbruk timer per meter	1 97	2 03	1 30	1 30	1 30	9 17	9 17	9 17	9 17
Driftsresultat	313 150	301 338	552 884	762 742	152 868	-1 382 711	-22 0 %	1 88	3 34
Driftsmargin utblokking	10 0 %	13 0 %	9 1 %	11 7 %	10 4 %	10 4 %	10 4 %	10 4 %	10 4 %

Rek nr.	Rek. Tekst	51805	51805	51805	51805	51805	51805	51805	51805
59	Trad.	Prosjekt nr	51805	Prosjekt nr	51805	Prosjekt nr	51805	Prosjekt nr	51805
60	Prosjekt nr	10 990 941	Rosenborggata	10 990 941	10 990 941	10 990 941	10 990 941	10 990 941	10 990 941
61	Prosjekt nr	26 807	26 807	26 807	26 807	26 807	26 807	26 807	26 807
62	Rek nr.	29 091	29 091	29 091	29 091	29 091	29 091	29 091	29 091
63	Rek. Tekst	20 Tinnslin	0 3 %	0 3 %	0 3 %	0 3 %	0 3 %	0 3 %	0 3 %
64	21 Høydeareal	496 746	5 3 %	5 3 %	5 3 %	5 3 %	5 3 %	5 3 %	5 3 %
65	22 Høydeareal	742 319	7 0 %	7 0 %	7 0 %	7 0 %	7 0 %	7 0 %	7 0 %
66	23 Underentrepner	1 393 525	14 5 %	14 5 %	14 5 %	14 5 %	14 5 %	14 5 %	14 5 %
67	24 Maskin bilr. etc	1 398 493	14 7 %	14 7 %	14 7 %	14 7 %	14 7 %	14 7 %	14 7 %
68	25 Administrasjon	0	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %
69	27 Internafare kostnader	0	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %
70	SUM	9 427 626	9 427 626	9 427 626	9 427 626	9 427 626	9 427 626	9 427 626	9 427 626
71	Leidingsengde	410	410	410	410	410	410	410	410
72	Kostnad per meter	22 994	22 994	22 994	22 994	22 994	22 994	22 994	22 994
73	Start	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010	20 09 2010
74	Slutt	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011	01 08 2011
75	Tidsforbruk dager	315	315	315	315	315	315	315	315
76	Tidsforbruk uker	45	45	45	45	45	45	45	45
77	Arbeidstimer	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
78	Tidsforbruk timer per meter	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39
79	Tidsforbruk timer per meter	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39	0 39
80	Driftsresultat	1 583 315	1 583 315	1 583 315	1 583 315	1 583 315	1 583 315	1 583 315	1 583 315
81	Driftsmargin	14 2 %	14 2 %	14 2 %	14 2 %	14 2 %	14 2 %	14 2 %	14 2 %
82	Driftsmargin	Gruving	Gruving	Gruving	Gruving	Gruving	Gruving	Gruving	Gruving
83									

Konvensjonell graving

Utblokking

PU-Liner



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway