

Renovering av vannledninger på Utleira og Fossegrenda – metodevurdering

Water Pipeline Rehabilitation in Utleira and Fossegrenda – Method Assessment

Trondheim Mai 2019

Navn studenter:

Jens Tønjum Fjereide
Maren Helene Vikeby
Sang Munn Kim

Intern veileder:
Rolf Edvard Petersen

Ekstern veileder:
Trude Haukeland Grindheim
Fredrikke Kjosavik

Prosjektnr:
2019-11

Rapporten er ÅPEN



NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering

Vannledningstrasene i Bratsbergvegen, Nordslettvegen og Saturn- og Neptunvegen i Trondheim kommune er utsatt for brudd og lekkasjer. Det er derfor besluttet at ledningene må fornyes. I oppgaven benyttes dataprogrammet EPANET for å simulere eksisterende vannledningsnett og for å finne eventuelle kapasitetsproblemer. Fornyelsesmetoder som oppfyller krav fra Trondheim kommune og anbefalinger fra Norsk Vann skal så vurderes. Vurdering skal gjøres på grunnlag av stedlige forhold og hvorvidt metodene står i tråd med en bærekraftig utvikling. Avslutningsvis skal det velges en løsning for fornyelse, for hver av traseene, som er mest hensiktsmessig i forhold til bærekraftighet.

Resultatmål

- Innhente kunnskap om ledningsnettet i Trondheim
- Etablere ett rammeverk for fornyelses planlegging.
- Kjøre EPANET simulering og lage en kapasitetsvurdering av eksisterende vannforsyningsystem på Utleira og Fossegrenda.
- Etablere rammer for vurdering av metode
- Vurdere metodene opp mot hverandre og konkludere

Stikkord fra prosjektet:

Vannledninger

Renovering

Ledningsfornyelse

NoDig

Bærekraftighet

EPANET

Trondheim kommune

Norsk Vann

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av studentene Jens Tønjum Fjereide, Maren Helene Vikeby og Sang Munn Kim ved instituttet for bygg- og miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Rambøll.

Med interesse for VA-faget og en bakgrunn fra studieretningene Teknisk Planlegging og Anleggsteknikk ble det tidlig satt et ønske om å skrive om NoDig. Gleden ble dermed stor da VA-avdelingen hos Rambøll i Trondheim kunne tilby et samarbeid innenfor nettopp NoDig. Gjennom bacheloroppgaven har vi lært utrolig mye om fornyelse av vann- og avløpsledninger. Vi kommer nå til å ta med oss denne kunnskapen videre i VA-bransjen.

Trude Haukeland Grindheim og Fredrikke Kjosavik fra Rambøll har vært gruppens eksterne veiledere. Til dem ønsker vi å overrekke en stor takk, ikke bare for god hjelp og veiledning, men også for et stort engasjement for å spre kunnskap om et viktig tema.

Vi vil også takke vår interne veileder Rolf Edvard Petersen som alltid har stilt opp med gode råd og møte på kort varsel. Han har også lånt oss mye av litteraturen vi har bygget oppgaven vår på.

Maren Helene Vikeby

Jens Tønjum Fjereide

Sang Munn Kim

Abstract

Three different water main lines in Trondheim municipality have been subject to several breaks and leaks. These water main lines have a total length of approx. 1.3 km and are located under the roads of Bratsbergvegen, Nordslettvegen, Saturnvegen and Neptunvegen. Due to challenges redirecting traffic in the area, Trondheim municipality had to postpone maintenances for some time. Now the municipality wants to rehabilitate the pipelines with the use of trenchless technology.

Trenchless rehabilitation is construction work below the ground surface with the purpose to rehabilitate existing pipelines with limited use of trenches. The rehabilitation techniques compared in this project are pipe bursting, sliplining and close-fit lining. Relative merits of trenchless techniques have been compared to each other and to open cut trenches. The comparison analysis has focused on sustainability in three dimensions: social disturbance, environmental impact and economical sustainability. Trondheim municipality requires that rehabilitated pipes have the same structural integrity and life expectancy as newly laid pipes with use of conventional trenches. As such, several rehabilitation techniques that are not structural independent of host pipes are not taken into consideration.

The comparison includes an EPANET-simulation of the pipelines capacity under normal conditions and with increased demand of water for the use to extinguish as much as two fires at the same time. This has been done for current distributing system and for reductions in cross section of pipelines in the case of sliplining and close-fit lining. The simulation model in EPANET has not been calibrated and margin of error should be taken into consideration.

To compare cost and CO₂-emissions a limited bill of quantities was made. The most relevant items for calculating the cost and emissions were decided. The items were mainly focused around quantities of soil and asphalt excavated and transported. The price of each item was set by market price of comparable projects in Trondheim. Social inconvenience was decided by amount of work.

This project has shown that trenchless rehabilitation in these cases has been favorable compared to conventional trenches. Trenchless rehabilitation has shown itself to have lower emissions, less invasive, lower workload and more economical. Cost and emissions are greatly reduced if it is possible to use pipe that is delivered coiled. This is because the coiled pipe greatly reduces the required size of the insertion pit.

The greatest factor in cost reduction of using trenchless rehabilitation is dependent on the amount of lateral connections. Residential areas generally have numerous lateral connection that need to be connected to the main line after rehabilitation and every saddle point needs to be dug up. However, it should be noted that trenchless technology is more economical and environmentally friendly even with many lateral connections.

Close-fit lining has generally been the cheapest and least invasive to the environment in this project. It has however not been chosen as the best technique in any of the pipe routes. The reason for this is that there has been little to differentiate close-fit lining from the other methods, and close-fit lining has less structural strength than the other methods.

Trenchless rehabilitation cannot solve all problems, and there are times where it is not applicable. It should however always be considered in maintenance projects, and there should be good reasons for not choosing trenchless rehabilitation.

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	1
1.1	Tema og problemstilling	1
1.2	Bakgrunn	1
2.	Teori.....	3
2.1	Vannledningsnett i Trondheim.....	3
2.1.1	Materialer i vannledningsnett.....	3
2.1.2	Dagens kommunale transportsystem for vann.....	4
2.1.3	Korrosjon hos støpejernsledninger	5
2.1.4	Fornyelse av vanntransportsystem.....	6
2.1.5	Renovering.....	7
2.2	Bærekraftig utvikling i vannbransjen.....	8
2.3	Planlegging av fornyelse	10
2.3.1	Planleggingsstruktur	10
2.3.2	Anvendelse av strukturen.....	13
2.4	Planlegging på strategisk nivå.....	13
2.5	Planlegging på Taktisk nivå	14
2.5.1	Prioritering av prosjekt	15
2.6	Operativt/Teknisk nivå.....	16
2.7	Fornyelse i Trondheim	17
3.	EPANET simulering	18
3.1	Innledning.....	18
3.2	Manglende verdier og antakelser	20
3.2.1	Ruhet på ledning	20
3.2.2	Variasjonskurver og varighetskurver.....	21
3.2.3	Konsum og lekkasje.....	23

3.2.4	Trykksoner og vannkilde	24
3.2.5	Dimensjon på ledninger	26
3.3	Funksjonskrav i Trondheim kommune	26
3.4	Analyse og vurdering	27
3.4.1	Trykk og vannføring ved vanlig konsum.....	27
3.4.2	Vannhastighet ved vanlig konsum.....	28
3.4.3	Vannlevering ved en eller flere branner.....	29
3.5	Trykk og vannføring ved mindre dimensjon.....	31
3.5.1	Ved vanlig konsum	31
3.5.2	Vannlevering ved en eller flere branner.....	32
3.6	Resultat.....	33
3.7	Konklusjon	34
4.	Rammer for vurdering av metode	35
4.1	Vurderingsmetoder.....	35
4.1.1	Vurdering etter økonomisk, miljømessig og sosiale kostnader	36
4.1.1.1	Økonomi.....	37
4.1.1.2	Miljø	38
4.1.1.3	Sosiale kostnader	41
4.1.2	Vurdering etter NoDig-kalkulator.....	42
4.2	Metoder for fornyelse.....	43
4.2.1	Utførelsesmetoder	43
4.3	Forutsetninger og dimensjonering.....	46
4.3.1	Ledninger	46
4.3.2	Kummer	47
4.3.3	Kvikkleire	47
4.3.4	Materialer.....	48
4.3.5	Strømkabler.....	48
4.3.6	Veg.....	49

4.3.7	Gravearbeider.....	50
4.3.7.1	Åpen grøft	50
4.3.7.2	Anboringer og bend	51
4.3.7.3	Innføringsgrop.....	52
4.3.7.4	Mottaksgrop.....	55
5.	Metodevurdering.....	59
5.1	Bratsbergvegen.....	59
5.1.1	Forhold over grøft	59
5.1.2	Forhold i grøft.....	60
5.1.3	Kummer	61
5.1.4	Vurdering etter Norsk Vann rapport 221	62
5.1.5	Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger	62
5.1.5.1	Metode 1 – Åpen grøft.....	62
5.1.5.2	Metode 2 – Utblokking	66
5.1.5.3	Metode 3 – Rørrinnføring.....	69
5.1.5.4	Metode 4 – Tetttilsluttet rør	73
5.1.5.5	Resultater	75
5.1.6	Vurdering etter sosiale kostnader.....	76
5.1.7	Vurdering etter NoDig-kalkulator.....	76
5.1.7.1	Utblokking versus åpen grøft	76
5.1.7.2	Rørrinnføring versus åpen grøft	76
5.2	Nordslettvegen	77
5.2.1	Forhold over grøft	78
5.2.2	Grunnforhold og kvikkleire	79
5.2.2.1	Grunnforhold	79
5.2.2.2	Kvikkleire.....	80
5.2.3	Strømkabler.....	81
5.2.4	Kummer	82
5.2.4.1	Vannkum	82
5.2.4.2	Spillvanns- og overvannskum.....	82
5.2.4.3	Oppsummering	83

5.2.5	Spillvanns- og overvannsledninger.....	83
5.2.6	Vurdering etter Norsk Vann rapport 221	83
5.2.7	Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger	84
5.2.7.1	Metode 1 – Åpen grøft.....	84
5.2.7.2	Metode 2 – Utblokking	86
5.2.7.3	Metode 3 – Rørinnføring.....	90
5.2.7.4	Metode 4 – Tetttilsluttet rør	92
5.2.7.5	Resultater	94
5.2.8	Vurdering etter sosiale kostnader.....	95
5.2.9	Vurdering etter NoDig kalkulator	95
5.2.9.1	Utblokking versus åpen grøft	95
5.2.9.2	Rørinnføring versus åpen grøft	95
5.2.10	Rask oppsummering av Nordslettvegen	96
5.3	Saturnvegen/Neptunvegen	97
5.3.1	I grøften.....	98
5.3.2	Kummer	98
5.3.2.1	Vannkummer.....	98
5.3.2.2	Spillvann og overvannskummer.....	98
5.3.3	Anboringer	98
5.3.4	Bend	99
5.3.5	Strøm og kabler.....	100
5.3.6	Grunnforhold.....	102
5.3.7	Vurdering etter Norsk Vann rapport 221	103
5.3.8	Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger	104
5.3.8.1	Metode 1 – Åpen grøft.....	104
5.3.8.2	Metode 2 – Utblokking	105
5.3.8.3	Metode 3 – Rørinnføring.....	107
5.3.8.4	Metode 4 – Tetttilsluttet rør	108
5.3.8.5	Resultater	110
5.3.9	Vurdering etter sosiale kostnader.....	110
5.3.10	Vurdering etter NoDig kalkulator	111

5.3.10.1	Utblokking versus åpen grøft	111
5.3.10.2	Rørinnføring versus åpen grøft	111
5.3.11	Rask oppsummering	111
5.4	Sluttvurdering og konklusjon – Bratsbergvegen	112
5.5	Sluttvurdering og konklusjon – Nordslettvegen	113
5.6	Sluttvurdering og konklusjon for Saturn- og Neptunvegen	115
6.	Innovasjon – Gravefri tilkobling	117
7.	Avslutning	119
	Figurer	121
	Tabelliste	126
	Formelliste	128
	Bibliografi	129
	Vedleggsliste	135

1. Innledning

1.1 Tema og problemstilling

Utskifting av VA ledninger er arbeidskrevende og konvensjonelle grave metoder er dyrt. Graving av grøft, spesielt i urbane strøk, forstyrrer trafikk og publikum. Dette oppleves som frustrerende for lokalmiljøet. I Norge er det et stort etterslep i fornyelsen av vannledningsnettet. I vannledningsnettet er det mange rør som begynner å nå slutten av sin levetid og ved bruk av konvensjonell graving er det vanskelig å oppnå fornyelsestakten flere kommuner ønsker. Gravefrie løsninger for renovering, såkalte NoDig-metoder, kan være til hjelp for dette formålet og stadig flere kommuner ønsker Norge å øke sin bruk av NoDig. Teknologien bidrar til å oppnå en bærekraftig utvikling i vannbransjen og kan bidra til å øke fornyelsestakten. Metodene er fremdeles relativt nye i Norge og det jobbes stadig med å effektivisere metodene og finne nye løsninger.

På Utleira og Fossegrenda i Trondheim kommune ligger tre traseer med vannledninger som nå er modne for fornyelse. Dette er eldre duktile og grå støpejernsledninger som de siste årene har vært utsatt for flere lekkasjer og brudd. Traseene strekker seg langs vegene Bratsbergvegen, Nordslettvegen og Saturn- og Neptunvegen.

Problemstillingen i oppgaven er å finne metode for ledningsfornyelse som er mest hensiktsmessig i forhold til bærekraftighet.

Hensikten med oppgaven er å avdekke fordeler og ulemper ved de forskjellige NoDig-metoder og for å finne en strategi for å vurdere etter bærekraftighet.

1.2 Bakgrunn

I perioden fra tidlig 1900 til slutten av 1960 var det vanlig å bruke grått støpejernsrør som trykkrør. (4, 5) Disse ledningene beholder deler av sin styrke når de korroderer, men blir sprø og utsatt for tverrbrudd. Vannledningene i Bratsbergvegen er av grått støpejernsrør og ble lagt på 50-tallet. Bratsbergvegen har i de siste årene opplevd flere brudd og lekkasjer. Ledningene i Nordslett-, Saturn- og Neptunvegen er av duktilt støpejernsrør og ble lagt fra slutten av 60- og til starten av 70-tallet. På grunn av manglede kunnskap om korrosjon, var det vanlig å legge rørene i stedlige masser, som siden har ført til at disse ledningene i Trondheim har blitt utsatt for store mengder SRB-korrosjon.

Fornyelse av traseene er komplisert da det senere er lagt høyspentkabler i grøften. Det er også stor fare for kvikkleire langs alle traseene. For å begrense oppgavens omfang har det ikke blitt sett på de potensielle geotekniske problemene ved dette. Det er kun blitt påvist at det er kvikkleire og kommentert at man bør ta hensyn til dette og unngå å forstyrre denne i størst mulig grad.

Kummer, spillvanns- og overvannsledning er lagt i samme tidsperiode som vannledningene. Tilstand på disse er også undersøkt og vurdert for traseene Nordslettvegen, Saturn- og Neptunvegen. I Bratsbergvegen ligger vannledningen i hovedsak alene i grøften. Det er produsert en tilstandsvurdering av dette, men det er ikke laget en plan for å renovere disse ved behov.

Med hensyn til grunnforhold og bærekraftighet ble det i første omgang sett på renoveringsmetoder som ikke trenger graving. Renoveringsmetoder som strømperenovering og sprøyting av belegg kan utføres raskt fra kum til kum, men er ikke strukturelt. Senere ble det kjent at Trondheim kommune ønsker strukturelle metoder. Ikke strukturelle metoder er dermed ikke blitt vurdert. Det har blitt undersøkt forskjellige strukturelle metoder, men metodene som er vurdert er utblokking, rørrinnføring og tetttilsluttet rør. Disse metodene ble valgt etter samtale med Trondheim kommune og retningslinje fra Norsk Vann rapport 221. Andre metoder ble utelukket fordi Trondheim kommune ikke har erfaring med disse eller metoden er på prøvelsesstadiet.

Det er ikke bestemt hvilken metode som er best for alle situasjoner, men hvilken metode som er best etter forutsetningene i traseen.

2. Teori

2.1 Vannledningsnett i Trondheim

Helt siden slutten av 1770-tallet har Trondheim kommune hatt et felles vannforsyningssystem (1). Det som en gang besto av hule tømmerstokker som fraktet vann inn til byen er i dag et omfattende transporteringsystem for vann bestående av ledningsnett, tunneller, vannkummer, pumpestasjoner og høydebasseng. Materialteknologien har hatt en stor utvikling, men mangel på blant annet kunnskap om slitasje og korrosjon har ført til at store deler av ledningsnett må fornyes. For å imøtekomme dette problemet og fremtidige utfordringer er det satt et mål om å øke dagens fornyelsestakt. Ved økende bruk av gravefrie løsninger håper man å oppnå dette målet på en effektiv og miljøvennlig måte.

2.1.1 Materialer i vannledningsnett

I 1777 fikk Trondheim sitt første vannverk og har siden hatt felles vannforsyning.(1) Transportsystemet for vann besto den gang av hule tømmerstokker av furu som fraktet vann fra Ilabekken og inn til byen.(1) Folk som hentet vann direkte fra Ilabekken, kunne nå hente vann i bøtter fra brønner i byen.

På midten av 1800-tallet førte en rekke forhold til et behov for å utbedre vannforsyningssystemet. (2, s. 16) Begynnende industrialisering, økt velstand, behov for bedre brannvannsløsninger og bedre sanitærforhold resulterte i økt vannforbruk. Ettersom vannforsyningen ikke lenger kunne imøtekomme behovene i Trondheim ble byens første stadsingeniør ansatt, og arbeid med å skaffe nytt vannverk ble startet. I første omgang ble det anlagt et støpejernsrør fra Ilabekken og inn til byen, med forgreininger til bebyggelsen. Senere kom også en utbyggelse av ledningsnett og magasinene Theisendammen, Bakklidammen og Kobberdammen.(3)

Fra begynnelsen av 1900-tallet til ca. 1965 ble det i hovedsak brukt grått støpejern (SjG) som vannrør, før duktile støpejern overtok på 1960-tallet. (4, 5) De grå støpejernsrørene var, på grunn av sin lave bruddseighet, utsatt for tverrbrudd og særlig sårbare for frost og tele. De duktile støpejernsrørene derimot hadde større bruddseighet og var svært motstandsdyktige mot tverrbrudd, selv ved deformasjon. Rørene var dessuten mulig å produsere med vesentlig mindre veggtykkelse.(6) Mangel på kunnskap om korrosjon førte imidlertid til at duktile støpejernsrør ble lagt ubeskyttet i stedlige masser og uten noen form for drenering. Dette

fortsatte fram til ca. 1975 da det hadde oppstått korrosjonsproblemer på flere rør. (5, s. 49) Korrosjonsbeskyttelse ble et standardkrav og drenerende masser ble brukt som omfyllingsmasser for å beskytte rørene.

Rundt 1970 begynte man å legge ledninger av termoplast, men de første ledningene som ble lagt var utsatt for brudd.(2, s. 375) Likevel tok det ikke lang tid før rørene kunne produseres med høy bruddseighet og det har vært få skader på ledninger som ble lagt etter 1980. I ettertid har plastrør dominert for små og mellomstore diametere da de er konkurransedyktige i pris. Det ble også lagt asbestsementrør i periode fra 1960 til 1985, men grunnet sykdomsrisiko ved produksjon og reparasjon ble asbestrør siden forbudt. (2, s. 375) Det var dessuten en del skade på rør av asbestsement, men rørene har bare utgjort en mindre del av ledningsfornyelsen i Trondheim. (5, s. 50)

2.1.2 Dagens kommunale transportsystem for vann

Trondheim vannverk forsyner i dag abonnenter i Trondheim, Malvik og Melhus med vann fra vannkildene Jonsvatnet og Benna. I tillegg til et ledningsnett på ca. 800 km og ca. 7 km med vanntunnel består det kommunale transportsystemet av ca. 7000 vannkummer, 20 pumpestasjoner og 12 høydebasseng. (5, s. 47)

Høydebassengene er dimensjonert med utjevningvolum og et sikkerhetsvolum. Dette vil si at det skal være tilstrekkelig forsyningsvann i bassengene for å kunne ta variasjoner i forbruk over døgnet i tillegg til å forsyne nok vann til brannvann, ledningsbrudd eller annet som forstyrrer vannforsyningen. I Trondheim er det satt et mål om at høydebassengene alene skal kunne levere tilstrekkelig vann i 24 eller 48 timer. (5, s. 70) Den østlige delen av Trondheim har noe lav dekning i forhold til dette målet.

Der det ikke er hensiktsmessig å bygge høydebasseng, forsynes abonnentene direkte via pumpestasjoner. Pr. 2015 fikk ca. 1850 personer forsyningsvann fra såkalte pumpesoner. (5, s. 48) Slike soner krever sikring av god beredskap ved pumpestasjonene der det er mangel på alternativ vannforsyning.

Når det gjelder vannkummene må disse sikres for tilstrekkelig brannvannsdekning og for å kunne motstå undertrykk. Brannvannsdekning sikres ved at det er tilstrekkelig mengder sløkkevann og at det ikke er for lang avstand fra brannkummen til bebyggelsen. Ifølge Trondheim kommune er det avdekket 65 områder med mulige avvik fra VA-normen. (5) Undertrykk medfører fare for innsug av forurensninger og oppstår når vanntrykk i kummen er

lavere enn 15 mVs. (5, s. 72) En analyse gjennomført av Trondheim kommune viste at 1103 kummer har fare for undertrykk ved uttak på 120 l/s i samme eller nærliggende område. 272 kummer av disse viste fare for undertrykk ved uttak mellom 20 og 50 l/s og 18 kummer ved uttak mindre enn eller lik 20 l/s. (5, s. 72)

Det kommunale ledningsnett i Trondheim har en lengde som tilsvarer tur-retur Trondheim - Mo i Rana og har en gjennomsnittsalder på 36 år. (5, s. 47-49) De eldste rørene i vannledningsnett i Trondheim er fra 1860, men den største delen av nettet er lagt etter 1950. Plastmaterialer (PVC, PE og GPR) har blitt lagt siden 1970 og utgjør i dag over halvparten av nylagte/renovert rør i Trondheim. (5, s. 49). Det er likevel de eldste rørene i grått og duktilt støpejern som representerer vannverkets største utfordring. Disse ble lagt uten utvendig beskyttelse og er sterkt påvirket av korrosjonsproblemer. Duktile støpejern velges enda som materiale ved nylagte/renovert rør da de har stor styrke og høy ringstivhet, men med riktig korrosjonsbeskyttelse. I Trondheim består store deler av grunnen av marin leire. Marin leire gir gode forhold for SRB-korrosjon, og metalliske rør som ligger ubeskyttet i slike området vil ha høy korrosjonsfare. Dette er mye av grunnen til at fornyelsesbehovet i Trondheim i hovedsak knyttes til støpejernsledninger.

2.1.3 Korrosjon hos støpejernsledninger

Rør av metalliske materialer som grått og duktilt støpejern, og stålrør er utsatt for korrosjon. Korrosjon forekommer som en kjemisk prosess der metallet prøver å vende tilbake til sin opprinnelige tilstand i kontakt med andre stoffer. Jern, som fremstilles fra malm, rustet i kontakt med vann og luft, og dermed dannes et stoff som har tilsvarende sammensetning som malm (7).

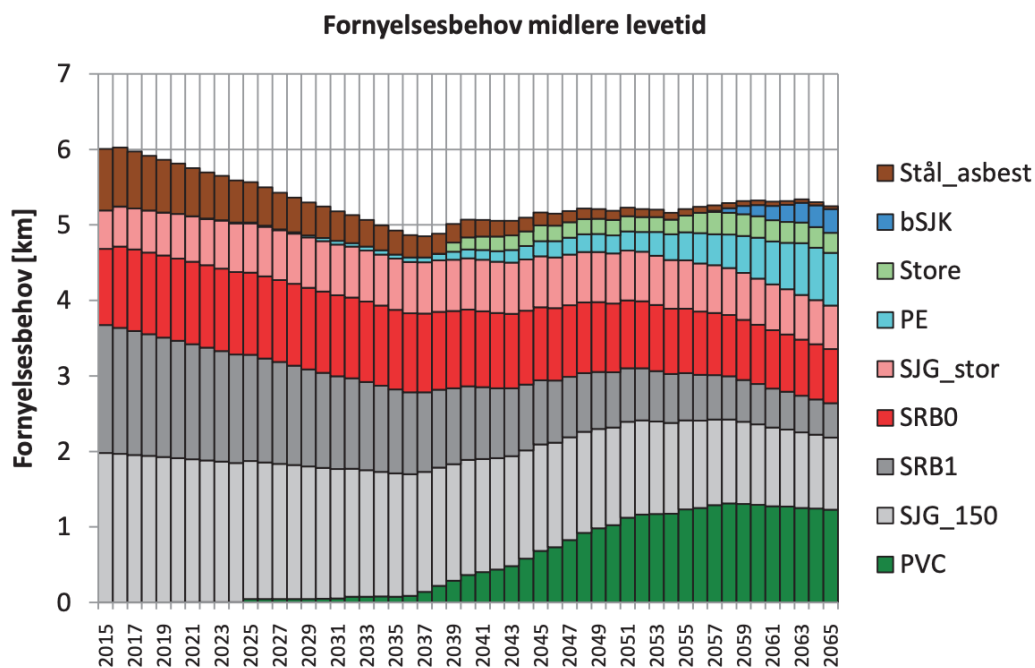
I tillegg til jern består vekten til både duktilt og grått støpejern av ca. 4% grafitt. I grått støpejern ligger grafitten som flak i jernet (4). Denne flak-strukturen gjør materialet sprøtt og det er derfor grå støpejern er utsatt for tverrbrudd. Når jernet trekkes ut av rørveggen under korrosjon oppstår en såkalt *grafittisering* og en grafittstruktur vil bli stående. Grafitten vil ha ca. 10% av opprinnelig styrke, men selv om styrken blir betydelig redusert kan dette være nok for å holde røret på plass. (6)

Duktile støpejern vil ikke ha en tilsvarende grafittisering da grafitten har en kule-struktur og ikke flak-struktur. Dette gjør materialet seigt og motstandsdyktig mot tverrbrudd, men også mer påvirket under korrosjon. Når duktilt støpejern korroderer vil grafitten ikke stå igjen når

jernet trekkes ut, men transporteres bort fra rørveggen slik at korrosjonsgroper og -hull oppstår.(6)

Den kjemiske prosessen som oppstår under korrosjon innebærer en redoksreaksjon som foregår mellom en anode, katode og en elektrolytt. Forskjellige forhold fører til at det dannes katodiske og anodiske partier på materialet. Løsninger som inneholder ioner kalles elektrolytter. Dermed kan vannet som transporteres eller omliggende vann i jorda fungere som en elektrolytt og en redoksreaksjon kan oppstå.(7)

Mangel på kunnskap om korrosjon har ført til at mye av fornyelsesbehovet er knyttet til støpejernsledninger lagt uten korrosjonsbeskyttelse. I en analyse utført av Trondheim kommune viser det seg at fornyelsesbehovet i fremtiden også vil omfatte grå og duktile støpejernsledninger. (5, s. 73)



Figur 2.1: Fornyelsesbehov ved midlere levetid for ulike grupper av ledninger utført med programvaren CARE-W LTP. Hentet fra «kommunedelplan for vannforsyning 2017-2018» (5, s. 73)

2.1.4 Fornyelse av vanntransportsystem

Trondheim kommune har utarbeidet en prioritert liste for fornyelse av vannkummer med dårlig kvalitet og en liste for utskifting av brannventiler uten stengeventil. Av disse er det felleskummer som har høyest prioritet. (5) Utfordringen med felleskummer er risikoen for forurensing av drikkevannet ved lavt vanntrykk i nettet. Det er derfor ønskelig med fullstendig

separering av felleskummer, men ikke et krav. Slike tiltak er dessuten svært kostnadskrevede.(8)

For å opprettholde god vannkvalitet og leveringsstabilitet i Trondheim, både i dag og i fremtiden, må det sikres god stand på vannledningsnettet. Dette innebærer et behov for hyppigere fornyelse av ledningsnettet enn dagens fornyelsestakt, samtidig som man utnytter ledningenes levetid og utfører tiltak før ledningene opplever større driftsproblemer. (5)

I tillegg til å hindre større ledningsbrudd, kan fornyelse av vannledningsnettet både direkte og indirekte medvirke til reduksjon av vanntapet i en kommune.

I en tilstandsvurdering utført av Norsk Vann i 2015 ble ledningsnettets funksjon karakterisert som mangelfull. Dette fordi vanntapet er over 20 %. Trondheim kommune har ved en systematisk plan for fornyelse av ledninger redusert antallet akutte ledningsbrudd ved å redusere antall lekkasjer. Vanntapet pr. 2015 har derimot ikke vist seg å påvirkes av ledningsfornyelse eller redusert antall lekkasjer. Dette kan komme av at lekkasjetapet hovedsakelig kommer fra skjulte små lekkasjer som ikke oppdages ved lekkasjesøking, eller andre forhold som ukjent forbruk, målefeil ved vannmålere, stor usikkerhet ved industriforbruk og husholdningsforbruk. Det har imidlertid vist seg at vanntapet de siste årene har gått ned, uten at det direkte har blitt satt i sammenheng med ledningsfornyelse. (9)

Frem til i dag har fornyelsesraten for ledningsnettet vært på knapt 0,7 %. Dette tilsvarer en total fornyet ledningslengde på knapt 6 km, hvor målsettingen har vært 6 km i året. Trondheim kommune har konkludert med at fornyelsestakten må økes fra 6 km per år til 7 km per år, som tilsvarer en fornyelsesrate på ca. 0,9 %. Dette kommer som et resultat av beregninger gjort på grunnlag av to analyser som kommunen selv har gjennomført. (5, s. 72-74)

2.1.5 Renovering

Gravefrie løsninger viser seg ofte å være både tids- og kostnadsbesparende i tillegg til å gi en miljømessig gevinst for samfunnet. Dermed kan økt bruk av gravefrie metoder være en løsning for å øke fornyelsestakten.«I forhold til konvensjonell graving viser ofte NoDig-metoder seg å være kostnadseffektive, de beslaglegger mindre areal, skaper mindre ulemper for publikum og har en kortere anleggstid.» (10, s. 12)

For alle prosjekt som omhandler fornyelse av ledninger skal gravefrie løsninger alltid vurderes som et alternativ. I enkelte tilfeller vil graving av grøft være den beste løsningen og noen ganger

den eneste løsningen. Da kan det likevel være fordelaktig å se på en kombinasjon av graving og NoDig.

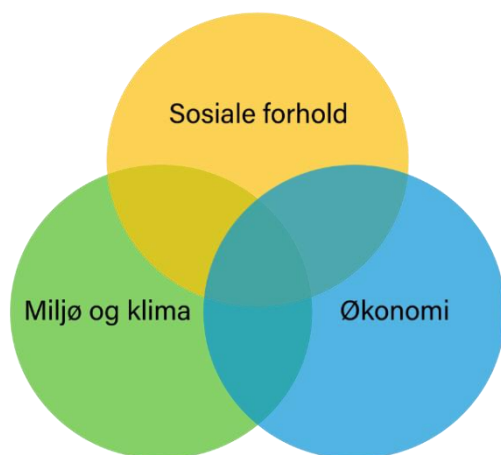
Trondheim kommune har lang erfaring med bruk av gravefrie metoder og i løpet av de siste 10 årene har ca. 30 % av rørfornyelse blitt gjennomført med bruk av gravefrie metoder. (5, s. 51). Det benyttes i hovedsak utblokking av den gamle ledningen og inntrekking av nytt PE-rør som renoveringsmetode i Trondheim. Dette er fordi det er mulig å opprettholde eller øke den innvendige rørdimensjonen. Utblokking er dessuten en strukturell metode hvor det nye røret ikke er avhengig av rørstyrken til det eksisterende røret. Ikke-strukturelle metoder blir ikke mye brukt da det ønskes fullstendig styrke på røret etter fornyelse. Der styrken i vannledninger eventuelt er god nok kan semi-strukturelle metoder likevel være aktuelle.

2.2 Bærekraftig utvikling i vannbransjen

I 2015 vedtok FNs medlemsland 17 mål for bærekraftig utvikling frem mot 2030. (11) Verdenskommisjonen for miljø og utvikling utarbeidet i 1987 rapporten «Vår felles framtid» som først definerte begrepet bærekraftig utvikling:

«Bærekraftig utvikling er utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov.» (12, s. 42)

FNs bærekraftsmål nr. 6 handler om å sikre rent vann og gode sanitærforhold. Vannbransjen som forvalter vann- og avløpstjenestene har dermed et ansvar for å jobbe målbevisst mot en bærekraftig utvikling. For å oppnå dette må det jobbes innenfor de tre dimensjonene i bærekraftig utvikling – miljø og klima, økonomi og sosiale forhold. Sammenhengen mellom disse avgjør om en utvikling er bærekraftig.



Figur 2.2: De tre dimensjonene i bærekraftig utvikling. Hentet fra fn.no (13)

I protokoll fra Norsk vanns årsmøte i 2017 blir det sitert fra rapporten «En bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene». Rapporten definerer begrepet «bærekraftig» med de tre dimensjonene i bærekraftig utvikling (58, s. 2):

Miljømessig bærekraft – Forvaltning og utvikling innenfor naturens tålegrenser

VA-tjenestene skal utføres på en måte som minimaliserer all negativ påvirkning av miljøet. Miljø skal være en viktig parameter ved planlegging og gjennomføring av tiltak både ved utbygging og drift av VA-systemene.

Økonomisk bærekraft – bærekraftig ressursbruk, herunder kostnadseffektive løsninger

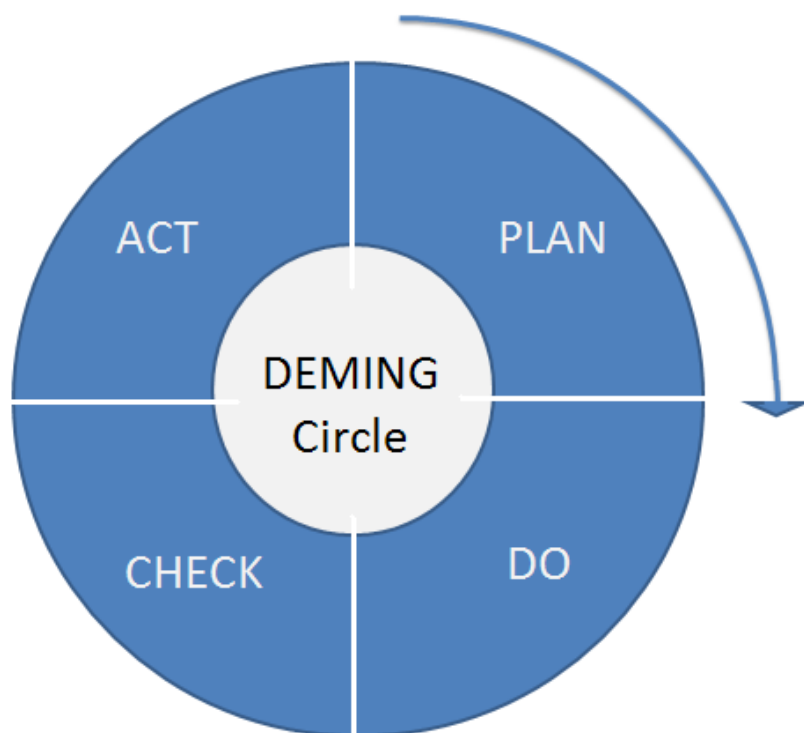
Vannbransjen står overfor store utfordringer når eksisterende systemer må fornyes, samtidig som utfordringer knyttet til f.eks. klima og sikkerhet resulterer i store investeringer i nye VA-anlegg. En bærekraftig ressursbruk forutsetter i den forbindelse gode systemer for å få mest mulig VA ut av tilgjengelige ressurser.00

Sosial bærekraft – bærekraftige VA-tjenester for brukerne

Det sosiale perspektivet i definisjonen av bærekraft er i denne sammenhengen rettet mot anleggseiernes ytelse overfor brukerne av VA-systemene og kundenes opplevelse av denne. Faktorer knyttet til kompetanse og arbeidsmiljø hører også inn under den sosiale dimensjonen.

2.3 Planlegging av fornyelse

Basert på beste praksis internasjonalt, flere EU-prosjekt og praktiske erfaringer fra Norge, har Norsk Vann i Rapport 196 satt sammen et rammeverk for systematisk VA-planlegging. Dette rammeverket er bygget opp slik at kommunene skal følge den kjente PDCA-syklusen i sin planlegging. Der P står for Plan, D for Do, C for Check og A for Act (8, s.11).



Figur 2.3: Illustrasjon av PDCA-syklusen (57).

Dette kapitlet kommer til å gå inn på hvordan dette rammeverket kan brukes til fornyelses planlegging og hvordan en bør velge ut ledninger og områder til fornyelse. For bedre forståelse anbefales det å lese Norsk Vann Rapport 196. Trondheim kommune har vært med å bidra til rapporten og bruker mange elementer fra den i sin planlegging, men ikke alle.

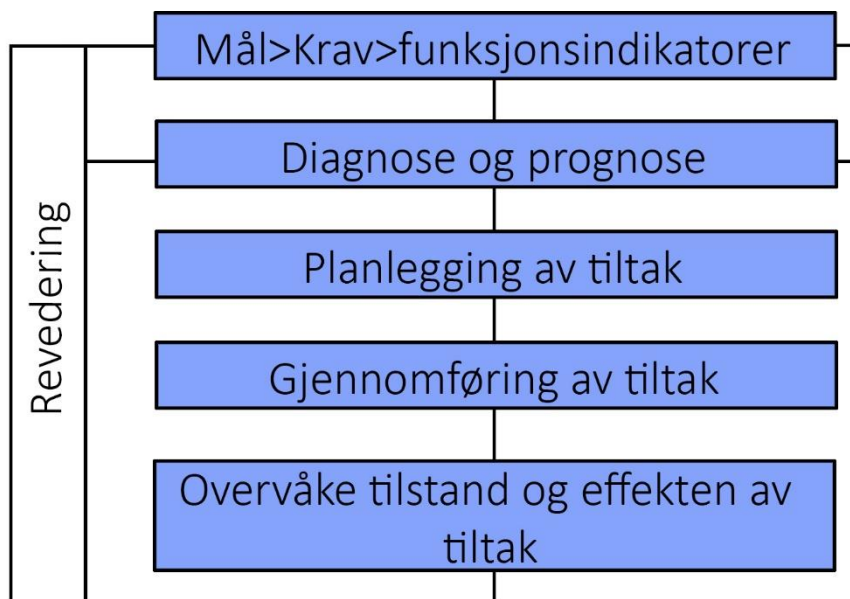
2.3.1 Planleggingsstruktur

Planlegging av fornyelse for kommunal vannforsyning er i Norsk vann rapport 196 foreslått delt i tre deler i en hierarkiskstruktur (8, s.5, s.9, s.13):



Figur 2.4: Planleggingsstruktur foreslått av Norsk Vann Rapport 196 (8, s.12)

De forskjellige nivåene har samme systematiske struktur for at planleggingen skal være effektiv.



Figur 2.5: Arbeidsflyt for planleggingsnivå som foreslått av Norsk Vann Rapport 196 (8, s.13)

Mål, krav og funksjonsindikatorer

Under mål og krav skal man sette opp mål som er ambisiøse, men realistiske. Målene må være etterrettelige, de må kunne vurderes kvalitativt og/eller kvantitativt basert på funksjonsindikatorer. Målene må omfatte service og bærekraftighet (8, s.13).

Diagnose og prognose

Her blir det stilt en diagnose på hvordan det står til med ledningsnettets. Det bør også utføres en analyse av hvordan tilstanden kommer til å være i slutten av planleggingsperioden. En bør se på fremtidige rammebetingelser som befolkningsvekst, klimaendringer og andre variabler som vil påvirke ledningsnettets tilstand i fremtiden (8, s.13).

Planlegging av tiltak

Virkingen av forskjellige eventuelle tiltak skal settes opp mot hverandre. Hva har størst effekt, hva er en god løsning, hva er økonomisk, hvor mye skal gjøres, hvor mye bør gjøres nå, bør noe vente? (8, s.13)

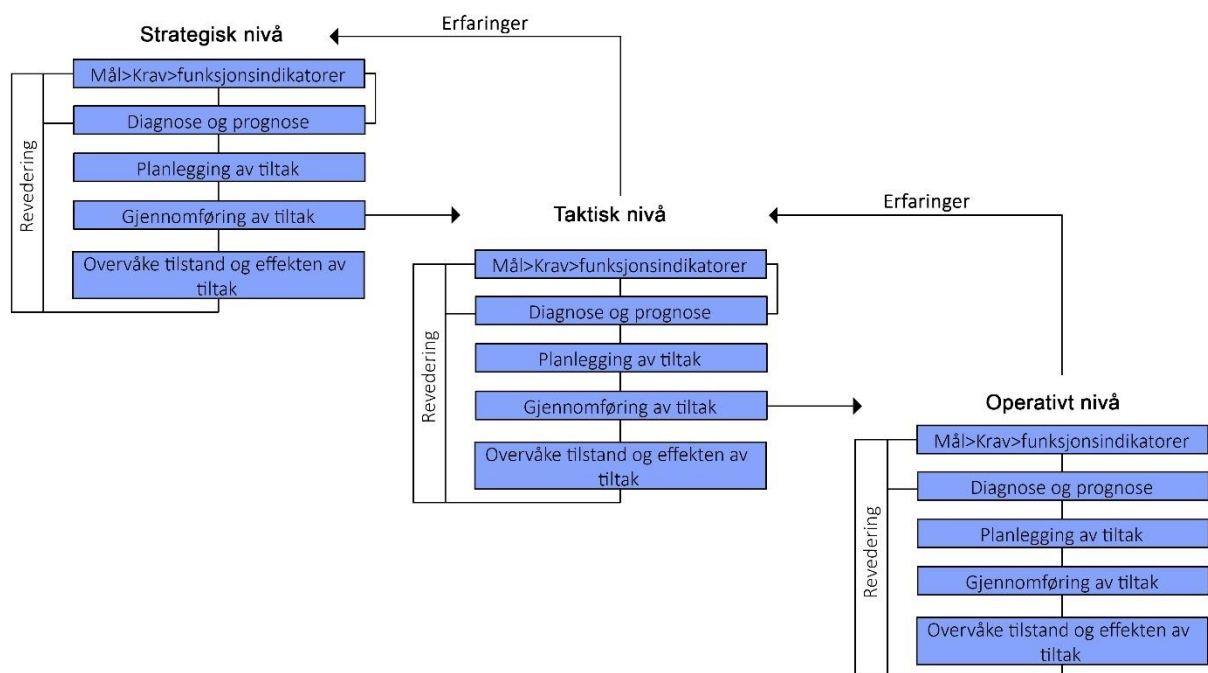
Gjennomføring av tiltak

Er selve utførelsen av tiltakene(8, s.13).

Overvåke tilstand og effekten av tiltak

Når et tiltak er utført må det evalueres for effekt og dokumenteres slik at en kan trekke erfaringer fra prosessen. Dette muliggjør at fremtidige arbeid ikke går i samme feller under utførelsen, eller eventuelt blir mer effektiv i gjennomførelsen(8, s.14).

2.3.2 Anvendelse av strukturen



Figur 2.6: Sammenheng mellom nivåene (8, s.14)

Hver plan starter med fastsetting av mål og så arbeides det nedover til man ender på *Overvåke tilstand og effekten av tiltak*. Fra planlegging av tiltak på strategisk nivå går planleggingen videre i taktisk, og tilsvarende fra taktisk til operativt nivå. Når prosessen har gått gjennom de tre nivåene av planlegging blir erfaring ført oppover i kjeden av planlegging(8, s.14). Tanken er at det skal være en sammenheng mellom det som vedtas på strategisk nivå, og hva som blir utført på taktisk og operativt nivå. Det blir som oftest ikke slik av flere grunner(8, s.14). Det kan for eksempel være at man vedtar en plan på strategisk nivå, men når man årlig skal bevilge penger til dette formålet blir det ikke gjort, eller at disse pengene ender med å gå til andre formål enn først tiltenkt. Det kan også hende at prisene på fornying er høyere enn antatt og det ikke er nok bevilgede penger(8, s.14). Hovedfordelen med den tredelte strukturen er at det gir et helhetlig fornyelsesarbeid (8, s.14).

2.4 Planlegging på strategisk nivå

Strategisk nivå er planlegging på overordnet nivå. Her blir visjoner og mål for hele VA-nettet satt. Denne planen setter ut hvilken retning kommunen skal bevege seg over en lengre periode. Strategisk nivå har typisk to tidshorisonter 10-20 år og 20-100 år og er politisk forankret(8, s.14).

Trondheim kommunes «Kommunedelplan for vannforsyning 2017-2028» er et eksempel på en slik plan med kort tidshorison. Kommunedelplanen for vannforsyning forteller om hvordan tilstanden er i dag og hvordan kommunen ønsker den skal være på slutten av perioden.

Mål på strategisk nivå skal være langsiktige. «På strategisk nivå defineres overordnede mål og krav, og man lager planer som viser samlet fornyelsesbehov og hvilke strategier en skal gjennomføre for grupper av ledninger.»(8, s.12). I Norsk Vann Rapport 196 er det henvist til et EU prosjekt kalt TRUST som har kommet frem til fem aspekter man bør sette mål og krav ut fra (8, s.22):

- Sosiale/samfunns mål (vannkvalitet, forstyrrelser for andre etc.)
- Kostnader (Betalingsvillighet, grad av selvkost etc.)
- Miljø (materialbruk, utslipp til vann og miljø)
- Organisasjon/ledelse
- Aktiva (VA- infrastruktur, personell etc)

Målene som blir definert må være realistiske, målbare, etterprøvbare, og man må ha ressursene for å følge dem opp. Trondheims kommunedelplan nevner «nok vann, godt vann, sikkert vann og effektiv tjenesteyting som overordnede mål for perioden 2017-2028. Under de overordnede målene er det delmål som igjen har operative mål under seg. De operative målene definerer en indikator slik at målene er målbare og etterrettelige. Norsk Vann Rapport 196 trekker frem eksempler på mål som kan settes (8, s.23, s.26):

- Bytte ut alle rør av et materiale som er eldre enn et visst årstall som man har problemer med.
- Ha en bestemt prosent av det totale ledningsnettet som må fornyes hvert år.
- Separere så mange km årlig eller lignende

2.5 Planlegging på Taktisk nivå

Når man skal begynne å planlegge på taktisk nivå tar man utgangspunkt i de mål som er satt på strategisk nivå. Ut fra disse målene blir det laget en plan med en tidshorison på tre til fem år(8, s.12). Taktisk nivå bestemmer hvor en skal fornye og når(8, s. 30).

For å bestemme tilstanden til ledningsnett kan man bruke funksjonsindikatorer. Et eksempel på en funksjonsindikator er hvor mange brudd det har vært på en ledning. Når man har bestemt en funksjonsindikator setter man krav til funksjonsindikatoren(8, s.34). Eksempler på krav kan være: Fornye ledninger med flere brudd enn X, eller ledninger med lekkasjer over så mange prosent må fornyes. (8, s.34). Kravene kan være en måte å identifisere hvilke ledninger som bør fornyes (8, s.34). Funksjonsindikatorerne kan brukes før og etter et prosjekt er utført for å analysere virkningen av tiltaket.

For å kunne indentifisere gode eller relevante indikatorer er det nødvendig med et godt informasjonsgrunnlag. I Norsk Vann Rapport 196 er det beskrevet noen metoder for bestemmelse av tilstand på et vannledningsnett(8, s.34):

- Analyse av driftsdata basert på temakart og ulike rapporter
- Kundemeldinger
- Analyse av vannlekkasjedata, lekkasjesøking
- Direkte tilstandsmåling av metalliske ledninger
- Tilstandsvurdering av plastledninger
- Tilstandsmodellering ved hjelp av statistiske modeller
- Tilstandsvurdering av vannkummer og felleskummer

Driftsansatte bør også involveres slik at de kan bidra med sine erfaringer. Informasjonen bør systematiseres digitalt slik at det kan analyseres og brukes til å velge ut prosjekt for tiltak(8, s.34). Utover tilstanden til den enkelte ledning kan det være lurt å se på hvor sårbare kummer og ledninger er og om noen ledninger er *kritiske*. I denne sammenheng så kritisk ment som definert i Norsk Vann Rapport 220. I Rapport 220 er kritiske ledninger definert som: «En vann- eller avløpsledning med tilhørende kummer, kulverter eller tunneler, som på grunn av sin funksjon eller omgivelser kan medføre betydelig skade eller ulemper for mennesker, miljø, omdømme, materielle verdier eller infrastruktur.»(8, s.9).Det kan være lurt å kombinere de forskjellige metodene for best mulig oversikt.

2.5.1 Prioritering av prosjekt

Når problemer er identifisert blir disse veid opp mot hverandre i grad av viktighet og hvor praktisk det er å gjøre noe nå. I noen tilfeller kan det være bedre valg å vente om det for eksempel skal graves på samme sted ved en senere anledning. I Norsk Vann Rapport 196 blir det foreslått en rekke faktorer som bør overveies før man tar en avgjørelse på hvilket prosjekt som skal prioriteres og hvilke som kan vente (8, s.57).

2.6 Operativt/Teknisk nivå

Operativ/Teknisk nivå er utførelsen av de prosjektene som er blitt bestemt på taktisk nivå. Planleggingen har en kort tidshorison som er på opptil to år (8, s.12). Det bestemmes hvordan man skal utføre fornyelsen i hvert prosjekt. Når en skal fornye en ledning har man tre hovedprinsipp for fornyelse: Konvensjonell graving, bruke det gamle røret som utgangspunkt, eller bore en ny trasé(8, s.65). Flere kommuner ønsker i dag å øke bruken av gravefrie løsninger(5, s.11, s.74, 8, s.67, 13, s.9, s.21). Det finnes ganske mange forskjellige metoder for fornying uten graving, utfordringen er å velge riktig metode for prosjektet.

Det må gjøres gode forundersøkelser for å ha et godt beslutningsgrunnlag. Feltarbeid, kumregistrering, lekkasjesøking, og rørinspeksjon er viktig for å få et godt grunnlag(8, s.66).

For å bestemme den beste metoden for et prosjekt setter man funksjonsindikatorer til valg av fornyelsesmetode, deretter krav til funksjonsindikatoren. Indikatorene bør være utformet slik at man med erfaring kan velge metode ut fra hvilke betingelser man møter i sitt prosjekt(8, s.65).

Til tross for at det tilstrebes å bruke NoDig løsninger, kan det i mange tilfeller lønne seg å velge konvensjonell graving. Norsk Vann Rapport 196 trekker fram følgende eksempler (8, s.66):

- Samordning med andre etater for vei, kabler, fjernvarme etc.
- Separering av fellesavløp, eller behov for flere rør
- Ved behov for dimensjonsøkning, ut over det NoDig teknikk muliggjør
- Ved behov for dypere avløpssystem av hensyn til bedre ledningsfall, eller for å sikre riktig ledningsnivå i forhold til tilknyttede abonnenter (kjellerhøyde).

Vanligvis konkurranseutsetter man etter å ha valgt metode, men på noen prosjekter er det mulig å ha konkurranse mellom metodene(8, s.82). For offentlig innkjøp er det et krav at man skal se på miljøets påvirkning av kjøpet, her kommer NoDig godt ut i forhold til vanlig graving. «NoDig har et CO₂-utslipp ca. 80% lavere enn ved graving» (8, s.87). Man må også ta hensyn til servicegrad, omdømme, miljøfaktorer, levetid og naboloven når man velger utførelsesmetode(8, s.87).

Under prosjektets utførelse bør kommuner bruke egen byggeledelse. Entreprenørers egenkontroll har vist seg å ikke være god nok. Kommunen får også økt kunnskapen på denne måten. Norsk Vann Rapport 196 anbefaler også at kommunen selv kjøper inn kontrollopgaver for nyanlegg. Det har vært vanlig at entreprenørene kjøper inn disse

tjenestene, men entreprenørene kjøper ofte da inn billigste tilbud noe som ikke nødvendigvis er i kommunens interesse(8, s.79).

2.7 Fornyning i Trondheim

I sitt fornyelsesarbeid jobber Trondheim kommune mye likt som Norsk VannRapport 196 beskriver. Trondheim kommune har også bidratt med innhold til rapporten(9). Trondheim kommune bestemmer hvilke prosjekter året før de skal utføres. Da samles planleggerne i kommunen og lederne fra driftsavdelingen og bestemmer hva som skal gjøres. Avgjørelsene blir tatt på grunnlag av «alle lister fra hovedplanarbeid, saneringsplaner, driftsdata som viser brudd, lekkasjer, tilstandsklasser etter kamerakjøringer, erfaringer fra Trondheim Bydrift om hva som er problemstrekninger, veganlegg og andre ubygginger et.»(9). Mengden som skal fornyes hvert år regnes ut av to datamodeller der den ene er basert på levetidsantakelser og den andre er basert på rørbruddstatistikk(5, s.73-74). Informasjonen blir samlet i et regneark og prioritert(9). Kriteriene kommunen bruker når de prioriterer ledningstrekk er blant annet:

- En oversiktsliste for de verste ledningene
- Tilstrekkelig brannvannsdekning i området
- Behov for separering
- Andre etater/selskaper skal foreta gravearbeid i et område.

Kommunen ser ikke så mye på om en ledning er kritisk med mindre de allerede har kjennskap til at tilstanden er dårlig. Dersom en kritisk ledning er dårlig og kommunen har kunnskap om tilstanden vil den havne høyt på listen for fornying. Kommunen ønsker å se mer på dette i fremtiden. «Fokuset til Trondheim kommune er å skifte riktig ledning til riktig tid» (9). Det vil si at kommunen ønsker å skifte ledningen før den opplever driftsproblemer, samtidig som det må veies opp mot at Kommunen har begrensede midler og at det er økonomisk å utnytte mest mulig av levetiden til ledningen(9).

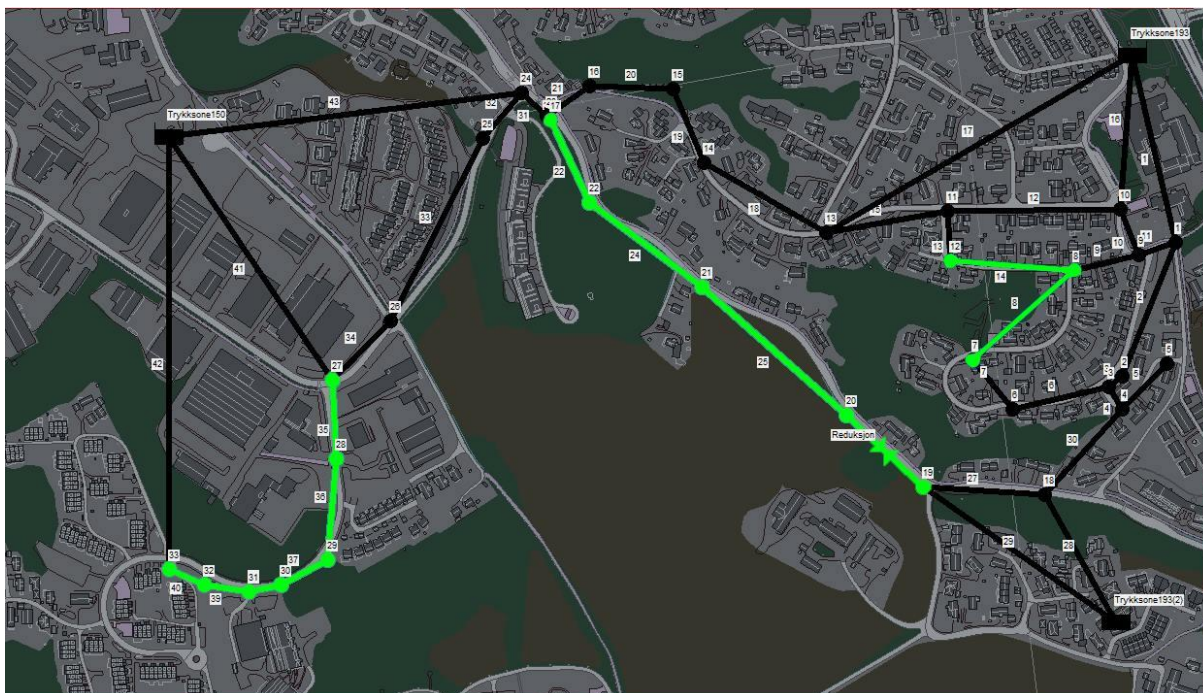
3. EPANET simulering

EPANET er en gratis og offentlig programvare for simulering av vannforsyningssystem utviklet av United States Environmental Protection Agency's Water Supply and Water Resources Division. (14) I forbindelse med denne oppgaven har det blitt utført en simulering i EPANET for vannforsyningssystemet på Utleira og Fossegrenda i Trondheim kommune. Programvareversjon EPANET 2 er anvendt i denne oppgaven. Simuleringen er utført for å få oversikt over tilstanden på ledningene og ledningsnett i området. I hovedsak er det undersøkt om det er god nok leveringssikkerhet og kapasitet, både ved vanlig konsum og ved hendelse av en eller flere branner på samme tid.

Renoveringsmetoder som rørrinnføring og tetttilsluttet rør fører til reduksjon av dimensjon på ledninger. For å avgjøre hvilke renoveringsmetoder som er aktuelle på Nordslettvegen, Bratsbergvegen, Saturnvegen og Neptunvegen, er det viktig å vite om ledningsnett krever en større dimensjon på ledningene og om ledningsnett tåler en reduksjon i dimensjon. Dette har blitt undersøkt i dette kapittelet.

3.1 Innledning

Vannledningene som skal fornyes er fordelt på tre traseer og ligger under Nordslettvegen, Bratsbergvegen, Saturnvegen og Neptunvegen. De utgjør totalt 1,3 km. Simuleringsmodellen og fornyelsestraseene er vist på Figur 3.1.



Figur 3.1: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Traseene som skal fornyes er merket med grønn farge.

Informasjon og verdier som inngår i simuleringen er gitt fra Trondheim kommune og Rambøll. Disse gjelder:

- Dimensjon på ledning og kum
- Koordinater til kum
- ID til kum og ledning
- Anleggsår på ledning
- Bruker funksjon
- Materialtype på ledning
- Oversiktskart og SOSI-fil for VA nett i området Risvollan, Stubban, Nidarvoll og Fossegrenda.

På grunn av at vannforsyning er en vesentlig del av samfunnet, skal sikkerheten tas på høyeste alvor. Av den grunn er det behov for å være tilbakeholden med info angående kummer og ledninger i området. I forbindelse med denne oppgaven er ledningene og kummene gitt nye ID i simuleringsmodellen. Annen info angående vannforsyningssystemet i området blir kun vist ved behov.

3.2 Manglende verdier og antakelser

På grunn av manglende informasjon angående forsyningsnettet i området, er flere verdier som inngår i analysen basert på antakelser. EPANET modellen er ikke kalibrert. Simuleringen gir dermed en tilnærmet modell av vannledningsnettet i området og resultatene fra simuleringen må kun brukes som støtte.

Antatte verdier inkluderer:

1. Ruhet på ledning
2. Variasjonskurver og varighetskurver
3. Konsum og lekkasje
4. Trykksoner og vannkilde
5. Dimensjon på enkelte ledninger

3.2.1 Ruhet på ledning

Tilstanden til støpejerns rør er antatt etter anleggsår. Antagelser er angitt i Tabell 3.1. For å estimere ledningenes ruhet benyttes verdier fra Tabell 3.2.

Tabell 3.1: Antatt tilstand på støpejerns-ledninger for ulike tidsperioder

Anleggsår	Tilstand
1950 – 1980	Gamle rustne støpejernsrør
1980 – 2000	Eldre støpejernsrør
2000 – 2019	Nye støpejernsrør med betongforing

Tabell 3.2: Ruhet for ulike typer ledningsmaterialer. Hentet fra «Vann- og avløpsteknikk» (2, s. 71)

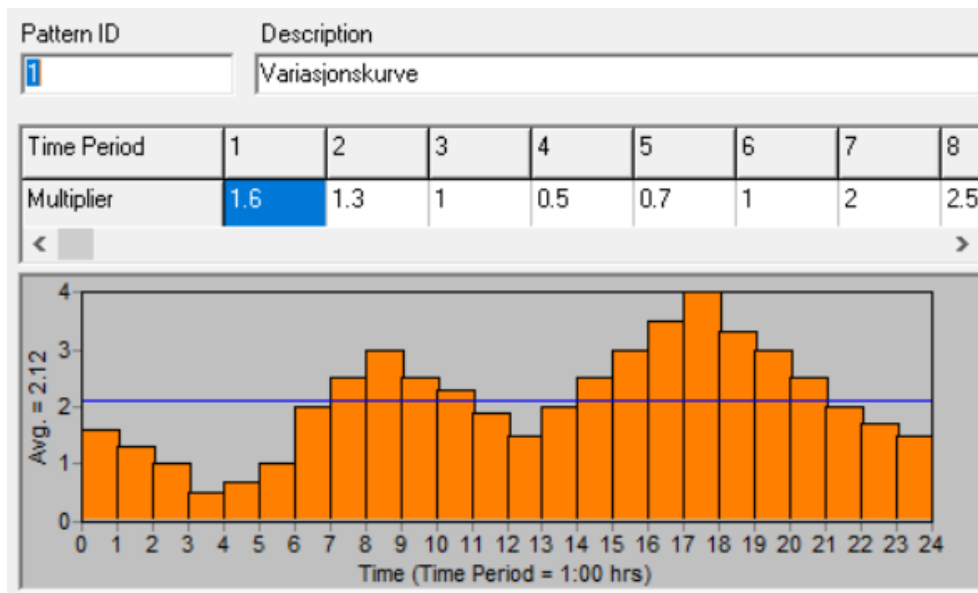
Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet (mm)	Ofte brukte ruheter i praksis på enkeltledninger (mm)
Plastrør (PVC, PE, etc.)	0,002 – 0,007	0,1-0,4
Betongrør	0,3 - 1,0	1,0

Nye støpejernsrør med betongforing	0,3	0,5
Eldre støpejernsrør	0,8 – 1,5	1 – 1,5
Gamle rustne støpejernsrør	1,5 – 2,5	1,5 – 2,5

3.2.2 Variasjonskurver og varighetskurver

Variasjonskuve

Det er valgt en $k_{maks} = 4$ fordi området er et relativt lite boligområde med ca. 1900Pe. Et lite område med lav Pe betyr større svingninger på konsum, mens i større områder jevnes variasjonskurven ut på grunn av større befolkning.

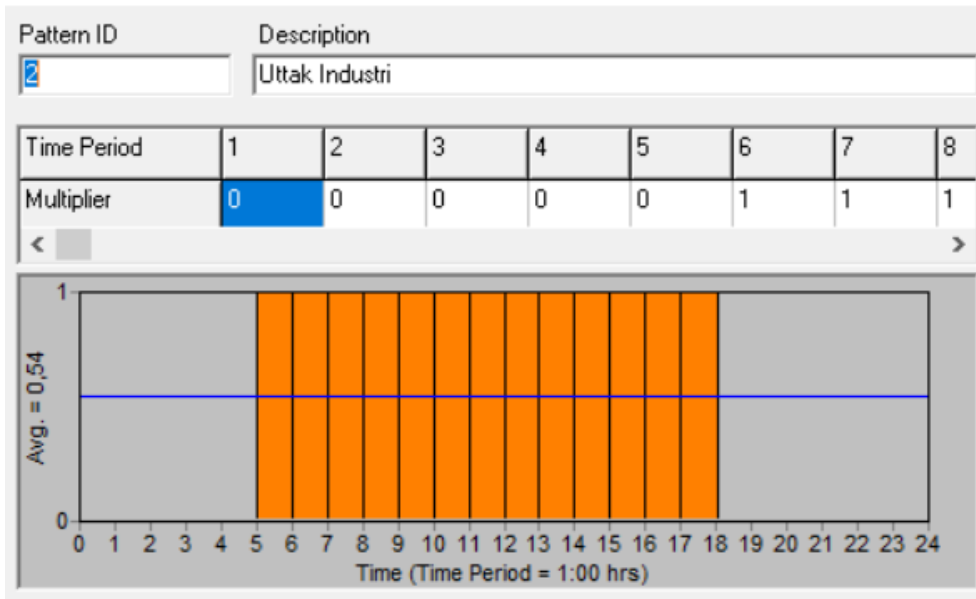


Figur 3.2. Variasjonskurve for konsumuttak

Det er antatt lavere forbruk på nattetid, med økende forbruk mot morgen fra 07.00 - 10.00, og størst forbruk i middagstiden fra 17.00 – 19.00.

Industriuttak

Det antas at uttak fra slaktehus, frisørsalong, bilverksted osv. varer fra kl. 05.00 – 18.00



Figur 3.3: Variasjonskurve for industriuttak

Brann

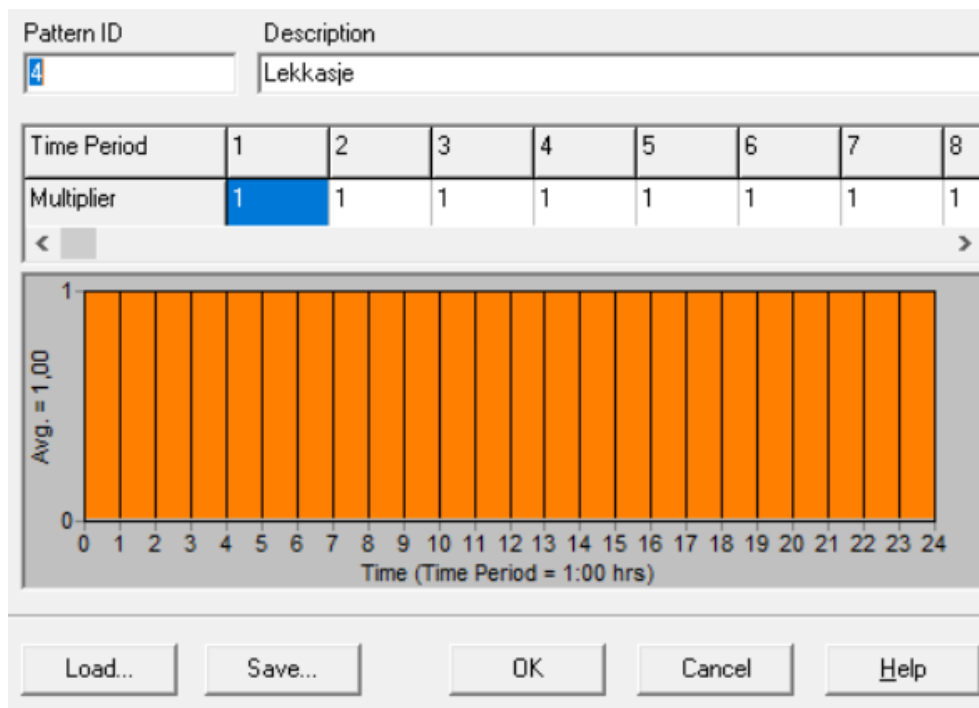
Under simuleringen settes brann på det minst gunstige tidspunktet. Dette er rundt middagstid når det er størst vannforbruk. Hendelse av brann settes med en varighet på 5 timer med et vannforbruk på 50l/s.



Figur 3.4: Variasjonskurve for brannuttak

Lekkasje

Lekkasjemengde antas konstant over hele døgnet.



Figur 3.5: Variasjonskurve for lekkasje

3.2.3 Konsum og lekkasje

Det er gjort konservative antagelser for antall personekvivalenter for de ulike bygningstypene. Antagelsene er angitt i Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Antatte antall personekvivalenter for ulike bygningstyper.

Bygning	Pe
Hus	5pe
Leilighet	3pe
Slaktehus	100pe
Bilverksted = 80pe	80pe
Dagligvarebutikk = 30pe	30pe
Frisørsalong = 30pe	30pe
Kontorbygg = 30pe	30pe

Gravlund = 70pe	70pe
-----------------	------

Vannledningene består av gamle støpejerns rør der de eldste er lagt på 50-tallet uten korrosjonsbeskyttelse. Ledningene er utsatt for lekkasjer pga. blant annet SRB korrosjon. På grunn av dette, antas det 40% lekkasje.

Estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per innbygger per døgn i Trøndelag er $\frac{176l}{pe*d}$. (15)

$$176 l/pe * d = 2 * 10^{-3} l/pe * s$$

Totalt vannforbruk inkludert lekkasje per Pe per døgn blir:

$$\frac{176}{1 - 0,4} l/pe * d = 293 l/pe * d$$

Lekkasje per Pe per døgn blir da:

$$293 l/pe * d - 176 l/pe * d = 117 l/pe * d = 1,4 * 10^{-3} l/pe * d$$

Verdiene brukt for vannuttak kum i EPANET-simulering er vist i **Vedlegg 3.1**.

3.2.4 Trykksoner og vannkilde

I modellen er det satt inn vannkilder som representerer høydebasseng som ikke tømmes for vann. Dette er gjort for å unngå store endringer i trykk og vannmengde ettersom vi har laget en forenklet modell av vannledningsnett. Høydene på vannkildene tilsvarer trykksoner. Det er to trykksoner i området; 150mVs og 193mVs. Vannkildene har fått navnene Trykksone193(1), Trykksone193(2) og Trykksone150.



Figur 3.6: Illustrasjon av trykksoner

I simuleringsmodellen er det korte avstander fra vannkilden til forbrukerområdet. Dette medfører at trykktap fra kilden til kummene er lavere på simuleringen enn reelle verdien. Som konsekvens er trykkverdien som vises på simuleringsmodellen høyere enn den virkelige verdien og det må tas hensyn til dette når det blir gjort vurdering ut fra resultatene fra simuleringen.



Figur 3.7: Skjerm bilde av simuleringsmodell. En vannkilde er lagt inn for å representere et høydebasseng med tilstrekkelig kapasitet.

3.2.5 Dimensjon på ledninger

For enkelte vannledninger i området mangler det informasjon om dimensjon og anleggsår. På disse ledningene er det blitt antatt at de har samme dimensjon og anleggsår som naboledninger eller nærliggende ledninger.

Eksisterende og antatte dimensjoner og ruheter for ledninger i området er vist på **Vedlegg 3.2**.

3.3 Funksjonskrav i Trondheim kommune

Tabell 3.4: Funksjonskrav for vannforsyningsnettet i Trondheim kommune (16, 17)

Nr.	Funksjonskrav
1.	Trondheims kommunens VA – norm anbefaler at det oppnås vannhastighet på minst 0,4m/s minst en gang per døgn. (17)
2.	Anbefalt trykk mellom 30 – 70 mVs (16)
3.	Minimum 20 mVs og maksimum 100 mVs (16)
4.	Veiledende verdi for brannuttak for boligbebyggelse er 20l/s(16)
5.	Veiledende verdi for brannuttak for annen bebyggelse er 50l/s (16)

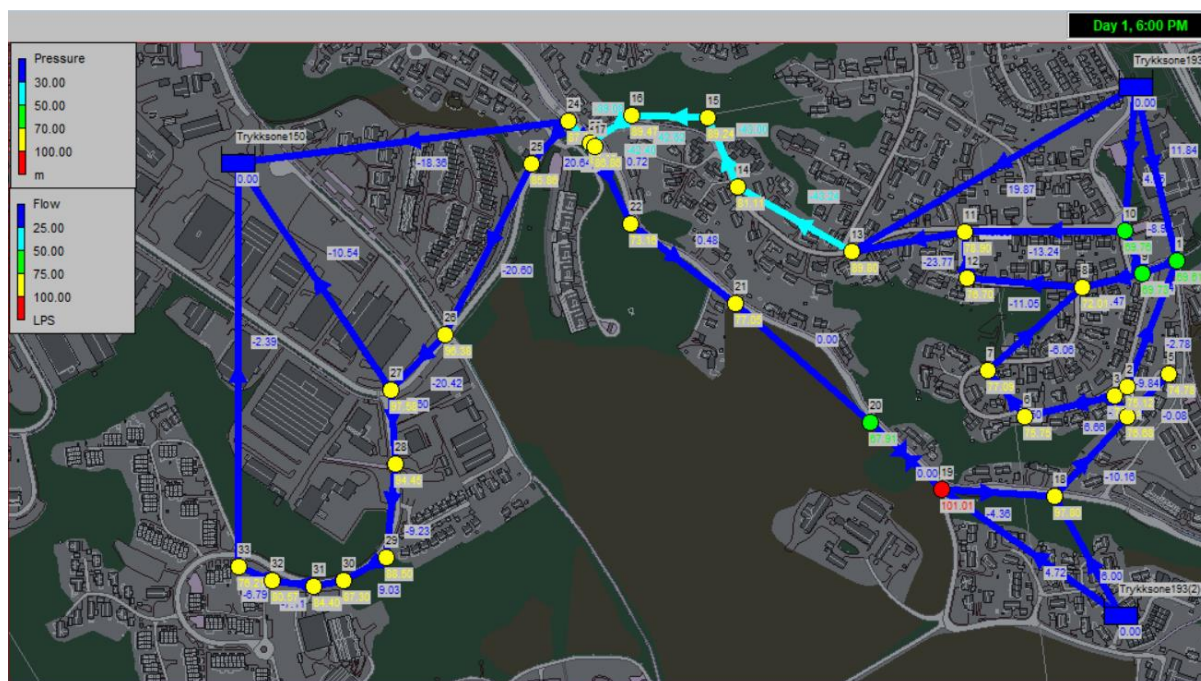
3.4 Analyse og vurdering

Vannføring og trykknivå ved vanlig konsum og ved en eller flere branner samtidig er undersøkt. Ved bruk av resultater fra simuleringene, er det gjort vurderinger av evt. tiltak på utbedringer.

3.4.1 Trykk og vannføring ved vanlig konsum

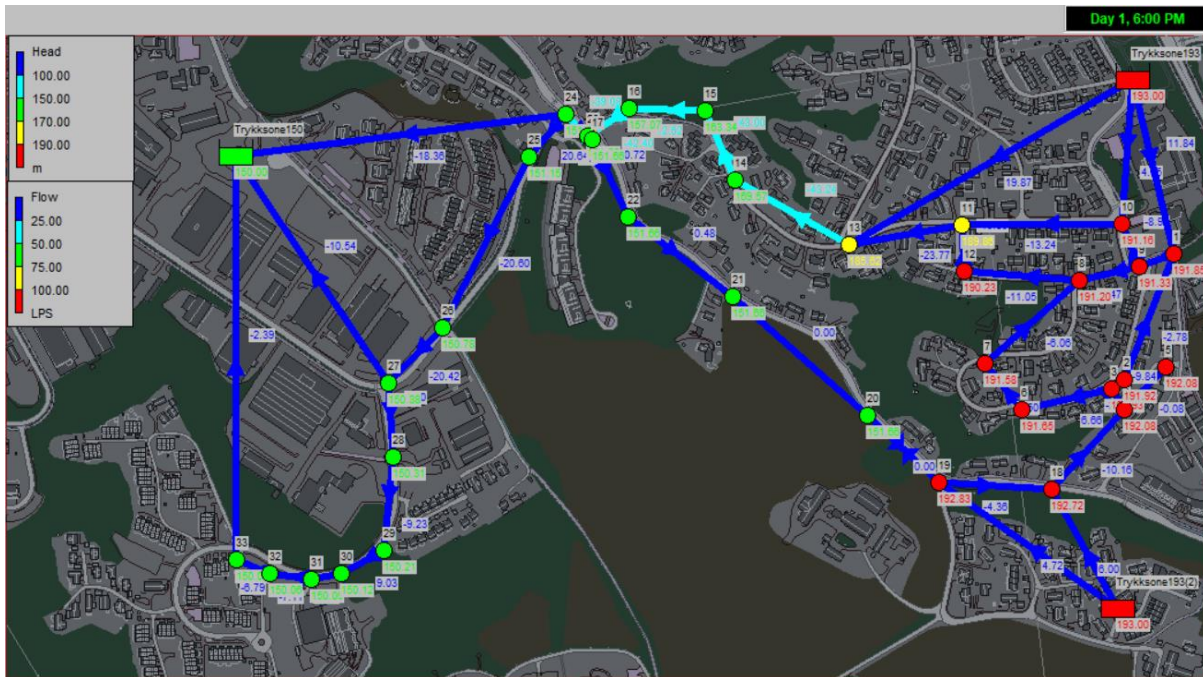
Fra variasjonskurven vist tidligere, er det størst konsum kl.18:00. Dette tidspunktet vil være mest kritisk og av størst interesse under undersøkelse av trykk og vannføring både med og uten uttak for brann. Figur 3.8 viser vannledningsnettet kl. 18:00 i tilfellet hvor det ikke er brann i området. Simuleringen viser at det er relativt høye trykk i området. Ved de fleste kummene er det vanstrykk over 70 mVs. Anbefalt trykk i Trondheim kommune er mellom 30 – 70mVs.

Tidligere ble det nevnt at vanstrykk vist på simuleringen er antakeligvis høyere enn reelle verdien på grunn av korte avstander mellom vannkilden og forbrukerområdet. Hvis man antar at det reelle trykket er mellom 10 – 20mVs lavere enn simuleringen på grunn av trykktap, er de fleste kummene innenfor anbefalte verdier. **Vedlegg 3.3** viser trykk på kummene ved kl.18.00 mens **Vedlegg 3.4** viser antatt reelt trykk 10mvs og 20mvs lavere enn simuleringverdi.



Figur 3.8: Skjerm bilde av simuleringmodell. Vanstrykk og vannføring kl. 18:00 i tilfellet hvor det ikke er brann i området.

Figur 3.9 viser totaltrykk og vannføringen ved vanlig konsum kl. 18:00. Totaltrykket i kummene stemmer godt overens med trykksoneene.

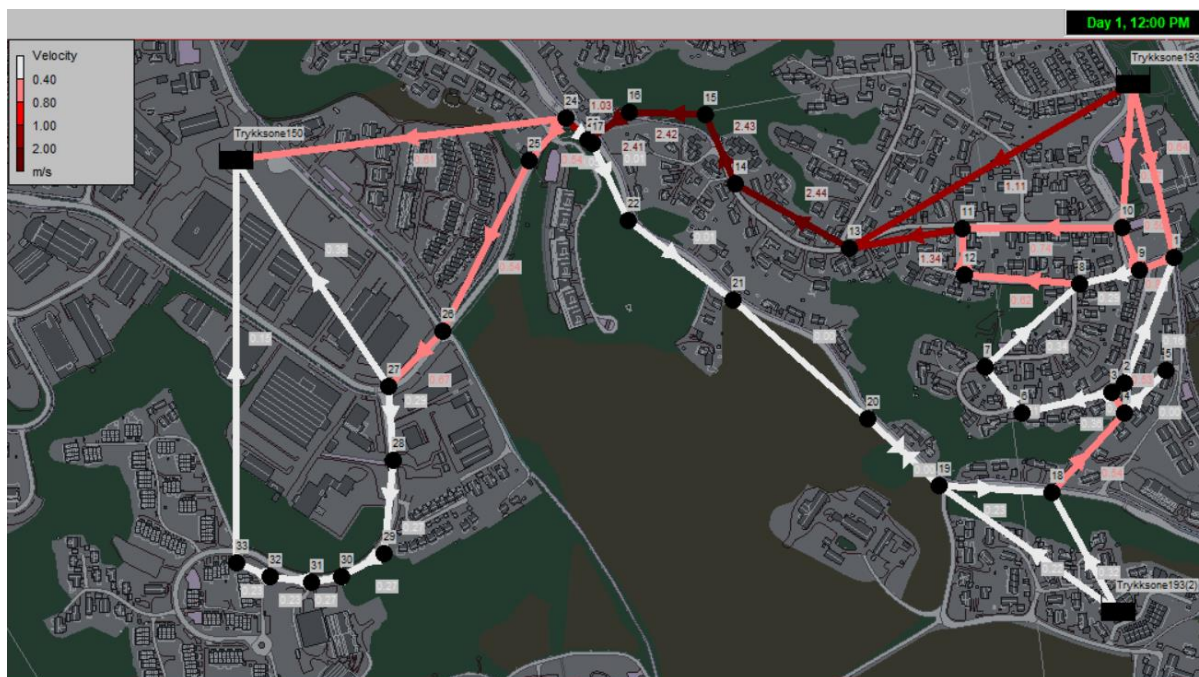


Figur 3.9: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Totaltrykk og vannføring kl. 18:00 i tilfellet hvor det ikke er brann i området.

Vannføringen holder seg under 25 l/s på de fleste ledningene gjennom hele døgnet og det er ingen ledninger som overstiger 50 l/s ved vanlig konsum.

3.4.2 Vannhastighet ved vanlig konsum

Ledninger som er hvit på Figur 3.10 representerer vannledninger som ikke oppnår vannhastighet på minst 0,4m/s minst en gang per døgn. Lednings-ID for de ledningene dette gjelder er angitt i Tabell 3.5



Figur 3.10: Skjerm bilde av simuleringmodell. Vannhastighet for ledningene i området.

Tabell 3.5: Lednings-ID for ledninger som ikke oppnår vannhastighet på minst 0,4 m/s i døgnet.

Lednings-ID			
42	37	26	3
41	36	25	5
40	35	24	6
39	29	23	7
38	28	22	8
27	2		

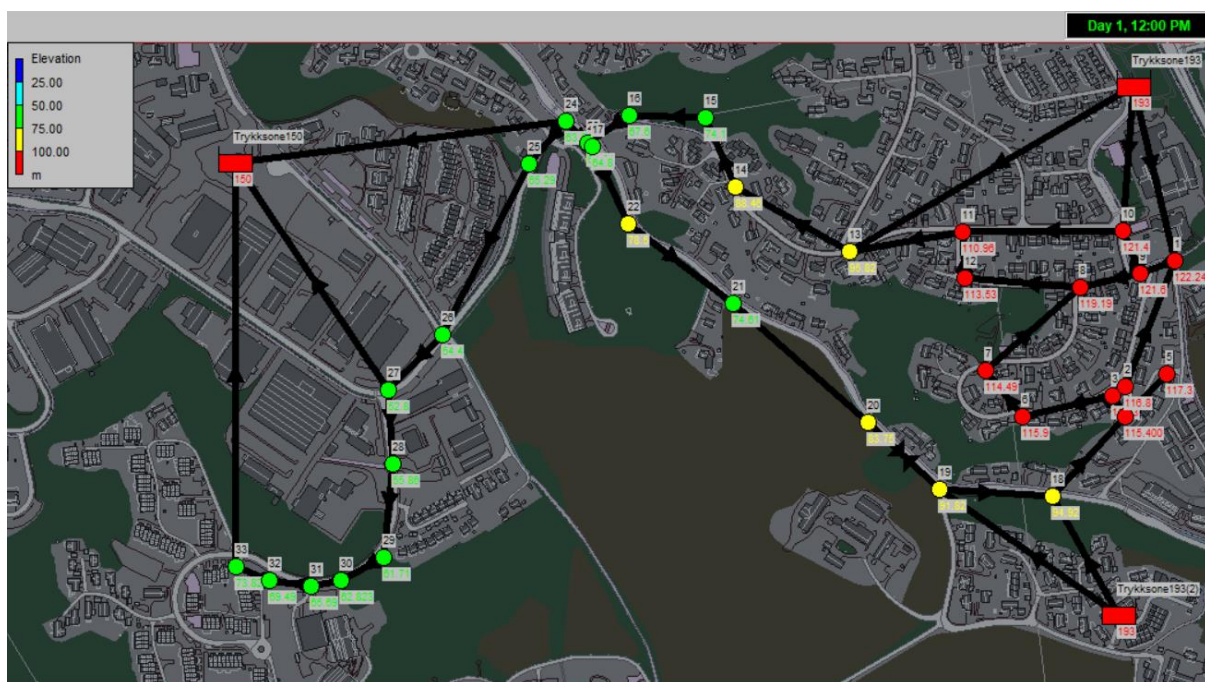
3.4.3 Vannlevering ved en eller flere branner

Dersom en brann skulle oppstå er det viktig at det er tilstrekkelig med trykk. Det minste tillatte trykket i Trondheim kommune er 20mVs og under simulering er det sjekket om kravet er tilfredsstillt ved brann. Den tenkte brannen varer i 5 timer fra kl.14:00 – 19.00 og det settes 50 l/s brannuttak uavhengig om det er i boligbebyggelse eller annen bebyggelse. Under simuleringen er det undersøkt vannføring og vanntrykk der opptil to branner foregår samtidig.

Tre eller flere branner samtidig blir antatt å være svært usannsynlig og er dermed ikke undersøkt.

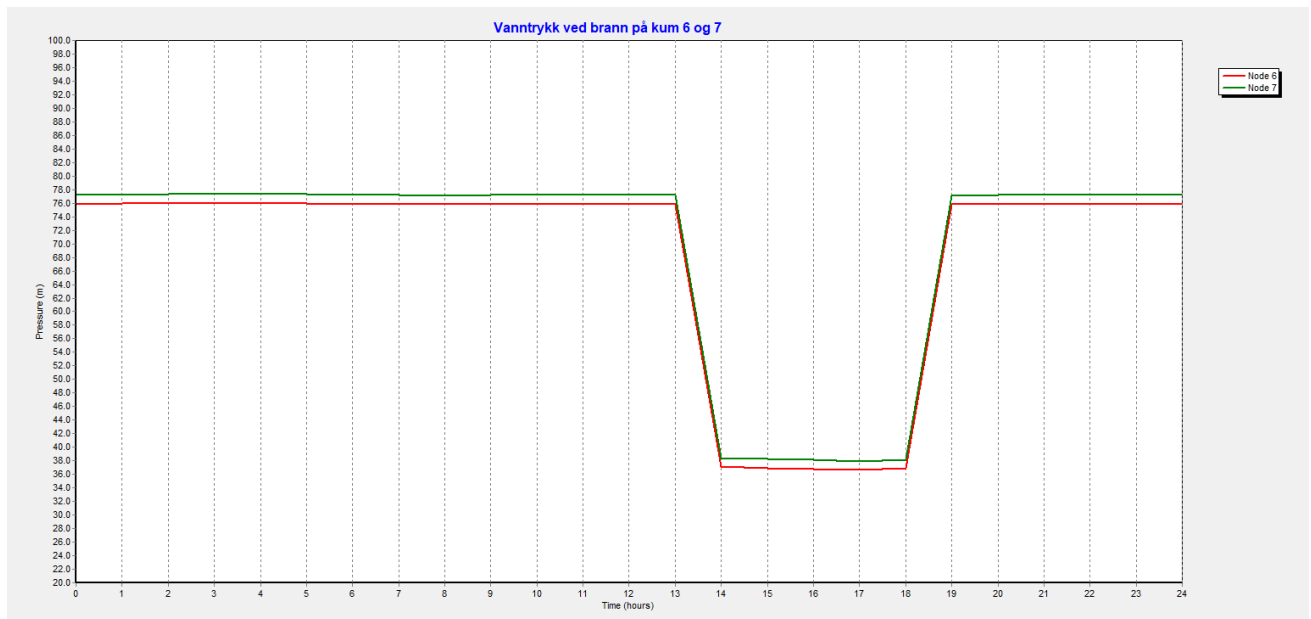
Et brannuttak har blitt testet i alle kummene på simuleringsmodell. Ved bare et brannuttak, er det ingen kummer som får vanntrykk under 20mVs.

Ved undersøkelser av to branner samtidig er svært mange kombinasjoner mulig. Derfor velges det å ta utgangspunkt i de kummene som har lavest trykk også uten brannuttak. Figur 3.11 viser høydene til kummene. De røde kummene har størst høyde, og det er også her det er lavest vanntrykk når det ikke er brann i området. Dermed er brannuttak ved disse kummene den minst gunstige kombinasjonen.



Figur 3.11. Skjerm bilde av simuleringsmodell. Høyde på kummer.

Det er ingen av kummene som har vanntrykk under 20mVs ved to branner samtidig. Hvis man antar at det reelle vanntrykket er 20mVs lavere enn verdien vist på simuleringsmodellen, er det to kummer som får lavere trykk enn kravet. Med brannuttak på kum 6 og 7 samtidig med hvert sitt uttak på 50 l/s, er vanntrykket på disse kummene ca. 35 mVs. Hvis man antar at den reelle verdien er 20mVs lavere enn modellert, er vanntrykket på kum 6 og 7 på 15 mVs.



Figur 3.12. Vanntrykk over døgnet ved kum 6 og 7 i tilfellet hvor to brannuttak oppstår samtidig.

3.5 Trykk og vannføring ved mindre dimensjon

Renoveringsmetoder som rørrinnføring og tetttilsluttet rør medfører reduksjon i rørtverrsnittet. I dette delkapitlet undersøkes om lavere dimensjon på ledninger i renoveringstraseene tilfredsstiller funksjonskravene.

Det antas at ledningene går ca. en dimensjon ned og at nye ledninger har SDR 11. Tabell 3.6 angir innvendig dimensjon på ledningene i aktuelle traseene etter rørrinnføring.

Tabell 3.6: Maksimumsdimensjoner anbefalt for ny ledning. Basert på Tabell 3. fra VA-blad.no. (18)

Trase	Innvendig dimensjon eksisterende	Innvendig dimensjon, etter rørrinnføring
Nordslettvegen	200	147,2
Bratsbergvegen	225	163,6
Saturn- og Neptunvegen	150	102,2

Det antas at de nye ledningene innført er av PE og har ruhet på 0,1.

3.5.1 Ved vanlig konsum

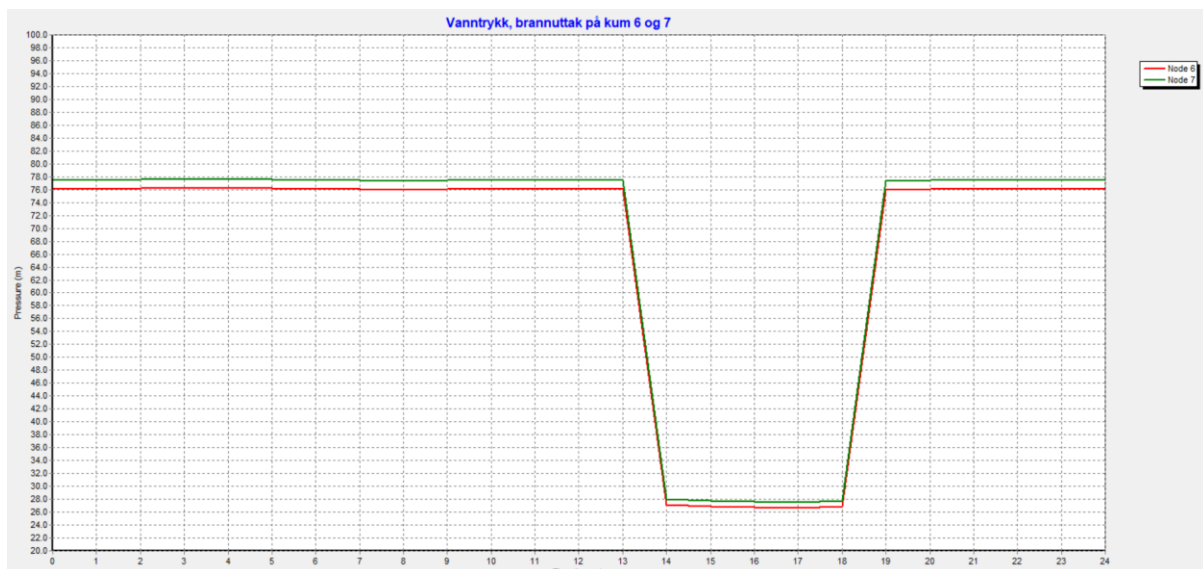
Det er nesten ingen forskjell på vanntrykk etter reduksjon av dimensjon av ledninger på Nordslettvegen, Bratsbergvegen og Saturn- og Neptunvegen ved vanlig konsum. **Vedlegg 3.5** viser trykk på kummene kl.18.00 og antatt reelt trykk 10mVs og 20mVs lavere enn

simuleringsverdi. Det er ingen problemer med vannføring ved vanlig konsum. Vannføringen holder seg under 25 l/s på aller fleste ledningene og det er ingen ledninger som overstiger 50 l/s.

3.5.2 Vannlevering ved en eller flere branner

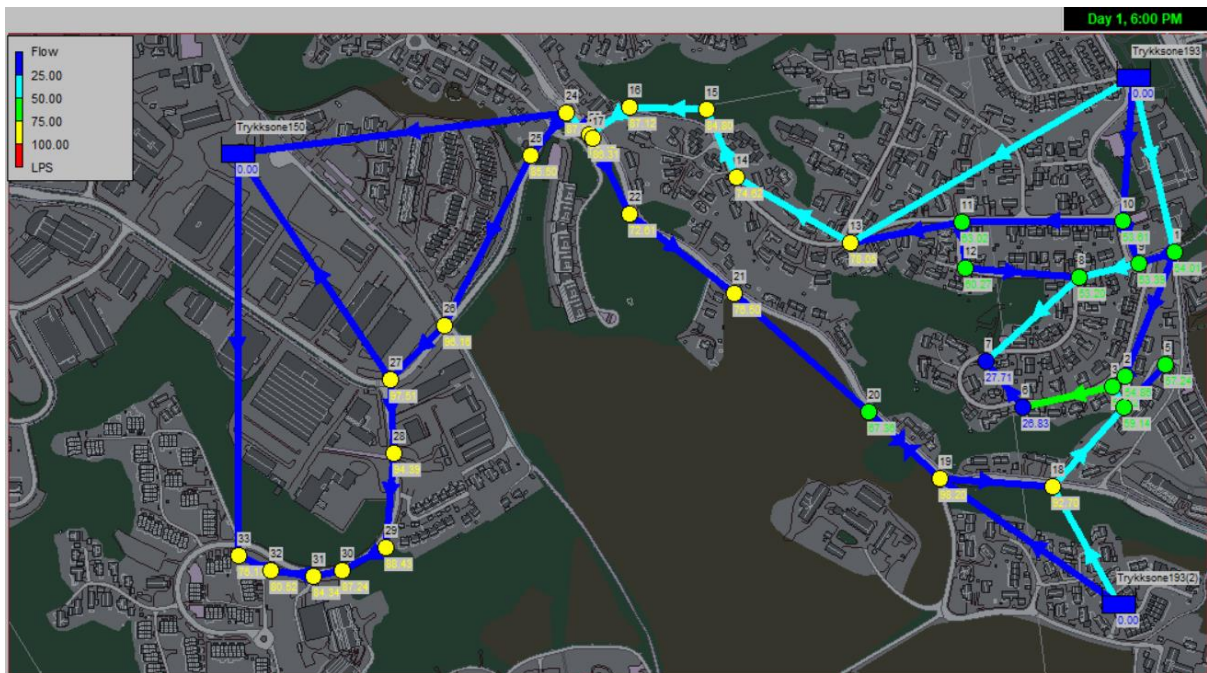
Det er valgt samme fremgangsmåte her som i kapittel 3.4.3. Et brannuttak har blitt testet i alle kummene på simuleringsmodellen. Ved bare et brannuttak, er det ingen kummer som får vanntrykk under 20mVs.

Ved to brannuttak samtidig, er det ingen kombinasjoner som gir problemer bortsett fra en. Når det blir satt brannuttak på kum 6 og 7 med uttak på 50l/s hver kum, er vanntrykket på disse kummene ca. 27mVs. Dette tilfredsstillers kravet, men hvis man antar at den reelle verdien er 20mVs lavere enn det simuleringsmodellen viser, er vanntrykket på kum 6 og 7 ca. 7mVs. Dette er svært lavt vanntrykk.



Figur 3.13: Vanntrykk over døgnet ved kum 6 og 7 i tilfellet hvor to brannuttak tas samtidig. Etter reduksjon av rørtverrsnitt.

Det er ingen problemer med vannføring ved et eller flere brannuttak. Vannføringen holder seg under 25 l/s på fleste ledningene og det er ingen ledninger som overstiger 50 l/s.



Figur 3.14: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Vannføring ved brann og etter reduksjon av rørtverrsnitt.

3.6 Resultat

Tabell 3.7: Resultat fra simulering i EPANET

Vurdering	Resultat
Trykk og vannføring ved vanlig konsum	Bra – innenfor kravene
Trykk og vannføring ved et brannuttak	Bra – innenfor kravene
Trykk og vannføring ved to brannuttak samtidig	Ok – innenfor kravene. Brannuttak på 50l/s på kum 6 og 7 samtidig, kan muligens gi vanntrykk lavere enn 20mVs.
Vannhastighet ved vanlig konsum	Ikke ok. 22 ledninger oppnår ikke vannhastighet på minst 0,4m/s minst en gang per døgn.
Trykk og vannføring ved vanlig konsum – reduksjon av dimensjon	Bra – innenfor kravene
Trykk og vannføring ved et brannuttak – reduksjon av dimensjon	Bra – innenfor kravene
Trykk og vannføring ved to brannuttak samtidig – reduksjon av dimensjon	Ok – innenfor kravene. Brannuttak på 50l/s på kum 6 og 7 samtidig, kan muligens gi vanntrykk lavere enn 20mVs.

3.7 Konklusjon

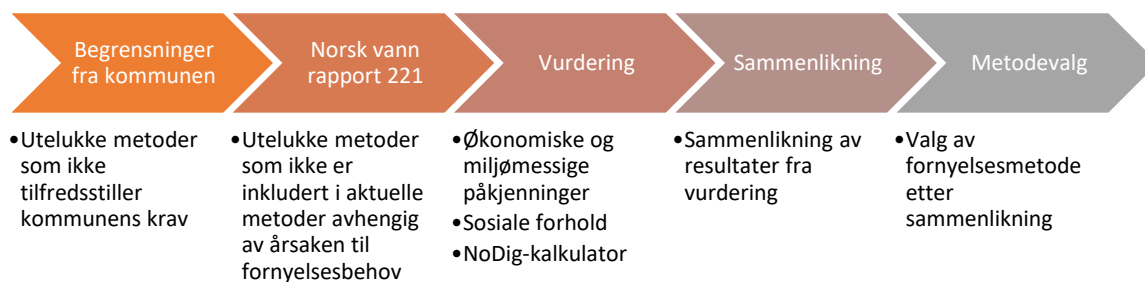
Det er god leveringssikkerhet i området, både ved vanlig konsum og ved brann. Det er ingen grunn til å renovere ledningene i området med tanke på vanntrykk og vannføring. Enkelte ledninger må spyles da det ikke oppnås vannhastighet høyere enn 0,4 m/s minst en gang per døgn. Ved renovering, er det ikke behov for å øke dimensjon på rør. Kum 6 og 7 på Neptunvegen ligger i ugunstig punkt med tanke på vanntrykk. Hvis det i en hendelse av brann blir behov for brannuttak på 50 l/s på kum 6 og 7 samtidig, vil det gi vanntrykk lavere enn 20 mVs. Dette problemet antas å være ikke-eksisterende etter renovering da nye rør har lavere ruhet.

Reduksjon av dimensjon på ledninger som resultat av rørinnføring eller tetttilsluttet rør gir nesten ingen endringer på vannføring eller vanntrykk på vanlig konsum eller ved en eller flere brannuttak. Simuleringen viser at kum 6 og 7 på Neptunvegen vil gi lavere vanntrykk enn 20 mVs hvis det er brannuttak på 50 l/s, men Neptunvegen er et boligfelt og det vil derfor aldri være nødvendig med to 50 l/s brannuttak. Det har vært konservativ beregning for vurdering av vannlevering av to branner samtidig. Det konkluderes dermed med at kum 6 og 7 oppfyller kravene selv etter dimensjonsreduksjon.

4. Rammer for vurdering av metode

4.1 Vurderingsmetoder

For å vurdere metodene på en effektiv måte er det først tatt utgangspunkt i begrensninger fra Trondheim kommune. Deretter benyttes tabell 1 i Norsk Vann Rapport 221 for å utelukke metoder som ikke er aktuelle. De lokale forholdene til traseene og resultater fra EPANET-simuleringen settes opp mot begrensninger som er oppført i tabellen. Videre vurderes både renoveringsmetoder og konvensjonell graving opp mot de tre dimensjonene for bærekraftig utvikling ved å se på økonomiske, miljømessige og sosiale påkjenninger. Figur 4.1 angir strategi for å velge en bærekraftig løsning for fornyelse.



Figur 4.1: Fremgangsmåte for å velge fornyelsesmetode

Begrensninger fra Trondheim Kommune

Trondheim kommune ønsker kun å ta i bruk metoder som gir full strukturell styrke. Trondheim kommune kan vurdere å ta i bruk ikke strukturelle metoder på vannrør når reststyrken er tilstrekkelig, men ser på dette som prøveprosjekt(9, 19). Derfor vil ikke ikke-strukturelle eller semi-strukturelle metoder bli vurdert for fornyelse i denne oppgaven.

Vurdering etter Norsk Vann rapport 221

Norsk Vanns rapport 221 inneholder en tabell som viser til hvilke metoder som bør benyttes avhengig av årsaken til fornyelsesbehovet. Det er også satt begrensninger for metodene som videre kan gi grunnlag til å vurdere om metodene er aktuelle.

Økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader

De forskjellige metodene for fornyelse kan vurderes etter hvilke økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader som medfører under og etter utførelse. Deretter kan resultatene vurderes og

fordeler og ulemper sammenlignes for å finne den metoden som best tar hensyn til de tre dimensjonene. For å gjøre dette på en effektiv måte kan det tas utgangspunkt i faktorer som gir de største forskjellene for miljøbelastning og økonomisk belastning – som i denne oppgaven vil være mengde graving. Dette igjen må settes opp mot ulemper og fordeler for sosiale forhold.

NoDig kalkulator

NoDig kalkulator er et beregningsverktøy utviklet av Asplan Viak som beregner blant annet pris og CO₂-utslipp ved vurdering av ulike fornyelsesmetoder. Det er fire metoder som kan anvendes i NoDig kalkulatoren: Åpen grøft, utblokking, rørrinnføring og strømpereovering (20).

NoDig kalkulatoren kan lastes ned her: <https://www.asplanviak.no/prosjekt/11415/>

4.1.1 Vurdering etter økonomisk, miljømessig og sosiale kostnader

Renoveringsmetodene blir vurdert etter tre dimensjoner for bærekraftighet: økonomi, miljø og sosiale forhold. Ved beregning av pris og CO₂-utslipp og vurdering av sosiale forhold, tas det utgangspunkt i at det er gravearbeid, massetransport og asfaltlegging som gir størst utslag. Ved sammenligning og vurdering av forskjellige renoveringsmetodene, vil det bli sett på hvor mye gravearbeid, massetransport og asfaltlegging det blir i forbindelse med metoden. Deretter blir de sosiale forholdene vurdert og pris og CO₂-utslipp beregnet.

Verdier brukt ved beregning av CO₂-utslipp og sosiale kostnader blir det tatt utgangspunkt i rapporten «NoDig versus åpen grøft»(21) og «Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter»(22).

Tabell 4.1: Parametere for å vurdere økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader

Kategori	Parametere
Økonomi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gravearbeider ○ Nødvendig arealinngrep ○ Anleggstid
Miljø	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂-utlipp fra anleggsmaskiner ○ Massebehov ○ Produksjon av materialer
Sosiale forhold	<ul style="list-style-type: none"> ○ Støv og støy ○ Trafikkulemper ○ Anleggstid ○ Helse og sikkerhet ○ Boforhold

4.1.1.1 Økonomi

Gravearbeider og arealinngrep

Det er dyrt å grave i veg og ved private eiendommer og ulike metoder vil ha ulikt omfang av graving. Kostnader fra gravearbeider og arealinngrep gir stort utslag i pris. For vurdering av renoveringsmetode, vil det derfor bli undersøkt nødvendige gravearbeider og arealinngrep for ulike metodene. Postene fra NS3420 blir brukt for å beskrive nødvendige gravearbeider og arealinngrep. Deretter settes estimat pris på dette. Prisene er tatt utgangspunkt fra et anbudsdokument fra et pågående renoveringsprosjekt i Søbstadvegen som Rambøll har vært med å prosjektere. Innføringsgrop og mottaksgrop er ofte betydelig mye mindre ved bruk av tetttilsluttet rør enn ved bruk av utblokking eller rørrinnføring. Prisen er dermed antatt halvparten av prisen for utblokking/rørrinnføring.

Oversikt over valgte poster fra NS3420 og tilhørende pris per enhet er vist i **Vedlegg 4.1**.

Anleggstid

Mindre arbeidstimer fører til mindre økonomisk belastning. I denne oppgaven blir det ikke regnet antall arbeidstimer det tar for hver fornyelsesmetode, men det gjøres oppmerksom på mengde nødvendig graving og antar at mer gravearbeid betyr mer nødvendig arbeidstimer.

4.1.1.2 Miljø

Viktige parametere som inngår i miljøregnskapet (21):

- CO₂-utlipp fra anleggsmaskiner og massebehov
- Produksjon av materialer

CO₂-utlipp fra anleggsmaskiner og massebehov

Det er mange faktorer som kan spille inn på beregning av CO₂-utlipp fra anleggsmaskiner. Forskjellige typer maskiner har forskjellige forbruk av drivstoff og tidsforbruk. I tillegg må man regne med drivstofforbruk på grunn av eventuelle forsinkelser. For å gjøre en enkel beregning av CO₂-utlipp, kan man etter rapporten «NoDig versus åpengrøft», regne med 2,66 kg CO₂ pr. liter diesel og 2,32 kg CO₂ pr. liter bensin (21, s.30). Til formål for denne oppgaven er det gjort antagelse på 0,3 liter diesel for generell anleggsmaskin per m³ og 0,15 liter i diesel per m³ ved bruk av gravemaskin (22, s.32).

Tabell 4.2: Beregning av kg CO₂-utlipp pr. m³

	Beregning	Kg CO ₂ per m ³
Arbeid med gravemaskin	$2,66 \text{ kg CO}_2/\text{liter diesel} \times 0,15 \text{ liter diesel}/\text{m}^3$	$0,4 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
Arbeid med anleggsmaskin	$2,66 \text{ kg CO}_2/\text{liter diesel} \times 0,3 \text{ liter diesel}/\text{m}^3$	$0,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$

Arbeid med gravemaskin i vurdering omfatter:

- Graving av grøft eller groper

Tabell 4.3: Arbeid som utføres med gravemaskin

NS-kode	Beskrivelse	Enhet
FD3.14	GRAVING AV GROPER – ANTALL – INNFØRING OG MOTTAKSGROP	stk

Arbeid med generell anleggsmaskin omfatter:

- Grøft – uttak og utlegg
- Massetransport
- Riving av fast dekke
- Utlegging av løsmasser, forsterkningslag
- Utlegging av løsmasser, bærelag
- Varmprodusert asfaltdekke, bindelag
- Varmprodusert asfaltdekke, slitelag

Tabell 4.4: Arbeid som utføres med generell anleggsmaskin

NS-kode	Beskrivelse	Enhet
FV3.1	GRØFT - UTTAK OG UTLEGGING	m
FM2.2	TRANSPORT UTENFOR ANLEGGSSOMRÅDET - FAST VOLUM	m ³
FS2.3	UTLEGGING AV LØSMASSER I LAG – VOLUM – FORSTERKNINGSLAG	m ³
FS2.2	UTLEGGING AV LØSMASSER I LAG – AREAL - BÆRELAG	m ²
JH2.1	VARMPRODUSERT ASFALTDEKKE - BINDLAG	m ²
JH2.1	VARMPRODUSERT ASFALTDEKKE - SLITELAG	m ²

FV3.1 GRØFT – UTTAK OG UTLEGGING antas det arbeid med anleggsmaskin da det inkluderer utlegging av fundamentering, sidefylling og evt. komprimering.

Produksjon av materialer

Produksjon av materialer som for eksempel rør, asfalt, tilbakefyllingsmasser og kjemikalier vil ha innvirkning på miljøregnskapet og jo mer gravearbeider som behøves jo større blir miljøbelastningen.

Videre i oppgaven er det valgt å beregne CO₂-utslipp kun fra materialer inngått i vegarbeid som asfalt og pukk, da disse materialene vil gi størst utslag i CO₂ utslipp. Varianter av ulike

dekketyper blir regnet videre som asfalt angitt i Figur 4.2, ved beregning av kg CO₂-ekvivalenter.

Densitet for asfalt er antatt etter resept fra Franzefoss Pukk AS vedlagt i «Effekter av tilsatt gjenbruksasfalt på egenskaper for asfaltbetong med polymermodifisert bindemiddel for bruk på høytrafikkert veg» (23, s.13) Densitet for komprimert pukke er antatt etter mengdeberegner fra grusbutikken.no og gjelder for pukke med fraksjon 22-120 (24).

Tabell 4.5: Densitet for komprimert asfalt og pukke pr. m³

Materiale	Enhet	Densitet
Asfalt	1m ³	2,4 g/cm ³ = 2,4 tonn/m ³
Pukke	1m ³	1,55 g/cm ³ = 1,7 tonn/m ³

Material	Enhet	kg CO ₂ -ekvivalenter
Asfalt	tonn	30,60
Pukke	tonn	2,39
Asfaltert grus	tonn	28,50
Sprengstein	tonn	1,80
Asfaltmembran	kg	0,21
Stål	tonn	1 610,00
Betong	m ³	236,00
Armering	tonn	837,00
PE-skum	kg	2,47
Sprengstoff	kg	2,38
Aluminium	tonn	7 033
Maling	tonn	2 841,00
Kobber	tonn	1 693,00
Plast	tonn	2 264,00
Transportarbeid	tkm	0,13
Diesel, anleggsmaskineri	l	3,19
Elektrisitet	kWh	0,21

Figur 4.2: Kg CO₂-ekvivalenter pr. tonn for ulike materialer. Hentet fra «Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter» (22, s.78)

4.1.1.3 Sosiale kostnader

Fornyelses prosjekter vil i bebygde områder alltid berøre menneskene som bor i nærheten. Byrdene som påføres lokalsamfunnet ved arbeid er ikke alltid lett å beregne økonomisk. For å kunne vurdere dette er det satt opp indikatorer for publikums opplevelse av arbeidet. Disse har underparametere for å vurdere hver indikator. Indikatorene vil brukes for å vurdere de forskjellige metodene opp mot hverandre. Disse indikatorene er:

- Støv og støy
- Trafikkulemper
- Anleggstid
- Helse og sikkerhet
- Boforhold

Støv og støy

I følge klimaregnskapsrapport «Nodig versus åpen grøft» står det blant annet at det er regnet at forholdet mellom konvensjonell graving og utblokking er 10:1 når det gjelder støv og støy(21, s.32). Dette forholdet er basert på et amerikansk eksempel. Kravene til støy blir strengere jo lengre et arbeid skal vare (25, s.90-91). Det kommer ikke til å bli sett på tallfestede støybelastninger i oppgaven, men det blir antatt at mengden støy vil være avhengig av omfanget av arbeidet og tiden det tar å utføre.

Trafikkulemper

Ulemper med trafikkavvikling kan oppstå når en fornyer vann og avløpsledninger. Det er flere parametere som vil påvirke trafikken når vann og avløp skal fornyes. For å vurdere hvordan metodene påvirker trafikken i område er det sett på følgende parametere:

- Mengde areal av vegen som blir beslaglagt av arbeid.
- Hindrer tilgang til andre veger eller krever omkjøring
- Vil arbeidet påvirke kollektivtrafikk?

Anleggstid

Anleggstiden varierer utfra forskjellige parametere som omfang av arbeid og hvilken metode man velger å bruke. Ifølge rapporten fra Asplan Viak «Nodig versus åpen grøft» så kan man anta ved bruk av utblokking kan skifte ut mellom 100 og 150 meter ledning pr. dag. Ifølge et amerikansk eksempel som rapporten henviser til vil den samme jobben med bruk av konvensjonell graving ta minimum 4 til 5 ganger så lang tid (21, s.33-34). I en

lysbildefremvisning fra Bergen kommune er det erfart en dagsproduksjon på 2-12 meter graving pr. dag (26, s.19). Det er derfor antatt at mengde graving bestemmer anleggstiden.

Helse og sikkerhet

Det er ikke vanlig at anleggsarbeid i seg selv skaper helseproblem, men støy, støv og andre plager kan skape stress. Stress kan føre til at eksisterende plager forverres (21, s.34). Når det blir utført anleggsarbeid i et nabolag vil sikkerheten normalt gå ned. Dette på grunn av økt tungtransport, gravemaskiner, grøfter og uvant kjøremønster. Faren ved at for eksempel et barn vil falle ned i en grøft øker med varigheten på arbeidet. Arbeidet vil virke mer belastende om det pågår over lengre tid (21, s.34). Helse og sikkerhet vurderes ut fra parameterne:

- Graving ved høyspentkabler
- Økt fare for ulykker på grunn av anleggsaktivitet
- Forstyrrelse av kvikkleire

Økt fare for ulykker vil bli vurdert ut fra lengden på arbeidet.

Boforhold

Boforhold handler om hvordan boforholdene endres når det er arbeid i nærheten av boliger. Disse belastningen kan være vanskelig å tallfeste økonomisk, men kan vurderes kvalitativt (21, s.34). For å prøve å konkretisere dette i vurderingen er det valgt ut følgende parametere.

- Tap av trær og beplantning i hage.
- Skader på uthus, garasjer eller tilsvarende.
- Begrenset mulighet for kjøring til bolig.
- Forbedring eller forverring av gatens utseende.

4.1.2 Vurdering etter NoDig-kalkulator

NoDig-kalkulatoren beregner CO₂-utslipp, transportbehov, massehåndtering, arealbehov og pris for metodene åpen grøft, utblokkning/rørinnføring og strømpereovering. For hver trase blir aktuell NoDig-metode vurdert etter NoDig-kalkulator og sammenlignet med bruk av åpen grøft. Etersom oppgaven er om reovering av vannledninger, vil det ikke bli tatt hensyn til kostnad og miljømessige påkjenninger fra eventuell reovering av spillvanns- og overvannsledninger.

For beregning etter NoDig-kalkulator er følgende antakelser gjort:

- Det er 10 km til fyllplass for overskuddsmasser
- 50 % av gjenfyllingsmasser blir lagret langs traseen og gjenstående 50 % blir transportert bort til mellomlager.

Beregning på NoDig-kalkulatoren er vist på **Vedlegg 5.9**

4.2 Metoder for fornyelse

Det finnes flere metoder å velge mellom. Tabell 4.6 gir en oversikt over ulike NoDig-metoder.

Tabell 4.6: Oversikt over ulike NoDig-metoder

Fornyelse	Recovering (NoDig)	Strukturelle metoder	Rørinnføring
			Utbløkking
			Boring i fjell/løsmasser
			Rørpressing
			Strømperenovering*
		Tettisluttet rør*	
		Semi-strukturelle metoder	Strømperenovering
			Tettisluttet rør
			Belegg
	Ikke-strukturelle metoder	Belegg	
Graving		Åpen graving	

* Medierøret har tilstrekkelig styrke for å kunne ta alle krefter som røret vil bli utsatt for i løpet av sin levetid.

Som nevnt i kapittel 4.1 blir semi- og ikke-strukturelle metoder vurdert i oppgaven etter begrensninger gitt fra Trondheim kommune.

4.2.1 Utførelsesmetoder

De ulike NoDig-metodene kan utføres på forskjellige måter. Materialet til eksisterende ledning og ledningstype kan blant annet sette begrensning for hvilken utførelsesmetode man skal benytte seg av.

Tabell 4.7 gir en oversikt over utførelsesmetodene til hver av NoDig-metodene.

Tabell 4.7: Utførelsesmetoder for de ulike NoDig-metodene

NoDig-metode	Utførelsesmetoder
Utblokking	Statisk utblokking
	Pneumatisk utblokking
Rørrinnføring	Innføring av kontinuerlig rør
	Rørpressing med kortrør
Rørpressing	Rørpressing i løsmasser
Boring	Styrtboring i løsmasser
	Horisontalboring i fjell/kombinasjonsmasser
Tetttilsluttet rør	Sammenfoldet fra fabrikk
	Slange fra fabrikk
	Dimensjonsreduksjon på anleggsstedet
Strømperenovering	Limt armert foring
	Løs armert foring
	Glassfiberarmert strømpe

Utblokking

For utblokking finnes det to hoved metoder for utførelse, statisk utblokking og pneumatisk utblokking (27). Statisk utblokking er den mest brukte utførelsesmetoden, men krever to arbeidsgroper i motsetning til pneumatisk utblokking som bare krever en. Pneumatisk utblokking tar derimot lengre tid enn statisk utblokking, og kan ikke utføres på seige rørmaterialer. Ved vurdering av utblokking som fornyelsesmetode er det bare sett på bruken av statisk utblokking (27).

Rørrinnføring

Rørrinnføring kan utføres ved inntrekking av kontinuerlige rør eller ved rørpressing av kortrør (10, s.57, 28). Ved bruk av kontinuerlige rør kan det trekkes et rør lik den ledningslengden som skal renoveres forutsatt at rørene ligger uten bend eller andre hindringer. Det vil ofte være behov for innføringsgroper som medfører gravearbeider. Rørpressing med kortrør kan utføres fra kum til kum og reduserer gravearbeider, men er kun en metode som brukes for avløpsrør. I oppgaven vurderes bare metoden rørrinnføring ved bruk av kontinuerlige rør (10, s.57).

Rørpressing

Rørpressing benyttes ofte på korte avstander på normalt 60 meter (28, s.12-13). Det utføres med varerør i stål bli presset i rett strekning mellom to punkter gjennom løsmasser. Inn i varerøret kan det etableres en eller flere medierør. Rørpressing benyttes ofte på steder der det er ugunstig å grave, for eksempel: under veger og jernbaner og flyplasser (28, s.12-13).

Styrt boring i løsmasser

Boring i løsmasser brukes til å etablere nye traseer på plasser hvor det er vanskelig å grave (29). Horisontalboring i løsmasser blir utført med en beltegående borerigg. Boreriggen borer et pilothull frem til mottaksgropen. Borestrengen kan styres og svinge med en radius på minimum 150 m (29). Når borestrengen er fremme i mottaksgropen demonteres borekronen og det festes på en rømmekrone. PE-røret som skal inn festes bak denne og trekkes tilbake til boreriggen gjennom pilothullet(29).

Horisontal boring i fjell og kombinasjonsmasser

«Horisontalboring i fjell egner seg godt bl.a. der det blir kostbart å sprengre og/eller det er en dyp trasé f.eks. gjennom et høybrekk.»(28, s.17). Horisontalboring i fjell skjer ved at det først bores et pilothull og deretter brukes dette som utgangspunkt for opprømming. Når det bores i fjell er det ikke behov for varerør når fjellet holder høy kvalitet, når det bores i faste masser benyttes det et varerør i stål(28, s.17). Når hullet er klart kan det føres inn rør. PE-rør er godt egnet, men det går også med støpejern eller GRP med strekkfaste skjøter.

Tettisluttet rør

Tettisluttet rør utføres med sammenfoldet eller innsnevrede rør som føres inn i det gamle røret.

Tre varianter kan benyttes ved bruk av denne metoden (10, s.18):

- Sammenfoldet fra fabrikk
- Slange fra fabrikk
- Dimensjonsreduksjon på anleggsstedet

Utførelsesmetoden som benyttes i de fleste tilfeller, er ved bruk av ledning sammenfoldet fra fabrikk.(10, s.49) Det er derfor vurdert denne varianten av metoden hvor et PE-rør blir foldet sammen som en C-form og trykksettes ved bruk av oppvarmet damp (28, s.26). Tettisluttet rør

kan oppnå full strukturell styrke slik Trondheim-kommune krever i sin VA-norm, men er i hovedsak en semistrukturell metode. Ifølge SSTT er det vanlig at man når SDR17 og at man trolig kan nå SDR13,6(30). Dette er imidlertid en lavere stivhet enn SDR 11 slik kommunen krever.

Strømperenovering

Ved strømperenovering av vannledninger må det benyttes armerte foringer som er godkjent for installasjon (28, s.24). Det benyttes tre typer foringer for vannledninger (28, s.24):

- Limt armert foring
- Løs armert foring
- Glassfiberarmerte strømper.

Limt og løs foring benyttes for trykkledninger i stål og støpejernsrør. I tillegg kan løs foring benyttes for trykkledninger i eternitt. Glassfiberarmert foring kan brukes på alle typer rør, men kan ikke forsere bend. Metoder som benytter seg av løs og limt foring ansees å gi levetidsforlengelse. Glassfiberarmert foring gir derimot varig fornyelse og går under strukturelle metoder (28, s.25). Fordi det er bestemt å bare vurdere strukturelle metoder blir kun strømperenovering med foring av glassfiber vurdert i denne oppgaven.

4.3 Forutsetninger og dimensjonering

4.3.1 Ledninger

I EPANET-simuleringene ble det ikke oppdaget noe behov for å øke kapasiteten til ledningene i traseene. EPANET-modellen er en forenklet modell av det virkelige transportsystemet for vannforsyning, og det foreligger derfor usikkerhet i antagelsen om kapasitetsbehovet. Videre i oppgaven vil det likevel bli tatt utgangspunkt i resultatene fra simuleringene i EPANET, som forøvrig konkluderer med at det verken er behov for å øke kapasiteten eller at det foreligger ulemper ved tverrsnittsreduksjon.

For spillvannsledningene i Nordslettvegen og spillvann- og overvannsledningene i Saturn- og Neptunvegen er det blitt utført kamerakjøring av Trondheim Bydrift. Hver av disse ledningene har fått rapport fra inspeksjon og skadepoeng. Rapportene kan ses på **Vedlegg H**.

-

Tabell 4.8 viser hva skadepoengene tilsier. Tabellen viser også hvilke verdier Trondheim kommune anvender. Videre i oppgaven blir det anvendt reviderte verdier ihht. Trondheim kommune for tilstandsvurdering av avløpsledninger. Tilstandsvurderingen er vist på **Vedlegg 5.8**. Tilstanden til ledningene karakteriseres etter skadeklassene 1-5 (8, s.47):

- 1 – meget god
- 2 – god
- 3 – dårlig
- 4 – meget dårlig
- 5 - ubrukelig

Tabell 4.8: Reviderte verdier for tilstandsklasser. Hentet fra «Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer» (8, s.48).

Skadeklasse	Tilstandsklasser Rapport 150	Reviderte verdier ihht. Trondheim kommune	Reviderte verdier ihht. Oslo kommune, VAV
1	0-10	0-10	0-10
2	11-20	11-30	11-40
3	21-40	31-70	41-100
4	41-99	71-149	101-150
5	>99	>149	>150

4.3.2 Kummer

Til formålet med oppgaven har VA-avdelingen hos Rambøll utført kumsjekk og produsert kumkort på aktuelle kummene i renoveringstraseene. Kumkortene kan ses på **Vedlegg D, E og F**. Avhengig av tilstand, blir det avgjort om en eksisterende kum skal erstattes. Kummenes tilstand er vurdert visuelt, blant annet etter rust på armatur, sand i kummen og kumveggenes tilstand(31). Oversikt over kummenes tilstand kan finnes på **Vedlegg 5.1**. Renovering av kum er også en mulighet, men det utføres ikke i denne oppgaven. Nye kummer skal tilfredsstillere kravene til NS3125 og dimensjoneres etter VA-norm for Trondheim kommune.

4.3.3 Kvikkleire

Det er påvist kvikkleire i store deler av området. Omfanget av kvikkleire nevnes for hver trase, men det utelates ellers i prosjektet. Der hvor grunnforholdene inngår i prosjektet defineres de som løsmasser.

4.3.4 Materialer

For hver fornyelsesmetodene er det flere aktuelle materialer som kan benyttes. I dette kapitlet er det valgt å ta utgangspunkt i kun ett materiale for hver fornyelsesmetodene. Det nevnes for øvrig at Trondheim kommune krever SDR 11 på PE-rør (32, s.5). Tettisluttede rør leveres bare med SDR 17 noe som fører til at metoden ikke kan benyttes. Det er likevel valgt å vurdere metoden i denne oppgaven.

Tabell 4.9: Materialer for de ulike fornyelsesmetodene som er med i vurderingen.

Fornyelsesmetode	Aktuelle rørmaterialer
Utblokking og Rørrinnføring	PE-rør
Åpen graving	V - PE-rør SP – PE-rør OV - Betong
Tettisluttet rør	PE - Rør
Strømperenovering	Glassfiberarmering
Horisontalboring i fjell	PE
Horisontalboring i løsmasser	PE
Rørpressing	Stålrør

4.3.5 Strømkabler

Kartet fra TrønderEnergi Nett (TEN) viser en oversikt over strømkabler i område. Kablene ligger med en usikkerhet på +/- 1 m(33). Det er høyspent i bakken langs hele Bratsbergvegen og Nordslettvegen, samt høyspent i luften over Neptun- og Saturnvegen. Ved arbeid langs disse traseene vil en måtte ta stilling til dette.

Tabell 4.10: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Bratsbergvegen

Lag i overbygningen	Materiale	Tykkelse
Slitelag	Ab	3,5 cm
Bindelag	Agb	3,0 cm
Bærelag	Ag	10 cm
Forsterkningslag	Grus	70 cm
Tykkelse overbygning		86,5 cm

Tabell 4.11: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Nordslettvegen

Lag i overbygningen	Materiale	Tykkelse
Slitelag	Ab	3,5 cm
Bindelag	Agb	3,0 cm
Bærelag	Ag	10 cm
Forsterkningslag	Grus	70 cm
Tykkelse overbygning		86,5 cm

Tabell 4.12: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Nordslettvegen.

Lag i overbygningen	Materiale	Tykkelse
Slitelag	Ab	3,0 cm
Bindelag	Agb	3,0 cm
Bærelag	Ag	9 cm
Forsterkningslag	Grus	60 cm
Tykkelse overbygning		75 cm

4.3.7 Gravearbeider

4.3.7.1 Åpen grøft

Ved vurdering av åpen grøft er plassering av rør og avstander i grøftetversnittet satt i henhold til NS 3070 og Trondheim kommunes VA-norm. Grøftetversnittene er tegnet i AutoCADs VA-modul. For grøfter med dybde dypere enn to meter kreves det enten avstivning eller en 45 graders helning på grøfteveggene (36). For grøftene i denne oppgaven er det valgt å bruke

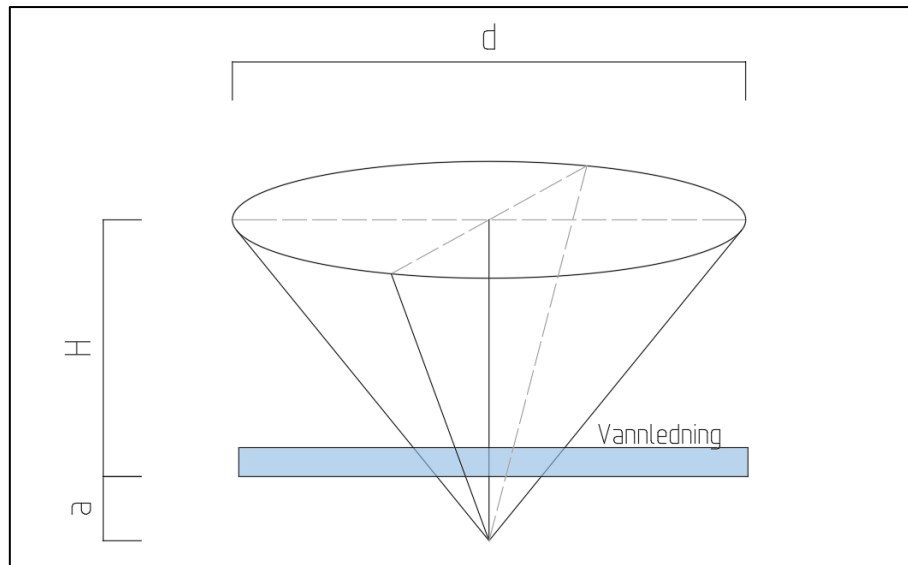
helning på 45 grader. Grøftedybden kommer til å være over 2 meter i traseene da Trondheim kommunes VA-norm har definert minste frostfridybde som over 1,8 m. Grøftens utstrekning i terrenget er tegnet i AutoCAD ved hjelp av Novapoints VA-modul og masseberegninger er utført i Novapoint.

4.3.7.2 Anboringer og bend

Alle fornyelsesmetoder krever vanligvis at det må graves ved bend og anboringer. Det utvikles metoder for å unngå dette, men disse er på utprøvelsesstadiet og er ikke kommet i generelt bruk (37). Det kan leses mer om dette i kapittel 6. Derfor er det antatt at alle større bend og anboringer må graves opp i denne oppgaven. Det er noe variasjon på behov for oppgraving av bend mellom de forskjellige metodene. Ved utblokking vil alle bend under 11 grader kunne passeres på ledninger med dimensjon over 150 mm (27). Ved bruk av tetttilsluttet rør må bend over 22 grader graves opp (28, s.27), og ved rørrinnføring må krappe bend graves opp (28, s.19). I denne oppgaven er det antatt at begrensningene til rørrinnføring er lik som ved utblokking når det brukes samme material.

Om det ikke er annen informasjon tilgjengelig vil det antas at ledningene ligger som på kommunens SOSI-fil for kart over ledningsnett. På traseen i Saturnvegen er det utført peiling for å lokalisere ledningen, men ellers vil det bli tatt utgangspunkt i kartet og innmålinger av kummer.

Volum av groper for anboring er beregnet etter Figur 4.4. Groper er formet som en kjegle og volumet vil variere fra trase til trase med dybden på groper. Grøftedybden regnes som avstanden fra terreng til 0,5 m under bunnen av vannrøret. Dybden vil bestemmes som en gjennomsnittsverdi av dybden ned til vannledning i kummene langs i hver trase. Formel 4.1. anvendes i utførelsen av beregningene for volum.



Figur 4.4: Illustrasjon av grop for anboringer

Formel 4.1: Beregning av volum for groper ved anboringer

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times (H + a)$$

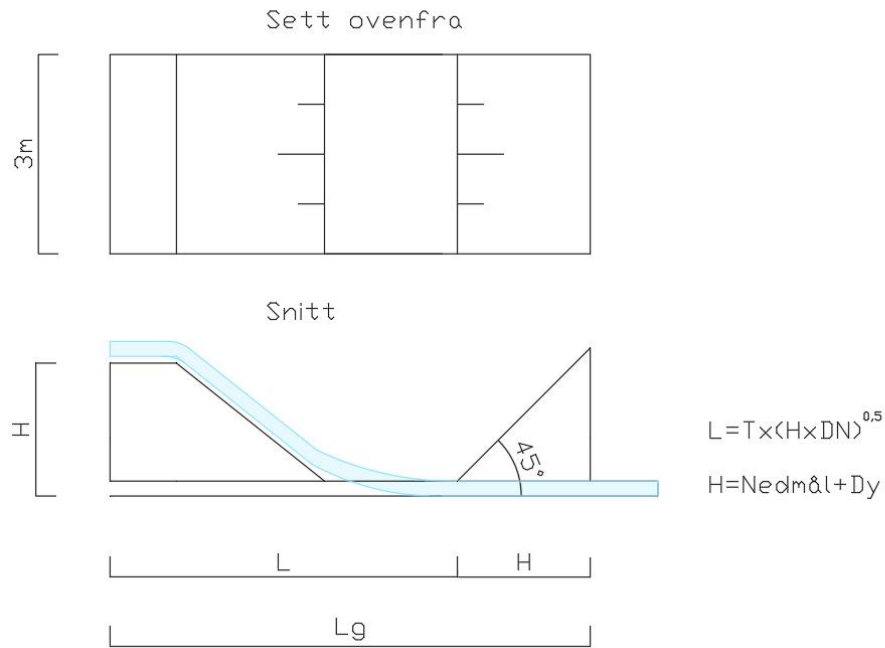
- V – volum av grøft for anboringer
- d – diameter av grøftetopp. Diameter for anboringsgrop er valgt til 4m.
- H – avstand mellom terreng og bunn ledning
- a – 0,5 m under ledningsbunn

4.3.7.3 Innføringsgrop

Utblokking og rørinnføring

Minste dimensjon for innføringsgrop beregnes etter metode fra VA-miljøblad 110. Dimensjoneringen gjelder for rør med dimensjon over 180 mm. Gropen plasseres slik at man unngår unødvendig graving på nærliggende arealer. Steder hvor det må graves groper nært hverandre er det mer hensiktsmessig å grave sammenhengende.

Med grøftehelning 1:1 benyttes Formel 4.2, Formel 4.3 og Formel 4.4 for å beregne lengder til innføringsgropene. Illustrasjon som viser forhold mellom lengder er angitt på Figur 4.5. Det antas bruk av grøfteavstiving i gropenes lengderetning med antatt bredde på 3 meter.



Figur 4.5: Illustrasjon. Dimensjoner til innføringsgrop for utblokking og rørinnføring.

Formel 4.2: Beregning av nødvendig lengde for innføringsgrop. Hentet fra va-blad.no (27).

$$L = T \times (H \times DN)^{0,5}$$

- L – Innføringsgropens lengde
- T – Korreksjonsfaktor for temperatur
- H – Grøftedybde
- DN – Ytre diameter for nytt rør ved utblokking og ytre diameter for eksisterende rør ved rørinnføring.

I oppgaven benyttes anbefalt korreksjonsfaktor for temperatur som forøvrig er 13. Dette forutsetter at temperaturen under utførelse er 10 °C (27).

Formel 4.3: Beregning av nødvendig rettstrekning før innføring. Hentet fra va-blad.no (27).

$$A = 8 \times DN_{ny}$$

- A – Nødvendig rettstrekning før innføring
- DN_{ny} – Ytre diameter til nytt PE-rør

Formel 4.4: Beregning av total lengde for hele grøften med grøfteskrånninger.

$$L_g = L + H$$

- L_g – Total lengde av innføringsgrop

- H – Grøftedybde

Ettersom de fleste innføringsgroper også benyttes som trekkegroper, antar vi vertikale grøftevegger når volumet av gropen skal beregnes både i lengde- og bredderetning. For en enkelt grop beregnes volum etter Formel 4.5.

Formel 4.5: Beregning av volum for en enkelt grop for innføring eller trekking.

$$V = L_g \times B \times H$$

- L_g – Total lengde av innføringsgrop
- B – Grøftebredde
- H - Grøftedybde

I tilfellet hvor det nye medierøret har dimensjon mindre enn eller lik 180 mm kan det nye medierøret installeres fra kveil. Lengden til innføringsgrop beregnes da etter Formel 4.6. Også for slike groper antas en bredde på 3 meter.

Formel 4.6: Beregning av lengden til innføringsgrop ved installasjon av PE-rør med dimensjon mindre enn eller lik 180 mm. Hentet fra va-blad.no (27).

$$L = 24 \times DN_{ny}$$

- DN_{ny} – Ytre diameter til nytt PE-rør

Va-miljøblad nr. 3 har anbefalt maksimumsdimensjoner for det nye røret ved rørinnføring. (18) Verdiene settes som utgangspunkt når det skal bestemmes dimensjon for det nye PE-røret i hver trasé.

Tettisluttet rør

Tettisluttede rør kan leveres på kveil opp til DN 500 (10, s.49). Lengdene ledning man får på kveilen vil variere med dimensjon. Under 150 mm vil det være opp mot 700 meter, mens ved 500 mm vil det være rundt 100 meter(10, s.49). Nødvendig dimensjon på innføringsgrop ved tettisluttet rør er 1,5 m x 2 m (28, s. 26-27). Ved vurdering av fornyelsesmetoder er dimensjon på innføringsgrop ved bruk av tettisluttet rør satt til 2 x 2 m. Det forutsettes at det blir anvendt grøfteavstivning. Volum til innføringsgrop blir beregnet med Formel 4.7.

Formel 4.7: Beregning av volum for grop ved inntrekking av tettisluttede rør.

$$V = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times H$$

- H - Grøftedybde

4.3.7.4 Mottaksgrop

For utblokking, rørinnføring og tetttilsluttet rør er det i de fleste tilfeller behov for mottaksgrop. Mottaksgropen må ha tilstrekkelig plass for evt. maskiner og arbeidsrom.

Trekkegrop for utblokking

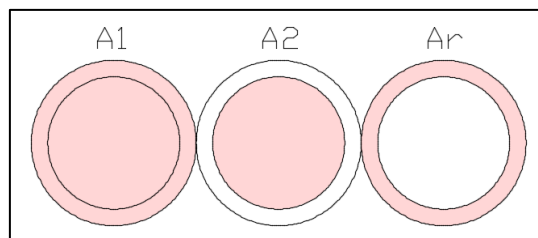
Trekkegrop må dimensjoneres slik at det i tillegg til arbeidsplass er plass til trekkemaskin. Trekkemaskin må velges etter hvilken trekkraft som må benyttes. Nødvendig trekkraft bestemmes etter grunnforhold og kan ikke overskride maks tillatt trekkraft for rørmaterialet som benyttes.

For utblokking anbefales det å bruke PE100-rør SDR11 med PP-kappe (38). Maksimal tillatt strekkspenning for PE100-rør er 10,0 N/mm² (38). Den maksimale tillatte strekkraften kan da finnes ved bruk av Formel 4.8.

Formel 4.8: Beregning av strekkspenning og omgjøring til beregning av strekkraft.

$$\sigma = \frac{F}{A_r} \Rightarrow F = \sigma \times A_r \Rightarrow F = 10,0 \text{ N/mm}^2 \times A_r$$

- F = Strekkraft
- σ = Strekkspenning
- A_r = Rørtverrsnittets areal



Figur 4.6: Arealer for rørtverrsnittet

Formel 4.9 brukes for å finne rørtverrsnittets areal, A_r .

Formel 4.9: Beregning av rørtverrsnittets areal, A_r .

$$A_r = A_1 - A_2 = \pi \times (r_1)^2 - \pi \times (r_2)^2$$

- r_1 – Ytre radius
- r_2 – Indre radius

Maksimal tillatt strekkraft for de ulike rørdimensjonene blir da som vist i Tabell 4.13.

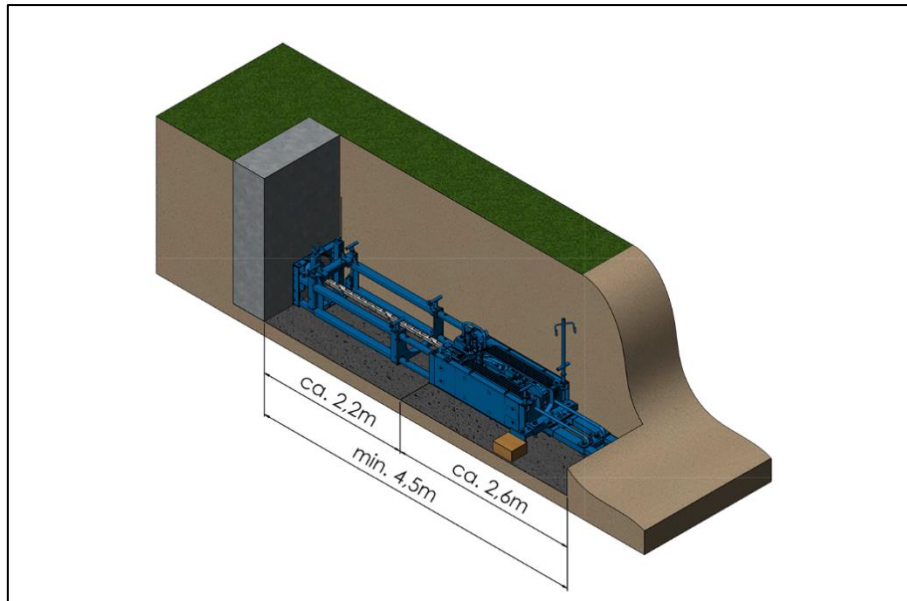
Tabell 4.13: Maks tillatt strekkraft for PE100-rør.

DN	e (SDR11)	Di (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)	Ar (mm ²)	F (kN)
160	14,6	130,8	80,0	65,4	6669,10	66,7
180	16,4	147,2	90,0	73,6	8429,02	84,3
200	18,2	163,6	100,0	81,8	10394,78	103,9
225	20,5	184,0	112,5	92,0	13170,34	131,7
280	25,4	229,2	140,0	114,6	20316,18	203,2

Trekkemaskin må velges slik at det har nok kraft til å strekke ledningen gjennom forholdene den eksisterende ledningen befinner seg i, men ikke for stor kraft slik at PE-røret utsettes for større strekkraft enn oppført i Tabell 4.13.

Uten å gå dypere inn i temaet, blir det antatt at Grundoburst 800G fra Tracto-technik er en trekkemaskin som innfrir disse kravene (39).

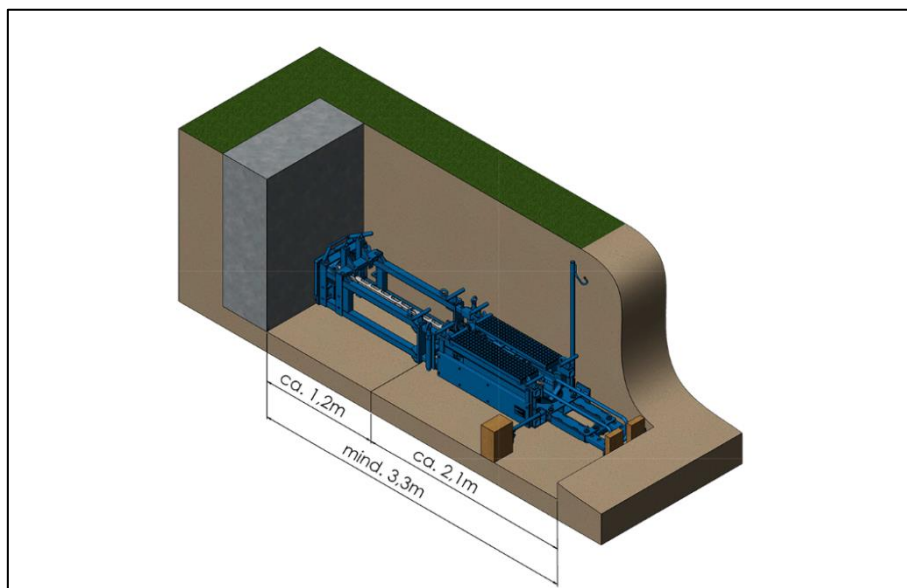
Følgelig tas det utgangspunkt i nødvendige dimensjoner for denne trekkemaskinen som er vist på Figur 4.7 og det legges til ekstra plass for arbeidsrom. Det antas at nødvendig dimensjon for trekkegrep ved bruk av utblokking er 5 m x 3 m. Da antas vertikale grøftevegger og bruk grøfteavstivning.



Figur 4.7: Trekkemaskin for utblokking, Grundoburst 800 G. Hentet fra tracto-technik.com (39).

Trekkegroper for rørinnføring

Også for rørinnføring regner vi med behov for trekkegroper. Det antas at den nye ledningen vil bli påvirket av mindre strekkrefter enn ved utblokking og dermed velges en mindre trekkemaskin – Grundoburst 400 G. Nødvendig dimensjon for trekkegroper er vist på Figur 4.8. Dimensjon til trekkegroper for rørinnføring settes til 4 m x 3 m.



Figur 4.8: Trekkemaskin for rørinnføring, Grundoburst 400G. Hentet fra Tracto-technik.com (39)

Mottaksgrop for tettisluttet rør

Ved inntrekking av tettisluttet rør vil det ofte kunne utføres fra kum til kum, ved liten rørdimensjon på eksisterende ledning (28, s.27). I denne oppgaven antas det behov for mottaksgrop. Nødvendig dimensjoner for mottaksgrop vil være ca. 1,5 m x 2 m (28, s.27). Når inntrekking av tettisluttet rør vurderes, settes dimensjoner for mottaksgrop til 2 m x 2 m med spuntvegg rundt for vertikale grøfteskrånninger.

5. Metodevurdering

5.1 Bratsbergvegen

Traseen i Bratsbergvegen har en ledningslengde på ca. 666 m og består av grå støpejernsrør med en dimensjon på 225 mm. Det er seks vannkummer langs traseen hvor en av kummene har reduksjonsventil. Avløpssystemet består tre kummer med avløpfelles som kan vurderes for separasjon. Langs store deler av traseen ligger det høyspentkabler på 22 kV over vannledningene som skal fornyes. De siste årene har det oppstått flere lekkasjer og brudd på disse vannledningene. Rør i traseen har tidligere stått på kommunens prioriteringsliste for rør som skal fornyes, men problemer med trafikkavvikling har gjort at prosjektet har blitt utsatt (9). Det nevnes for øvrig at det er planlagt utbygging av boligområde i nærheten av traseen. Boligområde vil da få sin vannforsyning fra Bratsbergvegen (40).

5.1.1 Forhold over grøft

Områder rundt traseen består av gårdsdrift, eneboliger og borettslag med terrassehus. Øverst i traseen er det et næringsbygg som tidligere drev med vaktmestertjenester og rørleggerbedrift. Det er ukjent hvordan dette bygget er koblet til vannforsyningen i gaten. Tredje nordligste kum i traseen forsyner tre terrassehus. Stikkledninger fra sydligste kum i traseen forsyner vann til Foldal gård som driver entreprenørfirma, samt husdyrhold og jordbruk (41). Forsyning via anboringer på ledningen går til eneboliger.

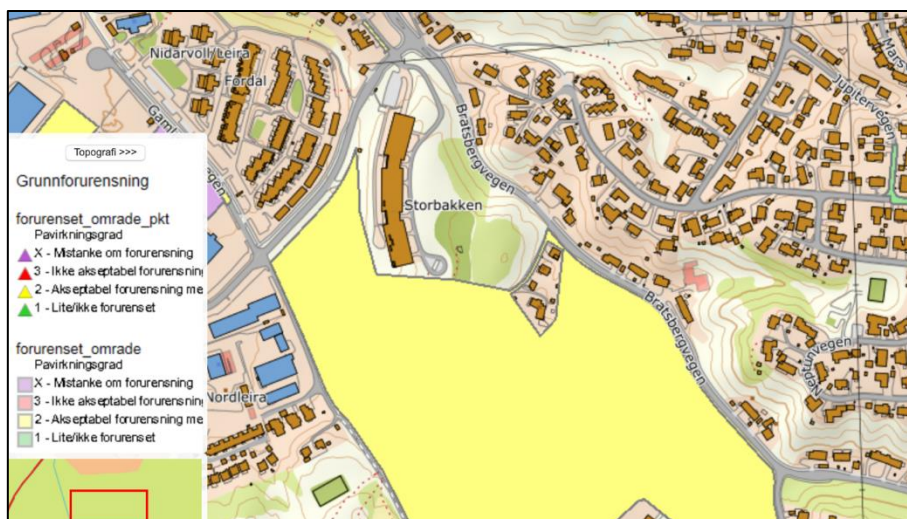
Vegstrekningen langs traseen har en ÅDT på 1700 med 9 % tungtrafikk i 2018 (42). Vegens tilstand er ifølge Nasjonal vegdatabank «ok» og det er ingen nødvendighet å forbedre vegen (42). Det finnes to holdeplasser for buss langs strekningen. Stengning av vegen vil være en stor utfordring med tanke på kollektivtrafikk. Om vegen stenges er det ingen gode omkjøringsmuligheter eller alternative busstopp for de som bor langs Bratsbergvegen. Stenges vegen ved avkjørselen til Fossegrenda vil det også forstyrre kollektivtrafikken som går der.

5.1.2 Forhold i grøft

Informasjon om grunnforhold er hentet fra NGUs kartapplikasjoner (43). Vannledningene i Bratsbergvegen ligger under marin grense og grunnen består av finkornige marine avsetninger. Det er påvist forurensning i grunnen langs sørlige del av Bratsbergvegen. Dette er definert som «akseptabel forurensning med dagens areal- og resipientbruk» og blir ikke tatt hensyn til i oppgaven.

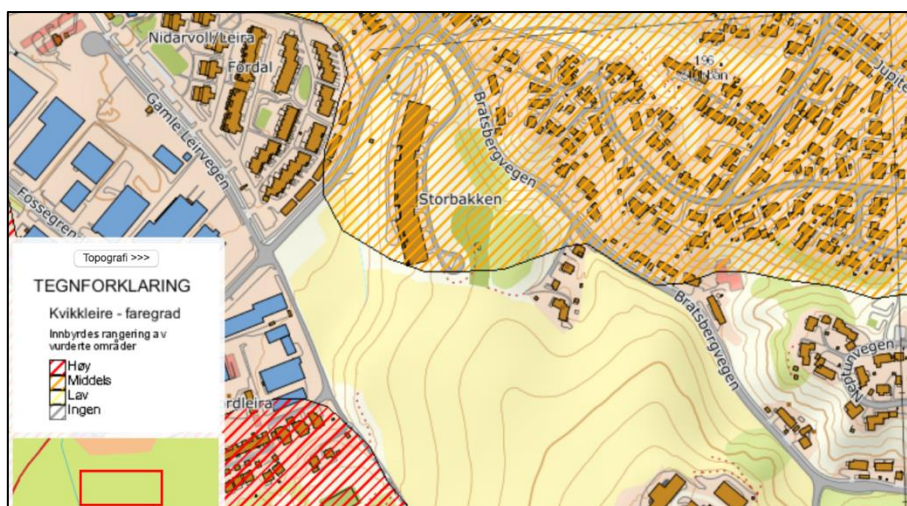


Figur 5.1: Kart over løsmasser i området rundt Bratsbergvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43)



Figur 5.2: Kart over grunnforurensning i området rundt Bratsbergvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43)

Som vist på kvikkleirekart i Figur 5.3 har området rundt den nordlige delen av Bratsbergvegen middels faregrad som betyr at dette er et løsneområde. Dersom kvikkleireskred skulle oppstå står altså grunnen i fare for løsne og gli ut. Området er plassert i risikoklasse 5 som vist på Figur 5.4. Dette betyr at det er høy sannsynlighet for kvikkleireskred og at konsekvensene ved skred er store.



Figur 5.3: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, faregrad for skred. Hentet fra geo.ngu.no (43)



Figur 5.4: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no(43)

Vannledningen i Bratsbergvegen ligger i hovedsak i en egen grøft uten avløpsledninger. I den nordlige delen av traseen ligger det avløpsledninger i samme grøft som vannledningene. Dette er ledninger for felles avløp med dimensjon på 600 mm. Det er ikke gjennomført kamerakjøringer i disse avløpsledningene og tilstanden på ledningene er ukjent.

Langs traseen ligger det høyspentkabler på 22kV. Kablene ligger ifølge grunnlagskart fra Trondheim kommune, langs og over vannledningen på flere punkter. Se **Vedlegg B**.

5.1.3 Kummer

Informasjon om kummer i Bratsbergvegen står i kumkort som er vedlagt i **Vedlegg D**. Fem av seks vannkummer langs traseen er i dårlig stand og må erstattes. Vannkum 313804 er i god stand og kan brukes videre etter gjennomført ledningsfornyelse. Det er tre avløpskummer i samme grøft som vannledningene – kum 9320 og 9317 med felles avløpsledning og kum

313775 med overvannsledning. Kummer for felles avløp er i dårlig stand og må erstattes. Overvannskummen er i god stand og kan brukes videre etter gjennomført fornyelse. **Vedlegg 5.1** gir en oversikt over tilstanden til kummene i Bratsbergvegen.

5.1.4 Vurdering etter Norsk Vann rapport 221

Etter simulering i EPANET ble det konkludert med at tverrsnittsreduksjon for vannledningene i Bratsbergvegen kan aksepteres. Dermed er rørinnføring og inntrekking av tettisluttede rør aktuelle metoder. Det er ingen avløpsledninger eller andre stedlige forhold som hindrer bruk av utblokking. Dermed er også utblokking med en aktuell fornyelsesmetode. På grunn av høyspentkabler er det ønskelig å minimalisere gravearbeidene, men åpen graving vil fremdeles være et alternativ.

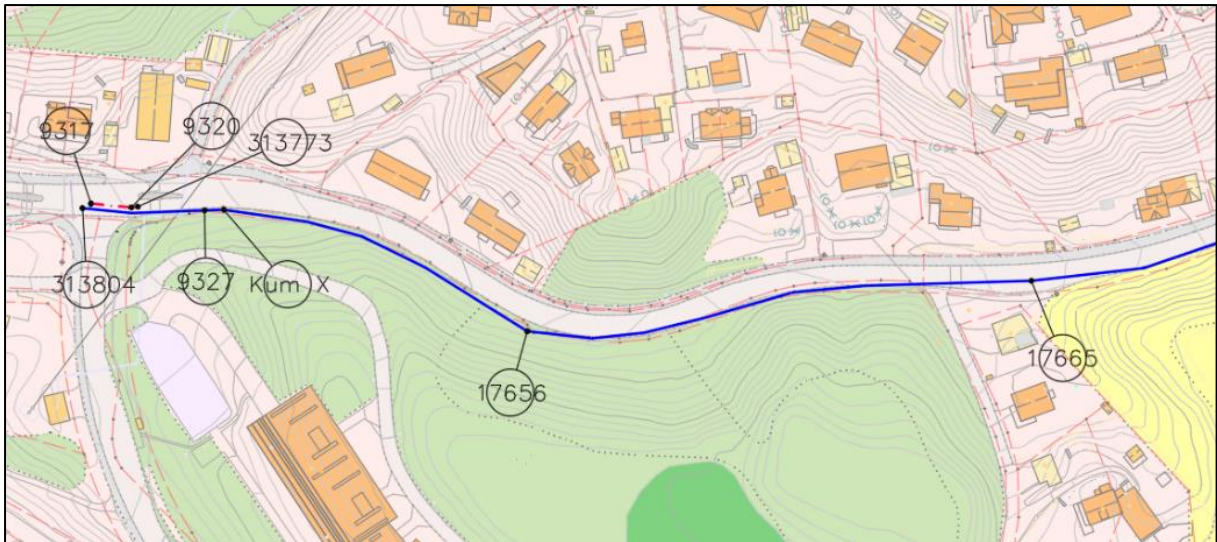
Tabell 5.1: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Bratsbergvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder»(28, s.42)

Årsak til problem	Type rør	Valg av metode	Aktuell
Hyppige brudd på gråjernsledning	Trykkledning	Utblokking	Ja
		Tettisluttet rør	Ja
		Rørinnføring	Ja
		Åpen graving	Ja

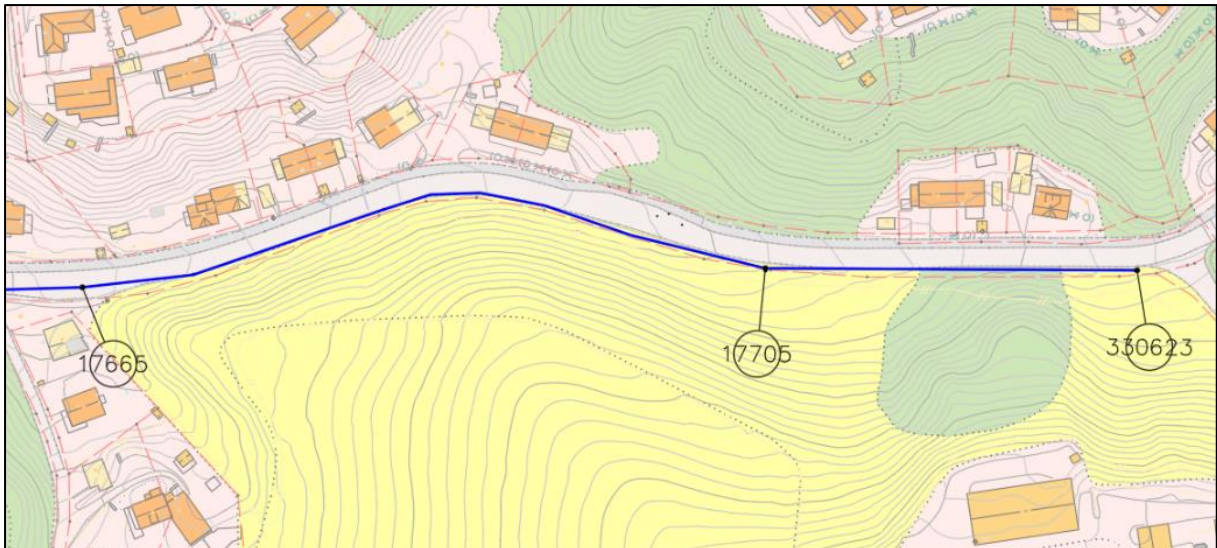
5.1.5 Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger

5.1.5.1 Metode 1 – Åpen grøft

Det konfigureres to tverrsnitt. Et med avløpsledninger i samme grøft som vannledning og et med bare vannledning. Grøftetverrsnittene er vist på **Vedlegg 5.2**. DN 225 PE 100 SDR 11 benyttes som vannledning og DN 600 Betong benyttes som felles avløpsledning. Grøftehelningen er satt til 1:1 fordi grunnen består av finkornige materialer. Den nye traseen er lagt etter hvor grunnlagskartet viser den eksisterende traseen ligger, og kummer antas plassert der hvor eksisterende kummer er. Plassering av ny ledning ved åpen graving er som vist på Figur 5.5 og Figur 5.6.

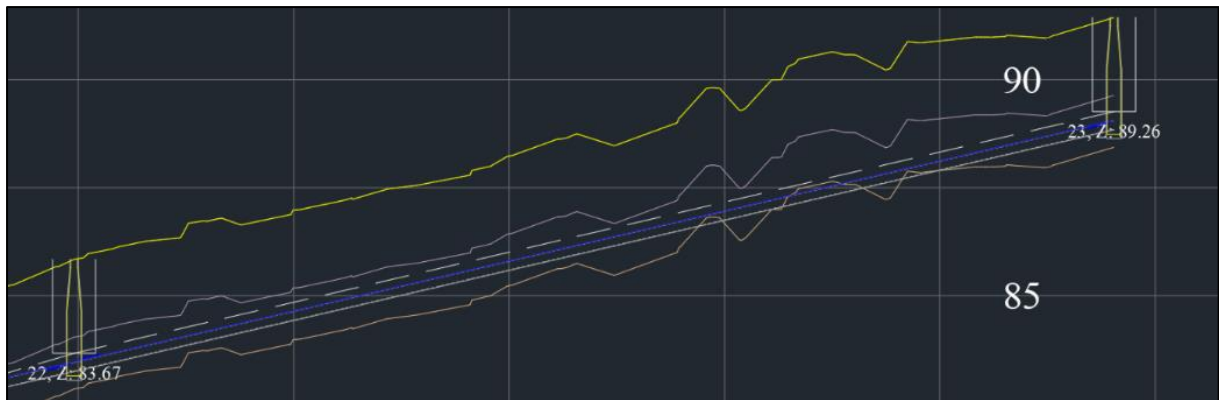


Figur 5.5: Skjermbilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i nordlige del av Bratsbergvegen.



Figur 5.6: Skjermbilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i sørlige del av Bratsbergvegen.

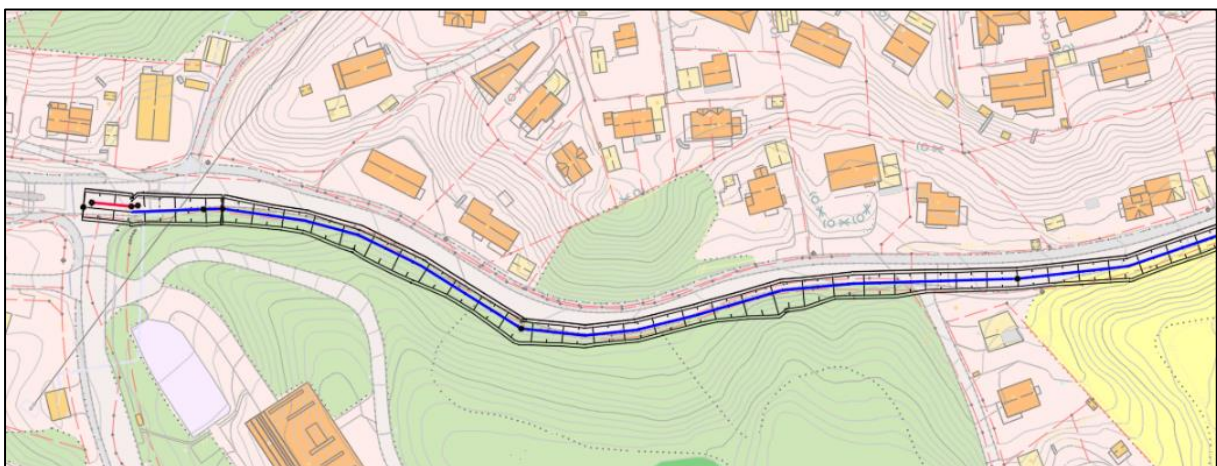
Ved konvensjonell graving legges vannledningen under frostfri dybde. Figur 5.7 viser eksempel på vertikal plassering av ledning i forhold til en avstand på 1,8 m og 3 m under terrengnivå.



Figur 5.7: Skjermbilde fra AutoCad. Utsnitt fra vertikaltegning av traseen i Bratsbergvegen.

Tegneverktøyet i AutoCAD/Novapoint gjør det mulig å se hvordan grøfta ligger og hvor store deler av nærliggende areal som det gjøres inngrep på. Som vist på Figur 5.8 og Figur 5.9 blir det gjort gravearbeider i store deler av Bratsbergvegen og det antas at det må legges ny veg langs hele strekningen i Bratsbergvegen. Grøften vil i nordlig del av traseen sperre avkjørselen mot Fossegrenda.

Det er særlig aktuelt med bruk av avstiving i grøft istedenfor enn grøfteskråning på 1:1. Dette fordi det er bratt terreng på andre siden av vegen og skråningslengden vil bli veldig lang. Dessuten vil store deler av vegen måtte stenges noe som er svært uheldig. Likevel blir det sett på grøft med grøftehelning 1:1 i dette kapittelet.



Figur 5.8: Skjermbilde fra AutoCAD. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i nordlige del av Bratsbergvegen.



Figur 5.9: Skjermbilde fra AutoCad. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i sørlige del av Bratsbergvegen.

Fra Novapoint hentes data om masser fra gravearbeid av grøft. **Vedlegg 5.3** viser oversikt over de forskjellige massene som inngår i graving av grøft i Bratsbergvegen. Korreksjonsfaktor for løsmasser er satt til 1,0. Utført anbrakt volum vil dermed være like mye som prosjektert fast volum.

Legging av ny veg har mye å si for de økonomiske og miljømessige påkjenningene.

Tabell 4.10 i kapittel 4.3.6 viser tykkelse til de ulike lagene i den nye vegoverbygningen som legges.

Økonomi

- Grøften gir en utgravningsmengde på 6152,74 m³ jord. Se **Vedlegg 5.3**
- Overskuddmasser inngår i massetransport. Transport av masser som behøves i legging av ny grøft er inkludert i post T11.1.01 grøft – uttak og utlegging.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for åpen grøft etter postene fra **Vedlegg 4.1** kommer på kr. 3 890 018,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Langs hele traseen ligger høyspentkabler på 22kV. Dette vil øke prisen for graving, men er ikke beregnet i oppgaven. Figur 5.10 og Figur 5.11 viser plassering av høyspentledninger i forhold til grøft.



Figur 5.10: Skjerm bilde fra AutoCad. Grøft i forhold til høyspentkabler i nordlige del av Bratsbergvegen.



Figur 5.11: Skjerm bilde fra AutoCad. Grøft i forhold til høyspentkabler i sørlige del av Bratsbergvegen.

Miljø

For åpen graving blir det totalt ca. 49795 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk. Se **Vedlegg 5.6**.

5.1.5.2 Metode 2 – Utblokking

Gravearbeider

For utblokking installeres nytt PE-rør med dimensjon DN 280 og SDR11. Dette gir en økning i tverrsnittet på ca. 2%.

Innførings- og trekkegrop etableres ved krappe bend og ved eksisterende kummer. Kum 313804 fjernes og settes inn på nytt etter renovering da tilstanden på kummen er ok.

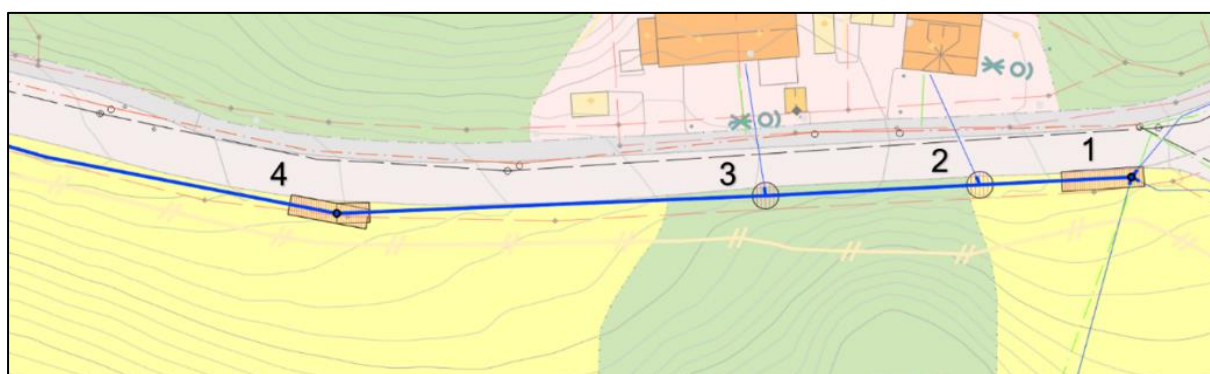
Grøftedybden regnes som lengden av nedmål og det nye rørets dimensjon. En oversikt over grøftedybder er vist i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Grøftedybde for innføringsgroper til utblokking ved vannkummer i Bratsbergvegen.

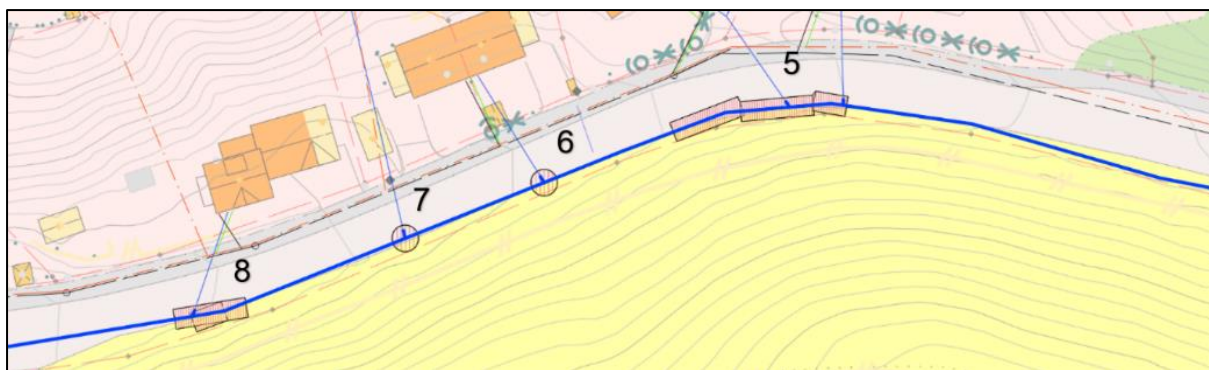
Kum	Leggedybde, H (m)	DN _{ny} (m)
313804	$1,77 + 0,280 \approx 2,05$	0,280
9327	$1,83 + 0,280 \approx 2,11$	0,280
17656	$1,79 + 0,280 \approx 2,07$	0,280
17665	$1,86 + 0,280 \approx 2,14$	0,280
17705	$2,09 + 0,280 \approx 2,37$	0,280
330623	$2,19 + 0,280 \approx 2,47$	0,280

Tabell 5.3: Nødvendig lengde og total lengde for innføringsgroper ved kummer i Bratsbergvegen

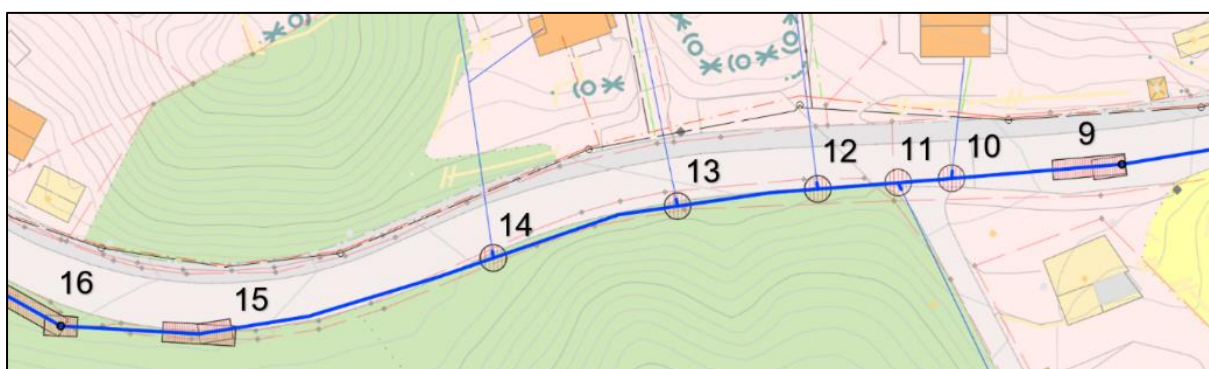
kum	T	$L = T \times (H \times DN)^{0,5}$	$L_g = L + H$
313804	13	$9,85 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} + 2 \text{ m} = 12 \text{ m}$
9327	13	$9,99 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} + 2 \text{ m} = 12 \text{ m}$
17656	13	$9,90 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} + 2 \text{ m} = 12 \text{ m}$
17665	13	$10,06 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$	$10 \text{ m} + 2 \text{ m} = 12 \text{ m}$
17705	13	$10,60 \text{ m} \approx 10,5 \text{ m}$	$10,5 \text{ m} + 2,5 \text{ m} = 13 \text{ m}$
330623	13	$10,81 \text{ m} \approx 11 \text{ m}$	$11 \text{ m} + 2,5 \text{ m} = 13,5 \text{ m}$



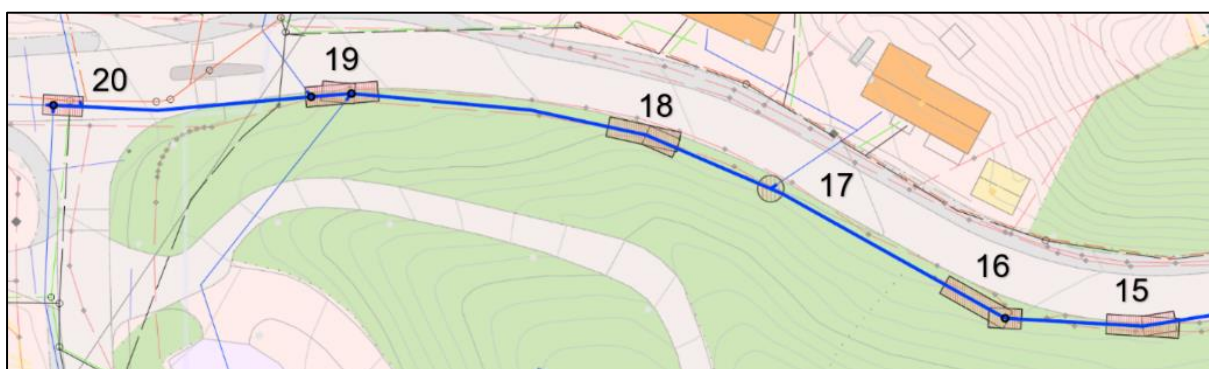
Figur 5.12: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.



Figur 5.13: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.



Figur 5.14: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.



Figur 5.15: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.

Volumet av innføringsgroper og mottaksgroper beregnes ved å finne arealet av gropene, for så å multiplisere denne verdien med en gjennomsnittsdybde for alle kummene. Formel 4.1 benyttes for å finne volum av groper ved anboringer. Gjennomsnittshøyde er som vist i Tabell 5.4 volum for gropene i Bratsbergvegen er vist i **Vedlegg 5.4**.

Tabell 5.4: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Bratsbergvegen.

Kum ID	Nedmål	Ledningens dimensjon	$H = \text{Nedmål} + \text{ledningens dimensjon}$
313804	1,77	0,225	$1,77 + 0,225 = 1,995$
9327	1,829	0,225	$1,829 + 0,225 = 2,054$
17656	1,79	0,225	$1,79 + 0,225 = 2,015$
17665	1,859	0,225	$1,859 + 0,225 = 2,084$
17705	2,092	0,225	$2,092 + 0,225 = 2,317$
330623	2,19	0,225	$2,19 + 0,225 = 2,415$
Gjennomsnittlig dybde			2,147 m

Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 988 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for utblokking kommer på kr. 447 566,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Vedlegg 5.7 viser utførelse av beregning for utslipp CO₂-utslipp. For utblokking blir det totalt ca. 4338 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.1.5.3 Metode 3 – Rørrinnføring

Gravearbeider

For rørrinnføring blir et PE-rør med DN200 og SDR11 ført inn. Tverrsnittet blir da redusert fra 225 mm til 163,6 mm og gir en tverrsnittsreduksjon på ca. 27 %. Innføringsgroppen dimensjoneres etter leggedybden og det nye rørets dimensjon. Leggedybden for rørrinnføring regnes som lengden av nedmål og dimensjonen av det eksisterende røret.

Tabell 5.5: Grøftedybde for innføringsgropene til rørinnføring ved vannkummer i Bratsbergvegen.

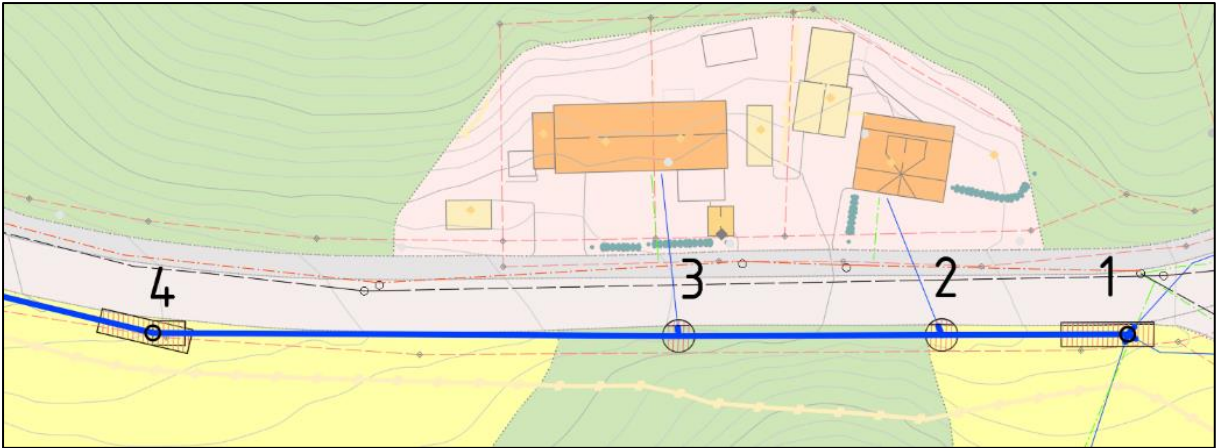
Kum	Leggedybde, H (m)	DN _{ny} (m)
313804	$1,77 + 0,225 \approx 2,00$	0,200
9327	$1,83 + 0,225 \approx 2,06$	0,200
17656	$1,79 + 0,225 \approx 2,02$	0,200
17665	$1,86 + 0,225 \approx 2,09$	0,200
17705	$2,09 + 0,225 \approx 2,32$	0,200
330623	$2,19 + 0,225 \approx 2,42$	0,200

Den totale lengden av innføringsgropene, L_g , ved kummene blir som vist i Tabell 5.6

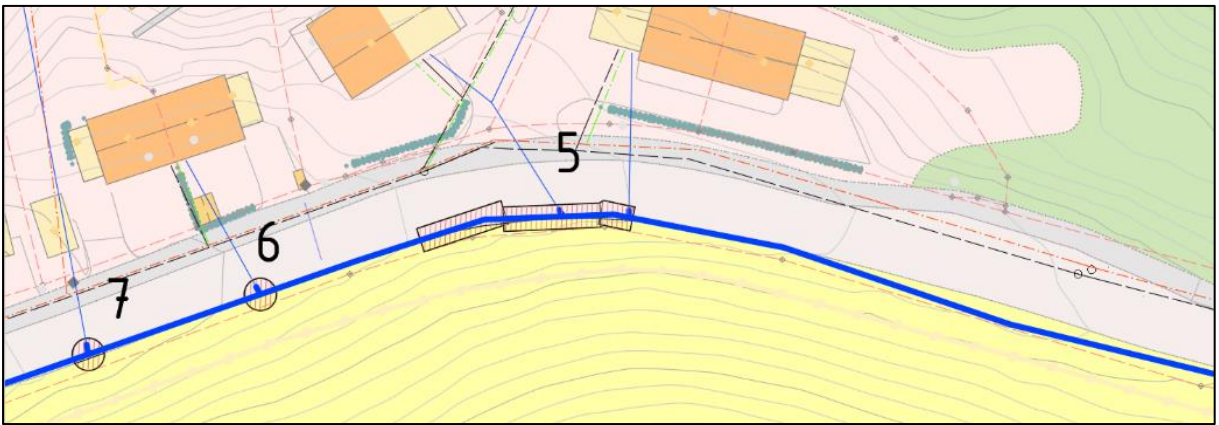
Tabell 5.6: Nødvendig lengde og total lengde for innføringsgropene til rørinnføring ved kummer i Bratsbergvegen.

Kum	T	$L = T \times (H \times DN)^{0,5}$	$L_g = L + H$
313804	13	$8,22 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$	$8\text{m} + 2\text{m} = 10\text{m}$
9327	13	$8,34 \text{ m} \approx 8,5 \text{ m}$	$8,5\text{m} + 2\text{m} = 10,5\text{m}$
17656	13	$8,26 \text{ m} \approx 8,5 \text{ m}$	$8,5\text{m} + 2\text{m} = 10,5\text{m}$
17665	13	$8,40 \text{ m} \approx 8,5 \text{ m}$	$8,5\text{m} + 2\text{m} = 10,5\text{m}$
17705	13	$8,86 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$	$9\text{m} + 2,5\text{m} = 11,5\text{m}$
330623	13	$9,04 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$	$9\text{m} + 2,5\text{m} = 11,5\text{m}$

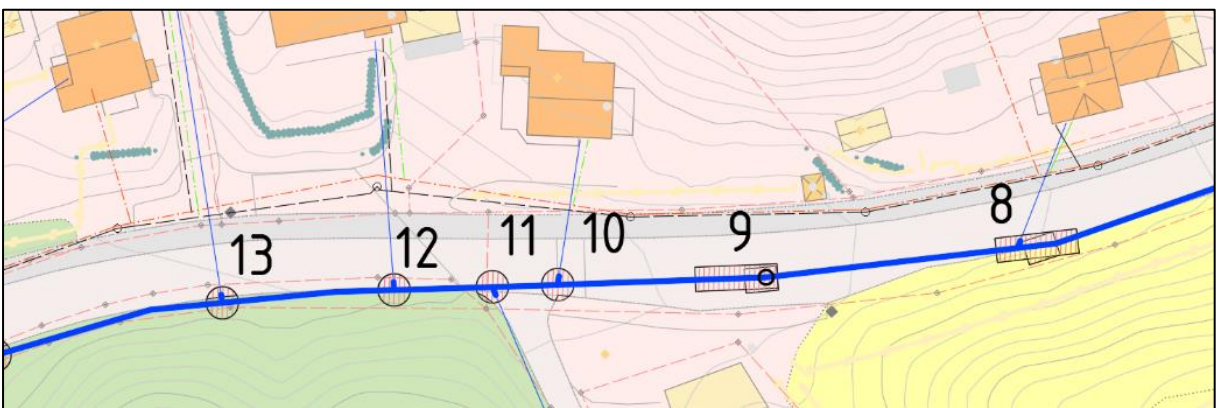
Innføring og trekking kan foregå i samme grop så lenge gropen har nødvendig lengde for innføring og plass til trekkemaskin. Figur 5.16 - Figur 5.20 viser plassering av innførings- og trekkegrop for rørinnføring. Grop nr. 5, 8, 15 og 18 er satt på grunn av krappe bend og har samme dimensjon som nærmeste innførings- og mottaksgrop for kum.



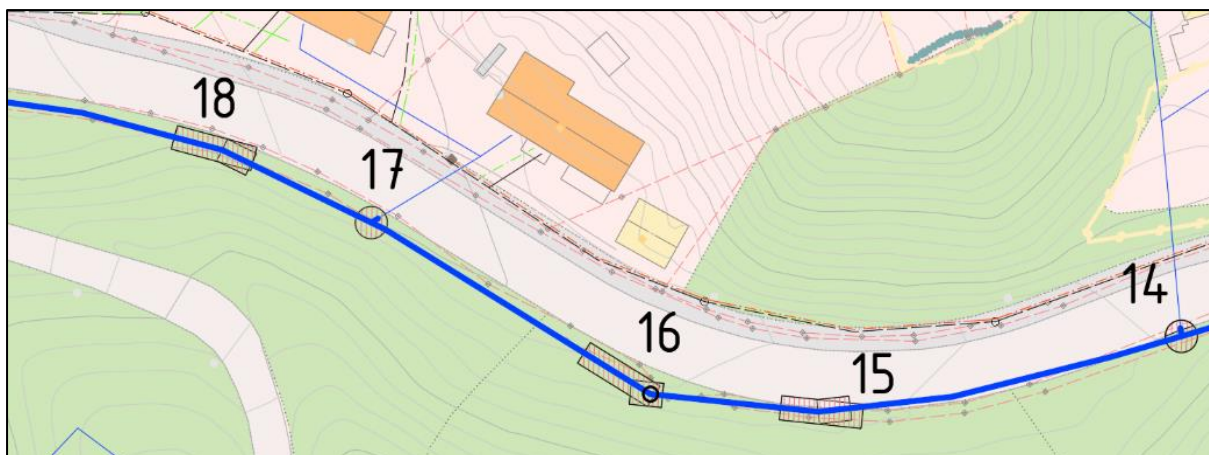
Figur 5.16: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.



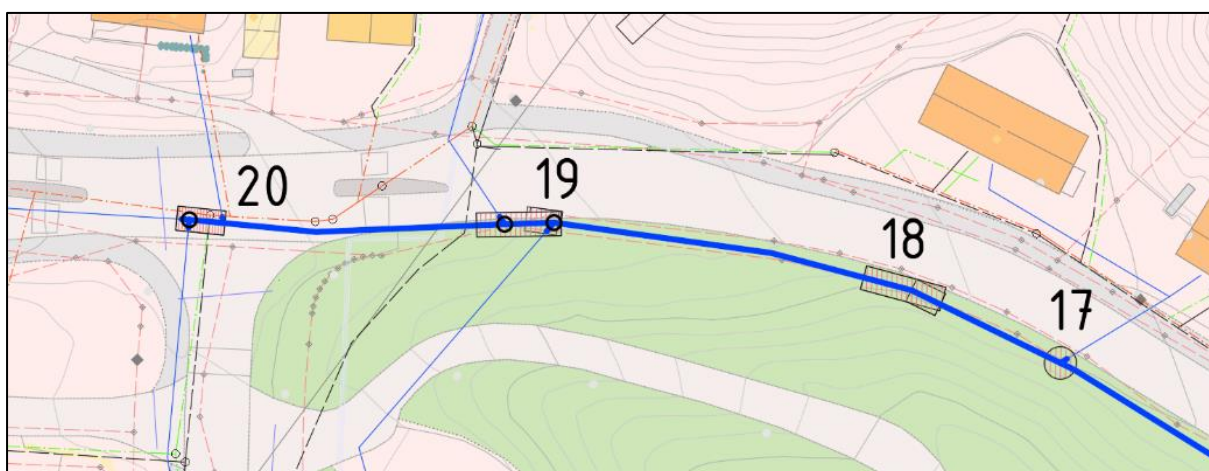
Figur 5.17: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.



Figur 5.18: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.



Figur 5.19: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.



Figur 5.20: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.

Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 896 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for rørinnføring kommer på kr. 433 729,00. Se **Vedlegg 5.5**.

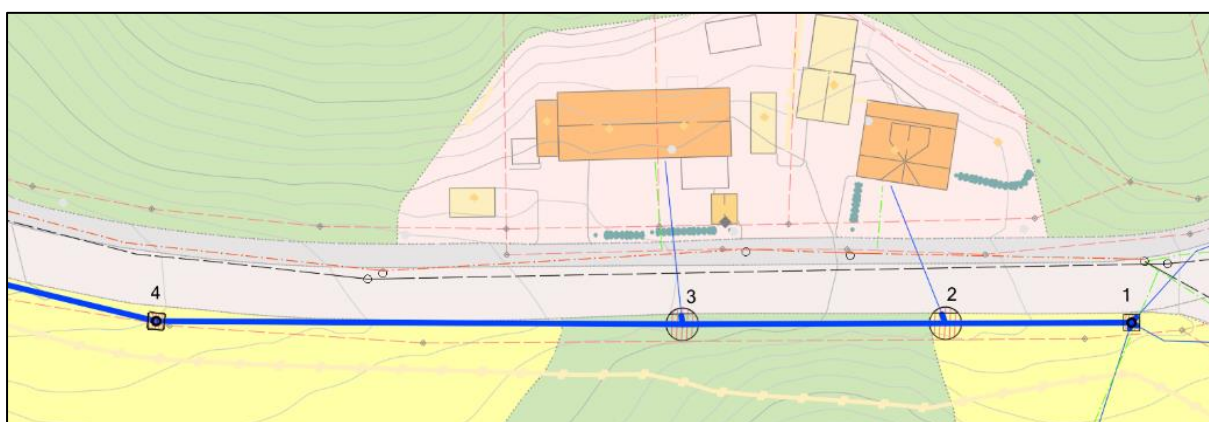
Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. Totalt utslipp av CO₂-utslipp for gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk blir ca. 4226 kg CO₂.

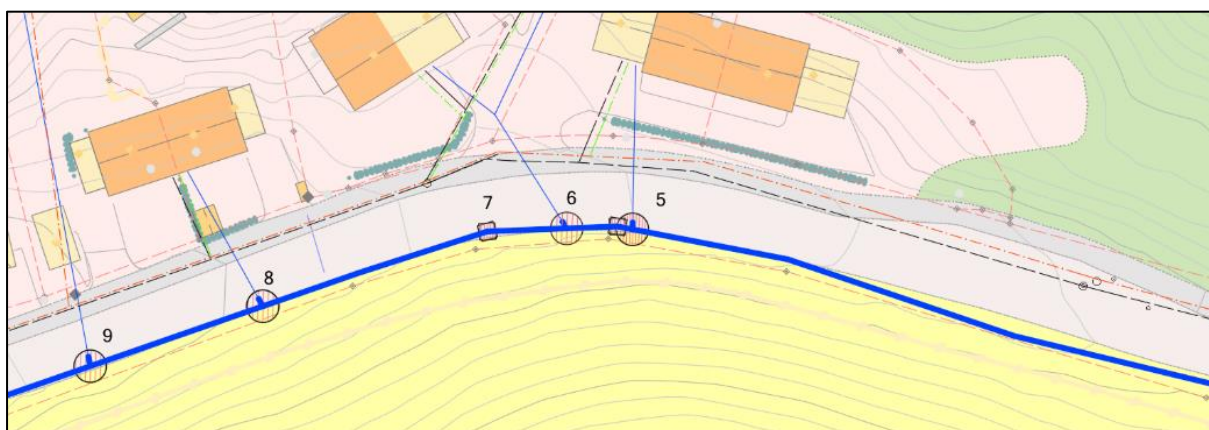
5.1.5.4 Metode 4 – Tettisluttet rør

Ved inntrekking av tettisluttede rør i Bratsbergvegen vil dimensjonen på ledningen få noe mindre dimensjon. Den nye ledningen vil da ligge helt tett inntil eksisterende rør(28, s.26).

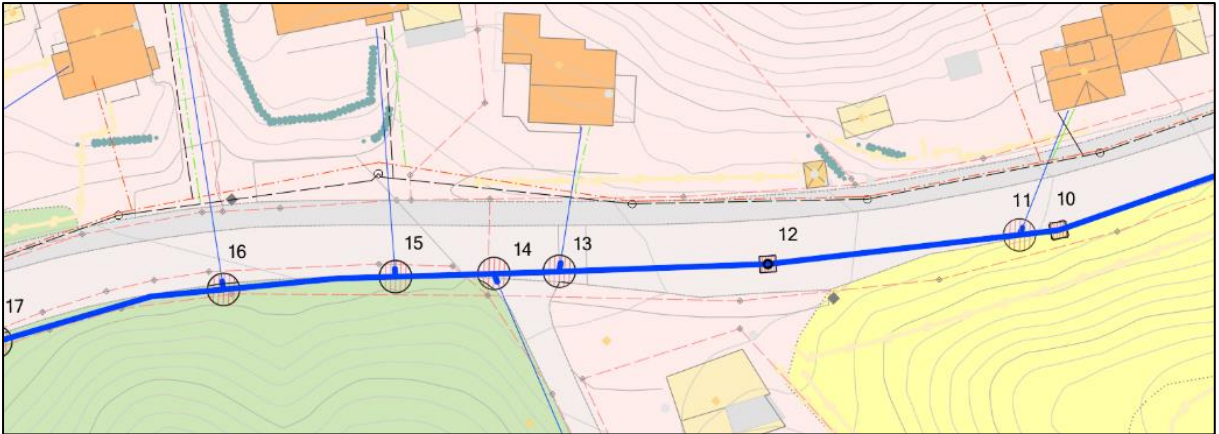
Som nevnt i kapittel 4.3.7 settes dimensjoner for groper for innførings- og mottaksgrop ved bruk av tettisluttede rør til 2 m x 2 m. Totalt volum for uttak av groper ved bruk av tettisluttet rør er vist i **Vedlegg 5.4**. Plassering av groper for innføring, mottak og anboringer er vist på Figur 5.21 - Figur 5.25.



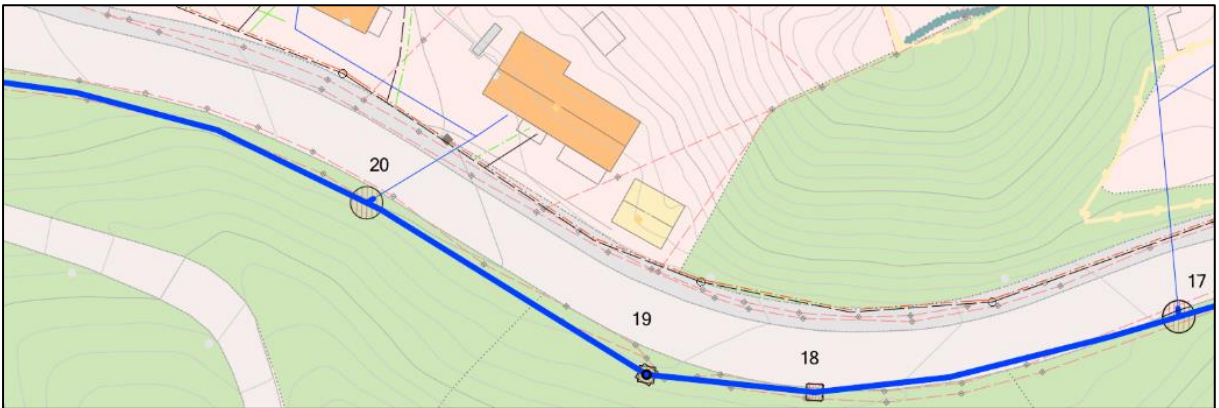
Figur 5.21: Plassering av groper for inntrekking av tettisluttede rør i Bratsbergvegen.



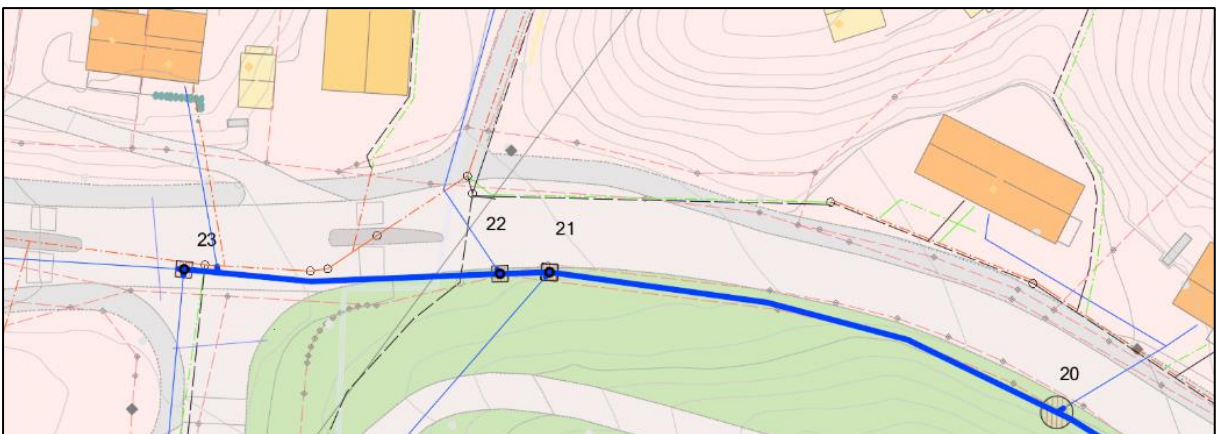
Figur 5.22: Plassering av groper for inntrekking av tettisluttede rør i Bratsbergvegen



Figur 5.23: Plassering av groper for inntrekking av tettilsluttede rør i Bratsbergvegen



Figur 5.24: Plassering av groper for inntrekking av tettilsluttede rør i Bratsbergvegen



Figur 5.25: Plassering av groper for inntrekking av tettilsluttede rør i Bratsbergvegen

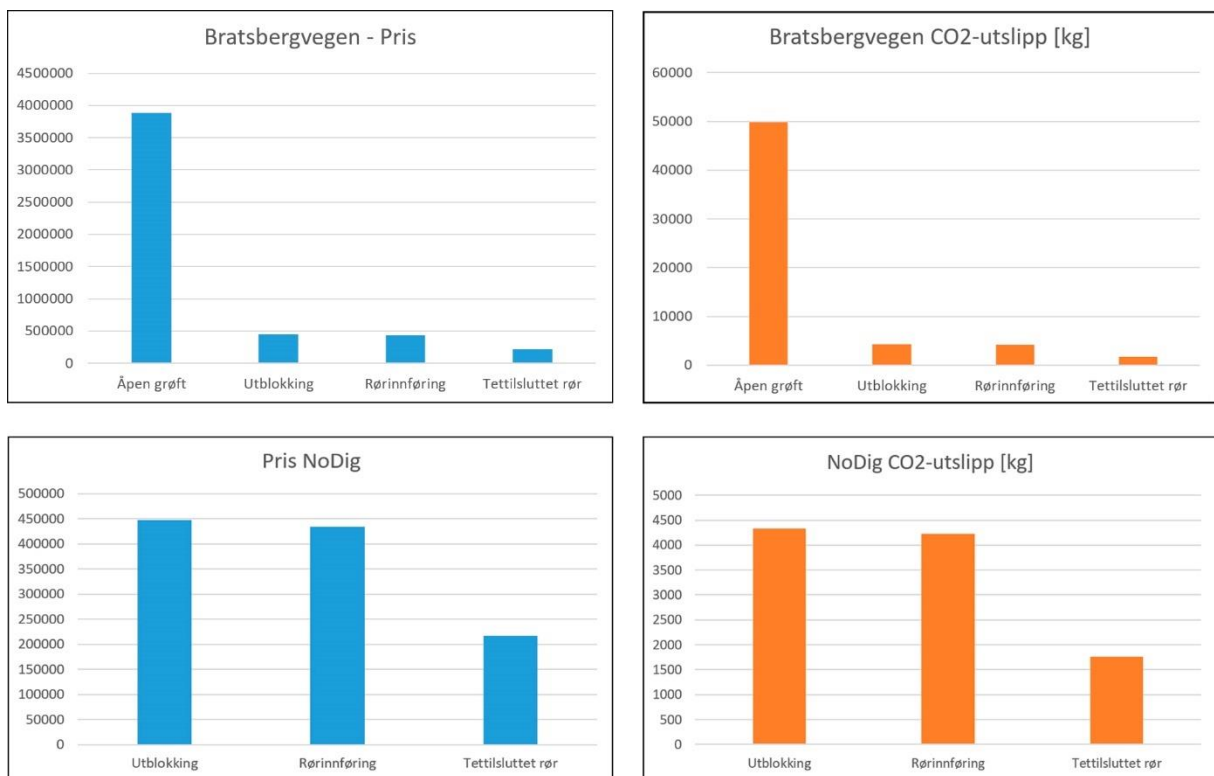
Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 255 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for tettisluttet rør kommer på kr. 216 392,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. Totalt utslipp av CO₂-utslipp for gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk blir ca. 1755 kg CO₂.

5.1.5.5 Resultater



Figur 5.26: Pris og utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Bratsbergvegen.

5.1.6 Vurdering etter sosiale kostnader

Graving kommer her ut som klart den klart mest belastende metoden. Ved å velge en av NoDig-metodene vil en spare omgivelsene for betydelige belastninger. Tetttilsluttet rør er metoden som er minst belastende. Vurdering er vist på **Vedlegg 5.10**.

5.1.7 Vurdering etter NoDig-kalkulator

For utregning se **Vedlegg 5.9**.

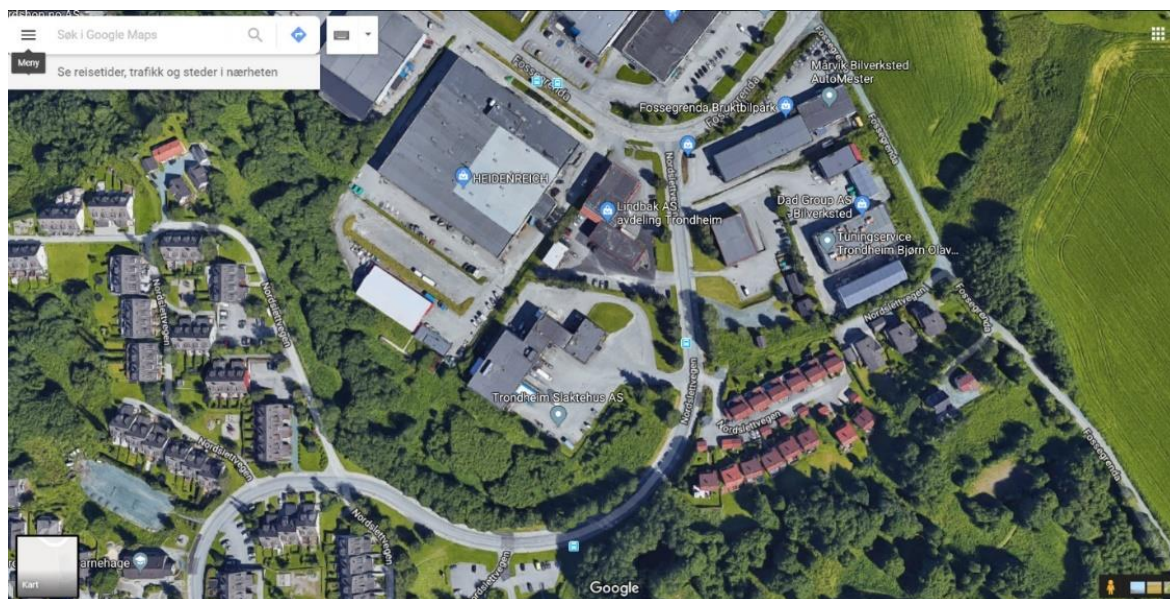
5.1.7.1 Utblokking versus åpen grøft

Utblokking er etter NoDig-kalkulatoren ca. 30% billigere, gir 80% mindre CO₂-utslipp og behøver ca. 93% mindre areal og transport. Resultatet viser altså at utblokking vil være bedre valg med tanke på pris, miljøet og arbeidsmengde. Så lenge utblokking lar seg gjøre vil det klart være et bedre valg av renoverings metode enn åpen grøft.

5.1.7.2 Rørinnføring versus åpen grøft

Inntrekking av PE-rør DN200 på Bratsbergvegen er kr. 1 479 000,00 billigere enn åpen grøft og kr. 283 000,00 billigere enn utblokking. Det er ikke store forskjeller mellom rørinnføring og utblokking på pris, CO₂-utslipp, arealbehov og transportbehov. Det er dermed ingen stor fordel ved å velge rørinnføring framfor utblokking. En ulempe ved å velge rørinnføring er at innvendig rør-dimensjon vil bli redusert fra 225mm til 163,6mm. Det forårsaker ingen problemer med kapasitet ifølge EPANET-simulering, men med relativt liten forskjell i pris er det ønskelig å opprettholde samme dimensjon.

5.2.1 Forhold over grøft



Figur 5.28: Skjerm bilde, oversikt over Nordslettvegen. Hentet fra Google Maps (44).

Ved traseen er det boligbebyggelse, grøntstruktur og næringsvirksomhet. Nordslettvegen er den eneste vegen som gir tilgang til næringsvirksomhetene Trondheim Slaktehus, Fossegrenda Bruktbilpark, Mårvik Bilverksted Automester, Dad Group As Bilverksted og Tuningservice Trondheim. Av de næringsvirksomhetene er det kun Trondheim Slaktehus som har stikkledning koblet med vannledningene som skal renoveres. Det er ca. 114 boenheter som er koblet til traseen.

Pr. 2011 var det mellom 1400 – 1600 ÅDT på Nordslettvegen med andel lange kjøretøy på 4%. (42) Buss nr.55 har rute gjennom Nordslettvegen og det er to bussholdeplasser på traseen.

5.2.2 Grunnforhold og kvikkleire

5.2.2.1 Grunnforhold



Figur 5.29. Kart over løsmasser i området rundt Nordslettvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43).

Området ligger under maringrense og jorda består av tykk marin avsetning. Det er ikke påvist noe forurenset grunn i området. Ellers ligger traseen i stigning. Fra kum nr. 17541 til kum nr. 250894 er det ca. 20 meter høydeforskjell. Beskrivelse av løsmasstype er angitt i Figur 5.30.

Resultater				
Løsmasse flate				
#	Løsmasstype tekst	Løsmasstype definisjon	Løsmasstype	Objekttype
1	Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet	Finkornige, marine avsetninger med mektighet fra 0,5 m til flere ti-tall meter. Avsetningstypen omfatter også skredmasser fra kvikkleireskred, ofte angitt med tilleggssymbol. Det er få eller ingen fjellblotninger i området.	41	LosmasseFlate

Figur 5.30: Løsmasstype i området rundt Nordslettvegen. Hentet fra geo.ngu.no (45).

5.2.2.2 Kvikkleire

Det er kvikkleire i området med høy faregrad og risikoklasse 4. Dybden på kvikkleire er ikke kjent.

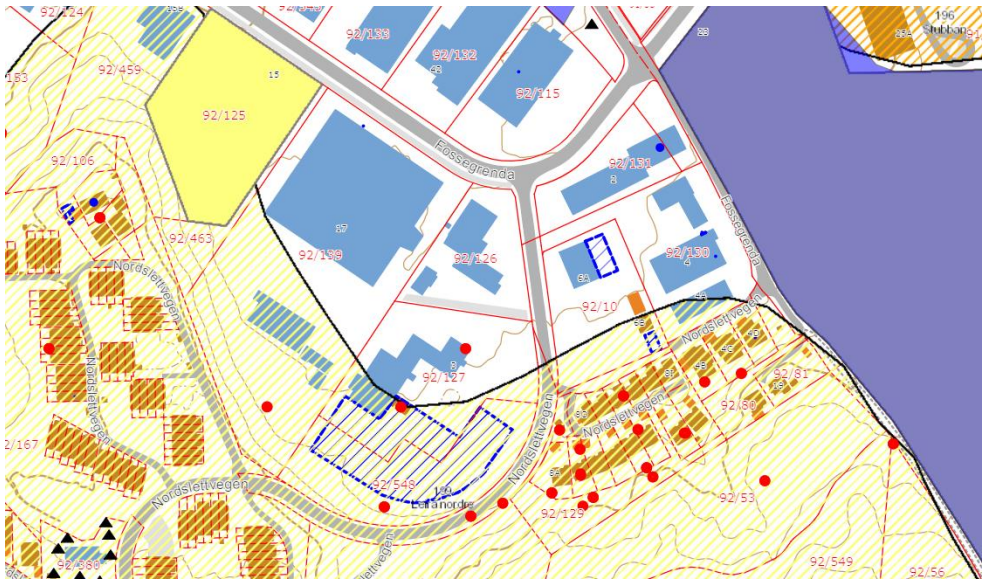


Figur 5.31: Kvikkleirekart for området rundt Nordslettvegen, faregrad for skred. Hentet fra geo.ngu.no (43)



Figur 5.32: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no (43).

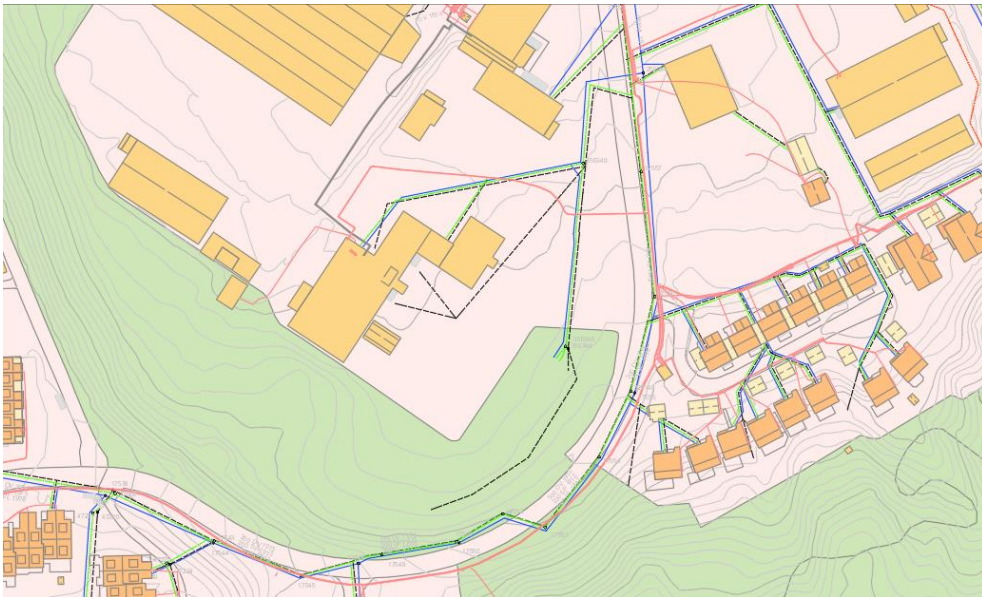
Figur 5.33 viser røde punkter som tilsier punkter som er påvist kvikkleire. (46)



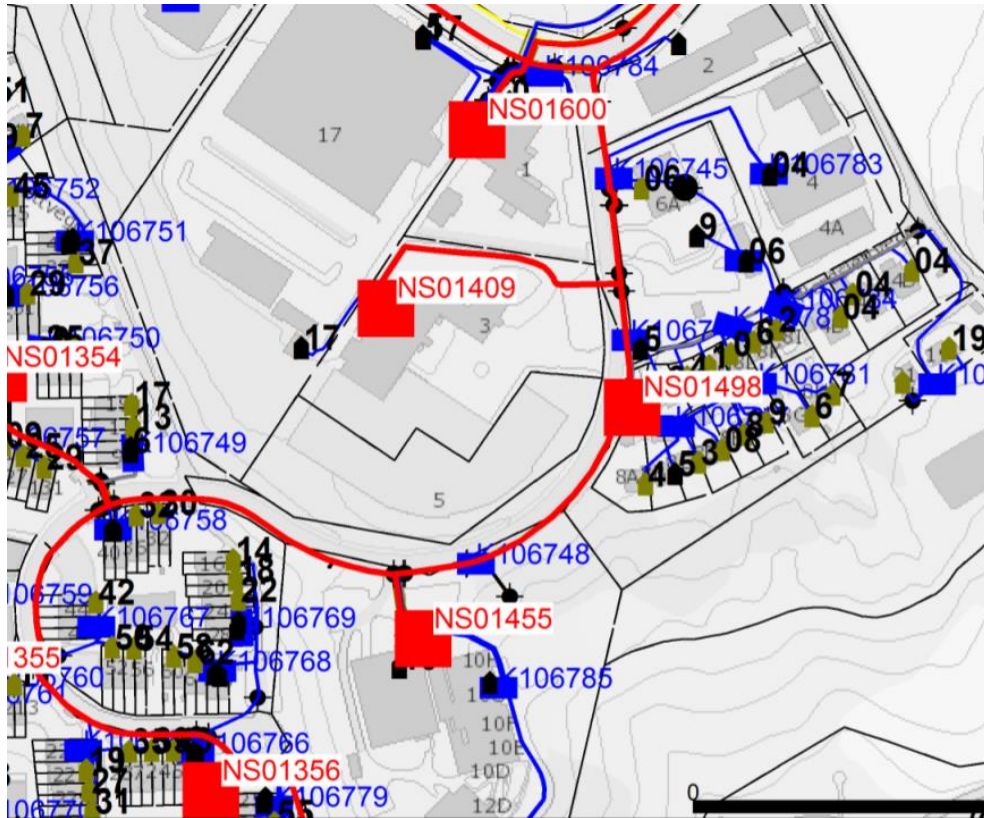
Figur 5.33: Kart over Nordslettvegen, påvist kvikkleire. Hentet fra Trondheim kommunes kartløsning (46).

5.2.3 Strømkabler

Det ligger både høyspentkabler og lavspentkabler langs traseen på Nordslettvegen. Disse kablene ligger tett på ledningene. Strømkablene må tas hensyn til når det skal graves.



Figur 5.34. Skjerm bilde fra AutoCad. Høyspentkabler i Nordslettvegen er vist med røde linjer.



Figur 5.35. Kart over elektriske kabler og anlegg i Nordslettvegen. Hentet fra «gravemelding» i Vedlegg B

5.2.4 Kummer

Det henvises til **Vedlegg 5.1**

5.2.4.1 Vannkum

Det har blitt utført inspeksjon og produsert kumkort for vannkummene på Nordslettvegen av Rambøll. Informasjon på tabellen under er hentet fra kumkortene. Fire av seks vannkummer i traseen er rapportert som dårlig tilstand. Begrunnelsen er ikke nevnt, men det antas at de er utsatt for oppstuvning pga. dårlig drenering. Kummene har en del rust og uønskede masser.

5.2.4.2 Spillvanns- og overvannskum

Det er også blitt utført inspeksjon på spillvanns- og overvannskummene som ligger i samme trase. Disse kummene er felleskummer for SP og OV bortsett fra kum 17616. Info om kummene er vist på tabellen under og er hentet fra kum-kort utarbeidet av Rambøll se **Vedlegg E**. 10 av 11 kummer er blitt anmerket som dårlig tilstand.

5.2.4.3 Oppsummering

Både vann og spillvanns/overvanns kummer i traseen er i dårlig tilstand. Det er derfor aktuelt å enten renovere eller skifte ut disse kummene i forbindelse med renoveringsprosjektet for VL i Nordslettvegen.

5.2.5 Spillvanns- og overvannsledninger

Spillvanns – og overvannsledning i traseen ligger i samme grøft. På spillvannsledninger er det foretatt kamerakjøring og de har fått skadepoeng. Kamerakjøringen er blitt utført av Trondheim bydrift. Oversikt over skadepoeng for spillvannsledningene i Nordslettvegen er vist i **Vedlegg 5.8**

Alle spillvannsledningene bortsett fra én har fått enten skadeklasse 4 eller 5. Dette betyr at tilstand på spillvannsledningene i traseen er meget dårlig eller ubrukelig. Siden OV ligger i samme grøft som SP og ble lagt i samme tidsperiode, er det med god grunn til å tro at OV er i samme dårlige tilstand som SP-ledninger. Hvis VL skal fornyes med åpen grøft bør man skifte ut SP og OV ledningene samtidig i Nordslettvegen.

5.2.6 Vurdering etter Norsk Vann rapport 221

Traseen på Nordslettvegen byr på flere problemer. Kvikkleire i området og høyspent/lavspentkablene gjør det utfordrende å grave. Dårlige tilstand på spillvannsledningene gjør metoden utblokking usikkert og spillvanns- og overvannsledninger bør også renoveres eller utskiftes.

Tabell 5.8: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Nordslettvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder» (28, s.42)

Årsak til problem	Type rør	Valg av metode	Aktuell
Hyppige brudd på gråjernsledning og duktile støpejernsledning	Trykkledning	Utblokking	Kanskje
		Tetttilsluttet rør	Ja
		Rørinnføring	Ja
		Åpen graving	Ja

Utblokking: Tilstanden på spillvannsledningene er svært dårlig og det mistenkes at overvannsledningene er i samme tilstand. Utblokking av VL kan ødelegge nærliggende ledninger i samme grøft, spesielt hvis de ligger veldig tett.

Tettisluttet rør: Reduksjon av tverrsnitt aksepteres. Produktet må være strukturell ettersom Trondheim kommune ønsker å ha strukturelle metoder.

Rørinnføring: Reduksjon av tverrsnitt aksepteres. PE-rør leveres på kveil opp til rørdimensjon 180 mm

Åpen graving: Det blir utfordrende med tanke på kvikkleire og høyspentkabler.

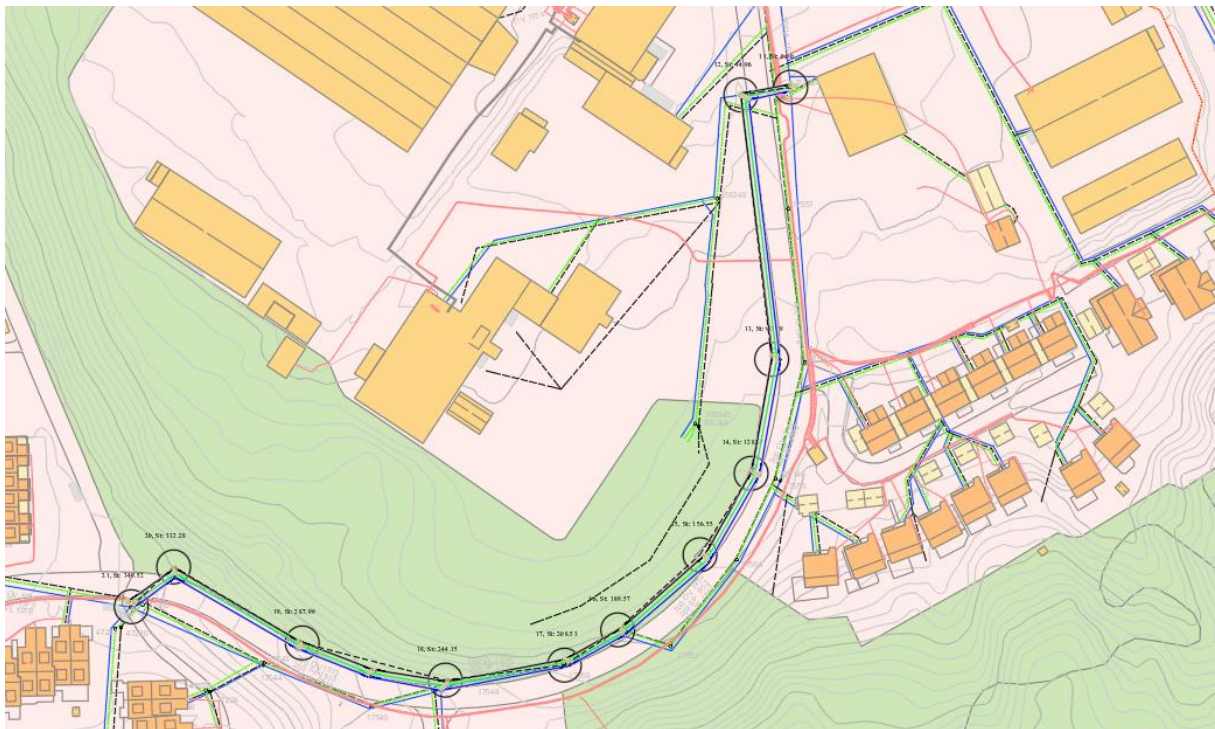
5.2.7 Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger

5.2.7.1 Metode 1 – Åpen grøft

Åpengraving er utfordrende med tanke på høyspentkablene som ligger over VA- ledningene. Hvis man skal bruke åpen grøft på hele traseen, er det mer hensiktsmessig å lage en ny trase for å unngå å grave langs høyspentkablene. En annen fordel med ny trase vil være at man unngår å stenge av vann under renoveringen.

Fordelen med åpen grøft er at man kan lett skifte ut VL, SP og OV, samt innføre nye kummer over hele traseen.

Bildet under viser forslag av ny trase for å unngå å grave langs strømkablene.



Figur 5.36. Skjerm bilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i Nordslettvegen



Figur 5.37. Skjerm bilde fra AutoCad. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i Nordslettvegen

Vedlegg 5.2 viser tverrsnittet som er brukt til mengdeberegning for åpen grøft. Det kan tenkes at det brukes spuntvegger, grøftekasser el. på enkelte strekninger, men for enkelthetens skyld er det brukt tverrsnittet vist i **Vedlegg 5.2** for hele traseen. Etter «Veileder for grøftearbeid» (36) utarbeidet av Regionale verneombud, er det forsvarlig å ha grøftehelning på 45 grader på grøft dypere enn 2m. Grøft dypere enn 3m skal det være avstivning dimensjonert av faglig kvalifisert person. (36) For at å opprettholde eksisterende dimensjon er det brukt PE-rør DN250, SDR 11 som gir innvendig dimensjon på 204,6mm.

Økonomi

- Grøften gir en utgravningsmengde på 3733 m³ jord. Se **Vedlegg 5.3**.
- Kun overskuddsmasse inngår i massetransport.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for åpen grøft etter postene fra **Vedlegg 4.1** kommer på kr. 2 207 000,00. Se **Vedlegg 5.5**.

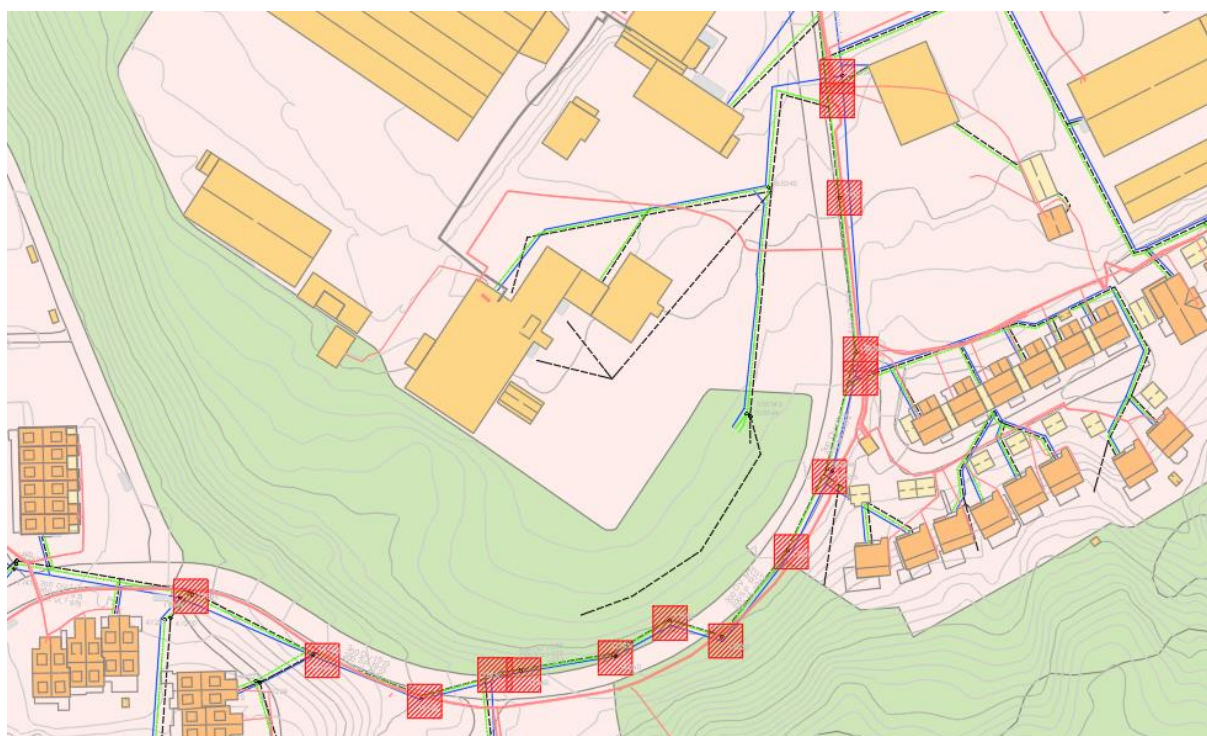
Miljø

Se **Vedlegg 5.6**. For åpen graving blir det totalt ca. 28180 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og puk.

5.2.7.2 Metode 2 – Utblokking

SP-ledning og SP-kum i Nordslettvegen har svært dårlige tilstander. Hvis man skal renovere SP samtidig som VL ved bruk av utblokking, blir det behov for flere nødvendige innførings- og mottaksgrop samt anboringsgrop. Bilde under illustrerer områder som man må grave dersom man skal renovere både SP og VL.

Stiplet røde firkanter på skisse under viser plassering av nødvendige innførings- og mottaksgrop samt anboringer. Størrelsen på firkantene angir ikke nødvendig størrelse på grop ved utførelse og må ses som illustrasjon.



Figur 5.38: Illustrasjon på plassering av groper ved utblokking/inntrekking for både vann- og spillvannsledninger i Nordslettvegen.

Etttersom oppgaven handler om renovering av vannledninger, blir renovering av spillvannsledninger og spillvannskummer samt overvann ikke tatt hensyn til videre i oppgaven.

Massene for utblokking er regnet ut for hånd. Dybde på eksisterende rør på et tilfeldig punkt er ukjent og det blir dermed anvendt gjennomsnittsdypde ut fra dybden ledningene ligger på de seks forskjellige vannkummene. Nedmål fra kum til topp ledning er hentet fra kumkortene. Eksisterende ledninger er duktile støpejerns-ledninger og har dimensjon på DN200.

Tabell 5.9: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Nordslettvegen.

Kum	DN (mm)	Nedmål + DN, (m)	Gjennomsnittsdybde, $H_{\text{gjennomsnitt}}$ (m)
250894	200	$1,99 + 0,200 = 2,2$	$\frac{2,2+2,6+3,2+2,5+2,9+2,3}{6} = 2,6$ Dybden er 2,6m fra overflaten.
17555	200	$2,43 + 0,200 = 2,6$	
17550	200	$3,03 + 0,200 = 3,2$	
17546	200	$2,30 + 0,200 = 2,5$	
17544	200	$2,68 + 0,200 = 2,9$	
17541	200	$2,12 + 0,200 = 2,3$	

Ved utblokking må det graves innføringsgrop og mottaksgrop. Nødvendig lengde på innføringsgrop L_g blir regnet på Tabell 5.10. Bredden på innføringsgrop er 3m.

Mottaksgrop for utblokking er $L \times B = 5 \times 3 \text{m}$. Volum av innføringsgrop og mottaksgrop er beregnet på Tabell 5.11. Beregningsmåten refereres tilbake til kap. 4.3.7.3 og 4.3.7.4. For å opprettholde eksisterende dimensjon er det brukt PE-rør DN250, SDR 11 som gir innvendig dimensjon på 204,6mm.

Tabell 5.10: Total lengde for innføringsgroper ved utblokking i Nordslettvegen.

T	H (m)	DN (mm)	$L = T \times (H \times DN)^{0,5}$	$A = 8 \times DN$	$L_g = L + H$
13	2,6	250	$10,48 \text{ m} \approx 10,5 \text{ m}$	1,6 m	13,1 m

Tabell 5.11: Totalt volum for uttak av innførings- og mottaksgroper ved utblokking i Nordslettvegen.

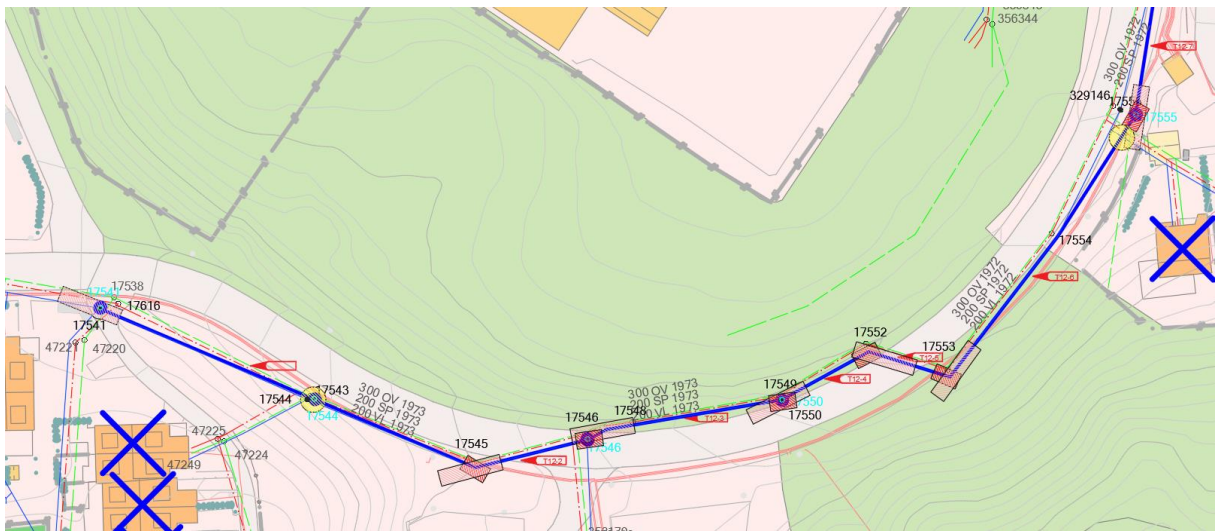
Grop	Dimensjon	Volum
Innføringsgrop	$13,1 \times 3 \text{m}$	$13,1 \text{m} \times 3 \text{m} \times 2,6 \text{m} = 102,2 \text{ m}^3$
Mottaksgrop	$5 \times 3 \text{m}$	$5 \times 3 \text{m} \times 2,6 \text{m} = 39 \text{ m}^3$

Anboringsgropen har diameter på 4m. Beregningsmåten refereres til kap. 4.3.7.2

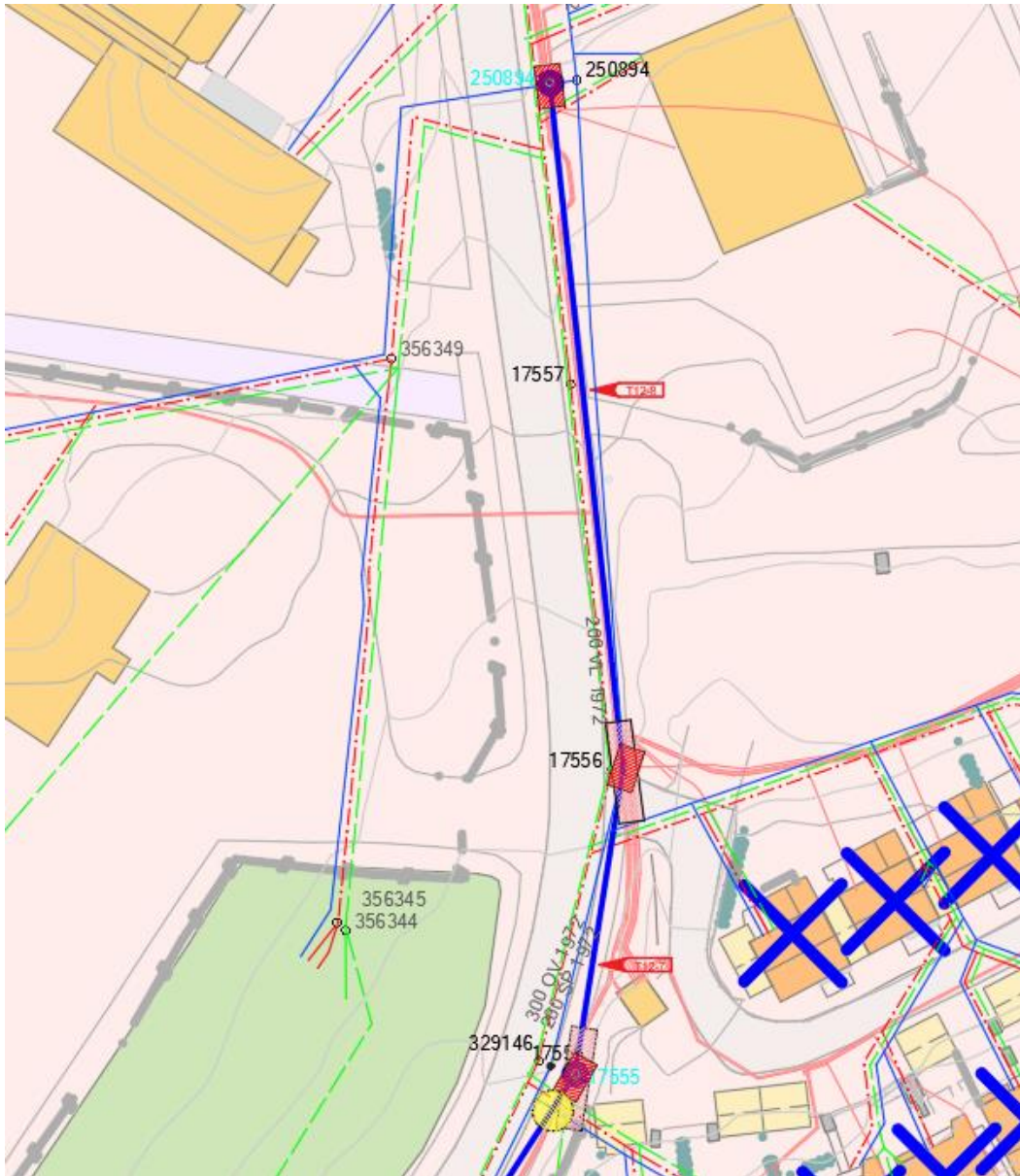
Tabell 5.12: Totalt volum for uttak av groper ved anboringer i Nordslettvegen

H (m)	Diameter (m)	$V = \frac{1}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times (H + a)$
2,6	4,0	$V = \frac{1}{3} \times \pi \times \left(\frac{4,0}{2}\right)^2 \times (2,6 + 0,5) = 13,0 \text{ m}^3$

Figur 5.39 og Figur 5.40 viser nødvendige groper ved utblokking. Innføringsgroper er vist i rosa, mottaksgrop i rødt og anboringsgrop med gult.



Figur 5.39: Plassering av groper for utblokking i Nordslettvegen.



Figur 5.40: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.

Økonomi

- Ved beregning av mengde gravearbeid på steder der innføringsgrop og mottaksgrop overlapper hverandre, blir det kun regnet volum av innføringsgrop.
- Innføringsgrop og mottaksgrop som overlapper hverandre, blir regnet som en grop.
- For utblokking, antas det at all løsmasser som blir gravd er overskuddsmasser og dermed transportert bort.
- Arealet av ny veg som må utlegges etter gravearbeid blir målt på AutoCAD.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for utblokking etter postene fra **Vedlegg 4.1** kommer på kr. 280 780,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. For utblokking blir det totalt ca. 2045 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.2.7.3 Metode 3 – Rørinnføring

Etter *Tabell 3. Maksimumsdimensjoner anbefalt for ny ledning(18)* er det mulig å bruke PE-rør DN180 ved bruk av metoden rørinnføring på Nordslettvegen. Rør opptil DN180 leveres på kveil, noe som gjør at kravet for lengde på innføringsgrop blir mindre og dermed billigere(18, 27). Resultat fra EPANET simuleringen tillater reduksjon av dimensjon fra DN200 støpejernsrør til DN180 PE-rør på Nordslettvegen. Videre i oppgaven er det derfor brukt PE-rør DN180 for vurdering av rørinnføring. Da kan det nye PE-røret installeres fra kveil. Formel 4.6 benyttes for å beregne lengden til innføringsgropen:

$$L = 24 \times DN_{ny} = 24 * 0,180 \text{ m} = 4,32 \text{ m} \approx 4,3 \text{ m}$$

Grøftebredde er, etter kapittel 4.3.7.3, 3 m og dimensjon for innføringsgropene blir 4,3 m x 3 m. Dimensjon for mottaksgrop er 4 m x 3 m.

Beregning av gjennomsnittsdypde fra overflaten til ledningene er vist på *Tabell 5.9*.

Beregning av dimensjon og volum på anboringsgrop er vist på *Tabell 5.12*.

Tabell 5.13 viser oversikt over dimensjon og volum av groper på Nordslettvegen ved bruk av rørinnføring.

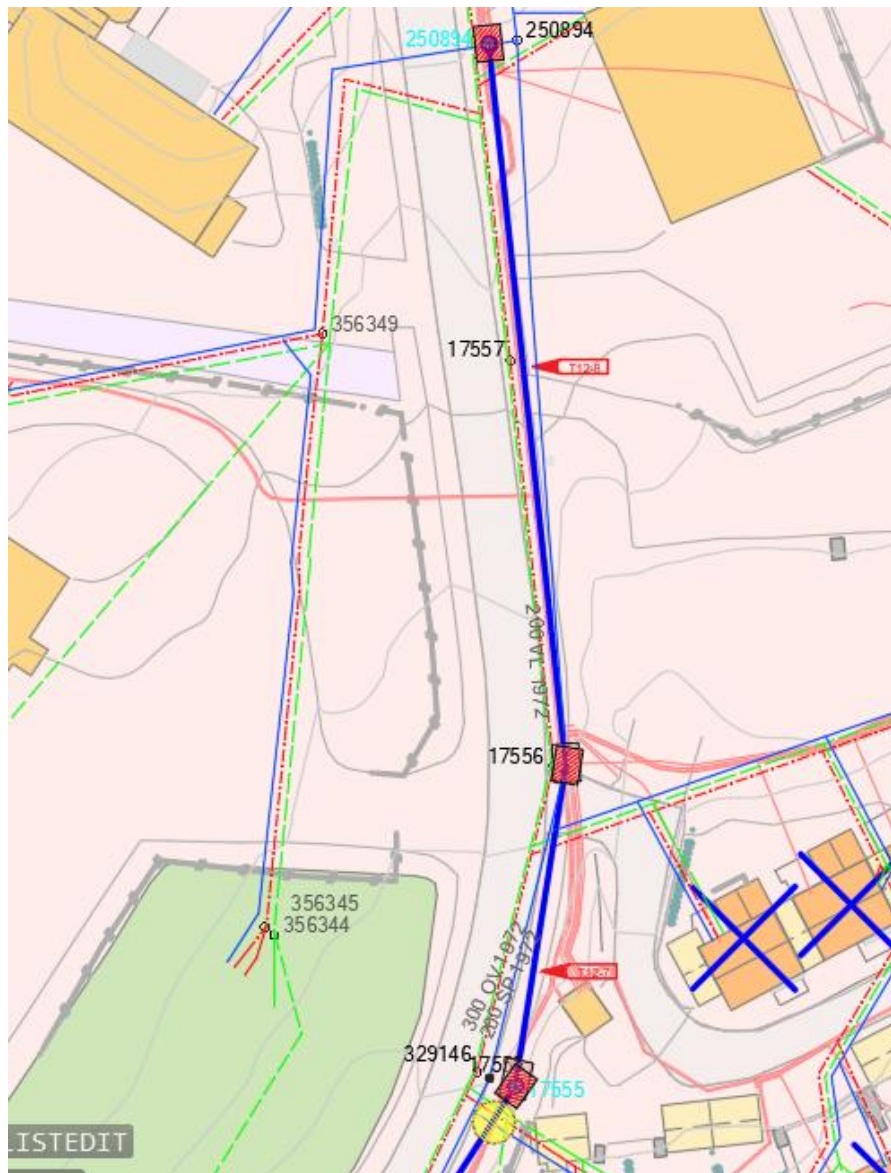
Tabell 5.13: Volum for uttak av groper ved rørinnføring i Nordslettvegen

Type grop	Dimensjon	Volum
Innføringsgrop	4,3 m × 3 m	4,3 m × 3 m × 2,6 m = 33,54 ≈ 33,5 m ³
Mottaksgrop	4 m × 3 m	4 m × 3 m × 2,6m = 31,2 m ³
Anboring	d = 4m	13,0 m ³

Figur 5.41 og *Figur 5.42* viser nødvendige groper. Innføringsgroper er vist i rosa, mottaksgrop i rødt og anboringer med gult.



Figur 5.41: Plassering av groper for rørrinnføring i Nordslettvegen.



Figur 5.42: Plassering av groper for rørrinnføring i Nordslettvegen.

Økonomi

- Ved beregning av mengde gravearbeid på steder der innføringsgrop og mottaksgrop overlapper hverandre, blir det kun regnet volum av innføringsgrop.
- Innføringsgrop og mottaksgrop som overlapper hverandre, blir regnet som en grop.
- For rørinnføring antas det at all løsmasser som blir gravd er overskuddsmasser og dermed transportert bort.
- Arealet av ny veg som må utlegges etter gravearbeid blir målt på AutoCAD.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for rørinnføring etter postene fra **Vedlegg 4.1** kommer på kr. 164 222,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. For rørinnføring blir det totalt ca. 906 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.2.7.4 Metode 4 – Tetttilsluttet rør

En av fordelene ved å bruke tett tilsluttet rør er at nødvendig dimensjon på innføringsgrop og mottaksgrop er betydelig mindre enn utblokking og rørinnføring. Når det utføres tetttilsluttet rør må det passes på at det nye røret får strukturell styrke etter ønske fra Trondheim kommune.

På kap 4.3.7.3 og 4.3.7.4 er det satt dimensjon på 2 x 2 m for både innføringsgrop og mottaksgrop for tetttilsluttet rør. Dimensjon på ledningen går støpejernsrør DN 200 til å bli noe mindre. «Det nye røret gir fulltilslutning mot eksisterende rør.»(28, s.27)

Gjennomsnittsdypden fra overflaten til ledningene er vist på Tabell 5.9

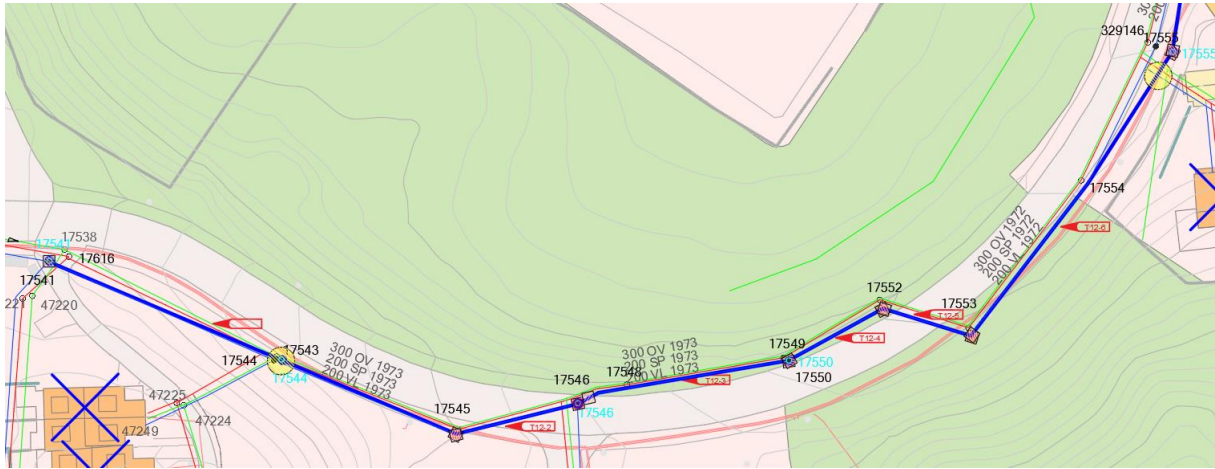
Beregning av dimensjon og volum anboringsgrop er vist på Tabell 5.12.

Tabell 5.14 viser oversikt over dimensjon og volum av groper på Nordslettvegen ved bruk av tetttilsluttet rør.

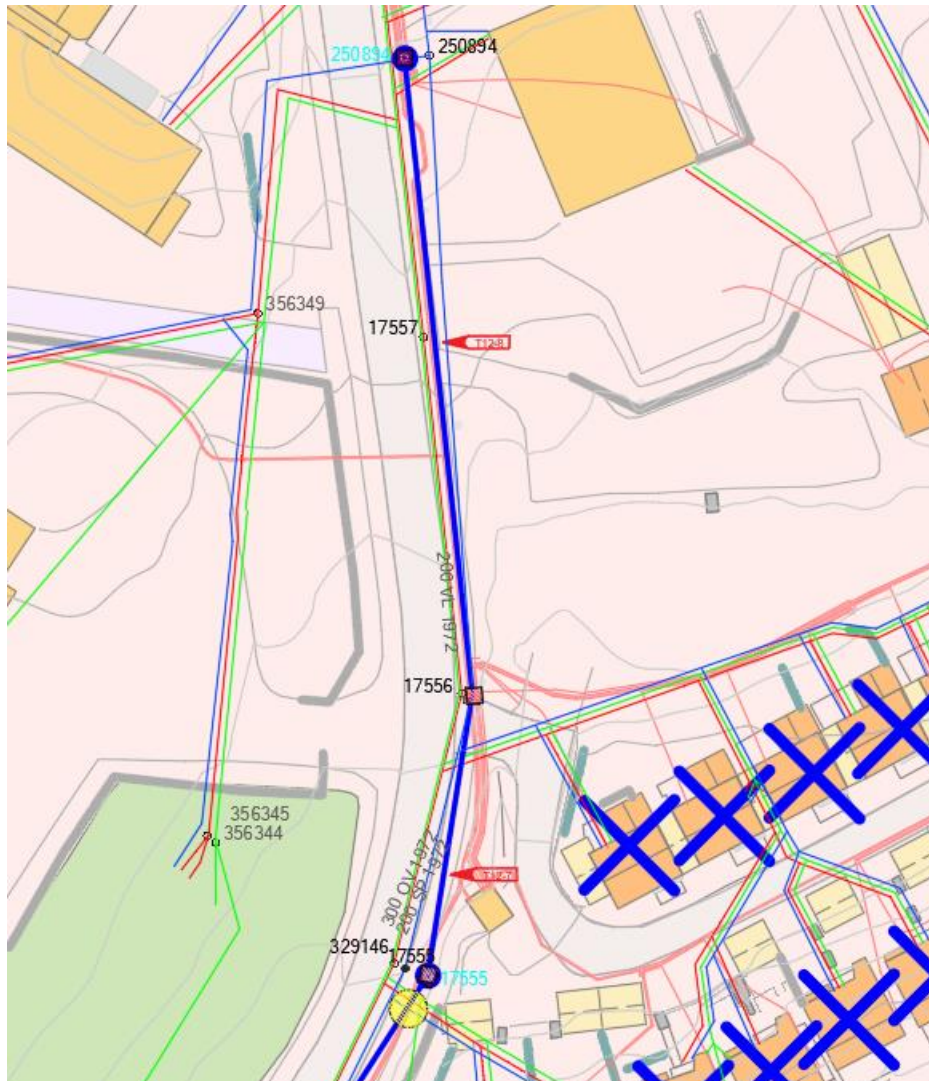
Tabell 5.14: Volum for uttak av groper ved tetttilsluttet rør i Nordslettvegen

Type grop	Dimensjon	Volum
Innføringsgrop	$2\text{ m} \times 2\text{ m}$	$2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2,6\text{ m} = 10,4\text{ m}^3$
Mottaksgrop	$m \times 2\text{ m}$	$2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2,6\text{ m} = 10,4\text{ m}^3$
Anboring	$d = 4\text{ m}$	$13,0\text{ m}^3$

Figur 5.43 og Figur 5.44 viser nødvendige groper. Innføringsgroper er vist i rosa, mottaksgrop i rødt og anboringer med gult.



Figur 5.43: Plassering av groper for inntrekking av tettisluttede rør i Nordslettvegen.



Figur 5.44: Plassering av groper for inntrekking av tettisluttede rør i Nordslettvegen.

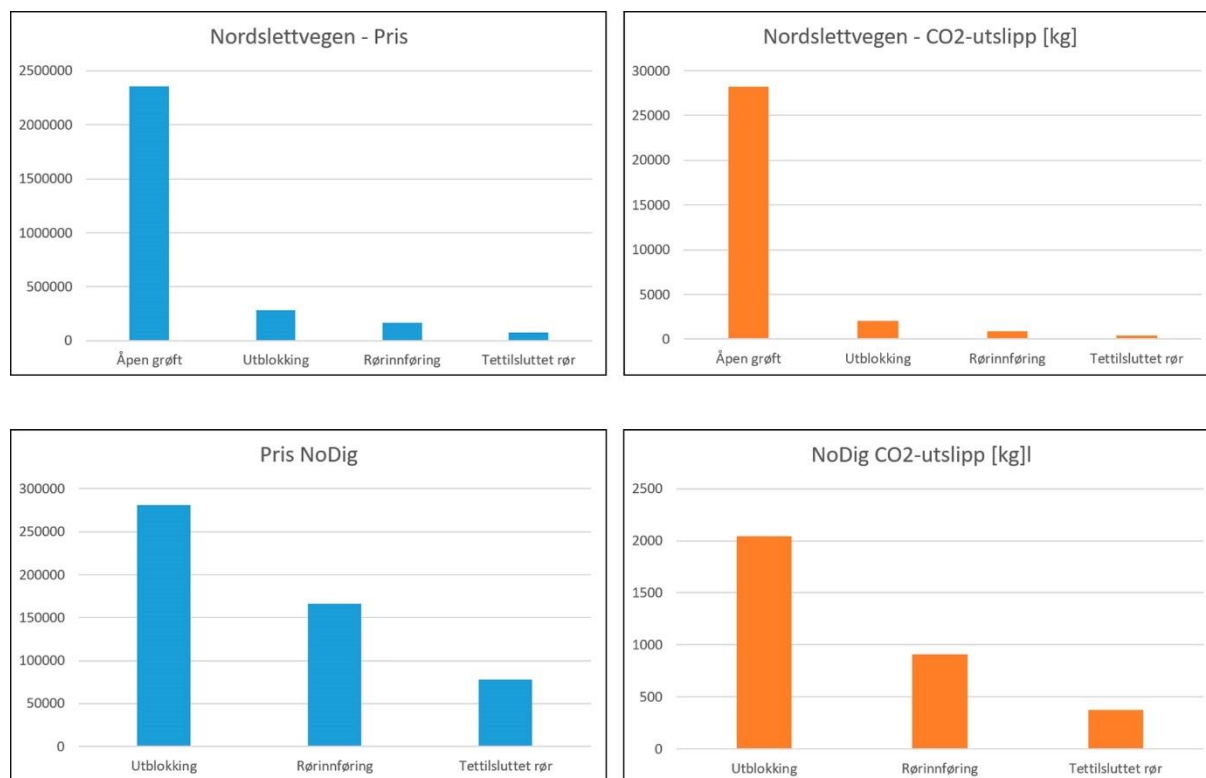
Økonomi

- Ved beregning av mengde gravearbeid på steder der innføringsgrop og mottaksgrop overlapper hverandre, blir det kun regnet volum av innføringsgrop.
- Innføringsgrop og mottaksgrop som overlapper hverandre, blir regnet som en grop.
- For tetttilsluttet rør antas det at all løsmasser som blir gravd er overskuddsmasser og dermed transportert bort.
- Arealet av ny veg som må utlegges etter gravearbeid blir målt på AutoCAD.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for inntrekking av tetttilsluttede rør etter postene fra **Vedlegg 4.1** kommer på kr. 78 106,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. For tetttilsluttet rør blir det totalt ca. 376 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.2.7.5 Resultater



Figur 5.45: Pris og utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Nordslettvegen.

5.2.8 Vurdering etter sosiale kostnader

I Nordslettvegen viser NoDig seg som en del mer belastende enn de andre NoDig-metodene, men åpen grøft er klart mer belastende. Inntrekking av tetttilsluttede rør er det beste alternativet med tanke på de sosiale påkjenningene ved arbeidet. Vurdering er vist på **Vedlegg 5.10**

5.2.9 Vurdering etter NoDig kalkulator

For utregning se **Vedlegg 5.9**.

5.2.9.1 Utblokking versus åpen grøft

Resultat fra NoDig-kalkulator viser at utblokking er kr. 535 000,00 billigere enn åpen grøft. Det er altså ikke altfor stor prisforskjell, men resultatet viser store forskjeller på CO₂-utslipp, arealbehov, transportbehov og massehåndtering. Kalkulatoren viser at utblokking gir 17 670kg lavere CO₂-utslipp, 2005m² mindre arealbehov og 1246km lavere transportbehov enn åpen grøft. Utblokking er altså billigere, gir mindre sosiale påkjenninger, krever mindre arbeid og er mer miljøvennlig.

5.2.9.2 Rørinnføring versus åpen grøft

DN180 PE-rør er benyttet til rørinnføring, og resultatet viser at det gir en total kostnad på kr. 479 000,00. Rørinnføring er kr. 1 811 000,00 billigere enn åpen grøft og kr.1 276 000,00 billigere enn utblokking. Kalkulatoren viser for øvrig ingen forskjell på CO₂-utslipp, arealbehov, transportbehov og massehåndtering sammenlignet med utblokking. Etter bedømmelsen fra NoDig-kalkulatoren, vil det være mer besparende å benytte rørinnføring enn utblokking.

5.2.10 Rask oppsummering av Nordslettvegen

Fordeler ved valg av åpen grøft på Nordslettvegen:

- VL, SP og OV blir oppgradert til dagens standard
- Kummene blir separert
- Om fallet er dårlig kan det utbedres.

Ulemper ved valg av åpen grøft på Nordslettvegen:

- Det er dyrt å grave
- Graving kan være vanskelig eller umulig med tanke på kvikkleire
- Graving vil komme i konflikt annen infrastruktur langs store deler av traseen
 - Strømkabler: hovedsakelig høyspent, men også lavspent
 - El.skap
 - Lyktestolper
 - Evt. telefon, fiber og kabel-tv
- Grøften vil bli svært dyp med tanke på frostdybde, som kan bli problematisk med tanke på geoteknikk
- Veien må gjenopprettes til dagens standard
- Det tar lang tid
- Det er stor ulempe for beboerne over lang tid
 - Støv og lyd
 - Dårligere fremkommelighet
- Mer graving og tungtrafikk i nabolaget over betydelig lengre tid enn ved bruk av NoDig metoder.

Fordelene med NoDig på Nordslettvegen er:

- Mindre graving
 - Økonomisk
 - Mindre utslipp
 - Mindre konflikter med høyspent og lavspent ledninger
 - Mindre å sette i stand etter arbeidet er ferdig
 - Mindre fare for å skade annen eiendom
- Mindre plager for allmennheten
 - Mindre støv
 - Mindre lyd
 - Hindrer ikke trafikken i like stor grad
 - Varer ikke like lenge
- Tar kortere tid

Ulemper ved valg av NoDig på Nordslettvegen:

- Får ikke separert spillvann og overvannskummene
- Ved utblokking kan det av og til skade de andre rørene som ligger i samme grøft
- Grøften blir ikke fornyet til dagens standard, kun vannledningen.
- Må stenge av vann under arbeid

5.3 Saturnvegen/Neptunvegen

Traseen ligger i vegene Saturnvegen og Neptunvegen. Dette er et boligområde med eneboliger og tomannsboliger. Traseen er litt over 340 meter lang og består av støpejerns rør med dimensjon på DN150 som er lagt i 1968. Ledningene som skal fornyes er vist på Tabell 5.15.

Tabell 5.15: Vannledninger som skal fornyes i Saturn- og Neptunvegen.

Ledningsnavn	Fra kum	Til kum	Lengde	Sted	Type	Anleggsår
183731	2547	2549	148,76	Saturnvegen	VL	1968
183732	2549	2555	192,38	Neptunvegen	VL	1968



Figur 5.46: Skjermbilde, oversikt over Nordslettvegen. Hentet fra Google Maps (44).

Det er ingen næring i området. Det vises en frisørsalong på google maps, men det antas at det kun er bostedet til eieren av en frisørsalong da huset ikke er regulert for næring på kommunens nettside. Huset bærer heller ikke preg av å være noe annet enn en bolig. Trafikken i området er begrenset til å komme seg til og fra bolig, samt varelevering og søppelinnhenting. Det er ikke registrert ÅDT i traseen på Statens Vegvesens Vegkart, men vegene rundt viser en ÅDT på 200 med 2% lange kjøretøy(42), antar at ÅDT er 200 eller lavere i traseen(42).

5.3.1 I grøften

Grøften består av vann, spillvann og overvannsledninger. Vannledningene er 150 mm duktilt støpejern og spillvann og overvannsledninger består av 200 mm betongrør. Alle rørene er lagt i 1968 med unntak av en spillvannsledning som er fornyet i 2014. Spillvann og overvannsledningene ser ut til å være i god stand basert på rørinspeksjoner som er utført. Tilstanden til spillvann og overvannsledningene kan ses på **Vedlegg 5.8**

5.3.2 Kummer

5.3.2.1 Vannkummer

Det er tre vannkummer langs traseen. Kum 2555 er i god stand, men bør spyles. I Kum 2547 og 2549 har noen av kumringene forskjøvet i forhold til bunnen, og det samlet seg betydelig mengder sand og grus. Kum 2549 er steinsatt. Når traseen skal fornyes burde kum 2547 og 2549 byttes ut. Se **Vedlegg 5.1**. Kumkort for kummene i Saturn- og Neptunvegen ligger på **Vedlegg F**.

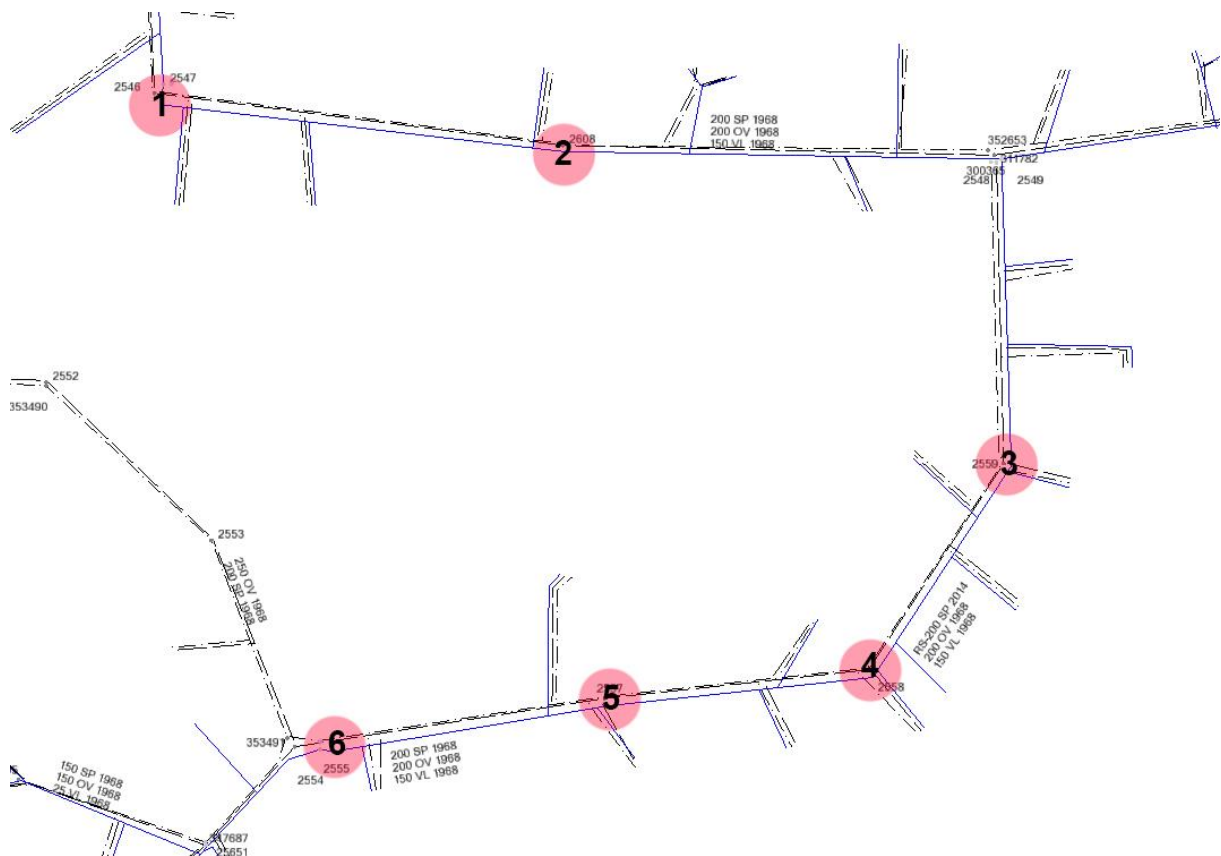
5.3.2.2 Spillvann og overvannskummer

Kummene er i hovedsak felleskummer for spillvann og overvann. Som man kan se i **Vedlegg 5.1** er tilstanden til kummene vurdert av Rambøll med noen unntak til å være dårlig. Dersom det skal graves burde disse kummene byttes ut eller fornyes.

5.3.3 Anboringer

Det er 18 kjente anboringer til vannledningen som går til 19 eneboliger. Om det skal fornyes med NoDig metoder så må det graves ved hver av disse.

5.3.4 Bend



Figur 5.47: Skjermbilde fra Novapoint. Oversikt over traseen i Nordslettvegen.

Det er seks bend på traseen i følge kartet. I følge dagens standard er det for langt mellom kummene og det burde nok settes inn i hvertfall en kum når det skal fornyes.

Figur 5.48: Vinkel på rørbend i Saturn- og Neptunvegen

Bendnummer	Vinkel	Bendnummer	Vinkel
1	90°	4	51°
2	6°	5	3°
3	35°	6	16°

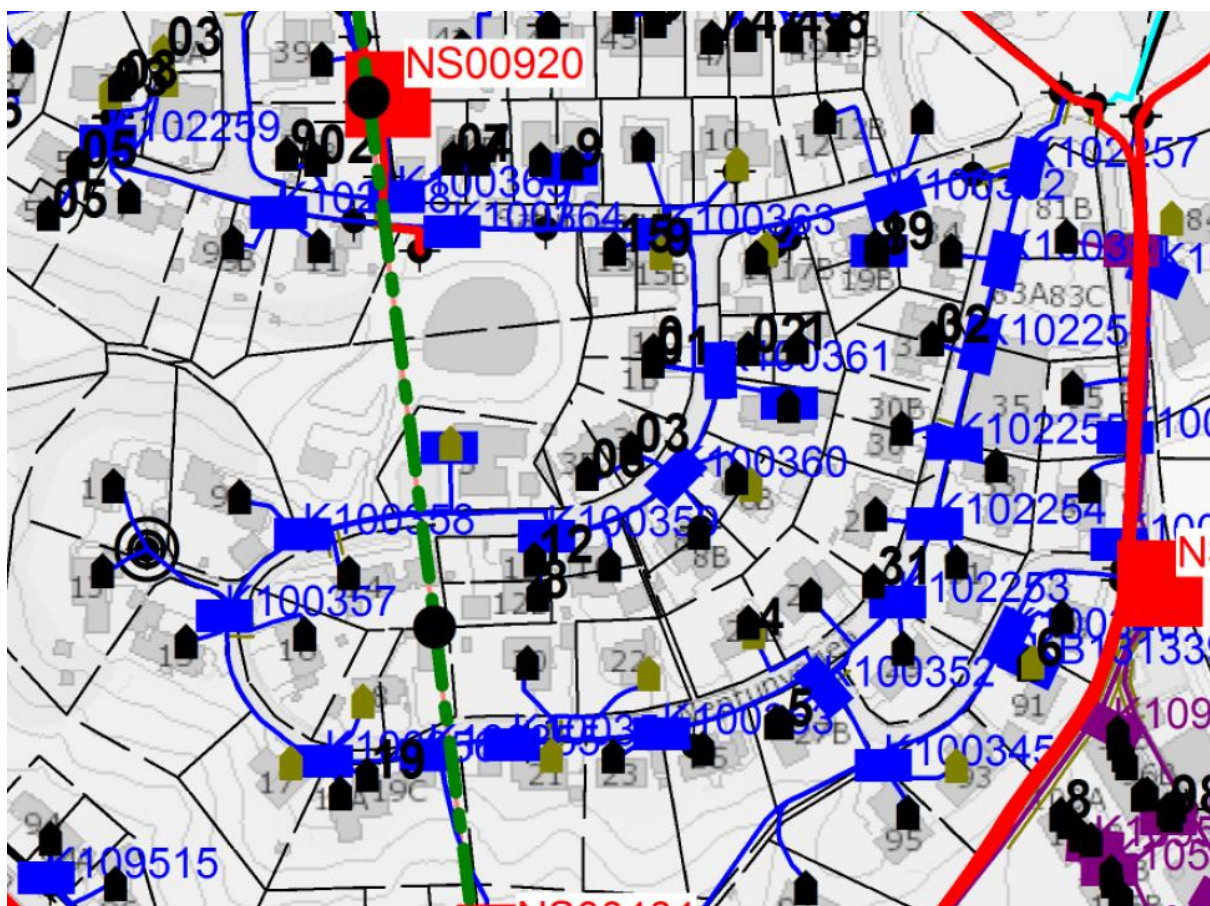
Det er to små bend og fire større bend. Gradene er målt fra kartet ved hjelp av Autocad.

5.3.5 Strøm og kabler



Figur 5.49: Kart over ledninger og kabler i Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra **Vedlegg I**.

Som en ser på Figur 5.49 er det flere kabler langs traseen. Noen steder ligger ledningene relativt tett på kablene. Langs veien er det lyktestolper og flere strømskap, det går også strøm til eneboligene.



Figur 5.50 Kart over elektriske kabler og anlegg i Nordslettvegen. Hentet fra «gravemelding» i Vedlegg B

Som man kan se på Figur 5.50 krysser høyspentkabelen traseen ved et punkt og traseen går under høyspentlinjen på to steder. Lavspent 230 V krysser traseen på flere steder og ligger langs hele traseen. Eventuell graving vil komme i konflikt strømkablene flere steder, og bruk av anleggsmaskiner under høyspentlinjer kan være problematisk. «Skal det graves, sprenges eller benyttes, kraner, betongpumpebiler, maskiner eller andre redskaper nærmere enn 30 meter fra høyspenninglinjer, skal du alltid kontakte TrønderEnergi Nett.» (47). Det kan graves rundt høyspentkabler som ligger i grøft om kablernes alder og tilstand tillater det, TrønderEnergi vil bestemme dette fra situasjon til situasjon. Disse må da beskyttes og merkes med skilt. Det vanlige er imidlertid at man må koble ut strømmen, dette må i så fall søkes om i god tid og er på tiltakshavers regning (34).

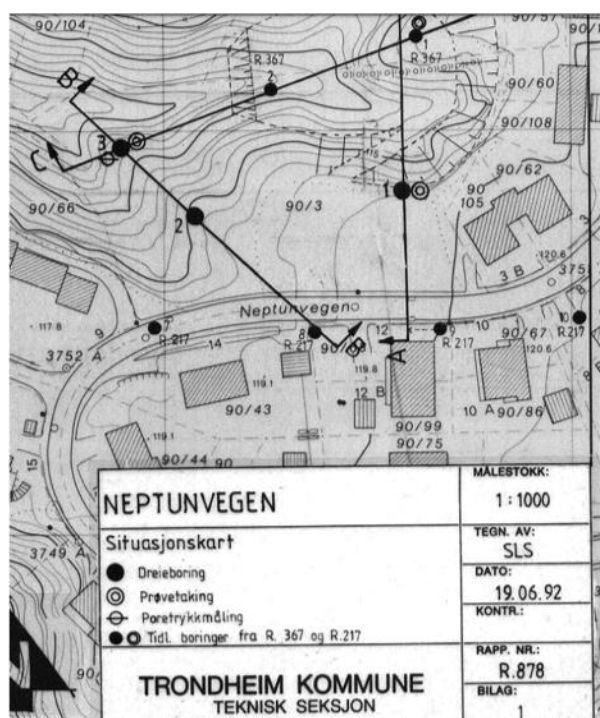
5.3.6 Grunnforhold

Traseen ligger delvis i grunn hvor det er fare for kvikkleire. Hele Saturnvegen og deler av Neptunvegen ligger i fareområde. Massene er løsmasser fra hav og fjordavsetning(46).

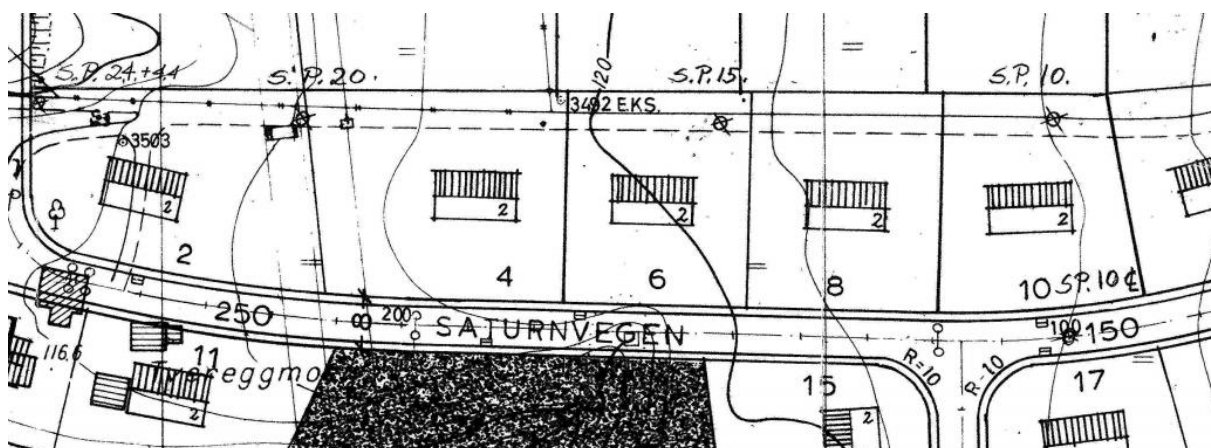


Figur 5.51: t.v: Kart over Saturn- og Neptunvegen, påvist kvikkleire. Hentet fra Trondheim kommunes kartløsning (46). t.h: Kvikkleirekart for området rundt Saturn- og Neptunvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no (43).

I Neptunvegen er det leiregrunn. Leiren er bløt sør for vejen, men fast de øvre meterne på skråningstoppen ned mot fotballbanen(48, s.3). «Ifølge konusforsøkene er ikke leira sensitiv, men treaksialforsøk viser kontraktant bruddutvikling»(48, s.3). Grunnvannet skal ligge på nivå med terrenget i dalbunnen hvor det i dag ligger en idrettsplass. Grunnvannet skal stige litt mot sør(48, s.3). Det er ikke nådd fjell under boring og det er antatt å ligge dypt (48, s.3).



Figur 5.52: Utsnitt fra geoteknisk rapport for Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra «Rapport R_0878» (48, s.3).



Figur 5.53: Utsnitt fra geoteknisk rapport for Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra «Rapport R_0217» (49, s.1).

Det er utført sonderinger i Saturnvegen. Disse viser at det er leiregrunn som noen steder er meget bløt (49). Det er også påvist kvikkleire flere steder i nærheten. Trondheim kommune sitt aktsomhetskart viser ikke noe tegn til forurenset grunn i noen deler av traseen (46).

5.3.7 Vurdering etter Norsk Vann rapport 221

Ser på metodevalg fra Norsk Vann rapport 221.

Tabell 5.16: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Saturn- og Neptunvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder» (28, s.42)

Årsak til problem	Type rør	Valg av metode	Aktuell
Hyppige brudd på gråjernsledning	Trykkledning	Utblokking	Ja
		Tetttilsluttet rør	Ja, reduksjon av tverrsnitt aksepteres
		Rørinnføring	Ja, reduksjon av tverrsnitt aksepteres
		Åpen graving	Kan muligens benyttes

5.3.8 Vurdering etter økonomiske og miljømessige påkjenninger

5.3.8.1 Metode 1 – Åpen grøft



Figur 5.54. Skjerm bilde fra AutoCAD. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i Saturn- og Neptunvegen.

Bildet viser omfanget av grøften slik den eventuelt ville ha blitt ved bruk av åpen grøft. Grøften er tegnet i AutoCAD og mengden masser som må graves ut er beregnet i Novapoint. Grøften tar utgangspunkt i den eksisterende traseen. Grøftetversnittet som er valgt er laget etter Trondheim kommunes VA-norm og Veileder for grøftarbeider. Tverrsnittet kan ses på **Vedlegg 5.2**. Om det velges åpen grøft vil hele traseen graves opp. Selv om rørinspeksjon viser at spillvann og overvannsledningene fortsatt holder god kvalitet forutsetter vi at det byttes ut når det først skal graves. Det blir også utført separasjon av spillvann og overvannskummene. Det settes inn noen flere kummer enn det som er i dag for å oppfylle krav til avstand mellom kummer i Trondheim kommunes VA-norm(50, 51).

Økonomi

- Grøften gir en utgravningsmengde på 5187 m³ jord. Se **Vedlegg 5.3**.
- Kun overskuddsmasse inngår i massetransport.
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for åpengrøft kommer på kr. 1 993 645. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.6**. For åpen grøft blir det totalt ca. 24631 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.3.8.2 Metode 2 – Utblokking

Den største fordelen med utblokking er at man kan øke dimensjon og røret får full strukturellbærekraft. Trondheim kommune krever SDR11 på sine PE-rør og dette er uproblematisk ved bruk av utblokking(32, s.5). Utblokking egner seg ikke i trange fjellgrøfter, men geotekniske rapportene som er utført i område viser at en ikke har funnet fjell. Dette bør dermed ikke være et problem på denne traseen. Da det ikke eksisterer PE-rør med innvendig dimensjon på 150 mm er det naturlig å velge 180 mm PE. 180 mm PE i SDR11 har en innvendig dimensjon på 147,2 mm. Disse dimensjonene kommer på kveil som gjør at innføringsgropen kan være relativt liten. Alle bend over 11 grader må graves opp ved utblokking, på denne traseen vil det si bend nummer 1, 3, 4 og 6. Bend nummer 2 og 5 er det ikke behov for å grave opp.

Massene for utblokking er regnet ut for hånd. Derfor er det gjort noen antagelser og forenklinger. Da det ikke er kjent hvilken dybde rørene har på et tilfeldig punkt langs traseen, er det regnet ut en gjennomsnittsdybde ut fra dybden ledningene ligger på i de tre forskjellige vannkummene pluss ledningens dimensjon. Gjennomsnittsdybden blir benyttet til beregning av volum på innførings-, mottaks- og anboringsgroper.

Tabell 5.17: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Saturn- og Neptunvegen.

kum	DN (mm)	Nedmål + DN, (m)	Gjennomsnittsdybde, H _{gjennomsnitt} (m)
2555	180	1,82 + 0,180 = 2,00	$\frac{2,00+2,07+2,32}{3} = 2,13$ <p>Dybden er 2,13m fra overflaten.</p>
2549	180	1,89 + 0,180 = 2,07	
2547	180	2,14 + 0,180 = 2,32	

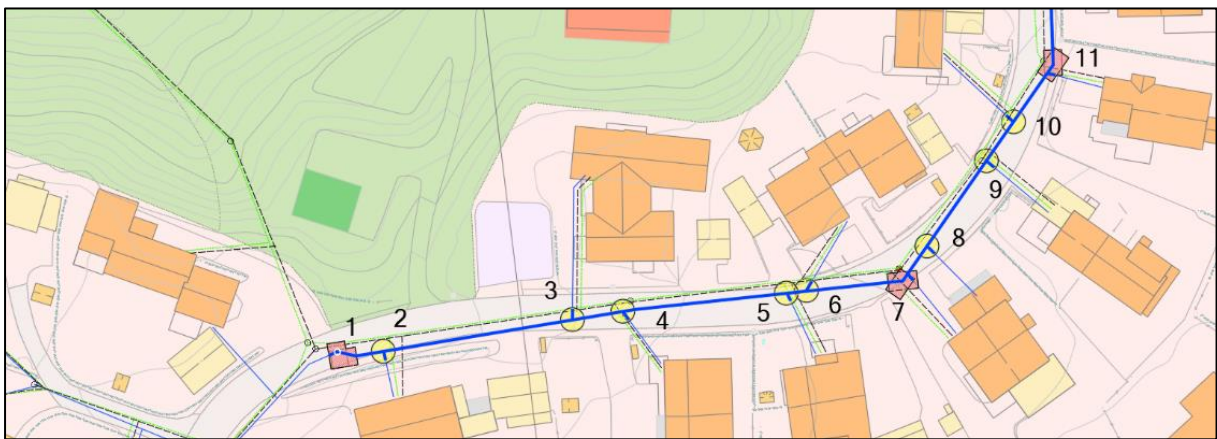
Lengden på innføringsgrop på dimensjoner under 180 mm beregnes etter Formel 4.6:

$$L = 24 \times DN_{ny} = 24 * 0,180 \text{ m} = 4,32 \text{ m} \approx 4,3 \text{ m}$$

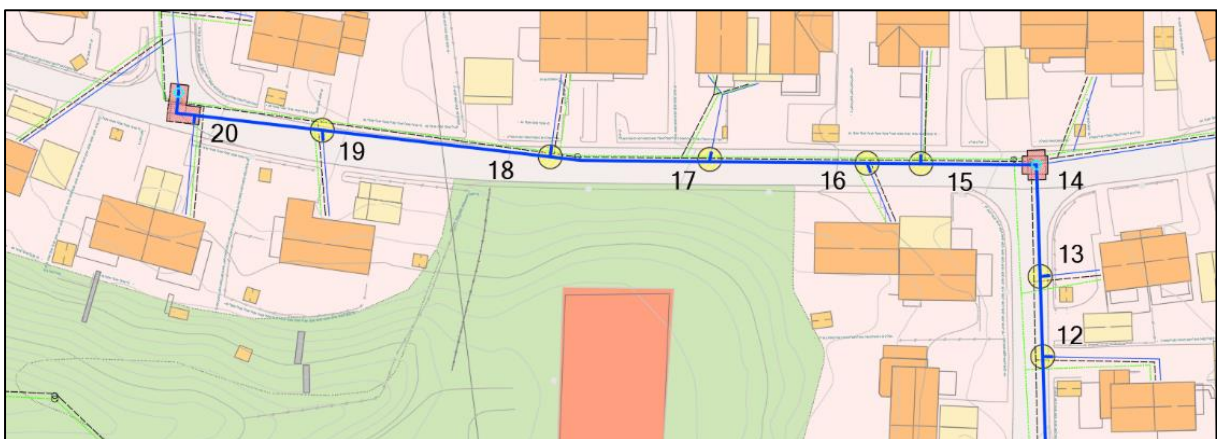
Lengden blir 4,32 m på 180 mm PE(27). Bredden på innføringsgrop er 3 meter. Mottaksgrop for utblokking har dimensjon på LxB = 5 m x 3 m.

Volumet til innførings- og mottaksgroper er regnet ut på **Vedlegg 5.4**.

Figur 5.55 og Figur 5.56 viser gropenes plasseringer. Anboringsgropene er runde og skravert med gult, innførings- og mottaksgrop i rødt. Det trekkes fra nummer 14 til 20, fra 14 til 11, fra 11 til 7 og fra 7 til 1.



Figur 5.55: Plassering av groper for utblokking i Saturn- og Neptunvegen.



Figur 5.56: Plassering av groper for utblokking i Saturn- og Neptunvegen.

Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 375 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for utblokking kommer på kr. 344 451,00. Se **Vedlegg 5.5.**

Miljø

Se **Vedlegg 5.7.** For utblokking blir det totalt ca. 3873 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.3.8.3 Metode 3 – Rørinnføring

Fordelen med rørinnføring er at du kan få den strukturelle styrken du ønsker. Ulempen i forhold til de andre metodene som passer i denne situasjonen er begrensningen i tverrsnittsareal. Inntrekning av rør begrenser det originale tverrsnittet betraktelig. Rørtversnittet i denne traseen vil gå fra en innvendig diameter på 150 mm til en utvendig diameter på 125 mm på PE-røret (18). Dette vil igjen gi en innvendig dimensjon på 102,2 mm. Kapasitetsmessig er ikke dette et problem ifølge EPANET-simuleringen. Metoden har ingen umiddelbare fordeler over utblokking.

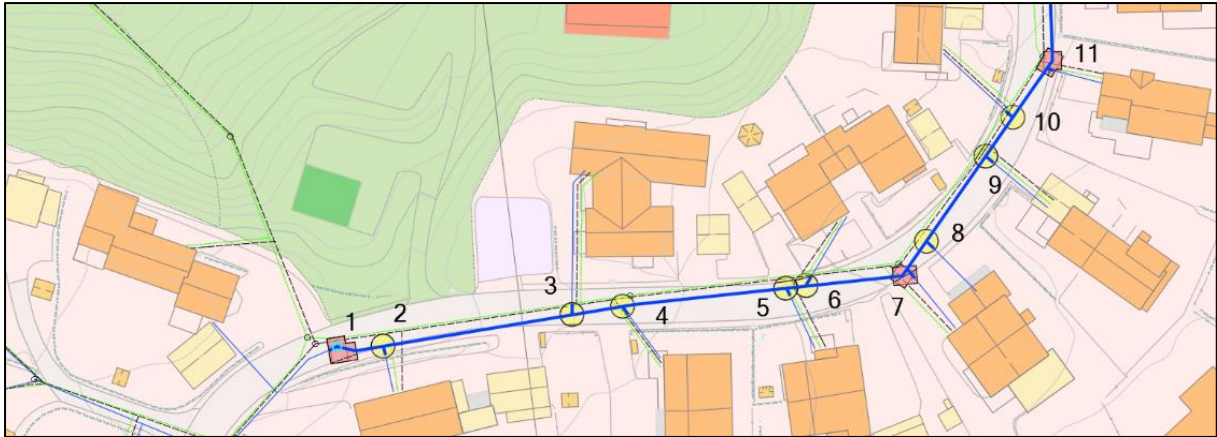
Lengden på innføringsgrop på dimensjoner under 180 mm beregnes etter Formel 4.6:

$$L = 24 \times DN_{ny} = 24 * 0,125 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

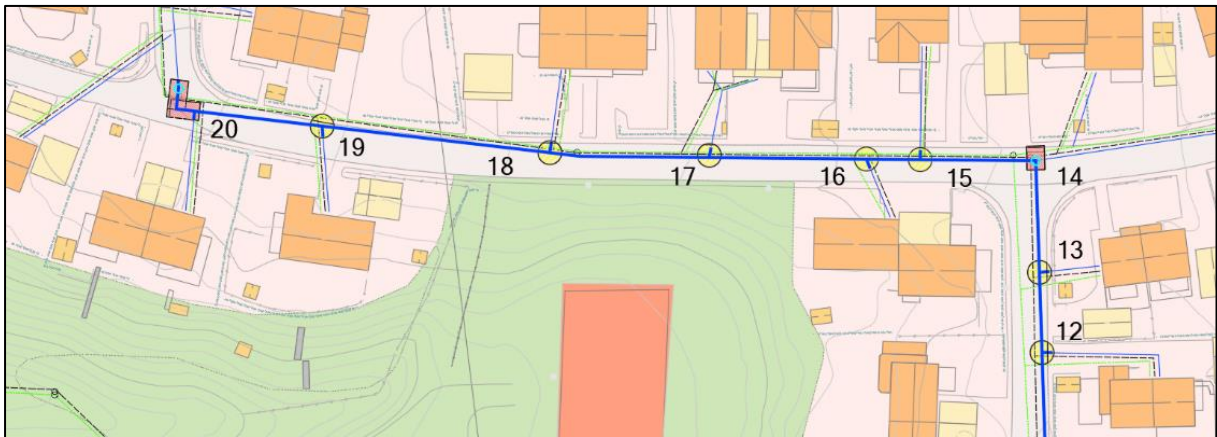
Bredden på innføringsgrop er 3m. Mottaksgrop for rørinnføring har dimensjon på LxB = 4 m x 3 m.

Volum for groper i Saturn- og Neptunvegen er vist i **Vedlegg 5.4.**

Figur 5.57 og Figur 5.58 viser plassering av groper ved rørinnføring i Saturn- og Neptunvegen



Figur 5.57: Plassering av groper for rørinnføring i Saturn- og Neptunvegen.



Figur 5.58: Plassering av groper for rørinnføring i Saturn- og Neptunvegen.

Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 341 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for rørinnføring kommer på kr. 331 736,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. For rørinnføring blir det totalt ca. 3697 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.3.8.4 Metode 4 – Tettisluttet rør

Tettisluttet rør gir liten reduksjon i tverrsnittstørrelse og har mulighet for å passere bend opp til 22 grader. Det gjør at det er mulig å passere bend nr 2, 5, og 6 uten å grave. På grunn av at

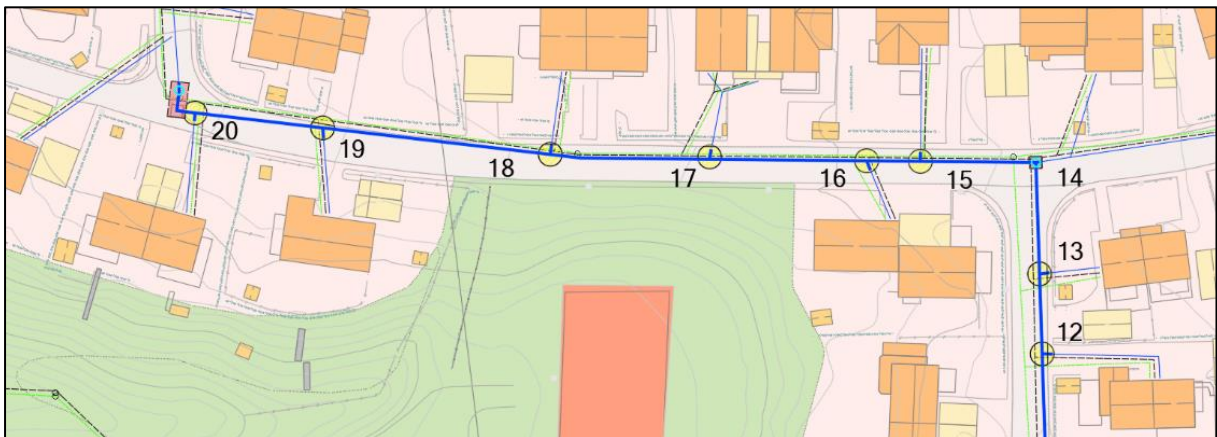
bend 6 er så nært både en an boring og den siste kummen, er det sannsynligvis fornuftig å grave selv om det er teknisk mulig å forsere bendet. I kap. 4.3.7.3 og 4.3.7.4 er det bestemt at innføringsgrop og mottaksgrop for tette sluttet rør er på 2x2m.

Volumer for uttak av groper i Saturn og Neptunvegen er vist på **Vedlegg 5.4**

Figur 5.59 og Figur 5.60 viser plassering av groper for inntrekking av tette sluttet rør i Saturn- og Neptunvegen.



Figur 5.59: Plassering av groper for inntrekking av tette sluttet rør i Saturn- og Neptunvegen.



Figur 5.60: Plassering av groper for inntrekking av tette sluttet rør i Saturn- og Neptunvegen.

Økonomi

- Groper for innføring, trekking og anboringer av bend gir en utgravningsmengde på ca. 324 m³. Se **Vedlegg 5.4**
- Prisen for gravearbeider og arealinngrep for tette sluttet rør kommer på kr. 311 922,00. Se **Vedlegg 5.5**.

Miljø

Se **Vedlegg 5.7**. For tettisluttet rør blir det totalt ca. 3657 kg CO₂-utslipp som følger av gravearbeider og produksjon av asfalt og pukk.

5.3.8.5 Resultater



Figur 5.61: Pris og utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Saturn- og Neptunvegen.

5.3.9 Vurdering etter sosiale kostnader

NoDig viser seg å være klart bedre enn åpen grøft i Saturn og Neptunvegen, tettisluttet rør viser seg igjen som metoden med lavest belastning på omgivelsene. Åpen grøft vil i dette tilfellet nesten være helt utelukket da det tar opp hele veien, og grøften kommer under hekker, garasjer og uthus langs traseen. Det vil også bli svært mye bråk nært boligene, maskinene vil iblant måtte stå i folks hager. Arbeidet vil foregå over lang tid og være en betydelig stressfaktor for beboelsen. Vurdering er vist på **Vedlegg 5.10**.

5.3.10 Vurdering etter NoDig kalkulator

For utregning se **Vedlegg 5.9**.

5.3.10.1 Utblokking versus åpen grøft

Kalkulatoren viser at det er kr. 2 065 000,00 billigere å bruke utblokking enn åpen grøft på Saturn- og Neptunvegen. Differansene mellom metodene er stor både økonomisk og miljømessig. Det er likevel ikke store forskjeller på massehåndtering, dette trolig på grunn av at det er mange nødvendige anboringer på traseen.

5.3.10.2 Rørinnføring versus åpen grøft

PE-rør DN125 er benyttet til rørinnføring. Resultatene for rørinnføring viser ingen forskjeller mellom utblokking. Kostnaden er beregnet til å være det samme, og det er ingen miljømessige forskjeller heller. Etter NoDig kalkulatoren er det ingen fordeler ved å bruke rørinnføring kontra utblokking. Ulempen vil være at man får mindre dimensjon på ledningene.

5.3.11 Rask oppsummering

Fordeler ved valg av åpen grøft på Saturn/Neptunvegen er :

- VL, SP og OV blir oppgradert til dagens standard
- Kummene blir separert
- Om fallet er dårlig kan det utbedres.
- Hele gaten blir fornyet. Vei og grøft blir nytt
- Det blir penere i nabolaget

Ulemper ved valg av åpen grøft:

- Det er dyrt å grave
- Graving kan være vanskelig eller umulig med tanke på bløt leire
- Graving vil komme i konflikt annen infrastruktur langs store deler av traseen
 - Strømkabler: hovedsakelig lavspent, men også høyspent noen steder.
 - Elskap
 - Lyktestolper
 - Evt telefon, fiber og kabel-tv
- Grøften vil bli dyp på grunn av kravet til frostfridybde, som kan bli problematisk med tanke på geoteknikk
- Dybden gjør at grøften kommer inn under privat eiendom
 - Flere hekker må flyttes/erstattes
 - Flere garasjer blir gravet under om man ikke bruker spunt
- Veien må gjenopprettes til dagens standard
- Det tar lang tid
- Det er stor ulempe for beboerne over lang tid
 - Støv og lyd
 - Graves svært nært folks hus og hager

- Dårligere fremkommelighet
- Tunge maskiner og groper som kan være farlig om barn sniker seg inn
- Post og søppelinnhenting må sannsynligvis ha noen endringer i rutinene.
- Mer graving og tungtrafikk i nabolaget over betydelig lengre tid enn ved bruk av NoDig metoder.

Fordelene med NoDig metoder på Saturn-/Neptunvegen er:

- Mindre graving
 - Økonomisk
 - Mindre utslipp
 - Mindre forstyrrelser av evt kvikkleire
 - Mindre konflikter med høyspent og lavspent ledninger
 - Mindre å sette i stand etter arbeidet er ferdig
 - Mindre fare for å skade annen eiendom
- Mindre plager for allmennheten
 - Mindre støv
 - Mindre lyd
 - Hindrer ikke trafikken i like stor grad
 - Kortere anleggstid

Ulempene

- Får ikke separert spillvann og overvannskummene
- Gaten blir ikke finere når det er ferdig
- Ved utblokking kan det av og til skade de andre rørene som ligger i samme grøft
- Grøften blir ikke fornyet til dagens standard kun vannledningen.

5.4 Sluttvurdering og konklusjon – Bratsbergvegen

I Bratsbergevegen er det mange grunner til å unngå å grave. Hele vegen må graves opp og det vil være et stort hinder for kollektivtransport og trafikkavvikling. Det ligger også høyspentledning i samme grøft og det er påvist kvikkleire i området. Dette gjør gravearbeid krevende og usikkert.

Ved bruk av konvensjonell grøft vil det sannsynligvis være behov for avstivning med tanke på bratt terreng langs grøften og for å holde vegen åpen. Store deler av vegen vil da bli gravd opp, men i vurdering er det antatt at det må legges ny veg langs hele strekningen. Det vil derfor være avvik på kostnad og utslipp mellom resultat fra vurdering og reell situasjon.

Bruk av NoDig-metoder vil begrense graving i vegbanen betydelig, og gjøre det mulig å holde vegen åpen for trafikk. Det vil også ta mindre tid å utføre arbeid. Mindre gravearbeid og kortere anleggstid medfører også mindre støv og støv.

Gravearbeid for konvensjonell graving og renoveringsmetodene antas å gi fra seg like mye støy. Ved konvensjonell graving vil arbeid pågå over lengre tid og påvirke beboere i området i større grad.

Det er minimale forskjeller mellom utblokking og rørinnføring for både pris og CO₂-utslipp. Etter **Vedlegg 5.5** og **Vedlegg 5.7** er rørinnføring sammenlignet med utblokking kr. 13 837,00 billigere og gir 112 kg lavere CO₂-utslipp. Tettisluttet rør er derimot sammenlignet med utblokking kr. 231 174, 00 billigere og gir 2583 kg lavere CO₂-utslipp. Det er ikke stor nok grunn til å velge rørinnføring fremfor utblokking. Tettisluttet rør er mer besparende enn utblokking, men det vil medføre til dimensjonsreduksjon og brudd på Trondheim kommunes VA-norm. Besparelsen er ikke stor nok til å rettferdiggjøre dette.

Utblokking ivaretar eksisterende dimensjon og sikrer for at ledningskapasiteten er møtt for eventuell fremtidig utbyggelse(40). Utblokking er derfor vurdert som det beste alternativet i Bratsbergvegen.

Bruk av utblokking sammenlignet med åpen grøft på Bratsbergvegen gir etter NoDig-kalkulator en besparelse på kr. 1 196 000,00 kr og 31 730 kg mindre CO₂-utslipp se **Vedlegg 5.9**.

Plantegning som viser graveomfang og utblokkingsstrekk for valgt metode i Bratsbergvegen er lagt ved som **Vedlegg 5.11** og **Vedlegg 5.12**.

5.5 Sluttvurdering og konklusjon – Nordslettvegen

Gravearbeid på Nordslettvegen er utfordrende på grunn av at det vil komme i konflikt med høyspent og lavspentkabler som ligger langs VA-ledningene. Det er også kvikkleire i området. Gravearbeid langs strømkabler må gjøres skånsomt og høyspentkabler må kobles ut når graving pågår. Jo mer graving som må skje rundt kablene, jo mer anleggstid og kostnad vil det påføre prosjektet. Det må tas hensyn til kvikkleire når det graves, men da dybden på kvikkleire ikke er kjent, er det vanskelig å si om det vil være et problem når det graves grøft eller groper. Om situasjonen er slik at graving av grøft eller groper ikke er mulig med tanke på kvikkleire, vil en ny trase som ligger over kvikkleire vært den eneste løsningen. Videre vurdering med hensyn til kvikkleire er ikke gjort i oppgaven

En ny trase som foreslått i kap 5.3.8.1 vil gi mindre konflikter med strømførende kabler og dermed være en mer gunstig løsning ved valg av åpen grøft. En fordel med åpen grøft er at man lett kan skifte ut spillvanns- og overvannsledningene. Resultatene fra vurdering av metodene viser imidlertid at NoDig metodene er betydelig billigere, mindre arbeidskrevende og mer miljøvennlig. Hvis man skulle renoverte spillvanns- og overvannsledning samtidig som vannledning ved bruk av NoDig, ville det ha krevd flere innførings, mottaks og anboringsgroper, og dermed vært dyrere og mer forurensede. Likevel er kostnad og utslippsforskjellene mellom åpen grøft og NoDig metodene så store at det ville vært bedre å renovere SP og OV ved bruk av NoDig.

Åpen grøft vil også ta lenger tid og vil derfor gi større sosiale kostnader enn NoDig-metodene(21, s.33-34).

NoDig-kalkulatoren viser at rørinnføring er et mye bedre økonomisk alternativ enn utblokking, og resultatene fra kapittel 5.2.7.3 viser at rørinnføring er bedre valg med tanke på pris, arealinngrep, gravearbeid og CO₂-utslipp enn utblokking. Kapittel 5.2.7.4 viser imidlertid at renoveringsmetoden tetttilsluttet rør er billigere og mindre forurensede enn rørinnføring. Problemet med tetttilsluttet rør er det ikke blir levert i SDR11 slik Trondheim kommune krever(30). Økonomiske og miljømessige forskjeller mellom rørinnføring og tetttilsluttet rør er ikke så store at man kan rettferdiggjøre tetttilsluttet rør på Nordslettvegen.

Fordelene er store ved anvendelse av NoDig metode på Nordslettvegen og resultatene viser rørinnføring gir størst gevinst på kostnad, miljøutslipp og arbeidsmengde. Rørinnføring gir redusert dimensjon på vannledningen, men resultatene fra EPANET simuleringen tillater dette.

Det konkluderes med at renoveringsmetoden rørinnføring vil være det mest gunstige løsningen for Nordslettvegen.

Bruk av rørinnføring sammenlignet med åpen grøft på Nordslettvegen gir etter NoDig-kalkulator en besparelse på kr. 1 811 000,00 kr og 17 670 kg mindre CO₂-utslipp se **Vedlegg 5.9**.

Plantegning som viser graveomfang og innføringsstrek for valgt metode i Nordslettvegen er lagt ved som **Vedlegg 5.13** og **Vedlegg 5.14**.

5.6 Sluttvurdering og konklusjon for Saturn- og Neptunvegen

Bruk av konvensjonell grøft vil være utfordrende i Saturn- og Neptunvegen. Graving vil komme i konflikt med strømførende kabler, privateiendom, hager og garasjer. Etablere ny trase kan til en viss grad begrense graving på privateiendom, men det ville fortsatt krevd et betydelig beslag av areal. Det er også mulig det ikke er trygt å grave en så dyp grøft med tanke på fare for kvikkleire. Av de vanligste grunnene for å velge graving istedenfor NoDig som separering av OV og SP, forbedre fall, fornyelsesbehov for alle hovedledninger eller samarbeid med andre etater er det ingen av disse som tiltrer i dette tilfellet(21, s.12). Overvann og spillvann er allerede separert, de deler riktignok samme kummer, men er ellers i svært god stand. Det hadde kanskje vært mulig å se på en hybrid løsning der kummene blir separert, men det kommer ikke til å bli vurdert her.

Åpen grøft vil gi et langt høyere utslipp av CO₂ på grunn av et større behov for massetransport og graving. En av fordelene med graving er at man får en fin og ny gate, men dette er egentlig ikke innenfor VA-etatens ansvarsområde og må ses på mer som en bonus. Rapporten NoDig versus åpen grøft peker på at plagene med støy, støv og trafikkulemper øker over tid. Dette vil også gjelde for helse og sikkerhet. Rapporten hevder at man kan anta at åpengrøft vil ha en anleggstid som er minimum fire til fem ganger så lang som ved bruk av utblokking (21, s.33-34). Det ser dermed ut til at det ikke noen tungtveiende VA-faglige grunner til å velge graving over NoDig.

Bruk av NoDig vil eliminere behovet for å grave under folks garasjer, hekker og hager. Fordelene er store når det er mulig og det er ingen åpenbare hindre for bruk av NoDig i Saturn og Neptunvegen. Det er noen steder hvor man kan møte på utfordringer, men det ser ut til å være langt mindre enn hva man ville opplevd ved bruk av åpen grøft.

Ved valg av NoDig-metode i dette prosjektet ser utblokking ut til å være den best egnede metoden. Utblokking har flest fordeler og er også den metoden som passer best sammen med Trondheim kommunes VA-norm. Rørinnføring og tetttilsluttet rør hadde også vært mulige alternativ, men forskjellen i pris og utslipp er minimal. Det er derfor ingen grunn til å gå ned i dimensjon. «For å oppnå økt fornyelsestakt bør bruken av gravefrie metoder økes. Det bør velges en NoDig-metode fremfor graving der det er mulig»(5, s.11). Når Trondheim kommune har et ønske om at man helst skal bruke NoDig der det er mulig, er det lite som taler for å bruke åpen grøft i denne traseen.

Bruk av utblokking sammenlignet med åpen grøft på Saturn- og Neptunvegen gir etter NoDig-kalkulator en besparelse på kr. 2 065 000,00 kr og 15 040 kg mindre CO₂-utslipp se **Vedlegg 5.9**.

Plantegning som viser graveomfang og utblokkingsstrek for valgt metode i Saturn- og Neptunvegen er lagt ved som **Vedlegg 5.15**.

6. Innovasjon – Gravefri tilkobling

Ved fornyelse av vannledninger med bruk av konvensjonell åpen grøft krever ofte store inngrep i terrenget, veg og annen infrastruktur. Dette medfører støy, støv, stengte veger og høyt CO₂-utslipp. Mange av disse ulempene kommer fra gravearbeid og legging av veg, og det er også dette arbeidet som påfører største delen av kostnaden ved fornyelse. I kapittel 4 fikk man se at NoDig-metoder er mindre arbeidskrevende og mer miljøvennlig enn åpen grøft. NoDig-metodene er dessverre fortsatt ikke helt gravefrie og krever fremdeles ganske omfattende gravearbeid. Når ledningen er på plass må det graves ned for å koble på stikkledninger, noe som i tettbebygde strøk kan bety betydelig graving. I tilfeller hvor mer enn 50 % av vegen må graves opp på, er det anbefalt å grave hele vegen istedenfor(19). Gevinsten av å benytte NoDig metoder blir altså begrenset når det er svært mange anboringer i en trase.

Derfor arrangerte Oslo kommune NoDig-challenge(52). NoDig-challenge var en konkurranse om å utvikle en metode for å koble stikkledninger til vannledningen uten å grave opp anboringer(53). Etter konkurransen sto Hawle Water Technology igjen som vinner med en prototyp som kan bore seg gjennom løs- og steinmasser fra kjellerveggen i huset frem til hovedledningen(37, 54). Hawle Water Technology har utviklet denne prototypen i samarbeid TECHNI og Båsum Boring(54).

Prototypen består av en avansert bærbar boremaskin, en robot som kartlegger rørets posisjon og en anboringsrobot(54). Boremaskinen veier i dag rundt 40 kg, men når den skal masseproduseres skal den veie 20 kg(52). Anboringen er tilpasset PE100- RC med SDR11 kvalitet og passer nok derfor best til utblokking og ny boret trase(55). Før det kobles til vann vil en robot kjøre gjennom røret og kartlegge rørets posisjon. Boremaskinen bruker så informasjonen til å bore ut til ledningen gjennom kjellerveggen. Boremaskinen har en borestreng som er styrbar. Om boret møter på hindringer som for eksempel stein kan det sendes inn et multiverktøy som kan bryte gjennom dette. Multiverktøyet brukes også til å bore et pilothull i ledningen, dette bores så ut ved bruk av anboringsroboten. Anboringsroboten monterer et anboringsstykke. Når dette er montert kan det stikkledningen monteres, den fester seg til anboringsstykke ved hjelp av en klikkordning(54).

Foreløpig avhenger løsningen av at huset som blir tilkoblet har en kjeller(37).

Gravefri tilkobling har potensial til å ta NoDig et steg nærmere gravefri fornying. Det er store miljø, sosiale og økonomiske gevinster ved at gravingen blir begrenset i størst mulig grad. Når

en tenker på sosiale kostnader har vi sett i kapittel 4 at metodene som benytter seg minst av graving er de som tar kortest tid og har minst belastning på omgivelsene. Med unntak av endene der det er innførings- og mottaksgroper vil hverdagslivet og trafikken kunne fortsette uten forstyrrelser. De sosiale kostnadene vil være minimale. Denne metoden vil også øke hastigheten på arbeidet, og utbredelsen av metoden vil bidra til at vannforsyningsnettene i Norge får en høyere fornyelsestakt.

7. Avslutning

I denne oppgaven er det sett på metoder for fornyelse av vannledninger. Det er vurdert åpen grøft opp mot strukturelle metoder for reovering i traseene Bratsbergvegen, Nordslettvegen og Saturn- og Neptunetvegen. Oppgavens problemstilling var å finne den mest hensiktsmessige løsningen for reovering med tanke på bærekraftighet. Bærekraftighet er her definert ut fra tre perspektiv miljø, økonomi og sosiale forhold. For å vurdere dette er det sett på CO₂-utslipp, økonomiske og sosiale kostnader.

Det er ikke sett på alle metoder for reovering. Metodene som er vurdert er valgt ut fra Trondheim kommunes krav til kvalitet og best egnede metode ifølge Norsk Vann rapport 221. Oppgaven har derfor konsentrert seg om strukturelle reoveringsmetoder. Utblokking, rørrinnføring og tetttilsluttet rør er vurdert opp mot hverandre og konvensjonell graving. Andre metoder og materialer for reovering som kunne vært aktuelle er derfor ikke sett på. For å se om det er behov for endring i dimensjon er det utført en EPANET-simulering.

I EPANET-simuleringen er det gjort enkelte antakelser på grunn av manglende informasjon. Antakelsene i simuleringen omfatter: ruheter på ledninger, dimensjon på enkelte ledninger, antall personekvivalenter, trykktap og lekkasjer. Simuleringen kunne ha blitt mer nøyaktig dersom det hadde vært tilgang på målinger av vanntrykk og vannføring over et større område, samt tidspunkt for utførelse av målingene. Da hadde det vært mulig å kalibrere simuleringmodellen. Kalibrering ble ikke gjort fordi det har vært utfordrende å anskaffe nødvendige målinger med ressursene tilgjengelig.

For å vurdere pris og CO₂-utslipp er det tatt utgangspunkt i en begrenset mengdebeskrivelse ut fra NS3420. Mengdebeskrivelsen har fokusert på postene med størst innvirkning på pris og CO₂. Prisene benyttet i postene er fra sammenlignbare prosjekt prosjektert av Rambøll. Det er også benyttet Asplan Viaks NoDig-kalkulator som baserer seg på erfaring fra tidligere prosjekt for å fastsette pris og CO₂-utslipp.

Resultatene viser at det er svært besparende å benytte PE-rør på kveil. Dette er fordi det gjør det mulig å begrense størrelsen på inføringsgroper betraktelig. For utblokking og rørrinnføring gjelder dette dimensjoner under DN180, men for tetttilsluttet rør er det mulig å få rør på kveil med dimensjon opp til DN500 og lengde på rundt 100 meter(10, s.49, 18, 27, 56, s.9). Om prosjektet kan tillate bruk av SDR17 vil tetttilsluttet rør ha en stor konkurransefordel kortere avstander med dimensjon opp mot DN500. Tetttilsluttet rør klarer seg med langt mindre

innførings- og mottaksgroper enn de andre metodene og har derfor vist seg å være den billigste metoden på alle traseene(28, s.27). Besparelsene ved traseene har likevel ikke vist seg store nok i dette prosjektet til å rettferdiggjøre bruken av SDR 17.

NoDig-metoder har vist seg å være svært besparende når det kan benyttes. NoDig bør være førstevalget ved fornying med mindre man har gode grunner for å utelate NoDig. NoDig er fremdeles relativt nytt i VA-bransjen og det er fortsatt rom for forbedring. For strukturelle NoDig metoder er det fremdeles behov for å grave. Antall anboringer og bend begrenser hvor mye en sparer ved grøftfri renovering. Likevel kan en ha ganske mange anboringer på et strekk før det ikke er betydelige besparelser i forhold til konvensjonell grøft. Graden av hvor store besparelser en får ved NoDig er derfor i stor grad avhengig av ytre forhold. Til tross for at man må grave innførings, mottaks, og anboringsgroper er det ofte billigere, mer miljøvennlig og mindre tidkrevende enn åpen graving. Tilkoblingen som beskrevet på innovasjonskapittelet vil gjøre det mulig å unnslippe å grave anboringsgrop. I traseer med mange stikkledninger vil det føre til store besparelser. Med slike metoder kan Nodig-metodene bli billigere og mer miljøvennlig, samt at man kan øke fornyelsestakten ytterligere.

Figurer

Figur 2.1: Fornyelsesbehov ved midlere levetid for ulike grupper av ledninger utført med programvaren CARE-W LTP. Hentet fra «kommunedelplan for vannforsyning 2017-2018» (5, s. 73).....	6
Figur 2.2: De tre dimensjonene i bærekraftig utvikling. Hentet fra fn.no (13).....	8
Figur 2.3: Illustrasjon av PDCA-syklusen (57).	10
Figur 2.4: Planleggingsstruktur foreslått av Norsk Vann Rapport 196 (8, s.12)	11
Figur 2.5: Arbeidsflyt for planleggingsnivå som foreslått av Norsk Vann Rapport 196 (8, s.13)	11
Figur 2.6: Sammenheng mellom nivåene (8, s.14)	13
Figur 3.1: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Traseene som skal fornyes er merket med grønn farge.	19
Figur 3.2. Variasjonskurve for konsumuttak	21
Figur 3.3: Variasjonskurve for industriuttak.....	22
Figur 3.4: Variasjonskurve for brannuttak.....	22
Figur 3.5: Variasjonskurve for lekkasje.....	23
Figur 3.6: Illustrasjon av trykksoner.....	25
Figur 3.7: Skjerm bilde av simuleringsmodell. En vannkilde er lagt inn for å representere et høydebasseng med tilstrekkelig kapasitet.	26
Figur 3.8: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Vanntrykk og vannføring kl. 18:00 i tilfellet hvor det ikke er brann i området.	27
Figur 3.9: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Totaltrykk og vannføring kl. 18:00 i tilfellet hvor det ikke er brann i området.	28
Figur 3.10: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Vannhastighet for ledningene i området.	29
Figur 3.11. Skjerm bilde av simuleringsmodell. Høyde på kummer.	30
Figur 3.12. Vanntrykk over døgnet ved kum 6 og 7 i tilfellet hvor to brannuttak oppstår samtidig.....	31
Figur 3.13: Vanntrykk over døgnet ved kum 6 og 7 i tilfellet hvor to brannuttak tas samtidig. Etter reduksjon av rørtverrsnitt.	32
Figur 3.14: Skjerm bilde av simuleringsmodell. Vannføring ved brann og etter reduksjon av rørtverrsnitt.	33
Figur 4.1: Fremgangsmåte for å velge fornyelsesmetode.....	35

Figur 4.2: Kg CO ₂ -ekvivalenter pr. tonn for ulike materialer. Hentet fra «Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter» (22, s.78)	40
Figur 4.3: Kart over elektriske kabler og anlegg. Hentet fra «gravemelding» i Vedlegg B	49
Figur 4.4: Illustrasjon av grop for anboringer.....	52
Figur 4.5: Illustrasjon. Dimensjoner til innføringsgrop for utblokking og rørinnføring.	53
Figur 4.6: Arealer for rørtverrsnittet	55
Figur 4.7: Trekkemaskin for utblokking, Grundoburst 800 G. Hentet fra tracto-technik.com (39).....	57
Figur 4.8: Trekkemaskin for rørinnføring, Grundoburst 400G. Hentet fra Tracto-technik.com (39).....	57
Figur 5.1: Kart over løsmasser i området rundt Bratsbergvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43)	60
Figur 5.2: Kart over grunnforurensning i området rundt Bratsbergvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43).....	60
Figur 5.3: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, faregrad for skred. Hentet fra geo.ngu.no (43)	61
Figur 5.4: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no(43)	61
Figur 5.5: Skjerm bilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i nordlige del av Bratsbergvegen.	63
Figur 5.6: Skjerm bilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i sørlige del av Bratsbergvegen.....	63
Figur 5.7: Skjerm bilde fra AutoCad. Utsnitt fra vertikaltegning av traseen i Bratsbergvegen.	64
Figur 5.8: Skjerm bilde fra AutoCAD. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i nordlige del av Bratsbergvegen.....	64
Figur 5.9: Skjerm bilde fra AutoCad. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i sørlige del av Bratsbergvegen.....	65
Figur 5.10: Skjerm bilde fra AutoCad. Grøft i forhold til høyspentkabler i nordlige del av Bratsbergvegen.	66
Figur 5.11: Skjerm bilde fra AutoCad. Grøft i forhold til høyspentkabler i sørlige del av Bratsbergvegen.	66
Figur 5.12: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.....	67
Figur 5.13: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.....	68
Figur 5.14: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.....	68

Figur 5.15: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.....	68
Figur 5.16: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.....	71
Figur 5.17: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.....	71
Figur 5.18: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.....	71
Figur 5.19: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.....	72
Figur 5.20: Plassering av groper for rørinnføring i Bratsbergvegen.....	72
Figur 5.21: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Bratsbergvegen.....	73
Figur 5.22: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Bratsbergvegen.....	73
Figur 5.23: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Bratsbergvegen.....	74
Figur 5.24: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Bratsbergvegen.....	74
Figur 5.25: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Bratsbergvegen.....	74
Figur 5.26: Pris og utslipp av CO ₂ -ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Bratsbergvegen.	75
Figur 5.27. Skjerm bilde fra grunnlagskart over VA-ledninger i Trondheim kommune. Oversikt over traseen i Nordslettvegen.....	77
Figur 5.28: Skjerm bilde, oversikt over Nordslettvegen. Hentet fra Google Maps (44).	78
Figur 5.29. Kart over løsmasser i området rundt Nordslettvegen. Hentet fra geo.ngu.no (43).	79
Figur 5.30: Løsmasstype i området rundt Nordslettvegen. Hentet fra geo.ngu.no (45).	79
Figur 5.31: Kvikkleirekart for området rundt Nordslettvegen, faregrad for skred. Hentet fra geo.ngu.no (43).....	80
Figur 5.32: Kvikkleirekart for området rundt Bratsbergvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no (43).	80
Figur 5.33: Kart over Nordslettvegen, påvist kvikkleire. Hentet fra Trondheim kommunes kartløsning (46).....	81
Figur 5.34. Skjerm bilde fra AutoCad. Høyspentkabler i Nordslettvegen er vist med røde linjer.	81
Figur 5.35. Kart over elektriske kabler og anlegg i Nordslettvegen. Hentet fra «gravemelding» i Vedlegg B	82
Figur 5.36. Skjerm bilde fra AutoCad. Vann- og avløpsledninger ved konvensjonell graving i Nordslettvegen	84
Figur 5.37. Skjerm bilde fra AutoCad. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i Nordslettvegen	85

Figur 5.38: Illustrasjon på plassering av groper ved utblokking/inntrekking for både vann- og spillvannsledninger i Nordslettvegen.....	86
Figur 5.39: Plassering av groper for utblokking i Nordslettvegen.....	88
Figur 5.40: Plassering av groper for utblokking i Bratsbergvegen.....	89
Figur 5.41: Plassering av groper for rørinnføring i Nordslettvegen.	91
Figur 5.42: Plassering av groper for rørinnføring i Nordslettvegen.	91
Figur 5.43: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Nordslettvegen.	93
Figur 5.44: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Nordslettvegen.	93
Figur 5.45: Pris og utslipp av CO ₂ -ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Nordslettvegen.	94
Figur 5.46: Skjerm bilde, oversikt over Nordslettvegen. Hentet fra Google Maps (44).	97
Figur 5.47: Skjerm bilde fra Novapoint. Oversikt over traseen i Nordslettvegen.	99
Figur 5.48: Vinkel på rørbend i Saturn- og Neptunvegen	99
Figur 5.49: Kart over ledninger og kabler i Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra Vedlegg I	100
Figur 5.50 Kart over elektriske kabler og anlegg i Nordslettvegen. Hentet fra «gravemelding» i Vedlegg B	101
Figur 5.51: t.v: Kart over Saturn- og Neptunvegen, påvist kvikkleire. Hentet fra Trondheim kommunes kartløsning (46). t.h: Kvikkleirekart for området rundt Saturn- og Neptunvegen, risikoklasser. Hentet fra geo.ngu.no (43).....	102
Figur 5.52: Utsnitt fra geoteknisk rapport for Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra «Rapport R_0878» (48, s.3).....	102
Figur 5.53: Utsnitt fra geoteknisk rapport for Saturn- og Neptunvegen. Hentet fra «Rapport R_0217» (49, s.1).....	103
Figur 5.54. Skjerm bilde fra AutoCAD. Tegning av grøft ved konvensjonell graving i Saturn- og Neptunvegen.	104
Figur 5.55: Plassering av groper for utblokking i Saturn- og Neptunvegen.....	106
Figur 5.56: Plassering av groper for utblokking i Saturn- og Neptunvegen.....	106
Figur 5.57: Plassering av groper for rørinnføring i Saturn- og Neptunvegen.....	108
Figur 5.58: Plassering av groper for rørinnføring i Saturn- og Neptunvegen.....	108
Figur 5.59: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Saturn- og Neptunvegen.	109
Figur 5.60: Plassering av groper for inntrekking av tetttilsluttede rør i Saturn- og Neptunvegen.	109

Figur 5.61: Pris og utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike fornyelsesmetoder i Saturn- og Neptunvegen.110

Tabelliste

Tabell 3.1: Antatt tilstand på støpejerns-ledninger for ulike tidsperioder	20
Tabell 3.2: Ruhet for ulike typer ledningsmaterialer. Hentet fra «Vann- og avløpsteknikk» (2, s. 71).....	20
Tabell 3.3: Antatte antall personekvivalenter for ulike bygningstyper.....	23
Tabell 3.4: Funksjonskrav for vannforsyningsnett i Trondheim kommune (16, 17).....	26
Tabell 3.5: Lednings-ID for ledninger som ikke oppnår vannhastighet på minst 0,4 m/s i døgnet.	29
Tabell 3.6: Maksimumsdimensjoner anbefalt for ny ledning. Basert på Tabell 3. fra VA-blad.no. (18).....	31
Tabell 3.7: Resultat fra simulering i EPANET	33
Tabell 4.1: Parametere for å vurdere økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader	37
Tabell 4.2: Beregning av kg CO ₂ -utslipp pr. m ³	38
Tabell 4.3: Arbeid som utføres med gravemaskin	38
Tabell 4.4: Arbeid som utføres med generell anleggsmaskin.....	39
Tabell 4.5: Densitet for komprimert asfalt og pukkk pr. m ³	40
Tabell 4.6: Oversikt over ulike NoDig-metoder	43
Tabell 4.7: Utførelsesmetoder for de ulike NoDig-metodene	44
Tabell 4.8: Reviderte verdier for tilstandsklasser. Hentet fra «Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer» (8, s.48).	47
Tabell 4.9: Materialer for de ulike fornyelsesmetodene som er med i vurderingen.	48
Tabell 4.10: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Bratsbergvegen.....	50
Tabell 4.11: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Nordslettvegen	50
Tabell 4.12: Lag i vegoverbygning til ny veg som legges i Nordslettvegen.	50
Tabell 4.13: Maks tillatt strekkraft for PE100-rør.	56
Tabell 5.1: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Bratsbergvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder»(28, s.42)	62
Tabell 5.2: Grøftedybde for innføringsgroper til utblokking ved vannkummer i Bratsbergvegen.	67
Tabell 5.3: Nødvendig lengde og total lengde for innføringsgroper ved kummer i Bratsbergvegen	67
Tabell 5.4: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Bratsbergvegen.....	69

Tabell 5.5: Grøftedybde for innføringsgroper til rørinnføring ved vannkummer i Bratsbergvegen.	70
Tabell 5.6: Nødvendig lengde og total lengde for innføringsgroper til rørinnføring ved kummer i Bratsbergvegen.	70
Tabell 5.7: Vannledninger som skal fornyes i Nordslettvegen.....	77
Tabell 5.8: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Nordslettvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder» (28, s.42)	83
Tabell 5.9: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Nordslettvegen.	87
Tabell 5.10: Total lengde for innføringsgroper ved utblokking i Nordslettvegen.	87
Tabell 5.11: Totalt volum for uttak av innførings- og mottaksgroper ved utblokking i Nordslettvegen.	87
Tabell 5.12: Totalt volum for uttak av groper ved anboringer i Nordslettvegen.....	88
Tabell 5.13: Volum for uttak av groper ved rørinnføring i Nordslettvegen	90
Tabell 5.14: Volum for uttak av groper ved tetttilsluttet rør i Nordslettvegen	92
Tabell 5.15: Vannledninger som skal fornyes i Saturn- og Neptunvegen.	97
Tabell 5.16: Aktuelle metoder ved fornyelse av VA-ledninger i Saturn- og Neptunvegen. Basert på Tabell 1. fra «Smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder» (28, s.42)	103
Tabell 5.17: Gjennomsnittlig grøftedybde for groper i Saturn- og Neptunvegen.....	105

Formelliste

Formel 4.1: Beregning av volum for groper ved anboringer	52
Formel 4.2: Beregning av nødvendig lengde for innføringsgrop. Hentet fra va-blad.no (27).	53
Formel 4.3: Beregning av nødvendig rettstrekning før innføring. Hentet fra va-blad.no (27).	53
Formel 4.4: Beregning av total lengde for hele grøften med grøfteskrånninger.	53
Formel 4.5: Beregning av volum for en enkelt grop for innføring eller trekking.....	54
Formel 4.6: Beregning av lengden til innføringsgrop ved installasjon av PE-rør med dimensjon mindre enn eller lik 180 mm. Hentet fra va-blad.no (27).	54
Formel 4.7: Beregning av volum for grop ved inntrekking av tetttilsluttede rør.....	54
Formel 4.8: Beregning av strekkspenning og omgjøring til beregning av strekkraft.	55
Formel 4.9: Beregning av rørtverrsnittets areal, Ar.....	55

Bibliografi

1. Trondheim kommune. Drikkevann - en livsviktig ressurs. 2007.
2. Ødegaard H, Norheim B, Norsk Vann BA. Vann- og avløpsteknikk. 2. ed. Hamar: Norsk Vann; 2014.
3. Bjordal G. Oversikt over vannforsyning og kloakkering i trondheim. 1970;5(2).
4. Mosevoll G. Veiledning for bruk av duktile støpejernsrør. Hamar: Norsk Vann BA; 2010.
5. Trondheim kommune. Kommunedelplan for vannforsyning 2017-2028. 2016.
6. Røstum J. Bestandighet for duktile støpejernsledninger uten korrosjonsbeskyttelse. Sægrov S, editor. Trondheim: SINTEF, Bygg og miljøteknikk, Vannrensing og VA; 2000.
7. Boye NC. Kjemi og miljølære. 4 ed. Keeping D, Bakke E, editors. Oslo: Gyldendal; 2009.
8. Røstum J. Veiledning i tilstandskartlegging og fornyelse av VA-transportssystemer. Hamar: Norsk Vann BA; 2013.
9. Holen E. Bacheloroppgave renovering vannledning Bratsbergvegen mail. In: Jens Tønjum Fjereide MHVoSMK, editor. Trondheim; 2019.
10. Myhre SR. ABC for en gravefri fremtid. 2 ed. Myhre SR, Nordby P-C, Olimb, Killingmo E, Sweco, Borgstrand O, Borg Medier editors. Moss: Olimb AS; 2015.
11. Ottar L, Heidi Eriksen R. FNs bærekraftsmål 2018 [cited 2019 04.02]. Available from: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/mat/fns-barekraftmal/fns-barekraftsmal/id2538121/>.
12. World Commission on Environment and Development, Brundtland GH, Dahl O. Vår felles framtid. Oslo: Tiden norsk forlag; 1987.
13. Bergen Kommune. Hovedplan for vannforsyning 2015 - 2024 [Kommunal hovedplan for vannforsyning]. Bergen: Bergen Kommune; 2015 [Available from: https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00252/HovedplanVannforsyn_252141a.pdf].
14. United States Environmental Protection Agency. EPANET 2019 [Available from: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>].

15. SSB.no. Estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk per tilknyttet innbygger per døgn (l/pers/døgn)(liter) 2018 [updated 20.03.2019. 1]. Available from: <https://www.ssb.no/statbank/table/11787/>.
16. Norsk Vann. VA-Norm: 5.0 Generelle bestemmelser. Trondheim kommune; 2017 [Available from: <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-0-generelle-bestemmelser/?source=126&override=1&real=5619&l=nb>
17. Norsk Vann. VA-Norm: 5.16 Brannventiler. Trondheim kommune; 2017 [Available from: <http://va-norm.no/dokument/5-transportssystem-vannforsyning/5-16-brannventiler/?source=126&override=1&real=5635&l=nb>.
18. Stiftelsen VA/miljø-blad. VA-miljøblad nr. 3 Renovering med innføring av kontinuerlige rør 2019 [cited 2019 13.05] Available from: <http://www.va-blad.no/renovering-med-innforing-av-kontinuerlige-ror-2/>.
19. Trondheim kommune. Retningslinjer for gravearbeider på det kommunale vegnettet i Trondheim 2014 [Available from: <https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/trondheim-bydrift/retningslinjer-for-gravearbeider-pa-det-kommunale-vegnettet-i-trondheim---gjeldende-fom-01.02.2014.pdf>
20. Asplan Viak. No Dig-miljøkalkulator 2019 [cited 2019 15.05]. Available from: <https://www.asplanviak.no/prosjekt/11415/>.
21. Jakobsen G, Hanserud O, Hansen A, Sørstahl N, Hansen G. NoDig versus åpen grøft. Porsgrunn kommune, Norsk Vann, SSTT; 2010.
22. Hammervold J. Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter. Statens Vegvesen; 2009.
23. Mirochnikova O. Effekter av tilsatt gjenbruksasfalt på egenskaper for asfaltbetong med polymermodifisert bindemiddel for bruk på høytrafikkert veg [Master]. Trondheim: NTNU; 2015.

24. Grusbutikken. Beregn pukk 11-16 mm. Grusbutikken.no; 2019 [Vektkalkulator for pukk]. Available from: <https://www.grusbutikken.no/shop/maengd-beraeknar.asp?groupid=58&productid=756>.
25. Miljødirektoratet. Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging, T-1442/2016 [Veileder]. Miljøverndirektoratet; 2014 [Available from: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M128/M128.pdf>].
26. Trovik T. Rehabilitering/ fornying av ledninger ved NoDig metoder [Power Point]. Bergen: Bergen kommune; 2015 [updated 13.05.2019].
27. Stiftelsen VA/miljø-blad, VA-miljøblad nr. 110 Renovering av VA-ledninger ved utblokking 2015 [cited 2019 13.05] Available from: <http://www.va-blad.no/renovering-av-va-ledninger-ved-utblokking/>.
28. Aas HN. Smart ledningsfornyelse - bruk av NoDig-metoder. Killingmo E, Busk V, Norsk Vann BA, editors. Hamar: Norsk Vann BA; 2016.
29. Stiftelsen VA/miljø-blad. VA-miljøblad nr. 111 Boring i fjell og løsmasser 2016 [cited 2019 15.05.] Available from: <http://www.va-blad.no/boring-i-fjell-og-losmasser/>.
30. Den norske arbeidsgruppen SSTT. Tetttilsluttet rør. Norge: SSTT; [Available from: <http://www.sstt.se/?cid=856>].
31. Kjosavik F, Grindheim T. Vurdering av kum. In: Vikeby M, Kim SM, Fjereide J, editors. Trondheim; 2019.
32. Trondheim kommune. VA-Norm: krav til ledningsmaterialer Trondheim: Trondheim kommune; 2017 [Available from: <http://www.va-norm.no/wp-content/uploads/2017/12/Vedlegg-2-Krav-til-ledningsmaterialer.pdf>].
33. TrønderEnergi. Gravemelding. Trondheim: TrønderEnergi; 2018.
34. Hårstad O. Bacheloroppgave, spørsmål om graving og høyspent mail. In: Jens Tønjum Fjereide MHVoSMK, editor. Trondheim: TrønderEnergiNet; 2019.
35. TrønderEnergiNett. Arbeid nær nettanlegg 2019 [Available from: <https://tronderenerginett.no/tjenester/graving>].

36. Fondet for regionale verneombud i bygge- og anleggsbransjen. Veileder for grøftearbeid. [8]. Available from: <http://rvofond.no/upload/2014/03/24/veileder-for-groftearbeid.pdf>.
37. SG Kommunikasjon. NoDig Challenge er endelig i mål! VAnytt.no; 2017 [Available from: <https://www.vanytt.no/2017/09/05/nodig-challenge-er-fullfort/>].
38. Stiftelsen VA/miljø-blad. VA-miljøblad nr. 97 Krav til PE-rør ved NoDig-utførelse 2010 [cited 2019 15.05.] Available from: <http://www.va-blad.no/krav-til-pe-ror-vednodig-utforelse/>.
39. Tracto-Technik. Grundoburst 400G 2019 [cited 2019 09.04]. Available from: <https://www.tracto-technik.com/Products/GRUNDOBURST-Static-pipe-bursting-systems/GRUNDOBURST-400G/>.
40. Kjosavik F. Fremtidig utbygging- skal etterhvert bygges ut i nærrområde til Bratsbergvegen. In: Sang Munn Kim MV, Jens Fjereide, editor. 2019.
41. Gjervan AS. Trondheim: Gjervan; 2019 [cited 2019 25.04.19]. Available from: <https://gjervan.no/>.
42. Statens vegvesen. Vegkart (Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen) [cited 2019 27.03]. Available from: <https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/@600000,7225000,3>.
43. Norges geologiske undersøkelse. Kart arealinformasjon [cited 2019 05.05] Available from: <http://geo.ngu.no/kart/arealis/>
44. Google Maps. Nordslettvegen. Google.com: Google; 2019 [cited 2019 16.05]. Available from: <https://www.google.com/maps/search/google+maps/@63.3861711,10.4071074,545m/data=!3m1!1e3>.
45. Norges geologiske undersøkelse. kart nasjonal løsmassedatabase 2019 [cited 2019 05.05] Available from: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

46. Trondheim kommune. Standard kart. [cited 2019 27.03] Available from:
<https://kart5.nois.no/trondheim/Content/Main.asp?layout=trondheim&time=1553689208&vw=r=asv>.
47. TrønderEnergi Nett AS. Arbeid nær nettanlegg. Trønderenergi, editor. TrønderEnergi Nett; 2019 [cited 2019 09.05.] Available from: <https://tronderenerginett.no/tjenester/graving>
48. Sand K. R.878 Neptunvegen. [Geoteknisk rapport] Trondheim kommune; 1992 [updated 03.07.1992. Available from:
<https://kart.trondheim.kommune.no/braArkivWeb/IntegrationSearch.aspx?pageid=7&arknr=2&tabnr=1&headertext=Innsyn&pagetext=Geotekniske%20rapporter&innsyn=true&HideSearch=true&Rapportnr=R.0878>.
49. Fjellanger. R_0217 [Geoteknisk rapport]. Trondheim: Fjellanger; 1967 [updated 7.6.1967. Available from:
<https://kart.trondheim.kommune.no/braArkivWeb/IntegrationSearch.aspx?pageid=7&arknr=2&tabnr=1&headertext=Innsyn&pagetext=Geotekniske%20rapporter&innsyn=true&HideSearch=true&Rapportnr=R.0217>.
50. Norsk Vann. VA-Norm: 7.14 Avstand mellom kummer. Trondheim kommune; 2017 [Available from: <http://www.va-norm.no/dokument/7-transportssystem-overvann/7-14-avstand-mellom-kummer/?source=126&override=1&real=5714&l=nb>.
51. Norsk Vann. VA-Norm: 6.14 Avstand mellom kummer. Trondheim kommune; 2017 [Available from: <http://www.va-norm.no/dokument/6-transportssystem-spillvann/6-14-avstand-mellom-kummer/?source=126&override=1&real=5674&l=nb>.
52. Klingenberg M. Slik fungerer teknologien som gjør det mulig å legge vannrør i bakken uten å grave. Teknisk Ukeblad Media; 2017 [updated 05.09.2019. Available from:
<https://www.tu.no/artikler/slik-fungerer-teknologien-som-gjor-det-mulig-a-legge-vannror-i-bakken-uten-a-grave/405225?key=eP6ZSsTW>.

53. Garathun MG. Har du teknologien for å legge rør uten å grave? TU.no: Teknisk Ukeblad Media; 2014 [Available from: <https://www.tu.no/artikler/har-du-teknologien-for-a-legge-ror-uten-a-grave/225743>].
54. Klingenberg M. Fant ny løsning som gir gravefri tilkobling av hus til hovedvannledning. Teknisk Ukeblad Media; 2017 [updated 18.10.2019. Available from: <https://www.tu.no/artikler/fant-ny-losning-som-gir-gravefri-tilkobling-av-hus-til-hovedvannledning/409344>].
55. Oslo kommune Vann- og avløpsetaten, Hawle Water Technology. NoDigChallenge [lysbilde fremvisning] Hallingtreff; 2018 [Available from: http://hallingplast.blob.core.windows.net/media/1012/t-1550_nodigchallenge-sigurd-og-borghild.pdf].
56. Wavin. Trenchless installation Compact pipe wavin.com: Wavin; 2019 [Available from: https://www.wavin.com/de-de-/media/Products/2018/01/29/21/06/41488_WavinProduktinformationCompactPipeJuliEnglisch.pdf.ashx].
57. Wikipedia commons. Plan-Do-Check-Act Demining circle; 2010 [Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deming_PDCA_cycle.PNG].
58. Norsk Vann. Protokoll fra Norsk vanns årsmøte 2017. [Available from: https://norskvann.no/files/docs/B%C3%A6rekraftstrategi_2017.pdf].

Vedleggsliste

Vedleggsnummer	Beskrivelse
Vedlegg 1	Plakat
Vedlegg 2	Artikkel
Vedlegg 3.1	Vannuttak fra kum
Vedlegg 3.2	Tabell med eksisterende ledninger, dimensjon og ruhet
Vedlegg 3.3	Tabell over trykk for høyest forbruk ved vanlig konsum
Vedlegg 3.4	Tabell over trykk for høyest forbruk ved vanlig konsum, med antatt reelt vanntrykk
Vedlegg 3.5	Tabell over trykk for høyest forbruk ved vanlig konsum, med antatt reelt vanntrykk og redusert dimensjon på vannledningene
Vedlegg 4.1	NS 3420 poster for utregning av pris
Vedlegg 5.1	Oversikt over kummer
Vedlegg 5.2	Oversikt over rørtversnitt
Vedlegg 5.3	Masseberegninger for åpen grøft Novapoint
Vedlegg 5.4	Volumberegninger NoDig Bratsberg-, Neptun- og Saturnvegen
Vedlegg 5.5	Mengdebeskrivelse og pris
Vedlegg 5.6	Miljøregnskap åpen grøft
Vedlegg 5.7	Miljø: CO ₂ -Beregninger NoDig
Vedlegg 5.8	Tilstandsvurdering spillvanns- og overvannsledninger
Vedlegg 5.9	NoDig kalkulator
Vedlegg 5.10	Sosiale kostnader - vurdering
Vedlegg 5.11	H101 Plantegning, Bratsbergvegen
Vedlegg 5.12	H102 Plantegning, Bratsbergvegen
Vedlegg 5.13	H201 Plantegning, Nordslettvegen
Vedlegg 5.14	H202 Plantegning, Nordslettvegen
Vedlegg 5.15	H301 Plantegning, Saturn- og Neptunvegen
Vedlegg A	Epost – Trondheim kommune
Vedlegg B	Gravemelding TrønderEnergi
Vedlegg C	Epost – TrønderEnergi Nett
Vedlegg D	Kumkort Bratsbergvegen
Vedlegg E	Kumkort Nordslettvegen

Vedlegg F	Kumkort Saturnvegen og Neptunvegen
Vedlegg G	Avviksrapport
Vedlegg H	Rapport fra kamerakjøring
Vedlegg I	Strømkabler i Neptunvegen og Nordslettvegen