



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Overvannshåndtering i Øvre- og Nedre  
Korskirkeallmenningen

Stormwater management in Øvre- and Nedre  
Korskirkeallmenningen

**Karine Voje Rennesund**

**Martin Andersen**

**Erik Vikestrand**

BYG150 Bacheloroppgave - Bygg

Institutt for byggfag, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder HVL: Irene Holvik Johnsen

Veileder Asplan Viak: Fabian Tapia

Innleveringsdato 21.05.2021

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

## I. Forord

Denne bacheloroppgaven er utformet ved Institutt for Byggfag ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgaven markerer avslutningen på vår bachelorgrad ved linjen Byggingeniør. Oppgaven har et arbeidsomfang på 20 studiepoeng og er skrevet våren 2021 av Karine Voje Rennesund, Martin Andersen og Erik Vikestrand som alle går studieretningen *Miljø, plan og infrastruktur*.

Oppgaven er skrevet for Asplan Viak AS i samarbeid med Bergen Kommunes VA-etat, som begge har bistått med veiledning.

Tema for oppgaven er overvannshåndtering og bærekraftsanalyse for valg av løsning for overvannshåndtering. Tema for oppgaven ble valgt etter samtale med Leiv Petter Mjøs og egne interesser innenfor temaet *Rensing av overvann*.

Vi vil gjerne takke vår hovedveileder, Irene Holvik Johnsen for konstruktiv veiledning, hyggelige samtaler og oppfølging gjennom hele prosessen. Vi vil også gjerne takke vår kontaktperson i Asplan Viak, Fabian Tapia for jevnlig veiledning og fremskaffing av nødvendige data. Vi ønsker i tillegg å takke Marit Aase og Hildegunn Kvåle fra VA-etaten i Bergen kommune som har bidratt med praktiske råd, fremskaffing av data på eksisterende systemer, fremskaffing av kontaktpersoner og befaring på prosjektområdet.

For å skrive en oppgave som i stor grad er basert på arkeologiske begrensninger, kulturminner og grunnvannstand, og kunne sammenligne de ulike løsningsforslagene, har vi vært avhengige av erfaringer fra ulike aktører innenfor fagfeltet. I den forbindelse ønsker vi å takke Hans de Beer (Hydrogeolog/kvalitetsleder i NGU), Rory Dunlop (NIKU), Torbjørn Melle (Byantikvar), Bjørn Solnes Skaar (stipendiat), Leiv Petter Mjøs (Høyskolelektor), Kjetil Krogsrud (VAR-teknikk ingeniør i Asplan Viak), Reidar Kveine (Bærum kommune), Nazia Zia (Bergen Kommune), Knut Hellås (Prosjektleder/Senior Landskapsarkitekt) og Tor Andersson (Ingeniør VAR).

21. Mai 2021

		
Karine Voje Rennesund	Martin Andersen	Erik Vikestrand

## II. Sammendrag

I et område som Vågsbunnen, og spesielt i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, er måten man håndterer overvann på spesielt viktig for å ivareta sikkerhet for helse, miljø og infrastruktur. Grunnvannstanden skal samtidig opprettholdes, og skader på kulturlag i grunnen avverges.

Prosjektet er gitt av Asplan Viak AS, og bygger på overvannshåndtering i Vågsbunnen, i sentrum av *middelalderbyen Bergen*. Bakgrunnen for oppgaven er at BIR skal etablere bossug og fjernvarme i Vågsbunnen. I den forbindelse skal samarbeidsprosjektet «graveklubben» kartlegge og gjennomgå all teknisk infrastruktur før vurdering og prosjektering av tiltak for utbedring.

Utfordringer som kulturlag og forurensninger i grunnen, grunnvannssenkning, uklart og omfangsrikt nedbørsfelt, store nedbørsmengder og et klima i endring, setter store begrensninger på hvilke tiltak som kan gjennomføres.

For oppgaven er følgende problemstilling satt opp:

*Hvilke løsninger kan benyttes for å sikre bærekraftig overvannshåndtering i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen?*

I oppgaven har det blitt sett på ulike løsninger/metoder for å håndtere overvannet. Vi har tatt for oss *0-alternativet, konvensjonell graving, lettseparering, separering med «Laksetrapp-løsning» og utblokking.*

For å svare på problemstillingen har vi utarbeidet en bærekraftsanalyse, der de ulike alternativene vektet opp mot sosiale, økonomiske, miljømessige, tekniske og arkeologiske indikatorer. Hver av indikatorene representerer en utfordring i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen.

Av analysen kan vi se at løsningen *separering med «Laksetrapp-løsning»* kommer best ut, noe som innebærer at løsningen er den beste tekniske, minst belastende og dermed den mest bærekraftige løsningen for overvannshåndtering i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen.

### III. Abstract

In an area as Vågsbunnen, and especially in Øvre- and Nedre Korskirkeallmenningen, the way which surface water is handled, is particularly important to ensure safety for health, environment and infrastructure. The groundwater level must be maintained at the same time as damage to cultural layers in the ground is averted.

The project is provided by Asplan Viak AS, and is based on surface water management in Vågsbunnen, in the center of the *medieval city of Bergen*. The background for the thesis is that BIR wants to establish a garbage-suction and district heating solution in Vågsbunnen. In this regard, the collaborative project "graveklubben" will map and review all technical infrastructure before assessing and designing measures for improvement.

Challenges such as cultural layers and pollution in the ground, groundwater subsidence, unclear and extensive precipitation field, large amounts of precipitation and a changing climate, places great restrictions on which measures can be implemented.

For the thesis, the following problem is set up:

*Which solutions can be used to ensure sustainable surface water management in Øvre- and Nedre Korskirkeallmenningen?*

The thesis has looked at different solutions/methods for dealing with surface water. We have considered the 0-alternative, conventional digging, easy separation, *separation with "Laksetrapp-løsning"* and *utblokking*.

To answer the problem, we have prepared a sustainability analysis, in which the various alternatives are weighted with social, economic, environmental, technical and archaeological indicators. Each of the indicators represents a challenge in the Øvre- and Nedre Korskirkeallmenningen.

From the analysis we can see that the solution *separation with "Laksetrapp-løsning"* comes out as the best, which means that the solution is the best technical, least stressful for the environment, and thus the most sustainable solution for surface water management in Øvre- and Nedre Korskirkeallmenningen.



# IV. Innholdsfortegnelse

## Innholdsfortegnelse

<b>I.</b>	<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>II.</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>II</b>
<b>III.</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>IV.</b>	<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>IV</b>
<b>V.</b>	<b>Figurliste</b> .....	<b>VII</b>
<b>VI.</b>	<b>Tabelliste</b> .....	<b>IX</b>
<b>VII.</b>	<b>Terminologi</b> .....	<b>X</b>
<b>1.</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1	<i>Bakgrunn for oppgaven</i> .....	1
1.1	<i>Problemstilling</i> .....	2
1.2	<i>Oppgavens formål</i> .....	2
<b>2.</b>	<b>Prosjektområdet</b> .....	<b>4</b>
2.1	<i>Bergen Kommune</i> .....	4
2.2	<i>Vågsbunnen</i> .....	4
2.3	<i>Geografisk avgrensing</i> .....	7
2.4	<i>Dagens situasjon</i> .....	8
2.5	<i>Utfordringer</i> .....	12
2.5.1	<i>Kulturlag/grunnforhold</i> .....	12
2.5.2	<i>Forurensning i grunnen</i> .....	12
2.5.3	<i>Grunnvannssenkning</i> .....	12
2.5.4	<i>Nedbørsfelt/Nedbørsmengde</i> .....	13
2.5.5	<i>Gravedybde</i> .....	14
2.5.6	<i>Klima i endring</i> .....	14
<b>3.</b>	<b>Metode</b> .....	<b>16</b>
3.1	<i>Litteratur og datainnsamling</i> .....	16
3.2	<i>Befaring</i> .....	17
3.2.1	<i>Befaring torsdag 28.januar 2021</i> .....	17
3.2.2	<i>Befaring ved Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen - onsdag 24. Mars 2021</i> .....	19
3.3	<i>Programvare</i> .....	23
3.4	<i>Beregninger</i> .....	24
3.5	<i>Analyser</i> .....	25
<b>4.</b>	<b>Teori</b> .....	<b>27</b>
4.1	<i>Overvann</i> .....	27
4.2	<i>Treleddsstrategien</i> .....	28
4.3	<i>Vannkvalitet</i> .....	29

4.3.1	Forurensninger i overvann .....	29
4.3.2	Rensing av overvann i byområder .....	31
4.4	Arkeologi i Vågsbunnen .....	32
4.5	Rasjonell metode (Den rasjonelle formel).....	34
4.6	Grunnvannssenkning .....	36
4.6.1	Grunnvann .....	36
4.6.2	Grunnvannssenkning .....	36
4.6.3	Hvordan motvirke grunnvannssenkning? .....	37
4.7	Ulike løsninger for infiltrasjon og lokal overvannshåndtering, LOD .....	37
4.7.1	Infiltrasjon av overvann .....	38
4.7.2	Fordrøyning .....	39
4.7.3	Belegningsstein som håndterer overvann .....	40
4.7.4	Frakobling av taknedløp .....	41
4.7.5	Areal tilrettelagt for oversvømmelse .....	42
4.7.6	Overvannshåndtering på vei .....	42
4.7.7	Alternative løsninger som ikke fungerer like godt i Vågsbunnen.....	42
4.8	Metoder for ledningsfornyelse.....	43
4.8.1	Konvensjonell ledningsfornyelse.....	43
4.8.2	NoDig – Gravefrie metoder.....	45
4.8.3	Lettseparering/«LessDig».....	47
4.9	Bærekraft.....	49
4.9.1	Bærekraft i vannbransjen .....	49
<b>5.</b>	<b>Presentasjon av aktuelle løsningsforslag .....</b>	<b>50</b>
5.1	, Alternativ 1, 0-alternativet.....	51
5.2	Alternativ 2, Konvensjonell løsning .....	51
5.3	Alternativ 3 Lettseparering – «LessDig» .....	53
5.4	Alternativ 4 Separering med «Laksetrapp-løsning» .....	55
5.5	Alternativ 5, NoDig-løsning med utblokking.....	57
5.6	Oppsummering av de ulike alternativene.....	59
<b>6</b>	<b>Bærekraftsanalyse .....</b>	<b>61</b>
6.1	Indikatorer .....	61
6.2	Systemgrenser .....	62
6.3	Poengsetting av indikatorer .....	62
6.3.1	Miljømessige indikatorer.....	62
6.3.2	Økonomiske indikatorer .....	64
6.3.3	Sosiale indikatorer.....	67
6.3.4	Tekniske indikatorer.....	69
6.3.5	Arkeologiske indikatorer.....	73
6.4	Oppsummering av poengsetting.....	75
6.5	Vekting av indikatorene .....	75
<b>7</b>	<b>Resultat og Drøfting .....</b>	<b>78</b>
7.1	Resultatet av analysen.....	78
7.2	Drøfting av resultatet.....	80
<b>8.</b>	<b>Oppsummering/konklusjon.....</b>	<b>84</b>
	<b>Referanseliste: .....</b>	<b>86</b>

<b>Vedlegg</b> .....	<b>97</b>
<i>Vedlegg 1: Bilder fra befarings</i> .....	97
<i>Vedlegg 2 – Beregning av driftskostnader</i> .....	97
<i>Vedlegg 3 – Beregning av dimensjonerende avrenning</i> .....	97
<i>Vedlegg 4 – Dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene</i> .....	97
<i>Vedlegg 5 – Målinger av miljøgifter</i> .....	97
<i>Vedlegg 6 – VA-anlegg - Temakart (separert/ikke separert)</i> .....	97
<i>Vedlegg 7 – Temakart, avrenningsretning av hovedeksisterende OV, AF-system</i> .....	97
<i>Vedlegg 8 – Skisser av de ulike alternativene, .....</i>	97
1- 0-Alternativet.pdf .....	97
2- Skisse-Konvensjonell-løsning.pdf .....	97
3- Skisse-Lettseparering.pdf .....	97
4- Skisse-«Laksetrapp-løsning».pdf .....	97
5- Skisse-Utblokking.pdf .....	97
<i>Vedlegg 9 – Lengdesnitt drens og infiltrasjonsdetaljer 613103-01-GH105 revZ</i> .....	97
<i>Vedlegg 10 – Plantegning drens og infiltrasjonsdetaljer 613103-01-GH100 revZ</i> .....	97

## V. Figurliste

Figur 1 - Vågsbunnen, prosjektområdet i sin helhet, (Kilde: Skjermtutklipp fra: <a href="https://bergen.maps.arcgis.com/">https://bergen.maps.arcgis.com/</a> ).....	2
Figur 2 - Bergen kommune, rød prikk markerer Vågsbunnen, (Kilde: <a href="http://www.bergen.maps.arcgis.com">www.bergen.maps.arcgis.com</a> , KPA2018) .....	4
Figur 3 - Området har gjennomgått få endringer med tanke på utforming og struktur. Bilde til venstre - historisk kart fra 1772, bilde til høyre - ortofoto fra 2019 (Kilde: Bergenskart.no). (gul = Korskirken, oransje = Domkirken, resterende fargeprikker tilsvarer lik kvartalsstruktur den gang, som i dag).....	5
Figur 4 – Temakart med Ledningsalder på ledninger i området, (Kilde: Asplan Viak Bergen, 2021).....	6
Figur 5 - Geografisk avgrenset område, (Kilde: skjermtutklipp fra Bergenskart.no) .....	7
Figur 6 - Skjermtutklipp som illustrerer ledningsnettet i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, (Kilde: Bergenskart.no, plankart) .....	8
Figur 7 - Skjermtutklipp lengdesnitt, drens- og infiltrasjonsdetaljer snitt 9, (Vedlegg 9), (Kilde: Multiconsult, 2014a) .....	9
Figur 8 - Voll nederst i Nedre Korskirkeallmenningen, privat .....	9
Figur 9 - Plantegning av drens- og infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen, (vedlegg 10) (Kilde: Multiconsult, 2014b) .....	10
Figur 10 - Skjermtutklipp av aktuelt nedbørsfelt, (Kilde: Bergenskart.no, KDP Overvann)....	13
Figur 11 - Prosjektområdet i sin helhet, (Kilde: Bergenskart.com) .....	17
Figur 12 - Kong Oscars gate, nordgående (høyre) og sørgående (venstre) fra Korskirkeallmenningen, privat.....	18
Figur 13 - Setningsskader på området, privat .....	19
Figur 14 - Geografisk avgrenset planområde, (Kilde: Skjermtutklipp fra Bergenskart.no).....	19
Figur 15 - Oversiktsbilde tatt øverst i Øvre Korskirkeallmenningen, privat.....	20
Figur 16 - Øvre Korskirkeallmenningen, sett fra Kong Oscars gate (venstre) og Lille Øvregaten (høyre), privat .....	21
Figur 17 - Ristluk på hver side av Øvre Korskirkeallmenningen oppstrøms for krysningen med Kong Oscars gate, privat .....	21
Figur 18 - Taknedløp tilkoblet grunnvannspumpe, privat.....	22
Figur 19 - Nedre Korskirkeallmenningen, sett fra Kong Oscars gate, privat.....	22
Figur 20 - Slitt dekke som bærer preg av setningsskader og oppsamling av vann, privat.....	23
Figur 21 - Infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen (venstre), utspyler (høyre), privat.....	23
Figur 22 - Skjermtutklipp fra NoDig - kalkulatoren .....	25
Figur 23 - Norsk Vanns treleddsstrategi, prinsippskisse (Kilde: Lindholm, m.fl., 2008, s.37)28	
Figur 24 - D-Rainclean, (Kilde: va-systemer, (u.å.)a) .....	31
Figur 25 - INNOLET-G, (Kilde: va-systemer, (u.å.)b).....	32
Figur 26 Steinmagasin, (Kilde: va-miljøblad nr. 104 (MFT, 2012)) .....	40
Figur 27 System A - full infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b).....	40
Figur 28 System B - delvis infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b) .....	41
Figur 29 System C - ingen infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b).....	41
Figur 30 - Anleggsbredde ca. 10 meter, (Kilde: Hansen, m.fl., 2010, s.39) .....	43
Figur 31 - (Kilde: Forskrift om graving og avstiving av grøfter, 1985, kap. 5b).....	44
Figur 32 – Utblokking med BÅSUMs innføringshode for innføring av to ledninger, (Kilde: BÅSUM Boring, (u.å.)).....	47
Figur 33 - Utblokking illustrert med innførings- og trekkegrop samt posisjonskontroll, (Kilde: Norsk Vann, u.å.) .....	47

Figur 34 Qmax Storm, (Kilde:Skjæveland, (u.å.)b).....	48
Figur 35 - Nomogram Storm Aqua Qmax storm, (Kilde: Skjæveland, (u.å.)a).....	48
Figur 36 - Skjermutslipp, FNs bærekraftsmål nr. 6 (Kilde: fn.no).....	49
Figur 37 - Skjermutklipp som illustrerer eksisterende ledningsnett, se Vedlegg 8 – 1- 0- alternativet, privat.....	51
Figur 38 - Tenkt skisse av den konvensjonelle løsningen med gitt dimensjon (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-2-Skisse Konvensjonell løsning, privat. ....	53
Figur 39 - Skisse av tenkt løsning, lettseparering med gitt dimensjon, (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-3 Skisse- Lettseparering, privat. ....	55
Figur 40 - Skisse av tenkt infiltrasjonsanlegg/«Laksetrapp-løsning», se Vedlegg 8-4-Skisse- «Laksetrapp-løsning», privat.....	57
Figur 41 - Skisse av tenkt løsning ved utblokking med gitt dimensjon, (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-5-Skisse- Utblokking, privat. ....	58
Figur 42 - "De tre sentrale dimensjonene i bærekraftsbegrepet" (Kilde: Norsk Vann rapport nr.205 - Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene, Enander, m.fl., 2014) .....	61

## VI. Tabelliste

Tabell 1 - Avrenningskoeffisienter, (Kilde: Bergen Kommune, 2005, s.13).....	34
Tabell 2 - K-verdier, (Statens Vegvesen, 2020, s.51) .....	35
Tabell 3 - Gravefrie metode for ledningsfornyelse, (Kilde: Svedal. M. B. (Asplan Viak), 2016).....	46
Tabell 4 - Oversikt over alternativene som vurderes til bærekraftsanalysen .....	50
Tabell 5 – Samletabell for indikatorer.....	61
Tabell 6 - Veiledende poengsetting.....	62
Tabell 7 - Klimagassutslipp, CO2 i anleggsfasen (Kilde: Asplan Viaks NoDig-kalkulator) ..	63
Tabell 8 - Antatt utslipp av forurensninger sammenlignet med 0-alternativet.....	64
Tabell 9 - Investeringskostnader .....	65
Tabell 10 – Driftskostnader.....	66
Tabell 11 – Livsløpskostnader .....	67
Tabell 12 - Belastning på beboere i anleggsfasen: .....	68
Tabell 13 - Befolkningens behov for å opprettholde fortids-/kulturminner .....	69
Tabell 14 - Tilpasningsdyktighet ovenfor nye krav til resing av overvann.....	70
Tabell 15 - Tilpasning til eksisterende infrastruktur .....	71
Tabell 16 - Forventet levetid .....	72
Tabell 17 – Påvirkning av grunnvannstanden .....	73
Tabell 18 – Påvirkning på kulturlag .....	73
Tabell 19 - Påvirkning på kulturlag.....	74
Tabell 20 - Oppsummering av poengsettingen .....	75
Tabell 21 – Vekting.....	76
Tabell 22 - Vekting med fokus på økonomi og tekniske indikatorer.....	77
Tabell 23 -Resultatet av bærekraftsanalysen etter vekting.....	78
Tabell 24 - Resultatet av analysen etter «kost/nytte»-vekting .....	79
Tabell 25 - Oppsummert resultat av analysen med begge vektingene .....	80

## VII. Terminologi

- Tabell: Faglige uttrykk, symbol og begrep

Begrep	
CO <sub>2</sub>	Kjemisk formel for karbondioksid. En naturlig gass som dannes når organisk materiale råtner eller brenner, og karbon frigjøres og binder seg til oksygen i luften. Dannes ved forbrenning av kull, gass og olje.
NoDig	Ledningsfornyelse med minimal eller ingen graving, ved fornyelse av eksisterende rør, eller etablering av nytt rør i ny trasé.
Norsk Vann	En ikke-kommersiell bransjeorganisasjon for vann- og avløpsvirksomhetene i Norge. Organisasjonen skal bidra til å oppfylle visjonen om rent vann ved å sikre bransjen optimale rammevilkår og legge til rette for en kostnadseffektiv kunnskapsutvikling og kunnskapsdeling.
Strømperenovering	Ledningsfornyelse med NoDig-metode for etablering av ny foring i eksisterende rør. Det benyttes en fabrikkfremstilt, fleksibel filt-/glassfiberduk tilpasset aktuell rørdimensjon og impregnert med kunstharpiks, som installeres og herdes i eksisterende rør som en selvbærende foring.
Utblokking	Ledningsfornyelse med NoDig-metode for etablering av nytt, helsveiset og strekkfast rør i eksisterende rør. Nytt rør kan ha samme, mindre, større eller vesentlig større dimensjon enn eksisterende rør. Alle rørtypen, materialer og dimensjoner kan utblokkes. Nytt rør påmontert en konisk rørutvider splitter/utvider det gamle røret og fortrenger omfyllingsmasser.
Konvensjonell løsning/ ledningsfornyelse ved åpen grøft	Ledningsfornyelse ved konvensjonell graving av grøft og etablering av nytt rør, til erstatning for det gamle røret.
Fellessystem	Avløpssystem hvor spillvann, overvann, drens vann og evt. takvann ledes bort i felles ledning.
Nedstrøms	I samme retning som strømmen, betegnet fra gitt punkt.
Oppstrøms	Motsatt retning av strømmen, betegnet fra gitt punkt.

Porevolum	Volumet av porer og hulrom i jord og fjell.
Permeabilitet	Gjennomtrengelighet: Overflaten eller massens egenskap til å infiltrere vann.
Infiltrasjon	Inntrenging av vann i løsmasser eller oppsprukket fjell.
IVF-kurve	Kurve hvor regnintensiteten fremstilles som funksjon av regnvarighet og frekvens. Intensitet – Varighet – Frekvens.
LOD – tiltak	Lokal overvannsdiskonering – lokal håndtering av overvannet.
Resipient	Mottaker. Brukes bl.a. om vannforekomster som mottar avløpsvann og overvann.
PAH	Kjemisk formel for polysykliske aromatiske hydrokarboner. En stor gruppe organiske forbindelser som dannes ved ufullstendig forbrenning av organisk materiale (FHI, 2020).
PCB	Kjemisk formel for polyklorete bifenyler. Tungt nedbrytbar miljøgift som gir økt helserisiko. Forbudt i Norge i dag (Ødegaard, 2014). Stoffet forekommer blant annet i murpuss og maling (Norsk gjenvinning, 2019).
Middelalderby	«En nåværende by som har hatt byutvikling siden middelalderen, og der deler av dagens bebyggelse ligger oppå rester av bebyggelse fra middelalderen» (Riksantikvaren, u.å.).
Infiltrasjonssandfang	Et infiltrasjonssandfang kombinerer de to viktige funksjonene, infiltrasjon og sandfang (Endresen, S, 2019).
Bærekraftig utvikling	Utvikling som tilfredsstillter dagens behov uten å ødelegge for fremtidige generasjoners muligheter til å få tilfredsstilt sine behov (Olerud m.fl., 2021).
Lettklinker	Et lett materiale brukt som lett fyllmasse med stort porevolum og god fordrøynings- og infiltrasjonsevne (Leca, 2017).
Sensitivitetsanalyse	En sensitivitetsanalyse kan vurdere robustheten til konklusjoner som trekkes fra forskningsstudier (Stavseth, 2020).
Masseutskiftning	Masseutskiftning vil si å fjerne løsmasser som ikke har tilstrekkelig bæreevne, og erstatte disse med masser som gir et godt fundament og god bæreevne (Øst Asphalt AS, u.å.).



# 1. Innledning

Vann og avløpsteknikk er en næring som arbeider for å levere tjenester til befolkningen og forvalter verdens viktigste ressurs - vann. Samlet sett har Norge en god, robust infrastruktur når det kommer til vann og avløp, men med et klima i endring, økende nedbørsmengde og mer intense regnskyll kreves utbedringer og nye løsninger på vann- og avløpsnettet.

Som en konsekvens av urbanisering, befolkningsvekst, økning i tette flater og et tidligere fokus på å føre vannet mest mulig effektivt bort fra det aktuelle området, har det i senere tid ført til grunnvannssenkning, skade på kulturlag i grunnen, økt avrenning og større flomtopper.

Ved etablering/fornyning velges ofte en løsning ved å gjøre en kost/nytte vurdering med enklere betraktninger (Sirnes, mf.l., 21). Dette er en prosess med stort potensiale for videreutvikling, for å kunne sikre at den valgte løsningen blir den mest bærekraftige på sikt. I forbindelse med dette har Norsk Vann vedtatt en nasjonal bærekraftsstrategi for vannbransjen med overordnet mål om at: «*Norsk vannbransje skal forvalte og utvikle vann- og avløpsinfrastrukturen på en måte som sikrer rent vann i springen og i naturen, og som bidrar til at Norge når sine bærekraftsmål*» (Norsk Vann, 2017). Bærekraftsstrategien sier også at man ved etablering av nye anlegg, skal dimensjonere kapasiteten for et fremtidig klima og at det skal tåle flere ekstreme nedbørsepisoder.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

I Vågsbunnen i Bergen sentrum ønsker Bergensområdets Interkommunale Renovasjonsselskap, BIR å anlegge bossug og fjernvarme. I den forbindelse skal samarbeidsprosjektet, «graveklubben», med BIR som prosjektleder, gjennomgå all teknisk infrastruktur i Vågsbunnen og fornye/retablere det som trengs å utbedres. Det skal blant annet anlegges bossnett, fjernvarme, VA-anlegg, EL-kabler, tele, fiber, brannvann og kabling til gatebelysning (Ali M., 2020).

Asplan Viak skal i forbindelse med forprosjektet kartlegge i hvilke gater ledningseierne ønsker å oppgradere infrastrukturen i. De skal vurdere hvorvidt gravefrie metoder kan benyttes, beregne eksisterende og nye overvannsmengder, fremlegge forslag angående overvannshåndtering og endringer i avrenning, kartlegging av flomveier og eventuelle tiltak. De ser også på hvilke gater de ulike aktørene ønsker å etablere ny infrastruktur i, og kartlegger aktuelle gravedybder med innspill fra kulturminneforvaltningen (Ali M., 2020).

Vi skal i forbindelse med dette se på ulike alternativer for overvannshåndtering i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, og sammenligne disse gjennom en bærekraftsanalyse. Analysen blir gjennomført for å kunne finne det beste tekniske og mest bærekraftige alternativet.



Figur 1 - Vågsbunnen, prosjektområdet i sin helhet, (Kilde: Skjermutklipp fra: <https://bergen.maps.arcgis.com/>)

## 1.1 Problemstilling

*Hvilke løsninger kan benyttes for å sikre bærekraftig overvannshåndtering i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen?*

For å på best mulig måte kunne svare på problemstillingen har vi valgt følgende underproblemstillinger:

- *Kan overvannet fordrøyes og infiltreres for å sikre grunnvannstanden?*
- *Kan det benyttes NoDig (gravefrie metoder)?*
- *Hvordan kan man rense det forurensede overvannet?*

## 1.2 Oppgavens formål

Gjennom oppgaven skal det ses nærmere på ulike alternativer for overvannshåndtering og hvordan overvannet kan håndteres og i størst mulig grad benyttes som ressurs.

Det mest helhetlige og bærekraftige alternativet skal deretter velges ved å sammenligne de ulike alternativene i en bærekraftsanalyse, hvor de veies opp mot ulike indikatorer som er aktuelle for området utover «bare» de tekniske og økonomiske. De ulike løsningene skal vurderes opp mot sosiale, miljømessige, økonomiske, tekniske og arkeologiske indikatorer hvor de vektet og rangeres. Alternativet som gir den laveste belastningen blir betraktet som den beste og mest bærekraftige.

## 2. Prosjektområdet

### 2.1 Bergen Kommune



Figur 2 - Bergen kommune, rød prikk markerer Vågsbunnen, (Kilde: [www.bergen.maps.arcgis.com](http://www.bergen.maps.arcgis.com), KPA2018)

Bergen Kommune er Vestland fylkes regionsenter og er en av Norges største byer. (Thorsnæs og Thune, 2020). Byen har gjennom årene fått kallenavnet «*Regnbyen Bergen*», da byen ligger langs kysten og topografiske forhold med de syv fjell, fører til store nedbørmengder (Moe, 2013). Bergen har godt ivarettat trehusbebyggelse, smale brosteinsgater og de syv fjellene er også en bidragsyter til at byen beholder sitt særpreg (Bergen kommune, 2020).

*«Alt vannet som faller ned har for øvrig ført til at Vann- og avløpsetaten innenfor kommunen er ledende innenfor sin virksomhet»* (Bergen kommune, 2020).

### 2.2 Vågsbunnen

Prosjektområdet, Vågsbunnen ligger i kjernen av Bergen sentrum og innenfor *middelalderbyen Bergen*, et område som er automatisk fredet etter kulturminneloven (Kulturminnesøk, u.å.). Det er her svært store arkeologiske- og bygningsmessige kulturhistoriske verdier, som omfatter kirker, ruiner og en rekke vernede hus fra 1700 til 1900-tallet. Innenfor dette området vil det ikke være mulig å gjennomføre større tiltak uten særskilt løyve fra Riksantikvaren. Ved store tiltak kan det være nødvendig å gjennomføre



tiltak som forhindrer forringing av området, herunder senkning av grunnvannstanden (Skagen, 2014, s.1). Mye har skjedd opp igjennom byens historie, og på 1200-tallet begynte man utfylling og utbygging av Vågsbunnen. Områdets bebyggelse var i stor grad preget av håndverk og boliger (Bergen kommune, 2021). I løpet av 1500-tallet ble det opprinnelige torget som tidligere befant seg på Bryggen flyttet til Korskirkeallmenningen (Bergen kommune, 2021). I forbindelse med brannen i 1702, ble sundet kalt Dybesund inn langs Korskirkeallmenningen fylt igjen.

Når man i dag observerer bebyggelsen i Vågsbunnen i likhet med Bryggen, kan man se at mye av den tidligere bebyggelsen i stor grad er gjenreist etter brannen (Bergen kommune, 2021). At Bergen tidligere har hatt som tradisjon å utbedre brannsikre steinkjellere over bakken, bidro etter brannen til at man sparte seg for en del arbeid i forbindelse med gjenoppbyggingen. Ved at denne tradisjonen var benyttet, bidro dette til at en del av steinbygningene i Vågsbunnen helt eller delvis ble stående etter brannen (Bergen kommune, 2021). Korskirken på området har også overlevd flere av byens katastrofebranner.

I dag består Vågsbunnen av en sammensatt bebyggelse, for det meste bestående av trehus og murgårder (Bergen kommune, 2021). Man har i stor grad klart å beholde den karakteristiske bebyggelsen i området i løpet av de siste 300 årene (Bergen kommune, 2021). Det er med tiden lagt et større fokus på å rehabilitere og pusse opp de ulike allmenningene og Bergen bys offentlige rom. Vågsbunnen blir i sin helhet ifølge Bergen kommune ansett som en «skjult perle», og en fremtidens bydel i Bergen sentrum, med store muligheter og utviklingspotensial (Bergen kommune, 2021).



Figur 3 - Området har gjennomgått få endringer med tanke på utforming og struktur. Bilde til venstre - historisk kart fra 1772, bilde til høyre - ortofoto fra 2019 (Kilde: Bergenskart.no). (gul = Korskirken, oransje = Domkirken, resterende fargeprikker tilsvarer lik kvartalsstruktur den gang, som i dag.

Et grundig reguleringsarbeid i Vågsbunnen ble av Bergen kommune gjennomført rundt midten av 1990-tallet. Dette arbeidet ble gjort for å sikre bevaringsverdig bystruktur og bebyggelse som befant seg i området fra middelalderen (Bergen kommune, 2021). Denne planen trådte i kraft i 1994.

Området har gjennomgått svært få omfattende forandringer siden byplanene fra 1860 til i dag.

Deler av VA-anlegget i grunnen er etablert rundt 1915 og 1930, som vist på temakartet under, og mye av overvannet går per i dag i avløp- fellesledninger.

De siste årene har deler av området blitt separert og utbedret i forbindelse med utbedringen av Kong Oscars gate, hvor Multiconsult har stått for prosjekteringen, se *Vedlegg 6, VA-anlegg (separert/ikke separert)*.



Figur 4 – Temakart med Ledningsalder på ledninger i området, (Kilde: Asplan Viak Bergen, 2021)



## 2.3 Geografisk avgrensning



Figur 5 - Geografisk avgrenset område, (Kilde: skjermtutklipp fra Bergenskart.no)

Geografisk er oppgaven avgrenset til Øvre Korskirkeallmenningen, og øvre del av Nedre Korskirkeallmenningen. Tematisk er det valgt å ikke gå i detalj på fornyingen av avløp-felles-/spillvannsledningene etter separasjon. Det er heller ikke foreslått en videre nedstrøms løsning for påkobling av samtlige overvannsledninger, da nedstrøms anlegg skal separeres i forbindelse med utbygging av bybanen, se Vedlegg 6 – VA-anlegg - Temakart (separert/ikke separert).

Ved hjelp av oppmålingsverktøyet i kommunekart.com ser vi at det gjennom Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen er en relativt jevn helning, med høydeforskjell på cirka 7 meter. Med lengde på 150 meter, gir dette et gjennomsnittlig fall på 4,6 %.

Det forekommer en del begrensninger i forbindelse med området rundt Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen. Graving i området anses som et problem blant annet med tanke på arkeologiske funn som kan befinne seg i grunnen. Etter samtale med fagpersoner er det anslått en gravedybde på 1-1,5 meter, før man risikerer å treffe på kulturlag (personlig meddelelse). I forbindelse med grunnvannssenkning i området forekommer det større utfordringer, da grunnen består av kulturlag og masser med lav infiltrasjonsevne og høy setningsømfintlighet (Skagen, 2014).

For å hindre at vannet trenger inn i kjellere på samtlige bygninger i området, pumpes det mengder grunnvann ut ved hjelp av grunnvannspumper i samtlige bygg (Multiconsult, 2015).

## 2.4 Dagens situasjon

### Eksisterende VA

Gjennom Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen går det i dag en avløp- fellesledning anlagt i hhv. 2011 og 2016, se *figur 4*. Ledningen har en diameter på 375 mm og mottar i dag spillvann fra oppstrøms og omkringliggende bebyggelse, samt overvann fra sluk øverst i Øvre Korskirkeallmenningen og fra sluk ved krysningen mellom Bankgaten og Nedre Korskirkeallmenningen.

Ved at overvannet havner i avløp- fellesledningen, kan dette medføre ulemper som avlastning av avløpsvann fra nettet til resipient ved at noe går i overløp, kapasitetsutfordringer på nettet nedstrøms og en dårligere renseeffekt ved avløpsrenseanlegg.

Overvann og overskuddsvannet det ikke er kapasitet til at kan infiltrere ved Korskirken, vil infiltrasjonssystemet på Nedre Korskirkeallmenningen motta (Multiconsult, 2015). Ledningen kobles her på avløp- fellesledningen som går fra Sparebanksgaten til Hollendergaten, se *Vedlegg 7, Avrenningsretning av hovedeksisterende OV, AF system*.

### Øvre Korskirkeallmenningen

Overvannshåndteringen i Øvre Korskirkeallmenningen er i dag løst ved at et stort flertall av takrennene er ført ut over fortauet og ut i gateløpet, og at overvannet renner av på overflaten ned til et sluk på hver side av veien. Overvannet føres her inn på overvannsledningen i Kong Oscars gate og videre ned. I Nedre Korskirkeallmenningen renner også overvannet på veiflatten og føres til sandfang i nederste del, hvor det er etablert et infiltrasjons-/fordrøyningsanlegg for å opprettholde og justere grunnvannstanden på stedet.

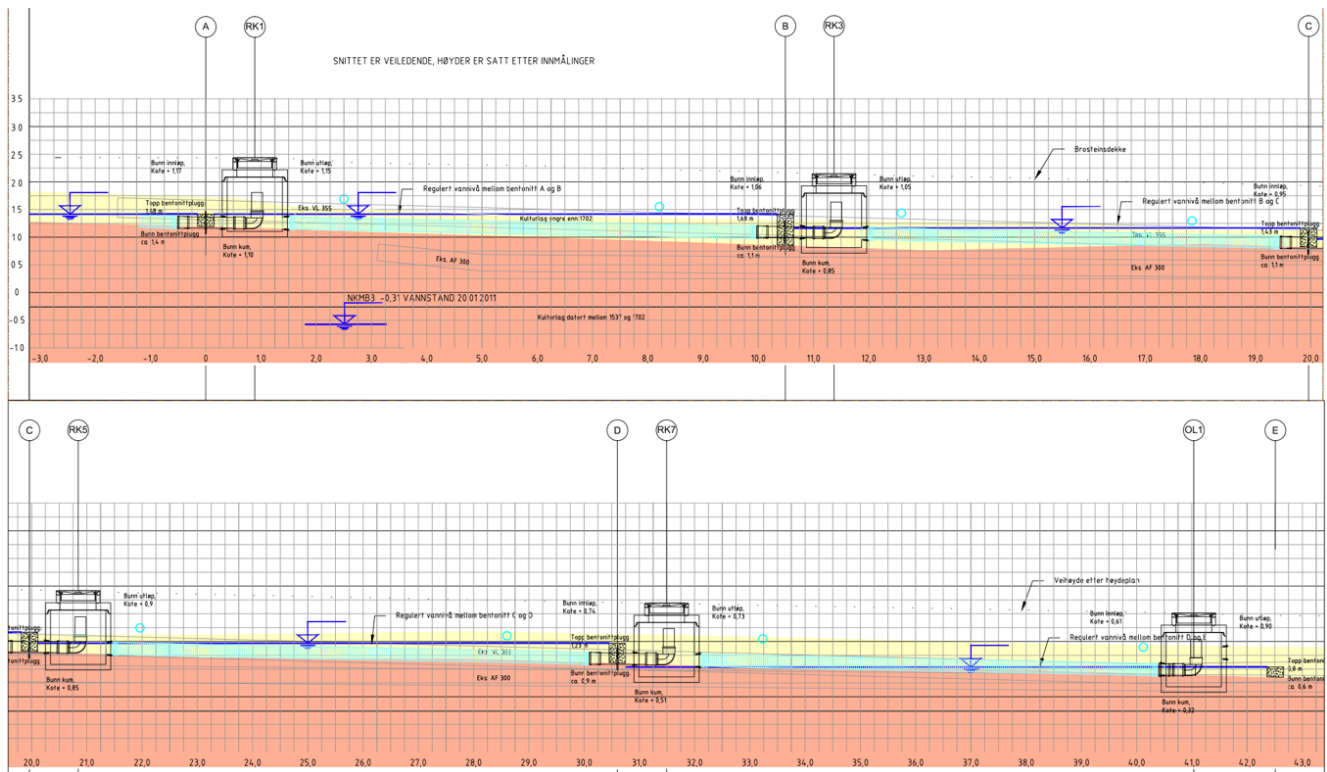


Figur 6 - Skjermtutklipp som illustrerer ledningsnettet i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, (Kilde: Bergenskart.no, plankart)



## Nedre Korskirkeallmenningen:

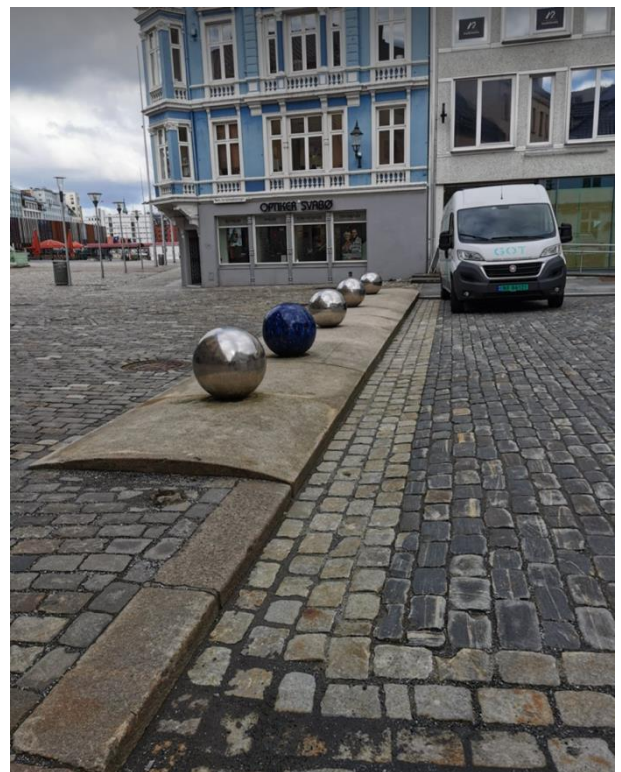
I nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen er det ferdigstilt et infiltrasjonssystem bestående av tette infiltrasjonskammer etter hverandre, adskilt med en bentonittplugg/bentonittdemning.



Figur 7 - Skjermutklipp lengdesnitt, drens- og infiltrasjonsdetaljer snitt 9, (Vedlegg 9), (Kilde: Multiconsult, 2014a)

Bentonittpluggene er støpt/muret og kledd i bentonitt oppå de øverste kulturlagene, og sørger for å begrense grunnvannsstrømmen og at det alltid står en viss grunnvannstand over kulturlagene.

Over kulturlagene er det fylt opp med en vegoverbygning, som i nederste del består av lettklinker/lettklinkerkuler (Multiconsult, 2015). Dette reduserer forråtnings-/setningspotensialet under vegen og avlaster grunnen, på samme tid som lettklinkerlaget vil fungere som infiltrasjonslag, isolasjonslag og fordrøyningsbasseng for infiltrasjonsvann (Multiconsult, 2015).

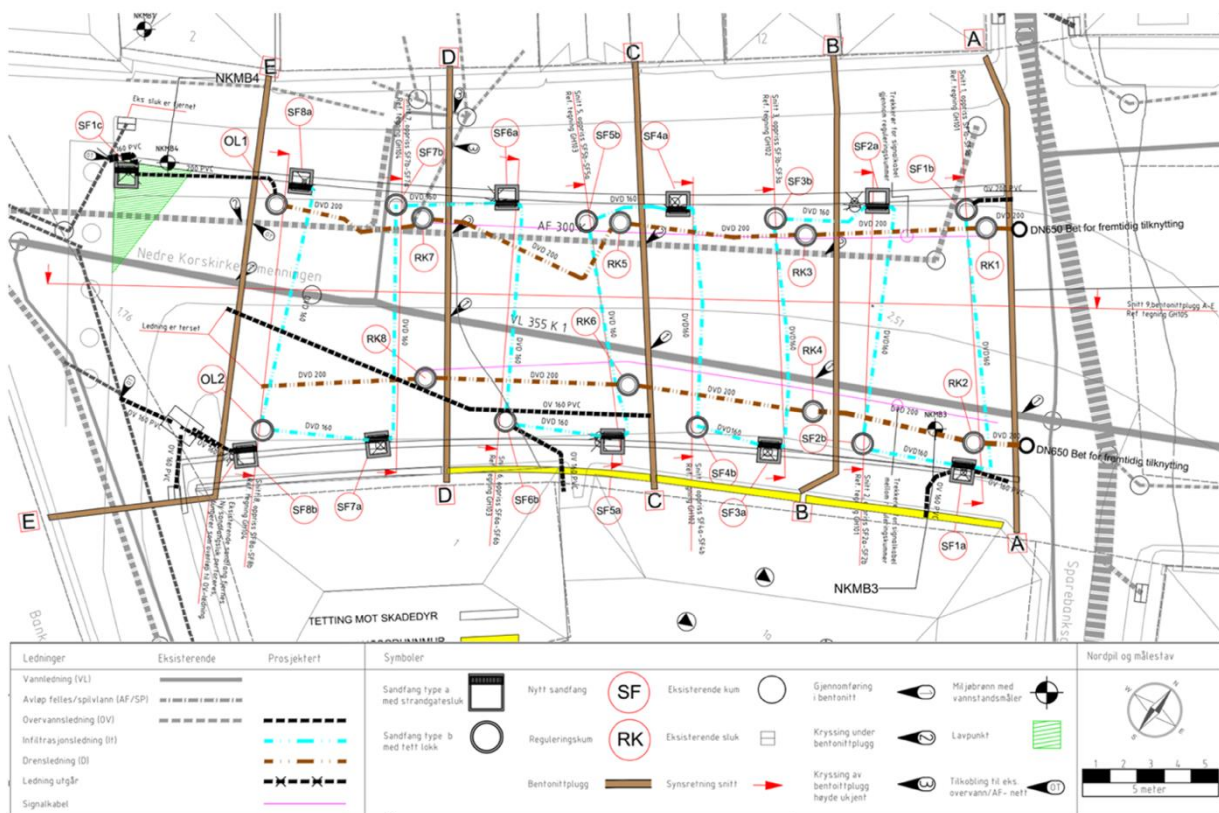


Figur 8 - Voll nederst i Nedre Korskirkeallmenningen, privat

Ved nedbørshendelser, føres overvannet fra Nedre Korskirkeallmenningen, omkringliggende bebyggelse og til dels Øvre Korskirkeallmenningen ned til sandfang og inn i anlegget, via drensledninger. Anlegget er konstruert slik at ønsket grunnvannsnivå kan reguleres ved å endre høyden på bend/stigerør på drenerør i kummer (Multiconsult, 2015).

I forbindelse med prosjektet ble det opprettet miljøbrønner som registrerer grunnvannstanden, og overvåker denne for at den ikke skal senkes ned til et kritisk nivå. Ved større nedbørshendelser vil vannet renne over bentonittdemningene/bentonittpluggene og til neste kammer. Etter siste kammer, går eventuelle overskytende overvannsmengder i et sluk i Bankgaten og inn igjen på avløp-fellesledning. I nederste del er det lagt opp til at området til en viss grad kan oversvømmes, til infiltrasjonsanlegget klarer å ta imot overvannsmengdene. Ved ekstreme nedbørshendelser renner overvannet over og ned til lavpunktet på Vågsallmenningen før det eventuelt renner over veien og ut i Vågen.

Anlegget ble i sin tid dimensjonert for å kunne motta overvann fra Korskirken og gater oppstrøms anlegget (Multiconsult, 2017a). Det ble prosjektert på en slik måte at det om ønskelig kan videreføres oppstrøms og mot andre gater (Multiconsult, 2015). Det er også tilrettelagt for at overvann i fremtiden skal kunne tilføres f.eks. fra kum i Kong Oscars gate.



Figur 9 - Plantering av drens- og infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen, (vedlegg 10) (Kilde: Multiconsult, 2014b)

Under utarbeidingen av anlegget, var Bymiljøetaten involvert med å ruste opp systemene for håndtering av overvann (Multiconsult, 2017a). Prosjekteringen og tester av anlegget er gjennomført av Multiconsult Norge AS, som også har vært en bidragsyter i forbindelse med overvåkingen av grunnen, og oppretting av et overvåkningsprogram for anlegget. Hovedfokuset for overvåkingen har vært å kunne overvåke setninger og grunnvannsnivå. Selve prosjektet med ferdigstillelsen av infiltrasjonsanlegget har vært ledet av Asplan Viak AS, ved Knut Hellås (Multiconsult, 2017a).

Når det kommer til funksjon og levetid på dette anlegget, legges det vekt på viktigheten dette har i forbindelse med anleggets drift og vedlikehold, og at denne holder seg på et nivå som er tilfredsstillende (Multiconsult, 2017a). Skulle anlegget fungere til sitt formål, vil dette kunne bidra til å redusere kostnader frem i tid for både veg, infrastruktur og bygninger på området. Kostnadene vil kunne reduseres ved en betydelig reduksjon av setningsskader på området (Multiconsult, 2017a).

Anlegget var ved ferdigstillelse innstilt til å gi en maksimal vannhøyde i infiltrasjonslagene. Høyden på grunnvannet vil kunne reduseres i en eller flere av infiltrasjonskamrene dersom man over tid ser at vannhøyden er for høy (Multiconsult, 2017a).

Det har også i forbindelse med planleggingen og utførelsen av infiltrasjonsanlegget vært stor usikkerhet rundt spørsmålet om hvor grunnvannspumpene pumper grunnvannet, og hvor disse pumpene er lokalisert (Multiconsult, 2017b).

I Multiconsult sin rapport om grunnvannspumper tilsendt fra Bergen kommune, ble det i 2016 utført undersøkelser av Vitek AS, der de ville undersøke kjelleren på det tidligere Sparebankbygget. Hensikten med disse undersøkelsene var å få greie på antallet pumper som befant seg i bygget, og hvor vannet ble pumpet (Multiconsult, 2017b).

### **Kong Oscars gate**

I Kong Oscars gate er det lagt opp til et omfattende infiltrasjon-/fordrøyningsanlegg bestående av bentonittplugger, slisserenner og fylling med lettklinkerkuler under Kong Oscars gate. Det er på samme måte som i Nedre Korskirkeallmenningen, også her lagt opp til etablering av grøftestengsler i bentonitt (Multiconsult, 2016b). Ved å etablere en slik løsning hindres overvann/grunnvann i å renne fritt i undergrunnen. I sonen langs gateløpet skal løsningen gi en økning av grunnvannstanden. Ved en slik løsning vil man kunne oppnå flere goder som økning av grunnvannstanden, som vil bidra til å redusere pågående forråtnelse som forekommer spesielt i trebjelkelag i bygg langs gaten (Multiconsult, 2016b). Denne økningen av grunnvannstanden kan redusere/stoppe de pågående setningene som har oppstått på

bygninger og veg, og vil fungere bevarende på kulturlagene (Multiconsult, 2016b).

Magasinene vil også med en viss kapasitet kunne fordrøye store mengder vann, og med dette bidra til forsinking av avrenningen nedstrøms, og vil derfor kunne fungere som flomdemping (Multiconsult, 2016b).

## 2.5 utfordringer

Prosjektområdet byr på ulike utfordringer i form av flere faktorer. Bergen kommune har tidligere utbedret samtlige gater i området.

### 2.5.1 Kulturlag/grunnforhold

Kulturlagene er en stor del av utfordringene man støter på i forbindelse med rehabilitering av nye rør og graving generelt på stedet. Det fremgår lite kunnskap om arkeologien generelt i området, og en utfordring i forbindelse med graving vil være å grave med en aktsomhet som ikke vil påvirke kulturlagene i minst mulig grad. Det skal i størst mulig grad unngås å eksponere kulturlagene for oksygen, lys etc., se *kapittel 4.4 Arkeologi i Vågsbunnen*.

### 2.5.2 Forurensning i grunnen

Forurensning i grunnen er også en av utfordringene som må tas i betraktning. Denne forurensningen forekommer i forbindelse med miljøgifter. En vesentlig bidragsyter til disse miljøgiftene er overvann fra byenes tette flater. Dette er blant annet tette flater som opprettes i forbindelse med fortetting, der asfalt, bygninger og biltrafikk er noen av faktorene som er med på å bidra til forurensningen. De miljøgiftene det fokuseres mest på i den sammenheng er tungmetaller, PAH og noe PCB, se *kapittel 4.3.1 Forurensninger i overvann*.

### 2.5.3 Grunnvannssenkning

Grunnvannssenkning fremgår også i forbindelse med overvann som en utfordring. Senkning av grunnvannet bidrar blant annet til problemer med kulturlagene i grunnen. Det gamle organiske materiale i kulturlagene vil brytes ned dersom det tilføres oksygen. Grunnvannets senkning vil kunne endre fasthet og volum på dem, og videre føre til setninger i grunnen. Man vil derfor i dette området måtte forsøke å hindre at grunnvannet senker seg, fordi nivået er såpass lavt at dersom dette ikke hindres, vil bygg og annen infrastruktur kunne kante og få store setningsskader, se *kapittel 4.6 Grunnvannssenking*.

Det er flere grunnvannspumper i byggenes kjellere. Disse pumper ut grunnvann fra under byggene og ned Kong Oscars gate. Når grunnvannstanden da i utgangspunktet er lav på

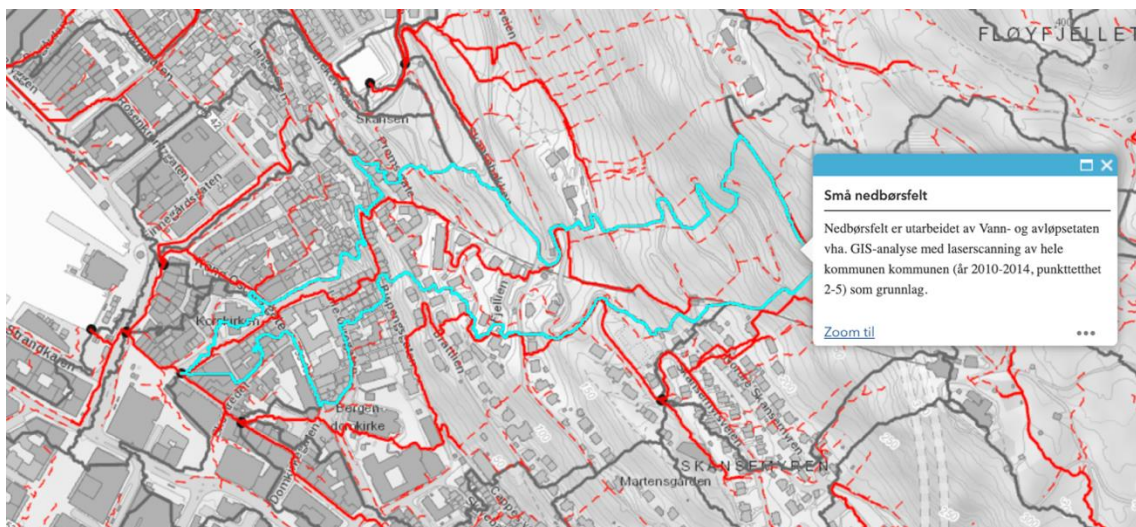


området, vil disse pumpene være en bidragsyter til at grunnvannet pumpes bort, som resulterer i for lav grunnvannstand. Det er derfor ved hjelp av det ferdigstilte infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen laget en løsning slik at pumpene pumper grunnvannet inn i anlegget for å opprettholde en høy nok grunnvannstand, se *kapittel 2.4 Dagens situasjon*.

#### 2.5.4 Nedbørsfelt/Nedbørsmengde

Uvissheten rundt omfanget av nedbørsfeltet byr også på utfordringer i forbindelse med prosjektet. Fra Bergenskart.no kan vi lese av et nedbørsfelt med avrenning til nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen med et areal på 82 128 m<sup>2</sup> eller 8,2 ha. Dette har en lavere oppløsning enn optimalt, og beregningene må dermed ses på som veiledende.

Nedbørsfeltet er langstrakt og strekkes på det lengste opp mot Fløyfjellet naturbarnehage, og et stykke opp i fjellsiden ved Fløibanen. Nedbørsfeltet har dermed vidt forskjellige delfelt med ulik infiltrasjonsevne og overflateavrenning, da det i øvre del består av skog og mark, og nedre del er preget av tette flater.



Figur 10 - Skjermutklipp av aktuelt nedbørsfelt, (Kilde: Bergenskart.no, KDP Overvann)

Etter beregning med den rasjonelle metoden, er den dimensjonerende avrenningen som skal håndteres beregnet til 1291 l/s, se *Vedlegg 3 – Beregning av overvannsmengder*. Hele området må ses i sammenheng ved en konkret beregning av overvannsmengder. Ved beregning med den rasjonelle metoden tar man ikke hensyn til overvannsmengdene det eksisterende systemet oppstrøms håndterer, eller overvannsmengdene som håndteres i Kong Oscars gate. Vi kan dermed si at 1291 l/s er et robust overslag.

I forbindelse med utbedringen av Kong Oscars gate, ble det utarbeidet en urbanhydrologisk 3D modell, og mer nøyaktige beregninger for dimensjonering av de ulike

delstrekene i Kong Oscars gate, hvor en av forutsetningene var at gaten avskjærte alle nedbørsfelt (Skagen, H, 2014).

I krysningen mellom Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen og Kong Oscars gate ble det den gang beregnet en maksimal overvannsmengde på 616 l/s. Likevel ble røret kun dimensjonert for å kunne ta imot 262 l/s, fra dette tverrsnittet (Multiconsult, 2016a). Det vil si at røret allerede er overbelastet ved en dimensjonerende nedbørshendelse. Som avbøtende tiltak, skal det eksisterende infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen kunne ta imot overvannet fra Korskirken og gater oppstrøms (Multiconsult, 2017a).

### 2.5.5 Gravedybde

Etter samtaler med kontaktpersoner i Bergen kommune VA-Etaten, ved Hildegunn Kvåle, Marit Aase og Kjetil Krogsrud i Asplan Viak, er det fastslått en gravedybde på mellom 1 og 1,5 meter før man treffer på kulturlag, basert på deres erfaringer i tilsvarende områder. Ved å grave grunnere enn 1 – 1,5 meter gir dette et større spillerom for ulike tiltak (personlig meddelelse).

Det anses ifølge Norconsults rapport at dersom man ikke graver dypere enn 1 meter i dette området, vil man trolig ikke treffe de automatisk fredete kulturlagene (Norconsult, 2012).

### 2.5.6 Klima i endring

Klimaet er stadig i endring. Dette bidrar blant annet til flere kraftige nedbørshendelser som utfordrer avløpsnettets kapasitet (Haugård, m.fl., 2019).

Utfordringer som følger med intense nedbørshendelser vil være vannskader og tilbakeslag av avløpsvann i bygninger (Miljødirektoratet, 2019). Underdimensjonering og økt fortetting bidrar til å overbelaste avløpssystemet (Miljødirektoratet, 2019).

Klimafaktor er lagt inn i dimensjoneringen, og bidrar til å ta hensyn til fremtidens klima. Ved bruk av klimafaktor i dimensjoneringen av overvannssystemet vil tiltakene kunne bli større og få større kapasitet (Haugård, m.fl., 2019). Med større kapasitet vil man kunne klare å unngå større skader, og skadekostnader som kommer med dette (Haugård, m.fl., 2019).

I områder der det er utfordringer med overvann, vil det være hensiktsmessig å benytte seg av overvannstiltak som bidrar til å redusere høye kostnader knyttet til overvannsskader (Haugård, m.fl., 2019). Det er en utfordring å vite om det er mest hensiktsmessig å ordne opp i dagens problemer eller om man heller skal forsøke å forebygge for klimaendringer (Haugård m.fl., 2019). I artikkelen *Metode for valg av kostnadseffektive overvannstiltak i et endret*

*klima* skrevet av Haugård m.fl. fremstår det som mer lønnsomt å ordne opp i dagens problemer kontra å forebygge konsekvenser av klimaendringer (Haugård m.fl., 2019).

I Meld. St. 33 (2012-2013), *Klimatilpasning i Norge*, kommer det frem at det er ventet at årsmiddeltemperaturen vil stige med mellom 2,3 og 4,6 grader i Norge mot slutten av dette århundret, og beregninger viser at nedbøren vil kunne øke med mellom 5 og 30 % (Meld.St. 33 (2012 – 2013), s.5).

## 3. Metode

Som metode for innsamling av informasjon, er det benyttet publisert litteratur, fagpersoners innspill, Bergen kommunes datagrunnlag, befaringer og egne avveininger, for å løse problemstillingen på best mulig måte.

### 3.1 Litteratur og datainnsamling

Datainnsamlingen er gjerne det viktigste arbeidet ved oppgaven. Det å samle inn tilstrekkelig, god og troverdig data, har blitt lagt stor vekt på i første del av arbeidsperioden, noe som har gitt en god arbeidsflyt og et godt grunnlag for arbeidet videre. Innhenting av relevant fagstoff er basert på bøker, håndbøker, rapporter, Bergen kommunes retningslinjer for overvannshåndtering, fagrelevante tidsskrifter og annen teori hentet fra fag ved Høgskulen.

Det er under arbeidsprosessen hentet inn mye informasjon gjennom samtaler og møter med fagpersoner og kommuner som har sittet på relevant kunnskap, og erfaringer rundt ulike tema som har vært relevant for oppgavens innhold. Vi har i den forbindelse hatt god dialog med vår veileder Irene Holvik Johnsen, som har tilsendt en rekke dokumenter som har vært til stor hjelp. Bergen kommune, VA-etaten ved Hildegunn Kvåle og Marit Aase har også i stor grad bidratt med relevant dokumentasjon. Reidar Kveine i Bærum kommune har bidratt med erfaringsmessig kunnskap innenfor NoDig-metoder som utblokking. Byantikvaren, Torbjørn Melle har i denne prosessen bidratt med informasjon angående arkeologi og begrensninger innenfor dette fagfeltet. Hans De Beer ved NGU har bidratt med rapporter og informasjon rettet mot prosjektområdet, og satt oss i kontakt med Rory Dunlop ved NIKU Bergen.

Utover dette har vi vært i møte med VAR-teknikk ingeniør Kjetil Krogsrud ved Asplan Viak. Han har bidratt med erfaringsmessige gravedybder, kostnadsberegning og anleggserfaring i forbindelse med Bergen som middelalderby. Fabian Tapia ved Asplan Viak har vært vår kontaktperson i forbindelse med bacheloroppgaven, og har gjennom arbeidsprosessen bidratt med relevante opplysninger ved prosjektet, gjennomgang av prosjektet, kart og veiledning.

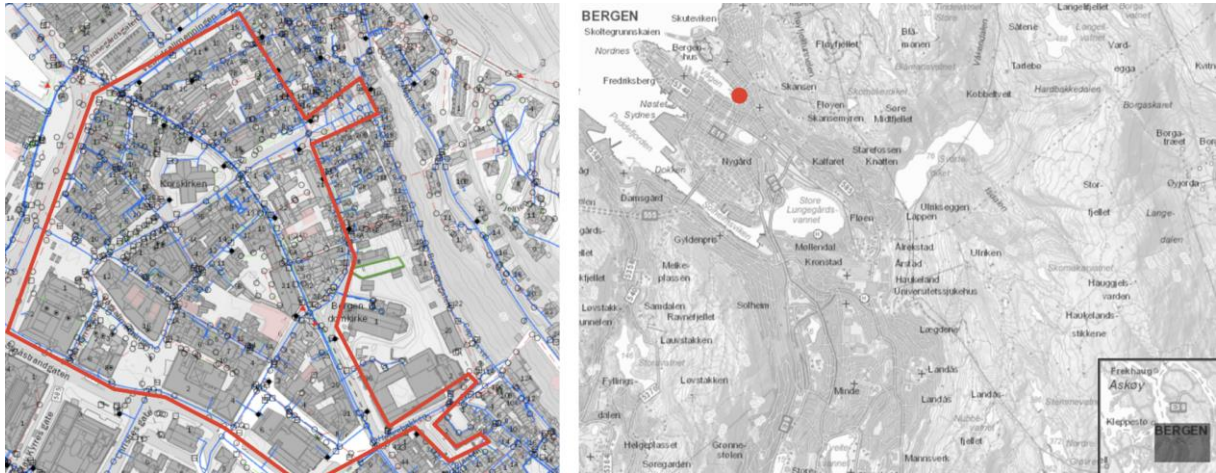
Mesteparten av innhentet litteratur er hentet fra:

- SOSI-filer med eksisterende ledninger og VA-anlegg
- Norsk Vann rapporter
- VA – miljøblad
- Boken Vann- og avløpsteknikk utgitt av Norsk Vann, skrevet av Hallvard Ødegaard



- Tekniske rapporter på området utbedret av Multiconsult
- Andre rapporter og relevante faglige artikler/tidsskrifter

## 3.2 Befaring



Figur 11 - Prosjektområdet i sin helhet, (Kilde: Bergenskart.com)

### 3.2.1 Befaring torsdag 28.januar 2021

Torsdag 28. januar 2021 gjennomførte gruppen en befaring gjennom hele Vågsbunnen.

#### 3.2.1.1 Mål

Hovedformålet med befaringen var å orientere seg og bli bedre kjent med området. Det ble fokusert på:

- Hvor det allerede er gjennomført en utbedring
- Hvor oppgaven kunne avgrenses geografisk
- Topografi - helning på området, og tilhørende områder
- Bebyggelse og uteoppholdsareal
- Oppbygging på veier og gangveier, tilstand og synlige overvannsløsninger

#### 3.2.1.2 Registreringer

I forkant hadde vi fått utdelt en enkel oversikt over hvilke områder som var utbedret og hvor det skulle utbedres. Vi la spesielt vekt på Kong Oscars gate da denne allerede var ferdigstilt, og observerte ulike løsninger som var valgt der kontra løsninger i tilstøtende områder som ikke er utbedret.



Figur 12 - Kong Oscars gate, nordgående (høyre) og sørgående (venstre) fra Korskirkeallmenningen, privat

Områdets topografi gir inntrykk av jevnt over svak helning i nord-østlig og sør-østlig del, samt et relativt flatt område i vest. Tilstøtende områder i øst har derimot en meget stor helning opp mot Fløyen.

Området er meget tett bebygd, med en stor andel tette flater, hvor uteoppholdsarealene er begrenset. Veiene og gårdsplassene er i stor grad preget av en brosteinskarakter, samt skifer og heller på fortau/gangareal.

Det blir flere andre steder observert setningsskader i vei og på konstruksjoner som tydeliggjør grunnvannsproblematikken på området.





Figur 13 - Setningsskader på området, privat

### 3.2.2 Befaring ved Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen - onsdag 24. Mars 2021



Figur 14 - Geografisk avgrenset planområde, (Kilde: Skjermutklipp fra Bergenskart.no)

### 3.2.2.1 Mål

Hovedformålet med befaringen var å begrense oppgaven geografisk, og se på allerede utførte løsninger på området. Det ble fokusert på:

- Overvannsløsningen i Kong Oscars gate
- Infiltrasjonsanlegget/«Laksetrapp-løsningen» i Nedre Korskirkeallmenningen
- Frakobling av taknedløp
- Arkeologiske begrensninger
- Planområdets topografi
- Tilstøtende områder

### 3.2.2.2 Registreringer

Befaringen ble utført en tid inn i prosjektfasen som medførte at gruppen hadde tilegnet seg bedre kjennskap til området, og i større grad satt seg inn i de ulike problemstillingene området stod ovenfor. Gruppen hadde også fått sett på ulike løsninger som kunne tas i bruk ved overvannshåndtering. Med på befaringen var fagansvarlig for avløpstransport i Bergen kommune, Marit Aase og Asplan Viaks VA-kontaktperson i Bergen kommune, Hildegunn Kvåle.

#### **Øvre Korskirkeallmenningen:**

Området disponeres i stor grad til gateparkering for beboere, og bærer preg av et aldrende asfaltdekke og setninger. Veien er her utformet med takfall.



Figur 15 - Oversiktsbilde tatt øverst i Øvre Korskirkeallmenningen, privat



Under befaringen ble det observert at det utenom i overkant av Lille Øvregaten, ikke finnes sluk i Øvre Korskirkeallmenningen. Det eneste sluket befinner seg ved krysningen mellom Korskirkeallmenningen og Kong Oscars gate, hvor det er ett ristsluk på hver side av allmenningen som er koblet på overvannsledningen i Kong Oscars gate.



Figur 16 - Øvre Korskirkeallmenningen, sett fra Kong Oscars gate (venstre) og Lille Øvregaten (høyre), privat



Figur 17 - Ristsluk på hver side av Øvre Korskirkeallmenningen oppstrøms for krysningen med Kong Oscars gate, privat





Det er allerede i stor grad frakoblede taknedløp, hvor takvannet føres ut i gaten og renner av på overflaten. Men ved samtlige tilfeller er taknedløpet koblet inn i kjellerne, hvor takvann og grunnvann pumpes ut for å hindre inntrenging i kjellerne.

*Figur 18 - Taknedløp tilkoblet grunnvannspumpe, privat*

### **Nedre Korskirkeallmenningen**



*Figur 19 - Nedre Korskirkeallmenningen, sett fra Kong Oscars gate, privat*

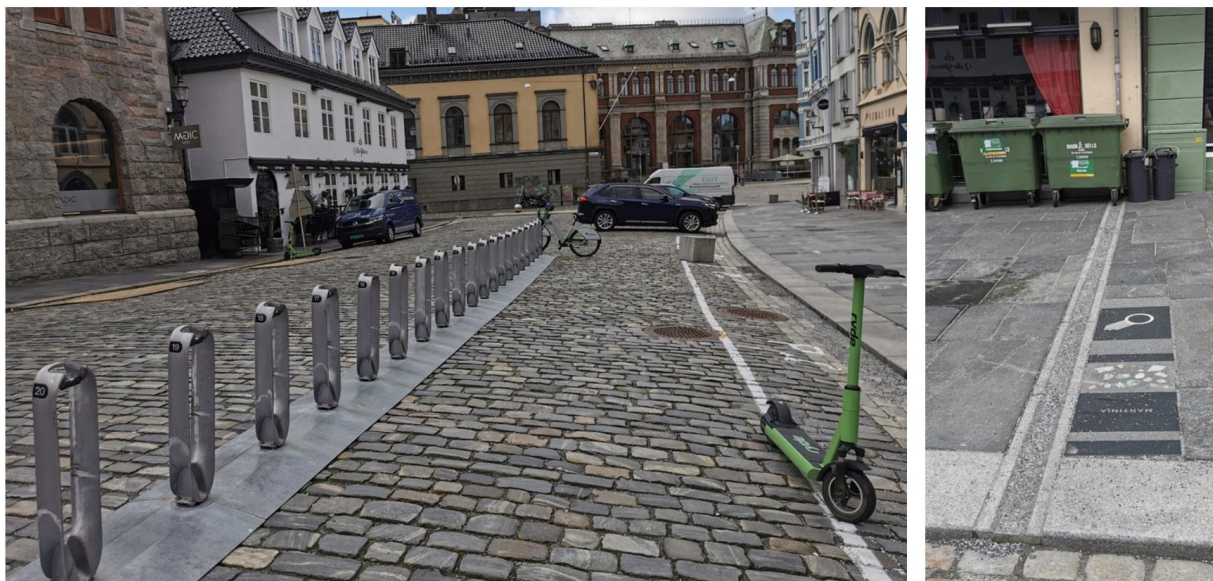
Det forekommer ingen sluk langs Nedre Korskirkeallmenningen, nedstrøms for Kong Oscars gate før man kommer ned til infiltrasjonsanlegget i nedre del. Dette innebærer at mesteparten av takvannet og de overskytende vannmengdene fra Øvre Korskirkeallmenningen og Kong

Oscars gate, i dag renner på overflaten og føres ned til infiltrasjonsanlegget.



Figur 20 - Slitt dekke som bærer preg av setningsskader og oppsamling av vann, privat

Infiltrasjonsanlegget i nedre del, med tilhørende ristsluk og sandfang, kledd igjen med brostein. Alle taknedløp på området er her koblet fra og ført over gangareal og ut til systemet som illustrert under. Arealet benyttes i dag som kantparkering og bysykkelparkering.



Figur 21 - Infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen (venstre), utspyer (høyre), privat

Mer omfattende bildesamling fra befaringsene finnes i Vedlegg 1, «Bilder fra befarings».

### 3.3 Programvare

Under utarbeidningen av oppgaven er det benyttet en rekke programvarer:

**AutoCAD**

AutoCAD er benyttet til å fremstille ulike kartdata og til å produsere illustrerende skisser av de ulike løsningene. Grunnlagskartet over området er fremstilt fra SOSI-filer fremskaffet av Asplan Viaks VA-kontaktperson, Hildegunn Kvåle i Bergen kommune.

#### **Kommunekart.com**

Gjennom prosjektet har nettstedet *Kommunekart.com* blitt brukt til å få blant annet en oversikt over området, og diverse oppmålinger av feltets lengder, areal og høydeforskjeller.

#### **Bergenskart.no**

Nettstedet *Bergenskart.no* er også blitt brukt gjennom arbeidet med prosjektet. Bruken av dette nettstedet har blant annet vært for å få en oversikt over den tekniske infrastrukturen under bakken, ved å benytte oss av Byggesakskartet med mulighet for visning av all teknisk infrastruktur i bakken (VA + TELE). Bergenskart er også benyttet til å fremskaffe historiske kart.

### 3.4 Beregninger

#### **Den rasjonelle metode**

Den rasjonelle metode er i oppgaven benyttet for å beregne et robust overslag av dimensjonerende avrenning, se *kapittel 4.5 Rasjonell metode (Den rasjonelle formel)/Vedlegg 3-Beregninger av dimensjonerende avrenning*.

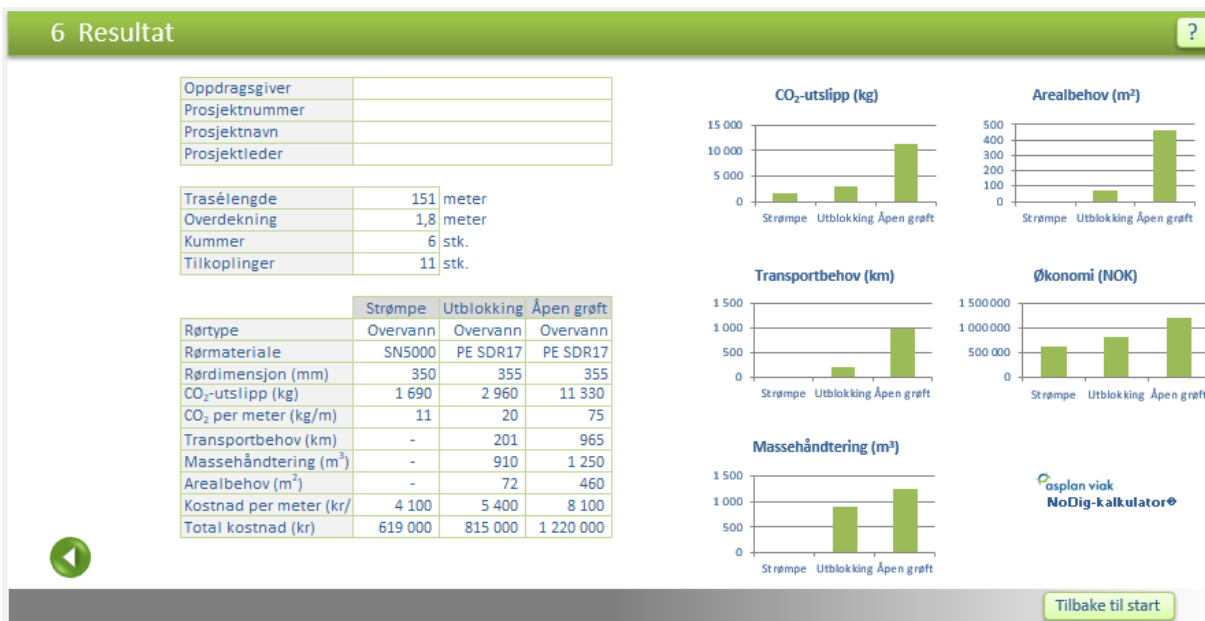
#### **Colebrooks formel**

For en enklere dimensjonering av de ulike løsningene er Colebrook-diagram benyttet. Selve Colebrook diagrammene som er benyttet er hentet fra boken *Vann- og avløpsteknikk*, av *Hallvard Ødegaard*, side 309.

#### **NoDig-kalkulatoren:**



For beregning og sammenligning av ulike metoder for ledningsfornyelse, har Asplan Viak utviklet en NoDig-kalkulator. Her kan man sammenligne full utskiftning ved konvensjonell metode, utblokking og strøpning av ledningstrasé. Ved bruk av denne kalkulatoren legges det inn trasélengde, terrengoverflate, overdekning, ledningstype og dimensjon. Man skriver også inn antall kummer og tilkoblinger, transportavstander, trafikktrasé, håndtering av gjenfyllingsmasser og antall rør i grøft. Derifra får man ut et overslag med sammenligning av kostnad, transportbehov, CO<sub>2</sub> – utslipp, arealbehov og massehåndtering ved ulike alternativ av ledningsfornyelse (Asplan Viak, 2010).



Figur 22 - Skjermutklipp fra NoDig – kalkulatoren, privat.

### 3.5 Analyser

I oppgaven har gruppen gjort en bærekraftsanalyse der de ulike løsningene settes opp mot hverandre, og sammenlignes opp mot ulike indikatorer fordelt på sosiale, miljømessige, økonomiske, tekniske og arkeologiske indikatorer. Ved å fokusere på bærekraft i analysen, hvor det skal tas hensyn til kommende generasjoner, vil det være viktig å velge de løsningene som gir minst komplikasjoner og belastning for de kommende generasjonene. Målet med å utføre bærekraftsanalysen er å komme frem til et omtrentlig svar på hvilken løsning som er best egnet og minst belastende, basert på de utvalgte indikatorene.

Under **sosiale indikatorer** har vi valgt «belastning på beboere i anleggsfasen» ettersom de ulike alternativene for etablering/fornyelse av overvannsledninger innebærer ulikt omfang ved anlegging som kan fremgå som en ulempe for beboere/interessenter.

I tillegg er indikatoren «befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner» (herunder opprettholdelse av grunnvannsnivå) valgt, ettersom det er i allmennhetens interesse å ta vare på kulturminnene som befinner seg i grunnen på området.

Under **miljømessige indikatorer** har vi valgt «klimagassutslipp CO<sub>2</sub> i byggefasen» da de ulike metodene innebærer et stort spenn med tanke på klimagassutslipp ved anlegging, ettersom det forekommer store forskjeller i transportbehov av masser, bruk av anleggsmaskiner og varighet. I tillegg har vi sammenlignet de ulike alternativene opp mot «antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet», da en del av overvannet i dag går til renseanlegg eller infiltreres direkte til grunnen, og det er viktig å se de nye alternativene opp mot dagens situasjon.

Under **økonomiske indikatorer** har vi valgt å ta med en grovt estimert installasjonskostnad, estimert driftskostnad og livsløpskostnad. Da hovedvekten i oppgaven ligger rundt de arkeologiske verdiene og opprettholdelsen av grunnvannsnivået, har de økonomiske indikatorene blitt vektet relativt lite. Dette kommer av at dersom grunnvannsnivået ikke blir stabilisert og utbedret og kulturlagene i grunnen brytes ned, vil det oppstå store setninger som vil påvirke både bygg og infrastruktur, og skape kostnader for samfunnet og enkeltpersoner.

*Vi har med dette valgt å vektlegge tekniske og spesielt arkeologiske indikatorer.*

Av **tekniske indikatorer** har vi tatt med «tilpasning til eksisterende infrastruktur», herunder tilpasning til det eksisterende infiltrasjonssystemet, og til eksisterende ledningsnett.

Når man tenker bærekraft, står også levetid sentralt og indikatoren «antatt levetid» er dermed tatt med. Her ser vi på hvor holdbare de ulike alternativene er opp mot dimensjonerende levetid på VA-anlegg (100 år).

I tillegg har vi valgt å ta med indikatoren «hvor godt opprettholdes grunnvannstanden», hvor de ulike alternativenes rent tekniske evne til å opprettholde og eventuelt heve grunnvannsnivået, vurderes.

En av indikatorene som veier tyngst er til slutt de **arkeologiske indikatorene**, herunder «påvirkning på kulturlagene», hvor de ulike alternativene sammenlignes ut fra i hvor stor grad de antas å berøre/skade kulturlagene under anlegging og i bruk.

Til slutt har vi valgt å ta med indikatoren «graving og omrøring av massene i anleggsfasen». Indikatoren er tatt med pga. de store utfordringene knyttet til graving i kulturlagene. Her sammenlignes de ulike alternativene ut ifra hvor mye de berører kulturlagene i anleggsfasen.

## 4. Teori

### 4.1 Overvann

Vann som renner av på overflaten som følge av regn og smeltevann betegnes som overvann (Miljødirektoratet, 2020). Overvann infiltrerer altså ikke i grunnen, men renner bare av på overflaten av tette eller semi-tette flater (Ødegaard, 2014). Dette er flater som blant annet vegger og tak.

En av utfordringene i forbindelse med overvann er kombinasjonen av kraftig regn og fortetting (Miljødirektoratet, 2020). Grunnen til at dette er en utfordring som forekommer i forbindelse med overvannsproblematikken er ifølge Miljødirektoratet, at stor og hurtig avrenning kan gjøre skade på både bygninger, infrastruktur, helse og miljø (Miljødirektoratet, 2020). Overvannshåndtering er en måte å lokalt disponere, trygt bortlede og eventuelt behandle overvannet som forekommer i et område. Formålet med en slik håndtering er å på en sikker måte kunne ivareta infrastrukturen, helsen og miljøet til omgivelsene, mens man samtidig har som fokus å ta vare på overvannet som en ressurs (Miljødirektoratet, 2020). I forbindelse med håndteringen av overvann forekommer det ulike løsninger som kan benyttes. LOD (lokal overvannsdiskonering) anses å være en av de moderne løsningene for å håndtere overvann i et område. LOD inngår som en samlebetegnelse på ulike løsninger som er med på å kompensere for konvensjonell overvannshåndtering (Kunduraci, 2016, s. 9). Tanken rundt bruken av lokale overvannsløsninger er å kunne håndtere vannet nær kilden, og i forbindelse med dette hindre at overvann ledes raskt og direkte til ledningsnett eller resipient (Kunduraci, 2016, s. 9). Bruken av lokale overvannsløsninger i et område skal bidra til at vannet finner seg naturlige veier via infiltrasjon i grunnen og/eller renner bort via dammer og åpne vannveier (Ødegaard, 2014). Tette flater og utbygging som opprettes i tettbebygde områder, bidrar ofte til oversvømmelseskader og blir ofte forsterket i byer (Ødegaard, 2014). Dette vil også være faktorer som kan bidra til store skader på avløpsnett, flommer i vassdragene og en økning i andre nedstrøms. Slike skader skal unngås ved å blant annet ha fokus på planleggingen av forsvarlige flomveger (Ødegaard, 2014).

Overvannet som kommer frem av sterkt trafikkerte områder og belastede bystrøk viser seg å inneholde miljøgifter og andre forurensninger (Ødegaard, 2014). Miljøgiftene som befinner seg i dette overvannet er stoffer som ikke ønskes direkte ut i følsomme vannforekomster.

Biltrafikken anses å være en stor kilde til forurensning av overvann. Dette er spesielt ved forbrenning av drivstoff, slitasje av bremsebelegg og slitasje av dekk (Ødegaard, 2014). Ugunstige stoffer oppstår også i forbindelse med ismelting etter en lang vinter og mye

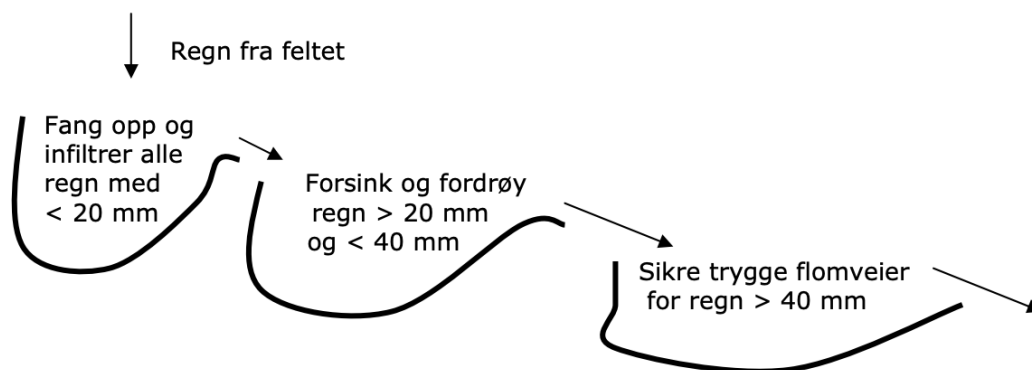
nedbør. Disse stoffene fraktes ned i overvannsledninger eller kombinerte avløp-fellesledninger (Ødegaard, 2014). En av miljøgiftene som oppstår i forbindelse med overvannsproblematikken er PCB, se. *kapittel 4.3.1 Forurensninger i overvann*.

For at overvannshåndteringen i et område skal kunne anses som god, bør den være godt tilpasset til de lokale forholdene og behovene området har. Løsningene som blir benyttet skal være bærekraftige (Ødegaard, 2014).

Bærekraftige løsninger vil nemlig kunne være en stor bidragsyter til å tilføre omgivelsene kvaliteter. Løsningene skal helst fungere gjennom alle årstider, og ved de ulike nedbørshendelsene vi står overfor ved et klima i endring. God håndtering av overvann vil også være viktig i arbeidet med å forebygge skader på anlegg (Ødegaard, 2014).

Dersom det benyttes LOD-løsninger vil faren for vannskader måtte vurderes. Det vil da være viktig å ha fokus på å unngå overbelastning av ledningsnett og lokale oversvømmelser (Ødegaard, 2014).

## 4.2 Treleddsstrategien



Figur 23 - Norsk Vanns treleddsstrategi, prinsippskisse (Kilde: Lindholm, m.fl., 2008, s.37)

Norsk Vanns treleddsstrategi er en bærekraftig strategi for håndtering av overvann. Her deles overvannshåndteringen i tre ledd ut ifra nedbørsmengder. Ved å følge denne kan skader forebygges ved at overvannet håndteres på en slik måte at sikkerhet for liv, helse og miljø er ivaretatt (Lindholm, m.fl., 2008, s.18).

Prinsippet er at man i første ledd fanger opp alt regn med en nedbørsmengde mindre enn et visst antall millimeter, og infiltrerer eller holder det tilbake lokalt på egen tomt (Lindholm, m.fl., 2008, s.37). Nedbørsmengdene det er snakk om i første ledd er de såkalte «dagligdagse nedbørsmengdene». Steder det blir ekstra viktig å holde igjen disse, vil være på områder med ellers tette flater som ved industri- og næringsanlegg, parkeringsplasser og på boligtomter med stor andel tette flater. Ved å fange opp og infiltrere alle *mindre nedbør*,

sikrer man den naturlige vannbalansen, minste vannføring i bekker og vassdrag, samtidig som man styrker det biologiske mangfoldet (Lindholm, m.fl., 2008, s.18).

I andre ledd, eller når nedbørsmengdene overstiger første ledds volum, skal de overskytende vannmengdene renne videre til anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen på en trygg og sikker måte (Lindholm, m.fl., 2008, s.37). Dette kan løses ved å anlegge åpne dammer og andre blågrønne strukturer eller lukkede magasiner under bakken.

De aller kraftigste nedbørshendelsene kan imidlertid komme med så stort volum at de normale systemene ikke vil kunne håndtere avrenningen alene. Treleddsstrategiens tredje ledd bygger på at man må anlegge åpne flomveier som kan lede disse volumene til egnet resipient på en trygg måte (Ødegaard, 2014). Formålet er å sikre minst mulig skade på omgivelsene, bygg og annen infrastruktur (Lindholm, m.fl., 2008, s.18).

## 4.3 Vannkvalitet

### 4.3.1 Forurensninger i overvann

Overvannet i Vågsbunnen er utsatt for en rekke forurensninger som blant annet stammer fra tidligere industri, nærliggende trafikk og forurensninger fra luften.

I en rapport fra Statens vegvesen om grunnundersøkelser og fundamentering vedrørende Kong Oscars gate og Vågsbunnen, finner vi en rekke analyseresultater fra undersøkelser av massene, hvor det kommer frem at en rekke uorganiske- og organiske stoffer ligger i grunnen, se *Vedlegg 5 – Målinger av miljøgifter*.

I forbindelse med håndtering av overvann fra byene og urbane veger, setter kommunen krav om lokal overvannsdisponering, etablering av vannveier og andre tiltak for tilpasning av klimaet når det gjelder nye utbyggingsområder (Ræstad, 2015).

Hovedutfordringene som viser seg å være vanskeligst i forbindelse med overvannshåndteringen, er allerede utbygde tettsteder og byer. Mange av områdene der det før var opprettet store grønne arealer, er i dag erstattet med tette flater, som f.eks. tak, betong og asfalt. I tilfellene der avløpsledningene blir overfylt, er det for det meste gatene som kan anses som eneste vannvei (Ræstad, 2015).

Med tanke på utfordringene som oppstår i forbindelse med overvannshåndtering og klimaendringer vil man trenge å tenke nytt. Store tilførsler av overvann til avløpsfellesledninger fører til forurensning i form av overløpsutslipp av fortynnet spillvann. Fortynningen medfører en nesten proporsjonal økning i samlet forurensningsmengde i restutslippet etter rensing (Ræstad, 2015). Dersom sandfang ikke tømmes, vil dette medføre

økte driftsproblemer med sedimentering i avløpsnett, økt risiko for vannskader og en økning i forurensning (Ræstad, 2015).

For miljøgifter som krom, kvikksølv, kadmium, bly, PAH og PCB er de årlige utslippene fra renseanleggene mindre enn utslippene i forbindelse med overvann fra tette flater i separatsystemene (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 2). Miljøgifter som kobber og nikkel har et mye større utslipp fra renseanleggene enn fra overvannet selv. Utslippene av kobber i renseanleggene vil mest sannsynlig kunne skyldes korrosjonsprodukter fra vannrør av kobber (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 7). Utslippene i forbindelse med overvannet fra områder med separat avløpssystem, fremstår som relativt dominerende med tanke på miljøgifter. Dette er spesielt gjeldende for de organiske miljøgiftene PAH og PCB. Det er påvist i prøver tatt i Vågsbunnen/Kong Oscars gate at det forekommer PCB på området (Multiconsult, 2012a). Dette stoffet har vært forbudt i Norge siden 1970-årene (Ødegaard, 2014). Stoffet er vanskelig nedbrytbart i miljøet og bidrar til økt helserisiko. PCB har tidligere vært innholdet i en del typer bygg- og anleggsavfall som f.eks. maling, fuger, murpuss og avrettingsmasse (Norsk gjenvinning, 2019). Selv om dette stoffet i dag er forbudt, vil det fremdeles kunne fremstå som et problem i forbindelse med forurensning av overvann, nettopp fordi det fortsatt forekommer i en del maling etc. (Norsk gjenvinning, 2019).

På tette flater i tørrværsperioder vil miljøgiftene kunne bygges opp som avsetninger. Miljøgiftene transporteres rundt på ulike måter, men de vanligste er ved nedbør eller snøsmelting. Disse hendelsene gjør at stoffene blir spylt ned i overvannsledninger eller til kombinerte fellesavløpssystemledninger (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 2), og herifra bidrar til å forurense vannet. I forbindelse med organiske miljøgifter vil en stor mengde av enkelte organiske miljøgifter gjennom overvann kunne transporteres til områder der miljøgiftene vil kunne deponeres, f.eks. til sjøsedimenter (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 2).

Miljøgiftene som oppstår i forbindelse med tette flater, kommer seg frem til vannforekomstene hovedsakelig gjennom tre mulige veier (Lindholm og Haraldsen, 2013):

1. ved direkte utløp fra overvannsledningene i de separate avløpssystemene
2. ved utslipp fra overløp i fellesavløpssystemer
3. ved utslipp fra avløpsrenseanleggene, der disse også betjener fellesavløpssystemer

Man må regne med alle disse tre punktene dersom man vil komme frem til det totale utslippet av miljøgifter som er generert av de tette flatene (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 3).

Over halvparten av de tette flatene som blir opprettet i byene i Norge er knyttet til et overvannssystem som ikke leder vannet rett til avløpsreanseanlegg (Lindholm og Haraldsen, 2013, s. 3).

#### 4.3.2 Rensing av overvann i byområder

Det er flere hovedutfordringer det legges spesielt vekt på ved rensing av overvann i byområder. Med tanke på klimaendringene som forårsaker større nedbørshendelser og mer vann som må håndteres, vil håndteringen av store vannmengder på kort tid anses som en stor utfordring (Åstebøl, 2007, s. 9). I forbindelse med overvann er en utfordring også forurensningsstoffer. Disse stoffene er med på å sette ulike prosessmessige krav til renseløsning (Åstebøl, 2007, s. 9).

Vi har i denne oppgaven valgt å fokusere på spesielt to løsninger som fungerer godt ved rensing. Det eksisterer også andre løsninger som bidrar til en viss rensing av overvannet. Dette er løsninger som blant annet regnbed og grønne tak. Disse er ikke spesielt egnet for akkurat dette prosjektområdet, se *kapittel 4.7.7 Alternative løsninger som ikke fungerer like godt i Vågsbunnen*.

#### **D-Rainclean:**

Rensekapasiteten ved dette systemet oppnås ved hjelp av utvalgte naturlige materialer som har høy utvekslingskapasitet og filtereffekt (va-systemer, u.å.)a). Rensesystem av denne typen har en infiltrasjonsrenne bestående av en plastikkrenne, fylt opp med substrat for rensing av overvann (va-systemer, u.å.)a). Plastikkrennen som er installert i systemet har 8 åpninger i bunnen.



Figur 24 - D-Rainclean, (Kilde: va-systemer, (u.å.)a)

Etter at det forurensede overvannet har blitt transportert forbi substratlaget i D-Rainclean, blir vannet som er rensert fraktet videre til infiltrasjon i de 8 åpningene i bunnen av rennen (va-systemer, u.å.)a). Systemet fanger opp regnvann fra blant annet veier, takarealer og parkeringsplasser (va-systemer, u.å.)a). Dette regnvannet er belastet med høye konsentrasjoner av forurensede stoffer. Systemet rensar deretter regnvannet til en ufarlig tilstand ut i jorden (va-systemer, u.å.)a).

## INNOLET-G:

INNOLET-G er et rensesystem utstyrt med en kum, en stålinsats og en filterpatron fylt med filtermedium (va-systemer, u.å.)b). Dette systemet fungerer ved at nedbørsvannet med sedimenter strømmer inn i kummen som har fått installert INNOLET-G (va-systemer, u.å.)b).

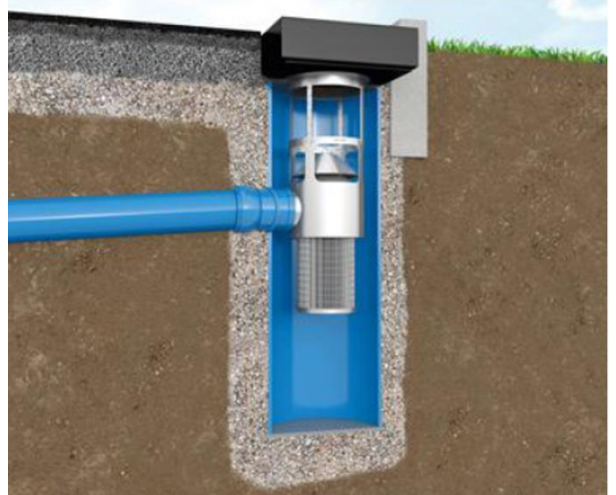
Nedbørsvannet styres av en distribusjonskjegle som fører vannet forbi innsatsen slik at den samler seg på bunnen av kummen (va-systemer, u.å.)b). Ettersom vannet stiger, vil nedbørsvannet strømme gjennom den monterte filterpatronen, som har et spesielt filtermedium montert innvendig (va-systemer, u.å.)b). Da denne prosessen er gjennomført, er vannet blitt rensert. Dette rensesystem vil kunne installeres i eksisterende kumløsninger uten at det er behov for å grave opp areal som allerede er etablert (va-systemer, u.å.)b).

Systemet er passende som løsning i kjøreareal, og bidrar til høy grad av rensing i forbindelse med tungmetaller og PAH (va-systemer, u.å.)b).

## 4.4 Arkeologi i Vågsbunnen

Bergen er en av de åtte byene i Norge som anses å være en middelalderby (Riksantikvaren, u.å.), se *kapittel 2.2 Vågsbunnen*. Vågsbunnen har vært et av middelalderbyens mest sentrale og betydningsfulle strøk ((NIKU, u.å.)b). Det er i området gjennomført færre arkeologiske undersøkelser, da særlig sammenlignet med Bryggen. Kunnskapen om denne delen av middelalderbyen er altså relativt liten ((NIKU, u.å.)b).

Det er tidligere gjort arkeologiske undersøkelser på nedre del av Øvre Korskirkeallmenningen, utført av arkeologene fra Norsk institutt for kulturminneforskning ((NIKU, u.å.)a). Grunnen til utførelsen av disse undersøkelsene, var at BIR skulle produsere en ny boss-kum. Denne skulle senkes ned i bakken ettersom arkeologene fra NIKU gravde



Figur 25 - INNOLET-G, (Kilde: va-systemer, (u.å.)b)



seg nedover i kulturlagene ((NIKU, u.å.)a). Området som ble undersøkt, befinner seg innenfor det automatisk fredete kulturminnet *middelalderbyen Bergen* ((NIKU, u.å.)a).

Miljøovervåkning er spesielt viktig i områder som Vågsbunnen, der prosjektet bidrar til endring av grunnvannstanden, for kortere og lengre tidsrom (Karlberg og Jerkø, 2009, s. 142). Hensikten med bruk av miljøovervåkning er å kunne undersøke i hvor stor grad kulturlagene kan bli påvirket dersom grunnvannet forandres betydelig etter byggeaktivitet (NIBIO, 2020, s.6).

Graving i områder med kulturlag i grunnen bidrar til skade på lagene ved at deler av lagene blir direkte berørt, men også ved at kulturlagene indirekte blir eksponert for lys, oksygen og nedbør (NIBIO, 2020, s. 6).

I Vågsbunnen har man kunnskap om at kulturlag forekommer, og det anses at man finner disse ved en gravedybde på rundt 1-1,5 meter, se *kapittel 2.3 Geografisk avgrensning*. Det er disse kulturlagene som er en stor bidragsyter til at graving på området blir en større utfordring. Ifølge ACES veileder for arkeologi i byggebransjen er kulturlagene «*bindeleddet mellom ruiner og gjenstander*» (Karlberg og Jerkø, 2009, s.112). Disse lagene «forteller» noe om den historiske utviklingen på området (Karlberg og Jerkø, 2009, s. 112). Det er blitt mer vanlig å benytte seg av boringer, for å på en enklere måte kunne kartlegge tykkelsen og bevaringstilstanden på kulturlagene (Karlberg og Jerkø, 2009, s. 169).

Det kommer frem av Norconsults rapport at kulturlag i *middelalderbyen Bergen* avsatt før 1536 er automatisk fredet (Norconsult, 2012). Kulturlagene som er yngre enn dette har ikke samme lovmessige vern, men det stilles ofte krav fra Riksantikvaren om at også lag fra 1600-1700-tallet skal registreres eller dokumenteres (Norconsult, 2012). Noe av grunnen til dette vil være at dersom de yngre kulturlagene fjernes, vil dette kunne medføre oksygentilgang i de dypere liggende fredete lagene. Ettersom prosjektområdet ligger innenfor *middelalderbyen Bergen*, må man regne med arkeologiske observasjoner under store deler av gravingen. Det vil ved slike observasjoner være en arkeolog til stede for å dokumentere eventuelle kulturlag, og hindre at de automatisk fredete kulturlagene går tapt (Norconsult, 2012).

Kulturminneloven og hva den står for er viktig å ta i betraktning når det er snakk om arkeologi. Dette er en lov som har blitt endret etter samfunnets behov over tid. Det sies i veilederen for arkeologi i byggebransjen, ACES at «*Kulturminneloven er Norges særlov på kulturminnefeltet og er meget sentral i forvaltning av arkeologiske kulturminner*» (Karlberg og Jerkø, 2009, s. 99).

## 4.5 Rasjonell metode (Den rasjonelle formel)

For å kunne dimensjonere de ulike overvannsanleggene og hvor mye som skal kunne håndteres, trenger man overslagsberegninger for avrenning. For å gjennomføre dette benyttes den rasjonelle metoden. Formelen egner seg best ved dimensjonerende overslagsberegninger av overvannsmengder, og er mye brukt innenfor små felt, mindre enn 20 – 50 ha og avrenningen er direkte tilknyttet til nedbøren (Ødegaard, 2014, S.346).

**Den rasjonelle formel er gitt ved:  $Q = \varphi * A * I * K_f$ .**

- $Q$  = Overflateavrenning fra feltet [l/s]
- $\varphi$  = Avrenningskoeffisient
- $A$  = Nedbørsfeltets areal [ha]
- $I$  = Nedbørsintensiteten [l/s\*ha]
- $K_f$  = Klimafaktor

### Avrenningskoeffisient, $\varphi$

Avrenningskoeffisienten,  $\varphi$ , angir et forhold mellom avrenning og nedbør over et område, og er mye brukt til å beskrive volum- og spissavrenningen fra urbane felt, og mindre tette flater som tak, veier og parkeringsplasser (Ødegaard, 2014, s. 347).

Avrenningskoeffisienten er avhengig av overflatens infiltrasjonsevne, oppbygging, fallforhold, nedbørsforhold og intensitet. Ved valg av avrenningskoeffisient bør de lokale forholdene vurderes nøye. Flate områder med stor avstand til grunnvannstand har gjerne lavere avrenningsverdier enn områder med større fall og kortere avstand til grunnvannstand (Ødegaard, 2014, s. 347). Tabell 1 viser veiledende verdier for avrenningskoeffisienter hentet fra Bergen kommunes *Retningslinjer for overvannshåndtering*.

Type flater	Avrenningskoeffisient $\varphi$
Tette flater (tak, asfalterte plasser/veger o.l)	0,85 – 0,95
Bykjerne	0,70 – 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60 – 0,80
Eneboligområder	0,50 – 0,70
Grusveier/-plasser	0,50 – 0,80
Industriområder	0,50 – 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 – 0,50
Fjellområde uten lyng og skog	0,50 – 0,80
Fjellområde med lyng og skog, steinet og sandholdig grunn	0,30 – 0,50

Tabell 1 - Avrenningskoeffisienter, (Kilde: Bergen Kommune, 2005, s.13)

Dersom et felt kan deles inn i mindre delfelt med ulike avrenningskoeffisienter kan midlere avrenningskoeffisient beregnes etter formelen:

$$\varphi_{midl} = (\varphi_1 A_1 + \varphi_2 A_2 + \dots + \varphi_n A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n).$$

### Nedbørsfeltets areal, A

Nedbørsfeltets areal er et område som har felles avrenning til en resipient. Grensen mellom de ulike nedbørsfeltene går langs vannskillet (Heggstad og Rosvold, 2019).

### Nedbørsintensiteten, I

Nedbørsintensitetens verdi, I, hentes fra IVF-kurver som igjen hentes fra *Norsk klimaservicesenter*. For å finne nedbørsintensiteten [ $l/s \cdot ha$ ] må vi vite konsentrasjonstiden  $t_k$  og gjentakintervallet for det aktuelle regnskyellet (Bergen kommune, 2005).

### Konsentrasjonstid $t_k$ :

Konsentrasjonstid er den lengste tiden en regndråpe bruker fra den faller på bakken i nedbørsfeltets fjerneste punkt, å nå fram til feltets utløp (Ødegaard, 2014, s.346).

Konsentrasjonstiden ( $t_k$ ) består av den lengste avrenningstiden på markoverflaten ( $t_s$ ) og strømmingstiden i ledninger, kanaler, grøfter o.l. (Bergen kommune, 2005, s. 14).

For konsentrasjonstid benyttes formelen:  $t_k = K * L_f * \Delta h^{-0,5}$ , beskrevet i Statens vegvesens håndbok V240. Formelen tar hensyn til feltets lengde, høydeforskjeller og overflatetyper (Statens vegvesen, 2020, s.51). K-Verdier er gitt etter tabell 2:

Overflate	K-verdi
Høy vegetasjon og busker	0,60
Tett skog	0,40
Plen og kort gress	0,25
Bart berg	0,12
Asfalt og betong	0,08

Tabell 2 - K-verdier, (Kilde: Statens vegvesen, 2020, s.51)

Ved dimensjonering ønsker man å finne maksimal avrenning, og setter dermed varigheten for regnskyellet lik konsentrasjonstiden for nedbørsfeltet (Ødegaard, 2014).

### Dimensjonerende gjentakintervall

Det dimensjonerende gjentakintervallet er den tiden det over et langsiktig gjennomsnitt forventes en slik nedbørshendelse (Ødegaard, 2014). Det aktuelle gjentakintervallet for by-/sentrumsområder i Bergen er satt til **20 år** (Bergen kommune, 2005, s.11).

### Klimafaktor, $K_f$

Klimafaktoren er en konstant sikkerhetsmargin man multipliserer med dagens dimensjonerende avrenning for å ta hensyn til forventet økning i fremtidig nedbør som følge av klimaendringer, se *kapittel 2.5.6 Klima i endring*.

Etter NOU 2015:16 anslås klimaverdien for nedbørsregion R4: Sørvestlandet til 1,16 (NOU 2015:16). Men vanlig praksis er at dette tallet ofte settes til 1,3 eller 1,4, noe som gir en ekstra sikkerhetsbuffer ved planlegging og dimensjonering av fremtidig nedbør.

### **Feilkilder**

Den rasjonelle metoden blir ofte omtalt som en «robust» metode for beregning av overslag, som ofte innebærer at man overdimensjonerer avrenningen. I et område som Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen med stort nedbørsfelt som strekkes over ulike overflater med ulik tetthet, store forskjeller i helningsforhold og eksisterende ledningsnett som tar unna noe av overvannet, er det vanskelig å fastsette en riktig avrenningskoeffisient.

Avrenningskoeffisienten kan også variere etter hvor mettede løsmassene i grunnen er og årstid.

Metoden tar ikke hensyn til eksisterende oppstrøms ledningsnett eller hindringer og brå endringer i helning, ved beregning av konsentrasjonstid,  $t_k$ .

Nedbørintensiteten er også usikker da man benytter seg av historiske målinger fra målestasjon, og klimafaktoren anses som usikker ettersom vi ikke vet hvordan klimaet vil utvikle seg.

## **4.6 Grunnvannssenkning**

### **4.6.1 Grunnvann**

Grunnvann er vann som befinner seg under jordoverflaten i jordens *mettede sone*. Den mettede sonen er der alle sprekker og porer i grunnen er fylt med vann. Grunnvannet finnes både i løsmasser og i fast fjell, og dersom vi setter ned et gjennomhullet rør, vil grunnvannet stille seg i et nivå vi kaller grunnvannsspeilet. På dette nivået er vannets trykk likt lufttrykket (Tollan, 2020). Grunnvannet finnes overalt, men avstanden ned til grunnvannsspeilet varierer veldig. Grunnvannsspeilet følger som regel terrengets nivå, men går ofte over i nivået på myrer, innsjøer eller havet. (Tollan, 2020). I forbindelse med etableringen av infiltrasjonsanlegget i Nedre Korskirkeallmenningen er det satt opp miljøovervåkning, noe som gir oversikt over grunnvannsnivået og dets utvikling, se *kapittel 4.4 Arkeologi i Vågsbunnen*.

### **4.6.2 Grunnvannssenkning**

I de naturlige omgivelsene vil regnvann infiltrere ned i grunnen og «mate» grunnvannet, men i urbane strøk med en større andel tette flater dekket med asfalt og andre tette materialer, føres

ofte vannet ut av området ved hjelp av et overvanns- eller avløpssystem. Dermed er det i mange tilfeller for lite vann i grunnen til tross for mye vann på overflaten (NGU, 2020).

I byene har det også vært en vanlig praksis å pumpe ut og drenere bort grunnvann for å forhindre at det skal komme opp i kjellere og fundament. Ved at grunnvannstanden senkes, kan bygg og konstruksjoner fundamentert på setningsømfintlige jordmasser få store problemer (NGU, 2019).

Grunnens stabilitet og bærende egenskaper er nemlig avhengig av jordartenes sammensetning og at grunnvannet i jordmassens porer opprettholder en viss spenning (Samferdsel & Infrastruktur, 2019). Ved at grunnvannet synker, senkes også trykket i jordmassenes porer og jordmassene komprimeres. Dette kalles *mekanisk setning* (NGU, 2019).

I tillegg til den mekaniske setningen kan ytterligere setninger oppstå i løsmasser med høyt innhold av organiske materialer. Arkeologiske verdifulle kulturlag blir regnet som ekstremt setningsømfintlige løsmasser ettersom de ofte er bygd opp av organiske materialer fra tidligere tre-fundament og organisk avfall (Samferdsel & Infrastruktur, 2019). Ved grunnvannssenkning tilføres jordmassenes porer luft og de organiske materialene vil begynne å brytes ned. Ved nedbrytning kan det oppstå ytterligere setninger som kan oppstå hurtig og medføre et stort skadepotensial (NGU, 2019).

#### 4.6.3 Hvordan motvirke grunnvannssenkning?

For å opprettholde en stabil grunnvannstand og forhindre større setningsskader er det viktig at grunnvannstanden opprettholdes ved å infiltrere vann til grunnen i urbane områder. Ved fallende poretrykk kan et aktuelt tiltak være å etablere ulike infiltrasjonsanlegg hvor overvannet i stedet for å bli ført bort fra området, infiltreres. Infiltrasjon av vann er ingen permanent løsning for å forhindre setningsskader i utsatte områder, men det er en løsning så lenge systemet får kontinuerlig tilsyn og vedlikehold (Samferdsel & Infrastruktur, 2019).

I rapporten *Heving av grunnvannsnivåer. Risikoer*, for Nedre Korskirkeallmenningen, er infiltrasjon av overvann og eventuelt annet vann i grunnen et av de viktigste tiltakene for å redusere setningsutviklingen i kulturlagene og de omkringliggende byggene (Multiconsult, 2015).

### 4.7 Ulike løsninger for infiltrasjon og lokal overvannshåndtering, LOD

I dette avsnittet presenteres ulike løsninger for overvannshåndtering.

#### 4.7.1 Infiltrasjon av overvann

Infiltrasjon er et begrep på «*inntrenging av vann fra overflate og ned i grunnen*» (Hongve, 2021). Overflateinfiltrasjon er en grunnleggende hydrologisk prosess for å opprettholde det hydrologiske kretsløpet, og en svært aktuell metode for bortledning og håndtering av overvann (Endresen S., 2009). I forbindelse med tradisjonell byutvikling opprettes det ofte en del tette flater. Disse er med på å redusere mengden infiltrert vann.

Ut ifra VA miljøblad nr. 92 er overflateinfiltrasjon en aktuell metode for bortledning og håndtering av overvann (Endresen S., 2009). Ved infiltrasjon vil behovet for bruken av overvannsledninger reduseres. Dette vil som regel fremstå som en miljømessig positiv virkning (Endresen S., 2009).

Dersom infiltrasjonsanlegg blir utført på rett måte, vil det bidra til flere positive effekter ved at flomfare, altså avrenningen holdes nede, eller at man vil forsøke å bevare grunnvannstanden i et område. Dette vil kunne gjennomføres ved å øke vannbalansen i det aktuelle området eller å til en viss grad rense overvannet ved bruk av infiltrasjon. (Endresen S., 2009).

Infiltrasjonsevnen er også en faktor som nevnes i VA miljøblad nr. 92. Denne blir ifølge miljøbladet påvirket av ulike faktorer som blant annet jordfuktighet, porøsitet, biologisk aktivitet, vegetasjon, jordart, nedbørens art, intensitet, terrengutforming, årstid og avstand til grunnvannsnivået (Endresen S., 2009). Når infiltrasjonen øker, vil overflateavrenningen minke. Dersom den hydrauliske ledningsevnen til jorden er tilstrekkelig for den vannmengden man vil infiltrere, vil det være mulig å infiltrere ulike vannmengder. Infiltrasjonen som forekommer i jorden, vil med tiden avta ettersom hulrommene/porene i jorden fyller seg med vann (Endresen S., 2009).

Etter Bergen kommunes *Retningslinjer for overvannshåndtering* bør man i tillegg til å utnytte vegetasjonsdekkede områder til infiltrasjon, også tilstrebe å benytte mer permeable dekketyper fremfor de tradisjonelle «tette» dekkene (Bergen kommune, 2005).

Det er ikke ønskelig at overvannet skal ledes til avløp-fellesledninger med mindre overvannet er sterkt forurenset. Et eventuelt behov for rensing av overvannet må vurderes i forhold til forurensningsgrad og resipientforhold (NGU, 2005, s.3)

Ved tilførsel av overvann til infiltrasjonsflater må overvannet spres utover slik at en oppnår en diffus fordeling til infiltrasjonsflaten da punkttilførsel gir dårligere fordeling og infiltrasjon, og kan medføre erosjon på arealet (Bergen kommune, 2005).

#### 4.7.2 Fordrøyning

Fordrøyning vil si å holde tilbake overvannet etter nedbør, for deretter å slippe vannet ut igjen når omstendighetene anses som mer kontrollert. Dette gjennomføres blant annet for å hindre flom (Storm Aqua, 2021).

Dette kan utføres på flere måter, som med blant annet bruk av regnbed, kummer, rør og fordrøyingsmagasiner. Dette er de vanligste løsningene man benytter i forbindelse med fordrøyning (Storm Aqua, 2021). Fordrøyingsmagasiner kommer i to hovedgrener, åpent og lukket volum.

Åpent volum er f.eks. rør og tanker, og har som fordel at systemet er lite sårbart for sand, grus og annet som kan tette igjen systemet (Storm Aqua, 2021).

Metoden har følgende fellestrekk (MFT, 2012):

- Bygges som ett eller flere magasin, og er en trygg tradisjonell løsning som normalt ikke er følsom ovenfor grunnvannstand. Metoden har integrert oljefelle ved dykket utløp og/eller skumskjerm, og er enkel og inspisere/tømme for sand og grus.

Lukket volum derimot er magasin eller kassetter som fylles opp med pukke eller lettklinker (Storm Aqua, 2021). De ulike massene som fylles i magasinet/kassetene avgjør hvordan vannet oppfører seg når det renner gjennom. Ved f.eks. bruk av Leca sine lettklinkerkuler kan lettklinkene ta opp vann å holde lenge på dette. De vil også til en viss grad kunne bidra til rensing av vannet (Storm Aqua, 2021).

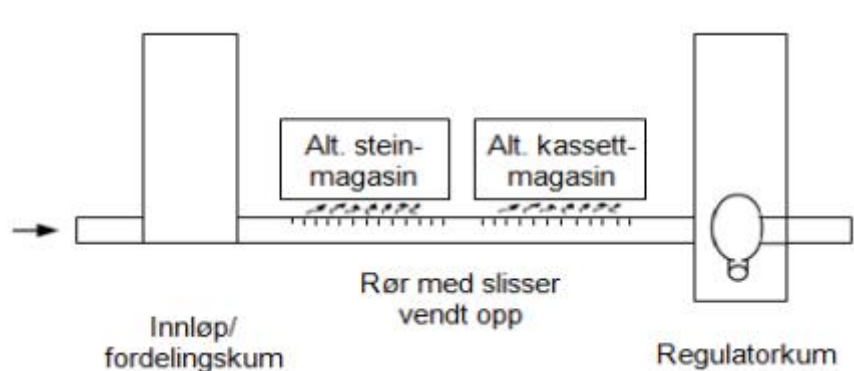
Metoden har følgende fellestrekk (MFT, 2012):

- Ved infiltrasjon; redusert magasinbehov, geoteknisk og hydrologisk kompetanse bør normalt innhentes.

Driftserfaringer er ikke dokumentert, og metoden kan være følsom ovenfor høy grunnvannstand og olje. Det vil være risiko for redusert levetid ved tilførsel av sand og grus, og det beskyttes mot inntrenging av finstoff ved å pakke inn magasinet i geotekstil, membran, steinstøv o.l. Denne metoden benyttes ved behov for å hindre infiltrasjon til omkringliggende masser.

Et steinmagasin kan ha følgende oppbygging:





Figur 26 Steinmagasin, (Kilde: va-miljøblad nr. 104 (MFT, 2012))

#### 4.7.3 Belegningsstein som håndterer overvann

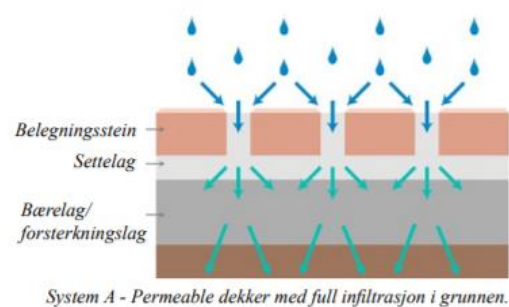
For å infiltrere og fordrøye overvannet, vil permeable dekker med belegningsstein (PDB) være en god løsning (Oslo kommune, 2016b).

Disse belegningssteinene består av tette betongelementer og fuger/åpninger, der steinmaterialer uten finstoff samler seg opp. Ved en slik løsning vil infiltrasjonskapasiteten være relativt stor (Oslo kommune, 2016b). Pukkmassene under et slikt dekke vil normalt kunne magasinere mye vann, og dempe eventuelle flomtopper. Skal dette tas i bruk må en del vurderinger tas til følge. Erosjons- og rasfare i grunnen må tas opp til vurdering, sammen med effekter av eventuelt økt grunnvannstand på nærliggende konstruksjoner (Oslo kommune, 2016b). Det må tas i betraktning at løsningen vil kunne være mindre egnet i gater med sporet kjøring med store aksellaster, og mye tilførsel av finstoff som jord, sand, gress og løv (Oslo kommune, 2016b).

I internasjonal litteratur fremgår det tre ulike prinsipper for PDB (Oslo kommune, 2016b).

##### 1. System A – full infiltrasjon

I system A vil grunnen under dekkekonstruksjonen være så åpen at alt vann vil forsvinne, uten at det er behov for å måtte beregne eventuell magasinering i forsterkningslaget.



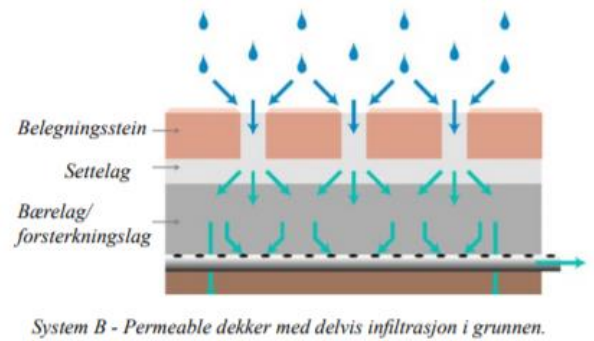
Figur 27 System A - full infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b)

## 2. System B – delvis infiltrasjon

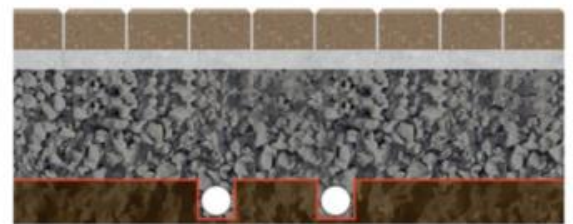
I system B vil grunnen under dekkekonstruksjonen være så tett, eller grunnvannet vil kunne bli stående så høyt at det må benyttes forsterkningslag eller fylling med åpne løsmasser for å kunne fordrøye overvannet. Her vil dekke også kunne dreneres til grøft eller dike som vil bli liggende ved siden av dekket.

## 3. System C – ingen infiltrasjon

Med tanke på utfordringer som forurensning, dårlige grunnforhold eller annen årsak vil det i system C være umulig for overvannet å dreneres i grunnen. Det legges derfor en membran for å kunne skille overvannet fra grunnvannet, og det lages deretter en drensløsning for overvannet.



Figur 28 System B - delvis infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b)



System C – Ingen infiltrasjon til grunnen.

Figur 29 System C - ingen infiltrasjon, (Kilde: Oslo kommune, 2016b)

### 4.7.4 Frakobling av taknedløp

Ved frakobling av taknedløp kan kjelleroversvømmelser bli et problem i flere bygninger. Dette er oversvømmelse som oppstår dersom boliger har tak- og overflatevann som føres direkte inn på eiendommens avløpsrør eller drenering (Oslo kommune, 2018b). Avløpsrørene er ikke beregnet til å skulle håndtere styrtregn og andre store nedbørshendelser. I Oslo kommune har de som hovedregel at det ikke skal føres tak- og overflatevann inn på kommunens avløpsnett fra abonnentene (Oslo kommune, 2018b). Dette er vann som i all hovedsak skal infiltreres i grunnen eller fordrøyes, og ikke tilføres kommunens egne ledninger. I Bergen kommunes retningslinjer kommer det frem at taknedløp og utspylere fortrinnsvis også skal ledes til gate/terreng, og ikke direkte til ledningsnett (Bergen, 2005). Overvannet fra både gater og taknedløp kan via renner med sandfang og sandfangkummer infiltreres i grunnen dersom Riksantikvaren ønsker dette for å kunne heve grunnvannstanden. Alternativt kan overvannet i sin helhet føres til en tett overvannsledning til sjø (Multiconsult, 2012a).

Hensikten med frakobling av taknedløp er å føre vannet ut på f.eks. plenen eller i dette tilfellet gaten, og med dette redusere muligheten for eventuelle oversvømmelser av kjellere

(Oslo kommune, 2018b). Dersom man kobler taknedløp rett på husets drenering vil man kunne få vann fra eget tak inn i kjelleren.

Ved frakobling av taknedløp fra eiendommens drensledning/avløpsledning benytter man seg av et enkelt og rimelig tiltak som bidrar til å redusere skadelig avrenning fra tak (Oslo kommune, 2018b).

#### 4.7.5 Areal tilrettelagt for oversvømmelse

Det vil kunne være hensiktsmessig å avsette egne arealer for oversvømmelser når det forekommer store nedbørsmengder (Oslo kommune, 2016a). Ved å oppføre egne arealer til dette vil man kunne holde store mengder overvann tilbake, og hindre skader som kan forekomme ved en eventuell oversvømmelse (Oslo kommune, 2016a). Areal avsatt til dette bidrar med å forsinke og magasinere regnvann lokalt. Områdene som benyttes vil være utformet slik at det ikke vil ta skade av å bli oversvømmet. De vil også være utformet slik at de er enkle å rengjøre og tømme etter en slik hendelse (Oslo kommune, 2016a).

#### 4.7.6 Overvannshåndtering på vei

Vegnettet utgjør en stor del av byens tette flater. Derfor har klimatilpasning i form av overvannshåndtering langs vei et stort potensial (Oslo kommune, 2016f).

I dag vil overvannet ved større nedbørshendelser ledes åpent langs kantsteinen på veiene. Denne løsningen krever ikke eget areal, og er til for flerfunksjonell bruk, men det kreves areal hvor vannet kan føres, og vegen vil måtte tåle å bli oversvømmet ved *ekstremregn* (Oslo kommune, 2016f).

I forbindelse med åpen overvannshåndtering på vei vil dette kunne bidra til å dempe avrenningen av overvann og det vil være muligheter for rensing av veivannet (Oslo kommune, 2016f).

Regnvann som kommer fra veier, vil ha et høyt innhold av forurensede stoffer. Helt i begynnelsen av en nedbørshendelse, vil det være en del forurensninger fra veiene som såkalt vil «vaskes av». Det er dette som kalles «first-flush» (Oslo kommune, 2016f). Det er en viktig faktor at den første nedbøren håndteres av aktuelle renseløsninger. Dette vil bidra til at de mest forurensede overvannsmengdene renses og infiltreres (Oslo kommune, 2016f).

#### 4.7.7 Alternative løsninger som ikke fungerer like godt i Vågsbunnen

Andre tiltak som anses som like aktuelle i Vågsbunnen er:

### Grønne tak:

Grønne tak bidrar til å senke avrenningsintensiteten fra selve taket, og fordrøye og senke flomtoppene ved kraftige nedbørshendelser (Oslo Kommune, 2016c). Denne løsningen vil kunne by på tekniske og estetiske utfordringer, da bygningsmassen i området i stor grad består av historiske bygg (personlig meddelelse).

### Regnbed:

Et regnbed vil i mange tilfeller være en aktuell løsning som kan bidra til både rens, infiltrasjon og fordrøyning av overvannet (Oslo Kommune, 2016d). Ved Bryggen i Bergen er et slikt regnbed etablert, som bidrar til å drenere vannet ned i grunnen, fremfor å renne av på tette flater (Multiconsult, 2012b). I Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen har man ikke plass til et slikt anlegg.

### Regntønner:

Regntønner vil være aktuelt blant annet i bakgater o.l. En regntønne vil fordrøye deler av nedbøren, men det er i området ikke tilstrekkelig plass eller kapasitet ved taknedløpene til et slikt tiltak (MTF, 2018).

### Vadi:

En vadi ivaretar alle trinn i treleddsstrategien og fungerer normalt som infiltrasjonsanlegg ved mindre nedbørshendelser. Moderat større nedbørsmengder vil fordrøyes og ekstreme nedbørshendelser vil trygt renne av på overflaten (Oslo Kommune, 2016g). Ettersom det ikke finnes grøntareal i Vågsbunnen, blir også dette tiltaket uaktuelt å benytte.

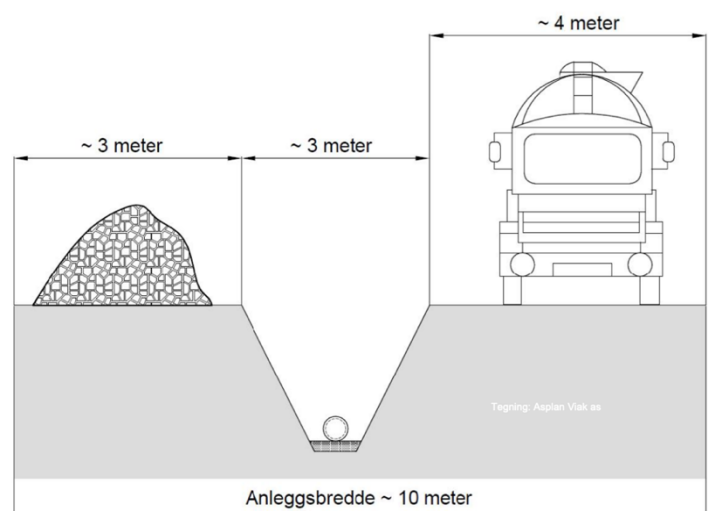
## 4.8 Metoder for ledningsfornyelse

### 4.8.1 Konvensjonell ledningsfornyelse

Konvensjonell ledningsfornyelse innebærer ledningsfornyelse med legging eller utskiftning av ledninger, i en åpen grøft. Dette anses å være den mest vanlige utleggings- /fornyelsesmetoden.

Dersom man skal utbedre flere ledninger i samme grøft, som f.eks. vann-, spillvann- og overvannsledninger, samtidig som veien eller flaten skal

utbedres, er ofte en konvensjonell løsning å foretrekke. Dette kommer av at man får lagt nye ledninger med riktig avstand til hverandre, med riktig overdekning og en forenklet påkobling



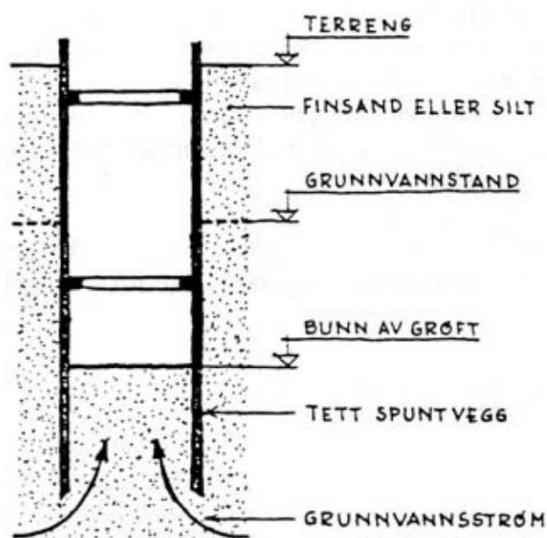
Figur 30 - Anleggsbredde ca. 10 meter, (Kilde: Hansen, m.fl., 2010, s.39)

av stikkledninger. Konvensjonell ledningsfornyelse krever et stort areal og kan forstyrre lokalmiljøet og trafikkforhold ved å stenge veier og gater gjennom en lengre anleggsperiode, enn ved andre alternativer (Hansen A. M.fl., 2010, s.46).

Metoden er også relativt sårbar når det kommer til naturmiljøer og eksisterende kulturminner.

Ved graving av konvensjonelle grøfter må man ta høyde for plassbehovet. En åpen grøft med grøfteskrånninger i løsmasser skal ikke ha en helning brattere enn 2:1. I tillegg skal man ha rom for henlegging og transport av masser. I rapporten *Konvensjonell graving versus NoDig* anslås det en anleggsbredde på ca. 10 meter, som vist på figur 30 (Hansen A. M.fl., 2010, s.46).

I et bymiljø med begrenset areal, vil det i mange tilfeller være nødvendig å ta i bruk grøftekasser. Ved bruk av grøftekasser kan man ha vinkelrette grøftevegger, og sparer med dette stort areal, samtidig som man ivaretar sikkerheten i grøften.



Figur 31 - (Kilde: Forskrift om graving og avstiving av grøfter, 1985, kap. 5b).

I et område som Vågsbunnen, der grunnvannstanden står «grunt» og det graves under grunnvannstanden, kan det være fare for grunnbrudd eller at vann kan trenge opp i grøften. I slike tilfeller bør det benyttes tett spunt som vist på figur 31, (Forskrift om graving og avstiving av grøfter, 1985, kap. 5b).

Et annet moment ved konvensjonell graving i en bykjerne som Vågsbunnen, er at massene man graver opp blir ansett som forurenset (Multiconsult, 2012a, s. 27). I

praksis medfører dette at massene skal kjøres til godkjent deponi for forurensete masser. Dette gir økte kostnader, da transport og pris for deponering må tas hensyn til. Grunnet det store transportbehovet vil også påkjenningene på miljøet være en faktor.

Som alternativ til konvensjonell graving er det i senere tid blitt vanlig å benytte nye metoder som innebærer lite til ingen graving. Dette er metoder som NoDig og lettseparering/«LessDig» (Olimb, 2019).

#### 4.8.2 NoDig – Gravefrie metoder

Gravefrie metoder eller NoDig, er ikke å anse som ny teknologi. Fellesbetegnelsen «NoDig» dekker ledningsfornyelse og/eller etablering av ny ledning ved minimal eller lite graving (Aas, m.fl., 2016). Ulike NoDig-metoder benyttes ofte der det blir kostbart å grave eller der konvensjonell graving blir umulig pga. infrastruktur eller bygg. NoDig-teknologien har flere ganger vist seg å være både tidsbesparende, kostnadseffektiv og miljøvennlig, sammenlignet med konvensjonell graving. Metoden innebærer i de fleste tilfeller en langt raskere gjennomføringstid med mindre påvirkning av trafikk og omgivelser rundt (Odland, T. (NCC), 2021).

Ved å benytte gravefrie metoder, fornyer man ledningsnettet på en bærekraftig måte. På samme tid oppnår man en miljøgevinst, ved å redusere transportmengden og unngå store mengder støv og støy. Resultatet er et vesentlig lavere energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp gjennom anleggsperioden (Odland, T. (NCC), 2021).

NCC hevder på sine nettsider at *«avhengig av renoveringsmetode og antall ledninger, medfører gravefri ledningsfornyelse mellom 25 og 80% lavere kostnader, sammenlignet med tradisjonell graving»* (Odland, T. (NCC), 2021).

Innenfor NoDig har vi tre hovedfelt:

- **Strukturell metode**
- **Semi-strukturell metode**
- **Ikke-strukturell metode**

**Strukturell metode** vil i praksis si at det «nye» røret skal kunne motstå kreftene fra massene og eventuell trafikk over bakken, alene, gjennom hele levetiden, uten inngrep.

**Semi-strukturell metode** er når renoveringsproduktet er delvis avhengig av det eksisterende røret for å opprettholde sin struktur.

**Ikke-strukturell metode** er når produktet er helt avhengig av det eksisterende røret for å opprettholde sin struktur (Aas, m.fl., 2016).



Metoder	Strukturelle metoder	Semi-strukturelle metoder	Ikke-strukturelle metoder
Rørpressing	X		
Boring i løsmasser	X		
Boring i fjell eller kombinasjonsmasser	X		
Inntrekning av rør	X		
Utbløkking	X		
Strømperenovering		X	
Tettilpassede rør		X	X
Belegg		(X)	X

Tabell 3 - Gravefrie metode for ledningsfornyelse, (Kilde: Svedal, M. B. (Asplan Viak), 2016).

Selv om flere av de strukturelle NoDig-metodene i tabell 3 vil kunne være aktuelle, ønsker vi å se nærmere på utbløkking.

Av de semi-strukturelle metodene, er strømperenovering med f.eks. PU-epoxybelegg eller *Primus Line* en aktuell metode for å forlenge levetid, og til tider kapasiteten ved dagens ledninger. Felles for strømperenoveringen er at man fører strømmen inn i røret via kum eller innføringsgrop ved hjelp av en trykktank, vanntrykk eller inntrekking, før man herder strømpeforingen. Etter herding, blir grenrør frest opp og slipt pene ved hjelp av fjernstyrt robot. (Olimb, 2021).

En løsning er PU-epoxybelegg. Dette er et belegg av polyuretan som legges inn i eksisterende ledning og forlenger levetiden med opptil 30 år (Søderholm, 2019).

Et alternativ for ikke-strukturell strømpeforing er *Primus Line*. Dette er en foring laget av PE og kevlar som føres inn i eksisterende rør. *Primus Line* tåler mye trykk innvendig og er et fleksibelt materiale med en forventet levetid på minimum 50 år (Mainark, 2020).

#### 4.8.2.1 Utbløkking

Utbløkking er en metode der eksisterende rør «splittes» og blokkes ut, før nytt rør trekkes inn i samme trasé. Dette er den eneste renoveringsmetoden hvor man kan oppdimensjonere eksisterende ledning, samtidig som man får et helt nytt rør (Aas, m.fl., 2016, s.20).

Metoden er utbredt ved fornying av vannledninger i Norge, men nye metoder med utbløkking av enkeltrør til dobbelt og inntrekking av to separate rør har de siste årene kommet på banen med stor suksess. Metoden krever at man graver en trekkegrop for jekk og en

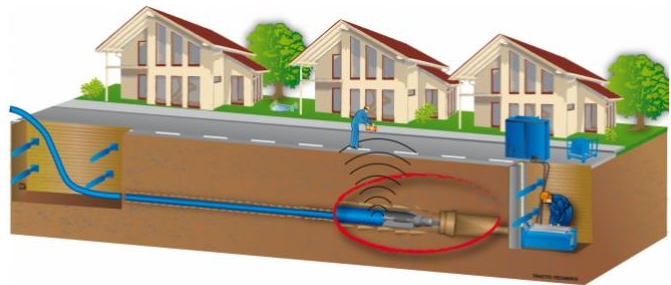
innførings-grop for inntrekking av nytt rør.



Figur 32 – Utblokking med BÅSUMs innføringshode for innføring av to ledninger, (Kilde: BÅSUM Boring, (u.å.)).

I henhold til *Norsk Vann rapport 221, smart ledningsfornyelse – bruk av NoDig-metoder* er en av forutsetningene for utblokking at det skal være minimum 10 promille fall på stedet, noe området oppfyller med sine 4,6 %, se *kapittel 2.3 Geografisk avgrensing* (Aas,, m.fl., 2016).

Ved påkobling til eksisterende stikkledninger eller andre påkoblinger, må disse graves opp og kobles fra før utblokking, for deretter å i etterkant tilknyttes nytt rør. Ved utblokking er man avhengig av tilstrekkelig avstand til andre rør i grøft, da ledningssonen utvides og omkringliggende masser forskyves og komprimeres. Det må også posisjonskontrolleres for å unngå svanker på ledningene underveis.



Figur 33 - Utblokking illustrert med innførings- og trekkegrop samt posisjonskontroll, (Kilde: Norsk Vann, u.å.)

#### 4.8.3 Lettseparering/«LessDig»

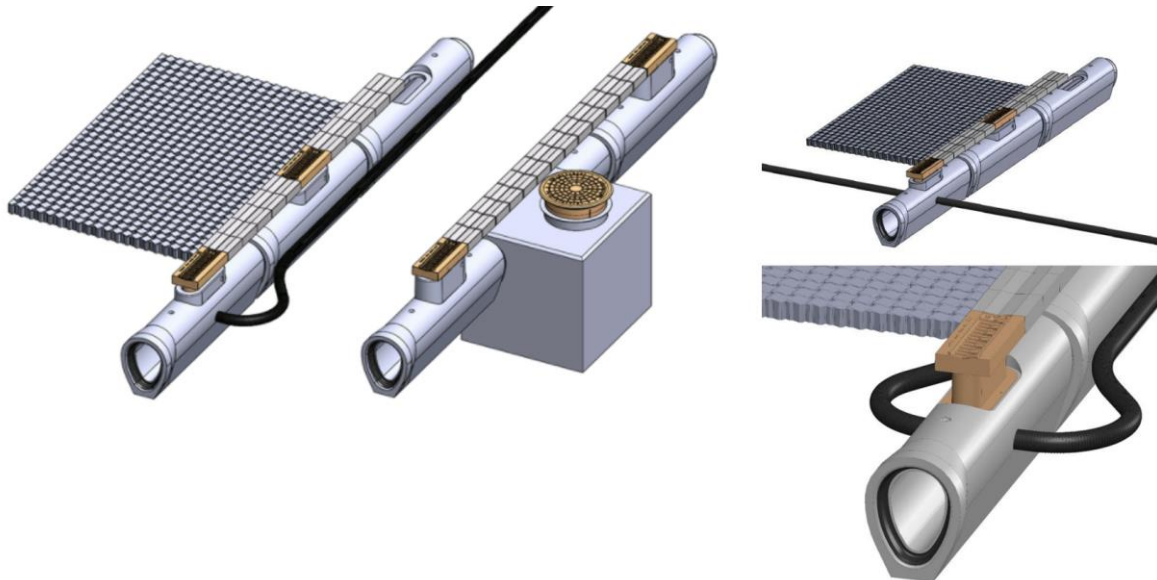
Ved en lettseparering av et fellessystem kobles takrenner, sluk og andre kilder til overvann fra eksisterende avløp-fellesledning, før det anlegges og kobles på en ny, grunnere overvannsledning.

Selv om fellessystemet da videreføres som prinsipløsning, vil mengden overvann som tilføres fellessystemet reduseres betraktelig. Dette gir positiv virkning på kapasiteten til avløp-fellesledningen, utstyr på avløpsnett og renseanlegg (Stavanger Kommune, 2017). Ved lettseparering av en eldre avløp- fellesledning kan det også være interessant å strøpme eller på andre måter fornye den ved bruk av grøftefrie metoder, for mulig økt kapasitet, mindre rørruhet og bedre levetid (Stavanger Kommune, 2017).

Bruken av denne løsningen åpner også i større grad opp for lokal overvannsdiskonering, og det kan på en enklere måte føres til egnet resipient (Møller-Pedersen, 2017).

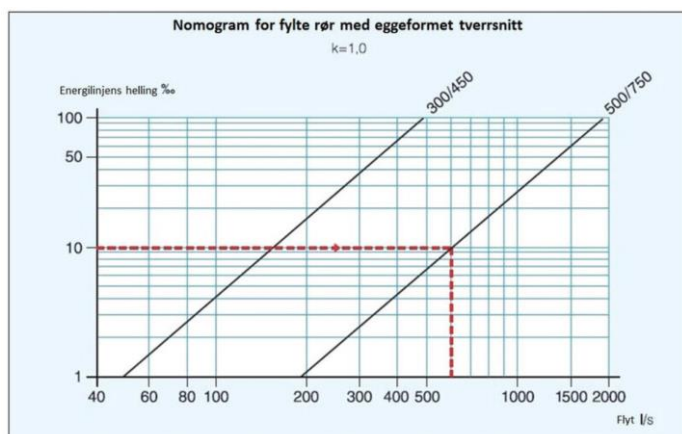
Et selskap som har spesialisert seg på lettseparering er Storm Aqua AS i Skjævelandgruppen, som har utviklet flere kompakte, grunne løsninger for håndtering av overvann.

Storm Aqua har blant annet utviklet rørsystemet *Qmax Storm*, som er et eggeformet betongrør som gir styrke nok til at røret kan installeres nær overflaten over den eksisterende avløp- fellesledningen, med så lite som 200 mm overdekning (Skjæveland, 2021). Systemet kan legges med tette og permeable dekker og kan legges med dreneringsrør med areal- eller grøftefordeling (Møller-Pedersen, 2017).



Figur 34 *Qmax Storm*, (Kilde:Skjæveland, (u.å.)b)

*Qmax Storm*, kan primært legges med to dimensjoner på 300/450 mm og 500/750 mm, og ved dimensjonering benyttes eget nomogram.



Figur 35 - Nomogram Storm Aqua *Qmax storm*, (Kilde: Skjæveland, (u.å.)a)

## 4.9 Bærekraft

Begrepet bærekraftig utvikling ble først brukt i rapporten *Vår felles framtid*, utgitt av verdenskommisjonen for miljø og utvikling i 1987. Brundtland-kommisjonen definerte begrepet på følgende måte: «*Bærekraftig utvikling er utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov*» (Dahl, m.fl., 1987, s.42).

Verdenskommisjonen for miljø og utvikling understreket at en bærekraftig utvikling måtte være økonomisk, miljømessig og sosialt bærekraftig. Den sosiale dimensjonen handler om å etablere rettfærdige og aksepterte løsninger (Lindholm, 2005).

For at en utvikling skal være bærekraftig må også følgende forhold være oppfylt:

- Bruken av de fornybare ressursene skal ikke overstige naturens evne til selvfornyelse.
- Bruken av ikke-fornybare ressurser som f.eks. fossile brennstoffer, fosfor, kalium, etc., skal ikke uttømmes før alternative løsninger er utviklet.
- Fundamentale økologiske prosesser og systemer må belastes mindre enn tålegrensene (Lindholm, 2005).

### 4.9.1 Bærekraft i vannbransjen

Det er med årene blitt lagt vekt på bærekraft også i vannbransjen. Bærekraft anses som et relativt vidt begrep som brukes i flere sammenhenger og innenfor flere ulike fagfelt. Når det kommer til bærekraft i forbindelse med vannbransjen, er det i FNs bærekraftsmål pkt.6 satt opp et mål for «*rent vann og gode sanitærforhold*» (FN – Sambandet, 2021).



Figur 36 - Skjermutslipp, FNs bærekraftsmål nr. 6 (Kilde: fn.no)

Målet er at «*Norsk vannbransje skal forvalte og utvikle vann- og avløpsinfrastrukturen på en måte som sikrer rent vann i springen og i naturen, og som bidrar til at Norge når sine bærekraftsmål*» (Norsk Vann, 2017).

En god måte å implementere bærekraftbegrepet i VA-bransjen på, er å utføre en bærekraftsanalyse for å vurdere ulike aktuelle alternativer opp mot hverandre. De tre dimensjonene som inngår i bærekraftbegrepet er miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft (Enander, m.fl., 2014). Nyttigheten av en slik analyse vil være at man tar hensyn til alle disse tre dimensjonene.

## 5. Presentasjon av aktuelle løsningsforslag

Under valg av metode eller alternativer for fornying eller utskiftning av VA-nett, benyttes det i dag som regel en enkel «kost/nytte» vurdering. Det vil ofte kunne være en fordel å vurdere de ulike alternativene detaljert med tanke på ulike faktorer, utover bare de tekniske og økonomiske. For å gjøre en slik analyse settes derfor de ulike alternativene opp mot hverandre i en bærekraftsanalyse.

Utgangspunktet for alternativene er at det er ulike metoder som kan være aktuelle alternativer for å håndtere overvann i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen. Etter utførte beregninger må løsningsforslagene kunne håndtere en dimensjonerende avrenning på 1291 l/s, se *Vedlegg 3 Beregning av dimensjonerende avrenning*.

For dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene, se *Vedlegg 4 dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene*.

Våre kontaktpersoner i Bergen kommune har uttrykt et ønske om etablering av en lignende løsning som *Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning»* (personlig meddelelse), som er benyttet nederst i Nedre Korskirkeallmenningen, i gjenstående del av Nedre- samt Øvre Korskirkeallmenningen, se *kapittel 2.4 Dagens situasjon*. Dermed vil vi se på alternativer som kan være aktuelle opp mot *Alternativ 4*, ved å se disse i sammenheng med en rekke indikatorer.

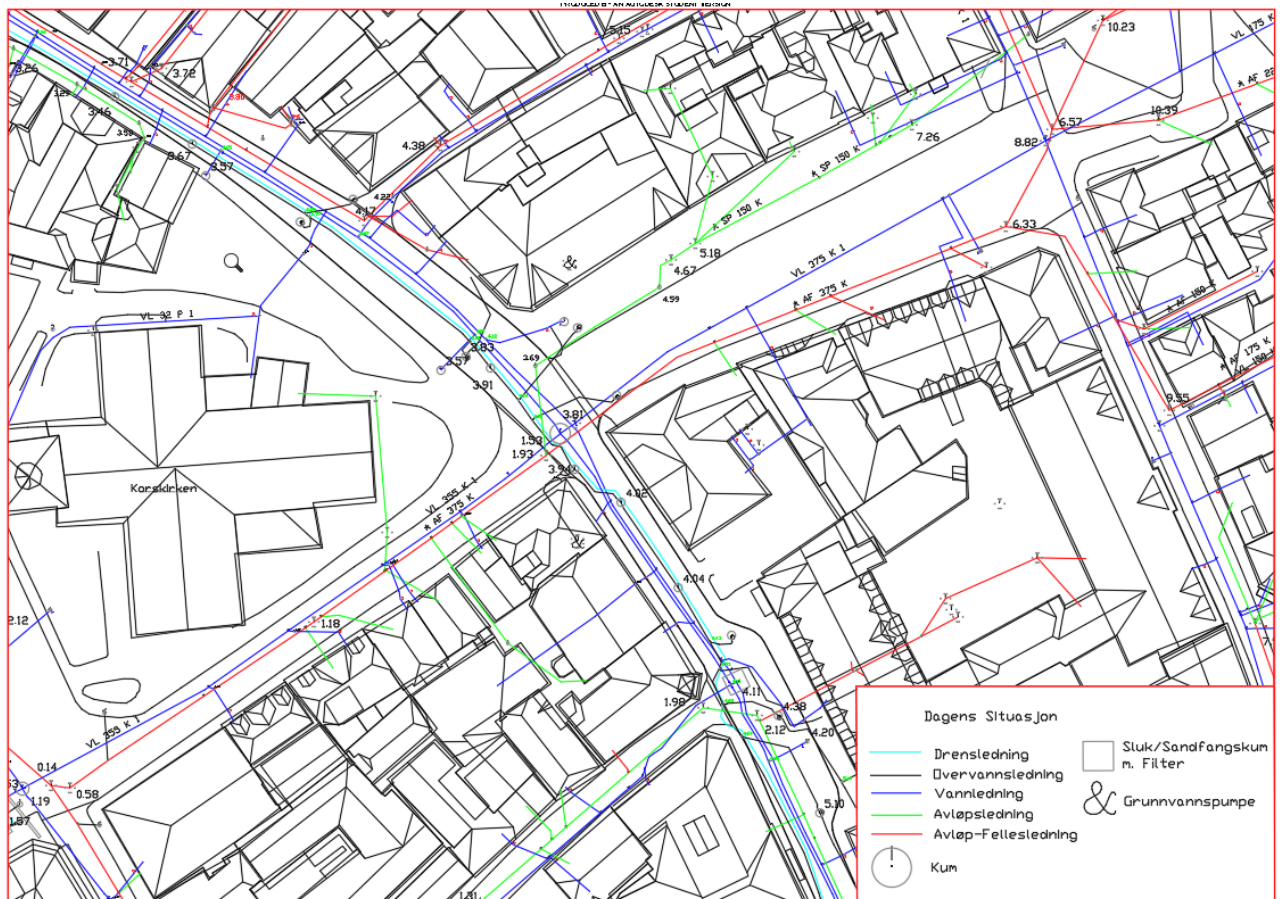
<i>Alternativ 1</i>	0 – Alternativet	Systemet opprettholdes slik det er i dag
<i>Alternativ 2</i>	Konvensjonell løsning	Konvensjonell overvannsledning med infiltrasjonskummer og permeabelt dekke
<i>Alternativ 3</i>	Lettseparering med infiltrasjons-/drensløsning	Avløp-fellesledningen blir en ren spillvannsledning. Det anlegges en grunn overvannsledning med langsgående drenering for infiltrasjon
<i>Alternativ 4</i>	«Laksetrapp-løsning»	Tilsvarende forenklet løsning som er brukt nede i Nedre Korskirkeallmenningen
<i>Alternativ 5</i>	Utblokking (NoDig)	Eksisterende AF-ledning i grunnen utblokkes, før det føres inn ny spillvannsledning og egen overvannsledning

Tabell 4 - Oversikt over alternativene som vurderes til bærekraftsanalysen



## 5.1 Alternativ 1, 0-alternativet

0-alternativet baseres på at man lar systemet være slik det er i dag, hvor overvannet fra Øvre Korskirkeallmenningen i stor grad avskjæres av Kong Oscars gate (Skagen, 2014). Det som ikke avskjæres renner videre ned Nedre Korskirkeallmenningen, hvor noe fanges opp av infiltrasjonsanlegget. Ved dimensjonerende avrenning, har ikke anlegget kapasitet (se *Vedlegg 4 Dimensjonering/Kapasitetsvurdering av de ulike løsningene*) og det havner større mengder overvann i avløp- fellesledningene på området. Dette innebærer at ved laber- og normal nedbør renses store mengder overvann på lik linje med spillvannet, i renseanlegg. I situasjoner der kapasiteten overskrides, renner vannet primært av på overflaten, ned Kong Oscars gate og ned Nedre Korskirkeallmenningen. Ved slike situasjoner risikerer man også at avløp- fellesledningene overbelastes, og at større mengder avløpsvann går urensset i overløp i Vågen.



Figur 37 - Skjermtutklipp som illustrerer eksisterende ledningsnett, se Vedlegg 8 – 1- 0-alternativet, privat.

## 5.2 Alternativ 2, Konvensjonell løsning

Konvensjonell graving innebærer å anlegge nye overvannsledninger sammen med en eventuelt utbedret spillvannsledning. Grunnet området kulturhistorikk, vil man møte på



kulturlag, og det må dermed påregnes ekstra lang anleggstid, da man må grave med aktsomhet og gjerne med arkeologisk tilsyn. I gatene er det heller ikke særlig areal til overs. Dette innebærer at bruk av grøftekasser kan bli nødvendig. Massene som graves ut, blir ansett som forurensede masser (Multiconsult, 2012a). De forurensede massene må leveres til godkjent deponi, noe som kan heve kjørelengden for deponering. For å levere de forurensede massene, vil det også forekomme en ekstra kostnad. (Nesse, 2019).

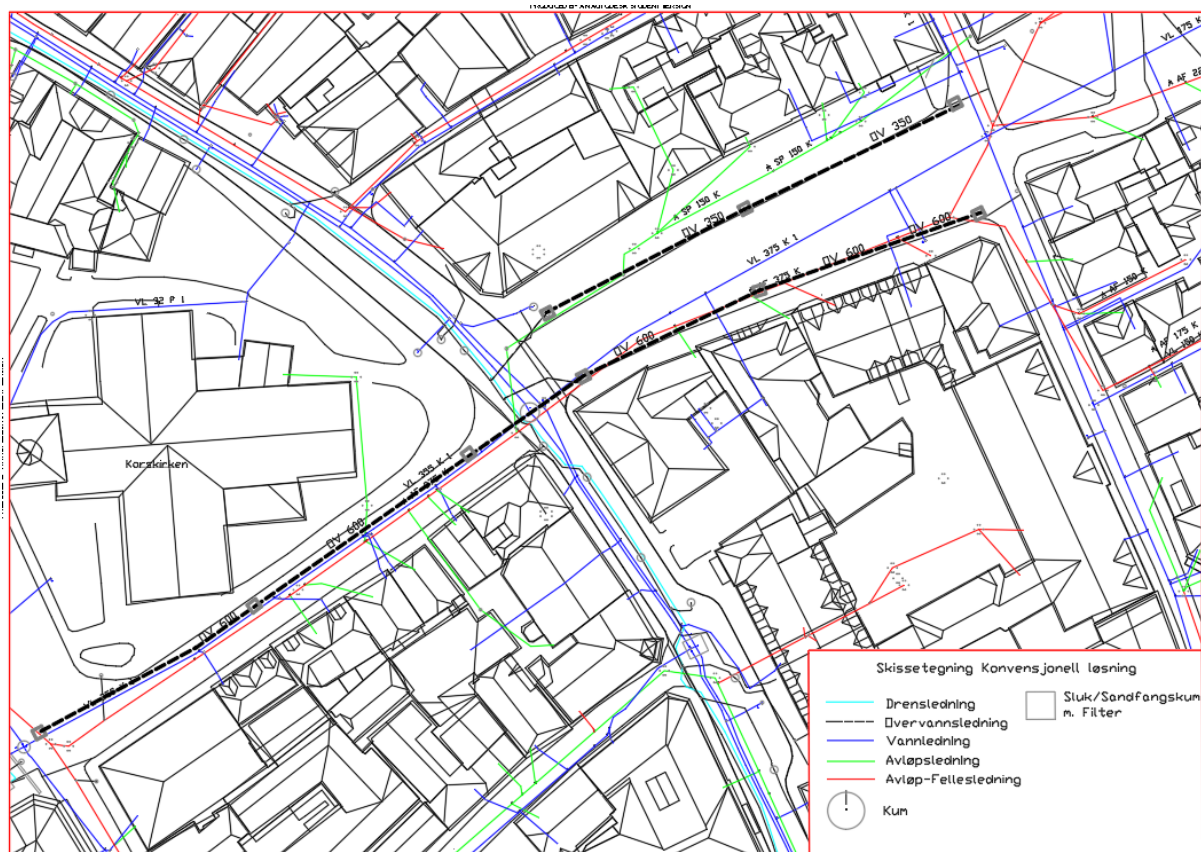
Den tenkte løsningen går ut på at man i Øvre Korskirkeallmenningen anlegger en ny overvannsledning på hver side av veien, grunnet veiens «takfallskarakter». Det anlegges på samme tid tre nye sandfang på hver side av veien og den nordre ledningen kobles på Kong Oscars gate, hvor eksisterende sluk er tilkoblet.

I Nedre Korskirkeallmenningen er veien betydelig smalere, og det kan anlegges et ensidig fall med en enkel ny overvannsledning i eksisterende trasé, se tenkt løsning, *figur 38*.

Ettersom systemet nedstrøms ikke er separert, og det ved dette tidspunkt i planfasen er uklart om når og hvordan de skal separeres, kan man koble den nye overvannsledningen på en av to måter:

- Den nye overvannsledningen kobles tilbake på avløp- fellesledningen nederst i Nedre Korskirkeallmenningen, men er klargjort for påkobling til ett fullseparert nedstrøms anlegg i senere tid.
- Den nye overvannsledningen kobles til det eksisterende infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget, forutsett at systemet vil tåle å ta imot gitt nedbørsmengde. Da rørene legges dypere enn infiltrasjonsanlegget, må det gjøres enkelte tilpasninger dersom overvannet ønskes ført inn på det eksisterende infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget i nedre del.

For rensing av overvannet tenkes det etablering av filter i kum, INNOLET-G. Ved en konvensjonell løsning har man også mulighet til å utføre tiltak som kan bidra til mer lokal overvannshåndtering. I Øvre Korskirkeallmenningen, hvor det i dag er en tett asfaltert flate foreslås det å skifte ut de øverste jordlagene, til permeable dekker og masser med bedre infiltrasjonsevne. Det samme foreslås i øvre del av Nedre Korskirkeallmenningen, på tross av områdets «brosteins-karakter». Et annet element som kan bidra til lokal overvannshåndtering er å bytte ut konvensjonelle sandfang med infiltrasjonssandfang.



Figur 38 - Tenkt skisse av den konvensjonelle løsningen med gitt dimensjon (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-2-Skisse Konvensjonell løsning, privat.

### 5.3 Alternativ 3, Lettseparering/«LessDig»

Ved en lettseparering av systemet tenkes det å anlegge en grunnere ledning for overvannet, se kapittel 4.8.3 Lettseparering/«LessDig».

Da det i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen forekommer kulturlag i grunnen, settes en antatt tillatt gravedybde til 1 – 1,5 meter, se kapittel 2.5.5 Gravedybde. Det er i den forbindelse innhentet informasjon fra ulike rørleverandører om ulike overvannsløsninger som kan legges grunt. En av dem er systemet, *Basal Qmax Storm* som leveres av Storm Aqua i Skjævelandgruppen, se kapittel 4.8.3 Lettseparering/«LessDig».

Langs rørstykkene vil det monteres drenerør for infiltrasjon i de omkringliggende massene. Drenerørene kan enten føres langs røret eller bort fra røret for arealinfiltrasjon. Ved mindre nedbørmengder kan vannet ledes ut i dreneringsledningene, og bort fra røret.

På hvert av rørestrekkene monteres også en kombinert sandfangskum/inspeksjonskum som er gunstig med tanke på vedlikehold (Skjæveland, (u.å.)b).

For å rense overvannet fra området har gruppen etter innspill fra veileder i Asplan Viak sett på rensesystemet D-Rainclean. Ved etablering av en langsgående D-Rainclean med nedløp i

ledningsnett, fremfor en konvensjonell slukrist, vil overvannet renses før det føres på ledningen.

**I Øvre Korskirkeallmenningen** er veien utformet med takfall med helning ut på hver side. Her kan det bli nødvendig å føre en ledning på hver side av veien. Den nordre ledningen kobles på den eksisterende overvannsledningen i Kong Oscars gate. Den søndre ledningen tenkes heltrukket ned i Nedre Korskirkeallmenningen, i samme grøft som de eksisterende ledningene. Det er også tenkt at istedenfor å benytte konvensjonelle sluk/kjeftesluk, anlegges det en D-Rainclean renne stykkevis på hver side.

For å håndtere mer av overvannet lokalt, foreslås det å etablere et permeabelt dekke på veien, hvor det i dag er asfaltert. Dette vil da kunne bytte ut de øverste lagene av overbygningen, med masser med større infiltrasjonsevne.

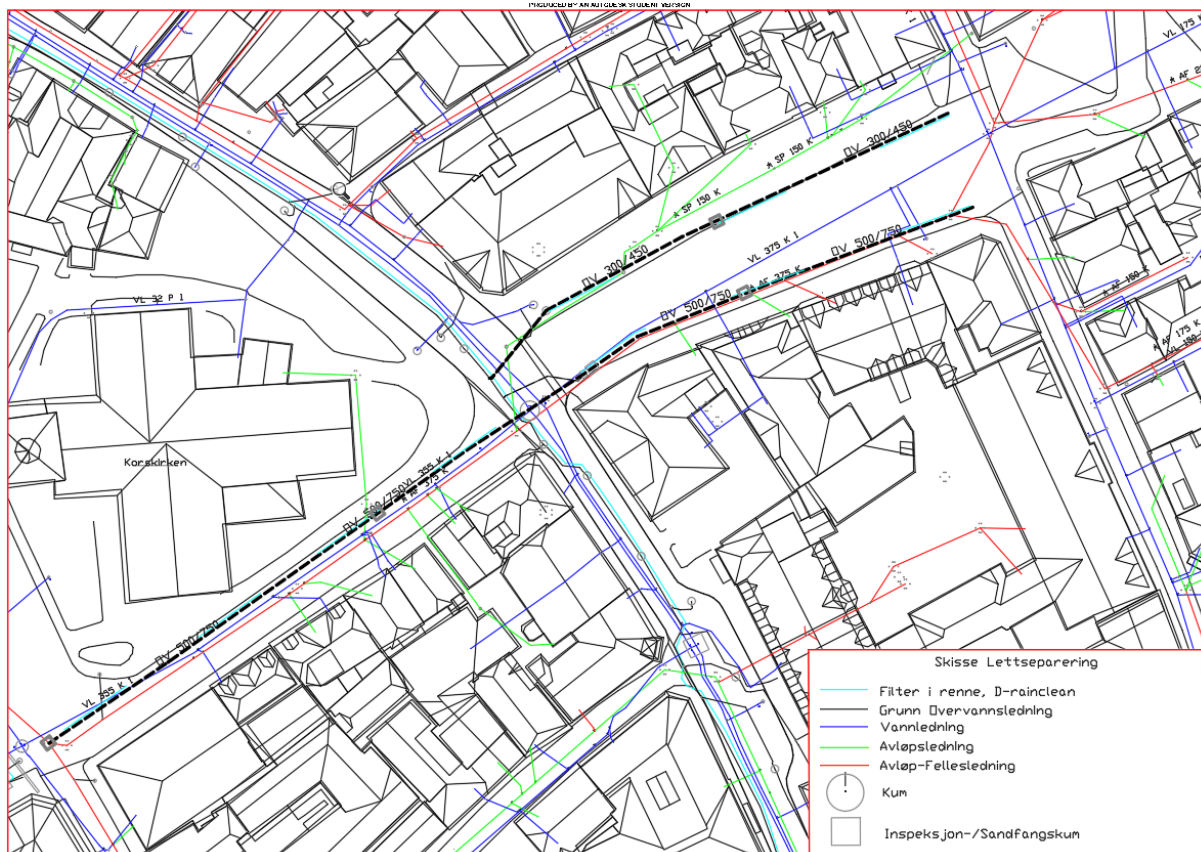
**I Øvre del av Nedre Korskirkeallmenningen** er veien noe smalere og bærer preg av større setninger, og behov for opprustning, se *kapittel 3.2.2.2 Registreringer*, figur 20.

Strekket er også slakere enn i Øvre Korskirkeallmenningen, og man kan lettere legge opp ensidig fall, med en enkel D-Rainclean-renne og grunn overvannsledning over eksisterende avløp-fellesledning. Her vil det også legges opp med langsgående dreneringsledninger og det foreslås å bytte ut brosteinen med et permeabelt dekke, for å håndtere noe av vannet lokalt.

Ettersom systemet nedstrøms ikke er separert og det ved dette tidspunkt i planfasen er uklart om når det skal separeres, vil man kunne koble den nye overvannsledningen på en av to måter:

- Den nye overvannsledningen kobles tilbake på avløp- fellesledningen nederst i Nedre Korskirkeallmenningen, men klargjort for påkobling til ett fullseparert nedstrøms anlegg i senere tid, på samme måte som ved bruk av konvensjonell graving.
- Den nye overvannsledningen kobles til det eksisterende infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget, forutsatt at systemet vil tåle å ta imot gitt nedbørsmengde.

Før en påkobling bør det gjøres en helhetlig hydrogeologisk vurdering på hvordan dette vil påvirke kapasiteten på eksisterende system, og eventuelle virkninger dette vil ha på reguleringen av grunnvannet.



Figur 39 - Skisse av tenkt løsning, lettseparering med gitt dimensjon, (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-3 Skisse-Lettseparering, privat.

Ved denne løsningen vil det legges langsgående drensledninger med slisseåpninger. Dersom man i tillegg benytter et permeabelt dekke i Øvre Korskirkeallmenningen, vil man under mindre nedbørshendelser kunne klare å håndtere overvannet lokalt. Ved større nedbørshendelser vil drensledningene også være med på å fordrøye og forsinke, avhengig av fyllingsgrad, i det nedbørshendelsen inntreffer. Ved en større flomhendelse vil de overskytende vannmengdene renne av på toppen og i stor grad føres ned Kong Oscars gate. Overskytende vann vil føres videre ned til Nedre Korskirkeallmenningen og lavpunktet ved Vågsallmenningen, før det eventuelt renner over torget og ned til sjøen. Dette er i tråd med Bergen kommunes gjeldende retningslinjer (Bergen kommune, 2005), og treleddsstrategien med infiltrasjon, fordrøyning og åpne flomveier.

#### 5.4 Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning»

I Øvre- og resterende del av Nedre Korskirkeallmenningen foreslås det videre oppstrøms etablering av et tilsvarende anlegg som i nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen. Dette innebærer at man graver opp hele veiflaten, til man treffer de øverste kulturlagene, og deretter kjører bort massene. For å øke infiltrasjonsevnen fjernes de øverste humusholdige

fyllingslagene. Dette utføres før man erstatter dem med en vegoverbygning, som i nederste del består av lettklinker/lettklinkerkuler (Multiconsult, 2015). Dette vil redusere forråtnings-/setningspotensialet under vegen og avlaste grunnen, på samme tid som lettklinkerlaget vil fungere som infiltrasjonslag, isolasjonslag og fordrøyningsbasseng for infiltrasjonsvann (Multiconsult, 2015).

Da de humusholdige fyllingslagene er fjernet, murer man opp «bentonittpluggere-/demninger» på tvers av gaten og tetter med membran inn mot husveggene for å hindre inntrenging av vann langs fundament og i kjellere.

Nødvendig avstand mellom bentonittpluggene må i forkant av prosjektering undersøkes og fastsettes etter hvor stor økning av grunnvannstanden som ønskes. Ved hver av bentonittpluggene, må det etableres sandfang hvor vannet føres inn i anlegget ved bruk av drensledninger, se *figur 9 - plantegning, kapittel 2.4 Dagens situasjon*, og skisse på *figur 40*. Da man ønsker å kunne justere ned grunnvannet mot kulturlagene, må høyden på bend/drensrør i sandfang kunne reguleres.

Nåværende sluk i krysset mellom Kong Oscars gate og Øvre Korskirkeallmenningen vil beholde sin funksjon, og gjenstående taknedløp kobles fra og føres ut til vegflaten med utspylere.

Denne løsningen vil fungere godt opp mot det etablerte systemet i Nedre Korskirkeallmenningen, da løsningen er prosjektert for å kunne videreføres oppstrøms i Korskirkeallmenningen og tilstøtende gater (Multiconsult, 2015).

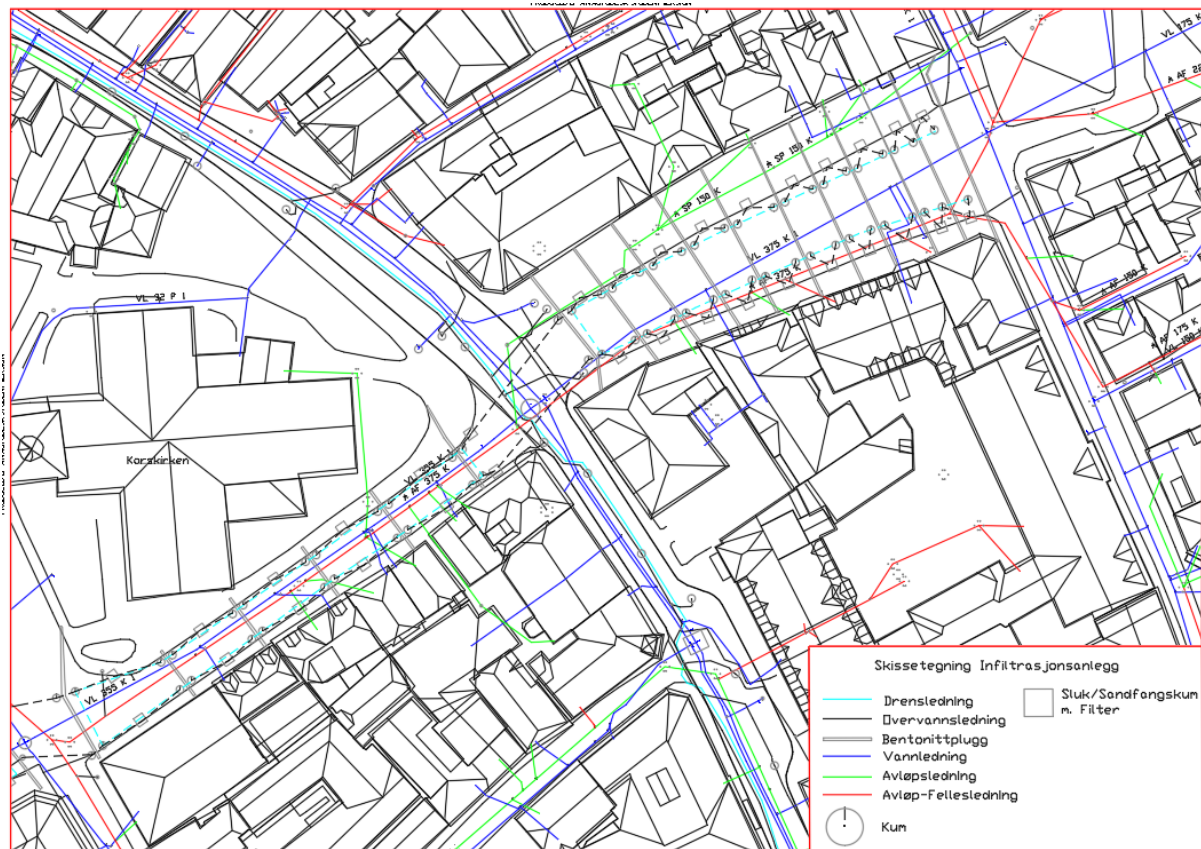
Etter fagvurdering fra Hans de Beer i NGU, kommer det frem at dette er en god løsning for å opprettholde/heve grunnvannstanden i området (de Beer, 2015). Etter denne faglige vurderingen kom det frem at det var muligheter for forenkling av systemet for å redusere vedlikeholdet. Denne forenklingen går ut på å bytte ut snirklede drensledninger i det eksisterende anlegget (se, *figur 9 - plantegning*) med to rette drensledninger av større dimensjon i det tenkte anlegget, se, *figur 40, skisse av tenkt løsning*.

Ved å etablere et slikt anlegg, vil det kunne resultere i fremtidig reduksjon av kostnader i forbindelse med vedlikehold og gi en betydelig reduksjon på vei, infrastruktur og bygninger på området (Multiconsult, 2017a).

Ved etableringen av det foreslåtte systemet, vil man kunne infiltrere mengder overvann på samme tid som anlegget vil kunne fordrøye større mengder overvann, og virke flomdempende ved de aller største nedbørshendelsene. Ved ekstreme nedbørshendelser vil overvannet renne av på overflaten. Kong Oscars gate vil avskjære mye av vannet før det renner ned til Nedre Korskirkeallmenningen og videre ned til lavpunktet på



Vågsallmenningen, før det eventuelt vil renne over veien og ut i Vågen. Dette er i tråd med Bergen kommunes gjeldende retningslinjer (Bergen kommune, 2005), og treleddsstrategien med infiltrasjon, fordrøyning og åpne flomveier.



Figur 40 - Skisse av tenkt infiltrasjonsanlegg/«Laksetrapp-løsning», se Vedlegg 8-4-Skisse-«Laksetrapp-løsning», privat.

## 5.5 Alternativ 5, NoDig-løsning med utblokking

Ved utblokking av eksisterende avløp- fellesledning med BÅSUM sitt «innføringshode», utblokkes det og føres inn to rør i det eksisterende, se *kapittel 4.8.2.1 Utblokking*. Den nye ledningen anlegges sammen med nye overvannskummer, hvor man har mulighet til å anlegge en filterløsning i kum for rensing av overvannet, som f.eks. INNOLET-G.

Det foreslås å utblokke den eksisterende avløp- fellesledningen fra øvre del av Øvre Korskirkeallmenningen, til nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen, for så å føre inn ny spillvanns- og egen overvannsledning.

Ettersom veien i Øvre Korskirkeallmenningen har takfall, kan det bli nødvendig å etablere en alternativ løsning for overvannet på motsatt side av gaten. Dette kan løses ved å etablere sluk med drensledning over veien til den nye utblokkede ledningen, eller ved at det anlegges en grunn overvannsledning ned til området, der dagens sluk kobles på overvannsledningen i Kong Oscars gate.

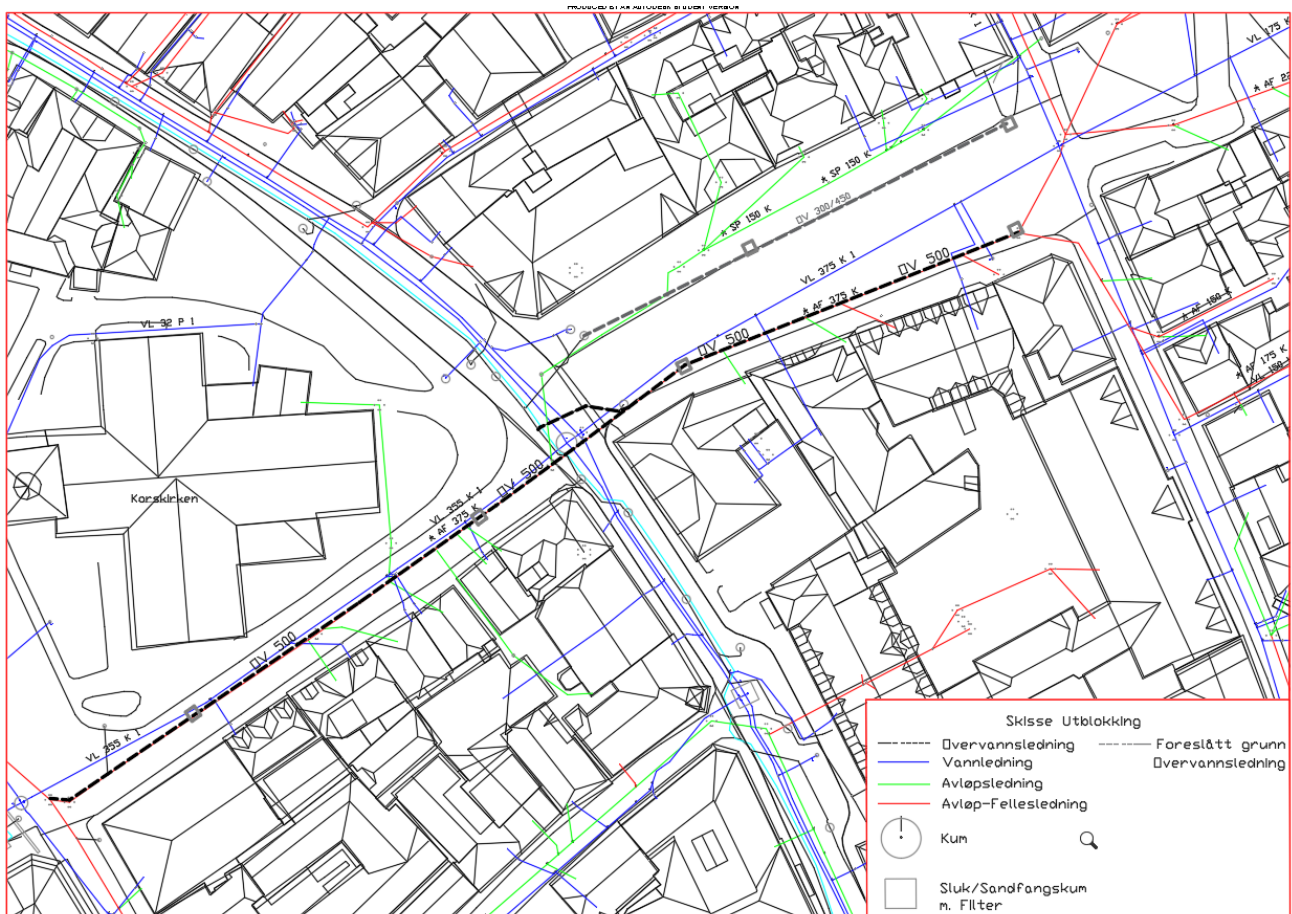


Nåværende sluk i krysset mellom Kong Oscars gate og Øvre Korskirkeallmenningen vil beholde sin funksjon, på samme tid som det etableres to kummer oppstrøms på hver side.

Ettersom systemet nedstrøms ikke er separert, og det ved dette tidspunkt i planfasen er uklart når og hvordan de skal separeres, kan man koble den nye overvannsledningen på en av to måter:

1. Den nye overvannsledningen kobles tilbake på avløp- fellesledningen nede i Nedre Korskirkeallmenningen, men klargjort for påkobling til ett fullseparert nedstrøms anlegg i senere tid.
2. Den nye overvannsledningen kobles til det eksisterende infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget, forutsett at systemet vil tåle å ta imot gitt nedbørsmengde.

Da den utblokkede overvannsledningen vil ligge like over dagens avløp- fellesledning, må det i dette tilfellet gjøres enkelte tilpasninger for å komme på høyde med infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget.



Figur 41 - Skisse av tenkt løsning ved utblokking med gitt dimensjon, (se Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsberegning av de ulike løsningene), se Vedlegg 8-5-Skisse-Utblokking, privat.

infiltrasjonssandfang i stedet for konvensjonelle kummer, da disse vil stå for noe infiltrasjon.

For rensing av overvannet, monteres en filterløsning i kum, som f.eks. INNOLET-G.

## 5.6 Oppsummering av de ulike alternativene

### **0-alternativet:**

Ved 0-alternativet, beholdes systemet slik det er i dag. Avløp- fellesledningen gjennom området og overvannsledningen i Kong Oscars gate avskjærer større mengder av nedbøren i Øvre Korskirkeallmenningen. En del av det som renner over, vil renne nedover Nedre Korskirkeallmenningen, og videre ned i infiltrasjonsanlegget. Ved en dimensjonerende nedbørshendelse har ikke systemet kapasitet, og blir belastet 118 %, (forutsatt at alle rør og infiltrasjonsanlegget er tomme i det nedbørshendelsen inntreffer), se *Vedlegg 4*

*Dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene.*

0-alternativet er med andre ord ikke en bærekraftig løsning.

### **Konvensjonell løsning:**

Ved en konvensjonell løsning, vil overvannet effektivt føres bort fra området. Den nordre ledningen som kobles på eksisterende overvannsledning i Kong Oscars gate, vil ha tilstrekkelig kapasitet til å kunne håndtere overvannsmengden ledningen i Kong Oscars gate er dimensjonert for i gitt tverrsnitt. Den søndre ledningen vil bidra til å fange opp større mengder nedbør, og på en effektiv måte føre dette ned til Nedre Korskirkeallmenningen, hvor det enten kan kobles på infiltrasjons-/fordrøyningsanlegget, eller føres videre i avløp-fellesledning, før det er avklart når og hvordan nedstrøms separering skal gjennomføres. Dersom det implementeres filter for rensing i kum og et permeabelt dekke i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, vil det resultere i en løsning som renser, infiltrerer, og har mulighet til å fordrøye noe av overvannsmengden i eksisterende infiltrasjons-/fordrøyningsanlegg.

### **Lettseparering/«LessDig»:**

Ved lettseparering anlegges to grunne overvannsledninger i Øvre- Korskirkeallmenningen. Den nordre ledningen kobles på Kong Oscars gate, og vil ha stor nok kapasitet til å kunne håndtere dimensjonerende avrenning som overvannsledningen i Kong Oscars gate skal kunne håndtere fra gitt tverrsnitt.

Den søndre ledningen, skal kunne håndtere det resterende av feltets dimensjonerende avrenning, og blir heltrukket fra Øvre- til Nedre Korskirkeallmenningen. Dersom man får tillatelse til å erstatte dagens asfaltdekke med et permeabelt dekke, til tross for byens «brosteins-karakter», vil man også her kunne infiltrere større mengder overvann, og til en viss grad bidra til å stabilisere/opprettholde grunnvannstanden.

### **Separering med «Laksetrapp-løsning»:**

Det etableres infiltrasjonsanlegg/«Laksetrapp-løsning» i hele tverrsnittets bredde i både Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen. Her støpes det opp bentonittplugg og fylles i med en

vegoverbygning, som i nedre del består av lettklinker, og masser med høy infiltrasjons- og fordrøyningssevne. Det nye anlegget kobles på det eksisterende anlegget nedstrøms, og vil fungere som ett helhetlig system.

Etter kapasitetsberegninger i *Vedlegg 4, Dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene*, ser vi at anlegget i kombinasjon med overvannsledningen i Kong Oscars gate, vil ha tilstrekkelig anslått kapasitet til å kunne fordrøye den dimensjonerende avrenningen. Fordrøyningskapasiteten vil ved denne avrenningen være belastet 85 %, uten at det er tatt høyde for infiltrasjonsevnen til anlegget.

### **Utblokking:**

Ved utblokking vil man føre mesteparten av overvannet ned i Nedre Korskirkeallmenningen, hvor ledningen enten kobles til infiltrasjonsanlegget eller tilbake på avløp- fellesledning, frem til systemet nedstrøms er separert. En ulempe med utblokkingen er at man ikke får infiltrert særlige mengder overvann til grunnen.

Takfallet i Øvre Korskirkeallmenningen vil også resultere i at utblokking alene ikke vil være tilstrekkelig for å håndtere alt overvannet. Dersom det graves og legges en grunnere overvannsledning på nordre side av Øvre Korskirkeallmenningen, vil det ikke lenger anses som et gravefritt alternativ.

Et annet moment er at det er både mange og tette anboringer. Disse må graves opp og håndteres. En utblokking vil med andre ord være en lite helhetlig og bærekraftig løsning opp mot treleddsstrategien.

## 6 Bærekraftsanalyse

En bærekraftsanalyse gjennomføres for å kunne få et omtrentlig svar på hvilken løsning som er best egnet med tanke på de ulike indikatorene som må tas hensyn til. Fokuset ved denne analysen er å velge løsningen som gir minst belastning, og komplikasjoner for kommende generasjoner. Ved denne analysen finner vi også ut hvilken løsning som er mest bærekraftig og best egnet for dette prosjektet.

Bærekraft omtales av *Norsk Vann rapport nr. 205 – Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene*, som en balansegang mellom sosiale, økonomiske og miljømessige faktorer (Enander, m.fl., 2014).



Figur 42 - "De tre sentrale dimensjonene i bærekraftsbegrepet" (Kilde: Norsk Vann rapport nr.205 - Bærekraftig forvaltning av VA-tjenestene, Enander, m.fl., 2014)

### 6.1 Indikatorer

I denne tabellen presenteres de utvalgte indikatorene/vurderingskriteriene, se *kapittel 3.5 Analyser*, for valg av indikatorer.

<b>Miljø-indikator</b>	Klimagassutslipp CO <sub>2</sub> i byggefasen
	Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet
<b>Økonomiske indikatorer</b>	Installasjonskostnader
	Driftskostnader
	Livsløpskostnader
<b>Sosiale indikatorer</b>	Belastning på beboere i anleggsfasen
	Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner
<b>Tekniske indikatorer</b>	Tilpasning til eksisterende infrastruktur
	Antatt levetid/fornyingsrate
	Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden
<b>Arkeologiske indikatorer</b>	Påvirkning på kulturlagene
	Graving og omrøring i masser i anleggsfasen

Tabell 5 – Samletabell for indikatorer

## 6.2 Systemgrenser

Det er vesentlig å velge de rette systemgrensene for analysen. Ved valg er det viktig å tenke større, enn kun på den tekniske installasjonen, da infrastrukturen utveksler energi og materialstrømmer med det omgivende samfunn, og påvirker dette med mange andre viktige faktorer. Dermed må man inkludere det viktigste området og funksjonene som infrastrukturen betjener og påvirker. Ved å sette for snevre grenser i forhold til for vide, kan resultatet forandres totalt, da man gjerne favoriserer det ene alternativet som gjerne ikke er det mest bærekraftige. Med dette vil man også kunne ekskludere viktige virkninger og funksjoner med stor betydning for bærekraften (Lindholm, 2005).

## 6.3 Poengsetting av indikatorer

For å veie de ulike alternativene opp mot hverandre, vil de bli gitt poengsum ut ifra hvor liten/høy belastning (god/dårlig bærekraft) de har opp mot de ulike indikatorene. Det vil bli gitt ytterverdier og midlere verdier.

Belastning	Poeng
Høyest belastning/minst bærekraftig	100
Liten Belastning	25
Moderat belastning	50
Moderat/høy belastning	75

Tabell 6 - Veiledende poengsetting

Alternativet som gir høyest belastning/dårligst bærekraft gis 100 poeng, og fungerer som en referanse. De andre alternativene vil deretter vektet opp mot referanse-alternativet og gis poeng etter hvor mye mindre belastende det gitte alternativet er.

### 6.3.1 Miljømessige indikatorer

#### **Klimagassutslipp, CO<sub>2</sub> i anleggsfasen:**

*For å beregne klimagassutslippet i anleggsfasen, har vi benyttet oss av Asplan Viaks «NoDig-Kalkulator». Denne gir en grov kalkyle på klimagassutslipp ved ulike aktiviteter og gir et overslag for de ulike alternativene som kan sammenlignes med hverandre. Overslagene er generelle, og det blir ikke tatt hensyn til lokasjon eller det faktum at man berører kulturlag og må grave med aktsomhet.*

**Alternativ 1**, 0-alternativet innebærer ingen endringer på eksisterende system, og dermed heller ingen anleggstid.

**Alternativ 2**, Konvensjonell graving innebærer på området å anlegge helt nye overvannsledninger i grøft. Ved konvensjonell graving i kulturlag må man påregne seg en ekstra lang anleggstid, da man må grave med aktsomhet og gjerne med tilsyn. Massene er

forurenset og må leveres til godkjent deponi, noe som innebærer mye transport av masser til og fra prosjektområdet.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering med grunn overvannsledning begrenser man behovet for transport ved at man eventuelt strømpes eksisterende avløp- fellesledning, og anlegger en grunnere og mer kompakt løsning for overvannet. Ved lettseparering får man en kortere anleggstid sammenlignet med konvensjonell graving, og mindre behov for transport av masser og bruk av maskiner, som resulterer i et lavere utslipp av CO<sub>2</sub>.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» strømpes eventuelt den eksisterende avløp- fellesledningen samtidig som man kobler taknedløp og sluk fra. Ved denne løsningen skal det graves ned til de øverste kulturlagene, før man bygger opp tette «bentonitt-demninger», og overbygning med god infiltrasjonskapasitet.

Denne løsningen vil også resultere i en lang anleggstid med et større behov for tilføring av nye masser og transport.

**Alternativ 5,** Ved utblokking av eksisterende avløp- fellesledning og inntrekking av to rør må det graves trekkegrop og innføringsgrop, samtidig som man må grave opp hver av påkoblingene til avløp- fellesledningen og deretter koble fra, før man starter utblokkingen. Ved bruk av denne metoden sparer man seg for store mengder graving og transport, sammenlignet med konvensjonell graving, da det er snakk om mindre maskiner og mindre mengder masser som skal grave ut.

*For en enkel beregning av klimagassutslipp, CO<sub>2</sub> i anleggsfasen er NoDig-kalkulatoren til Asplan Viak benyttet. For å gjøre dette enklere har vi valgt en overdekning på 1,8 meter, for konvensjonell graving og utblokking. For lettseparering og separering med «Laksetrapp-løsning» har vi addert strømping ved 1,8 meters overdekning, og etablering av grunn overvannsledning med 1 meters overdekning.*

Alternativ	CO <sub>2</sub> – Utslipp (kg) i anleggsfasen	Poeng
0-alternativet	-	25
Konvensjonell løsning	8 920 kg	100
Lettseparering	8 730 kg	98
Separering med «Laksetrapp-løsning»	8 730 kg	98
Utblokking	2 400 kg	27

Tabell 7 - Klimagassutslipp, CO<sub>2</sub> i anleggsfasen (Kilde: Asplan Viaks NoDig-kalkulator)



### **Antatt utslipp av forurensninger, sammenlignet med 0-alternativet:**

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet går alt overvannet i avløp- fellesledning til rensesanlegg, noe som bidrar til en lavere renseseffekt. Ved en normalsituasjon uten større nedbørshendelser renses overvannet godt, men ved en langvarig eller mer intens nedbørshendelse hvor kapasiteten på avløp- fellesledningene sentralt overskrides, går avløpsvann urensset i overløp og ut i et av utløpene i Vågen.

**Alternativ 2,** Ved en konvensjonell løsning hvor man installerer filter i kum, INNOLET-G, vil overvannet renses godt, selv ved moderat store nedbørshendelser. Dersom man anlegger sandfang og eventuelt et infiltrasjonssandfang, blir også eventuelle forurensninger som ikke blir rensset i første omgang, sedimentert.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering, hvor man anlegger en langsgående renne med filter, *D-Rainclean*, vil også vannet renses godt, selv ved moderat store nedbørshendelser.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning», hvor man installerer et filter i kum, INNOLET-G, vil overvannet renses tilstrekkelig, selv ved moderat store nedbørshendelser. Ved anlegging av sandfang/infiltrasjonssandfang, blir også eventuelle forurensninger som ikke blir rensset i første omgang, sedimentert.

**Alternativ 5,** Ved utblokking, hvor man installerer filter i kum, INNOLET-G, vil overvannet renses tilstrekkelig, selv ved moderat store nedbørshendelser.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	50 p.
Lettseparering	50 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	50 p.
Utblokking	50 p.

Tabell 8 - Antatt utslipp av forurensninger sammenlignet med 0-alternativet

### 6.3.2 Økonomiske indikatorer

*Ettersom den økonomiske indikatoren blir en mindre del av den totale bærekraftsanalysen, har vi valgt å forenkle kostnadsberegningene. Siden flere av løsningene er «sjeldne/nye», og det kan dukke opp store uforutsette kostnader knyttet til arkeologiske funn, forsinkelser og kulturlagene, blir det vanskelig å sette et tall på kostnadene ved de ulike alternativene. Tallene vi har brukt er i stor grad erfaringstall fra Asplan Viak, hvor vi har lagt til en sikkerhetsmargin.*

### **Investeringskostnader:**

For investeringskostnader har vi forhørt oss med vår eksterne veileder, Fabian Tapia og prosjektansvarlig ved tilsvarende prosjekt, Kjetil Krogsrud i Asplan Viak om erfaringstall. For konvensjonell graving har vi anslått 50 000 kr/m. For lettseparering er prisen estimert til 35 000 – 40 000 kr/m, da vi i prinsippet holder oss over de mest verdifulle kulturlagene. Separeringen med «Laksetrapp-løsning» er estimert til 40 000 kr/m, da vi også her holder oss over de mest verdifulle kulturlagene. For utblokking har vi valgt å legge oss relativt høyt sammenlignet med vanlige estimat, da det i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen må gjøres mange og tette anboringer, og det i Øvre Korskirkeallmenningen kan bli nødvendig å legge en grunn overvannsledning på en side av veien. Vi estimerer dermed prisen til ca. 18 000 - 22 000 kr/m.

Alternativ	Meterpris kr/m	Lengde	Totalpris	Poeng
0-alternativet	-	-	-	25
Konvensjonell løsning	50 000 kr/m	210 m	10 500 000 kr	100
Lettseparering	37 500 kr/m	210 m	7 880 000 kr	75
Separering med «Laksetrapp-løsning»	40 000 kr/m	150 m	6 000 000	57
Utblokking	20 000 kr/m	150 m	3 000 000	29

Tabell 9 - Investeringskostnader

Kostnadene som ikke er tatt med mtp. 0-alternativet, er den opprinnelige investeringskostnaden fra den tiden avløp- fellesledningen gjennom Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen ble etablert (2016 og 2011). Det tas heller ikke med de kostnader som kan komme til å oppstå slik systemet ligger i dag, med dårlig fremtidig kapasitet. Dette er materielle kostnader som f.eks. setningsskader, vannskader, oversvømmelser m.m.

### **Driftskostnader:**

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet vil man måtte opprettholde dagens vedlikeholds nivå, med tømning av eventuelle sandfang, rørinspeksjoner, samtidig som man må regne med kostnaden på å la alt overvannet gå i avløp- fellesledning til renseanlegg. Dette vil over tid ikke være særlig bærekraftig.

**Alternativ 2,** Ved konvensjonell løsning, vil man regelmessig måtte tømme ulike sandfang, utføre rørinspeksjoner, og filtermedium til renseløsningen, INNOLET-G, må byttes med gitt intervall.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering må ledningene inspiseres, sandfang må tømmes og filtermediet må byttes med et gitt intervall.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» bør det følges anbefalt intervall for vedlikehold, regelmessig tømme sandfang og filteret i kum, for å hindre sediment og sand inn i selve infiltrasjon-/fordrøyningsystemet. Det er med dette alternativet ulikt vedlikehold basert på årstid. I sommerhalvåret vil man gjerne unngå finstoff inn i systemet, og forsøke å holde overflaten så ryddig som mulig for blant annet sand, stein og løv. Når det så kommer til vinterhalvåret vil systemet fungere optimalt dersom man klarer å unngå vegsalt på området. Dette bør unngås for å på best mulig måte skjerme kulturlagene (Multiconsult, 2017a).

**Alternativ 5,** Ved utblokking vil man regelmessig måtte tømme infiltrasjonssandfang og inspiserer systemet, og filtermediet til filter i kum, INNOLET-G må byttes ut.

*For å finne omtrentlige driftskostnader har vi funnet en omtrentlig kostnad i året per sandfang, per meter ledning i grøft, og årlig kostnad for filtermedium per filter/per meter.*

*Dette er tatt for seg i detalj med utregninger i vedlegg 2 – Beregning av driftskostnader. Kostnadene er avrundet til nærmeste hele 1000.*

Alternativ	Årlig driftskostnad	Poeng
0-alternativet	828 000 kr	100 p.
Konvensjonell løsning	141 000 kr	17 p.
Lettseparering	165 000 kr	20 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	323 000 kr	39 p.
Utblokking	97 000 kr	13 p.

*Tabell 10 – Driftskostnader*

### **Livsløpskostnader:**

*For å beregne livsløpskostnader har vi valgt å summere investeringskostnadene med driftskostnadene for forventet levetid, for så å dele denne summen på forventet levetid.*

*0-alternativet som kommer uten investeringskostnad, kommer godt ut da det ikke er tatt høyde for fremtidige kostnader med et system med overskridet kapasitet.*

Alternativ	Investeringskost	Forventet levetid	Driftskostnader over forventet levetid	Livsløpskostnad per år	Poeng
0-alternativet	-	140 år	828 000 kr	828 000 kr	100 p.
Konvensjonell løsning	10 500 000	150 år	141 000	211 000 kr	26 p.
Lettseparering	7 880 000	100 år	165 000 kr	244 000 kr	30 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	6 000 000	100 år	323 000 kr	383 000 kr	46 p.
Utblokking	3 000 000	100 år	97 000	127 000 kr	15 p.

Tabell 11 – Livsløpskostnader

### 6.3.3 Sosiale indikatorer

#### **Belastning på beboere i anleggsfasen:**

*Belastning på beboere er en vanskelig indikator å sette poeng på, ettersom belastningen varierer og er individuell for hver enkelt beboer på området. Vi gir det alternativet som medfører størst belastning på beboerne 100 poeng, og vurderer de andre opp mot det minst bærekraftige alternativet.*

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet blir det ingen anleggstid og dermed ingen vesentlig belastning på beboere i området, utover det vanlige vedlikeholdet. Med for dårlig fremtidig kapasitet og ytterligere setnings- og vannskader kan dette imidlertid medføre en fremtidig belastning på beboerne.

**Alternativ 2,** Ved en konvensjonell løsning risikerer man en lang anleggstid hvor større deler av gaten forblir stengt, noe som fører til store ulemper for berørte næringsdrivende og beboere, samtidig som det innebærer mye tilrettelegging. I tillegg blir det store mengder transport til/fra området, samtidig som man over en lengre periode eksponerer området for støv og støy.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering graver man grunnere og mindre enn ved konvensjonell graving. Det graves også ut et mindre tverrsnitt, og med mulighet for å holde grøftene smalere. Dette innebærer en kortere anleggsperiode, mindre transport, og mindre støy og støv til/fra anlegget. Da man graver opp et mindre tverrsnitt enn ved konvensjonell

graving, kan man også komme unna med å ikke stenge ned like omfattende som ved konvensjonell graving.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning», graver man grunnere enn ved den konvensjonelle løsningen, men man graver et bredere tverrsnitt, og masseutskifter. Ettersom man ikke graver under de verdifulle kulturlagene, men kun ned til dem, kan man spare seg for en lengre periode med utgraving som kan resultere i en kortere anleggsperiode, sammenlignet med den konvensjonelle gravingen.

**Alternativ 5,** Ved utblokking graves innførings- og trekkegrop og anboringer/påkoblinger opp, og man må vurdere nødvendigheten av å anlegge et strekke med grunn overvannsløsning i Øvre Korskirkeallmenningen. Selve anleggsperioden regnes likevel som kortere, sammenlignet med konvensjonell graving, på samme tid som man slipper større mengder transport, støy og støv.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	75 p.
Konvensjonell løsning	100 p.
Lettseparering	75 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	75 p.
Utblokking	50 p.

Tabell 12 - Belastning på beboere i anleggsfasen:

***Befolkningens behov for å opprettholde fortids-/kulturminner (herunder, opprettholde grunnvannstand og minimere mengder graving):***

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet sitter man med for lav grunnvannstand på stedet, som på sikt resulterer i ytterligere nedbrytning av kulturlagene i grunnen. Dette vil også medføre økonomiske ulemper for både kommune og andre eiere av bygg og infrastruktur i området.

**Alternativ 2,** Ved konvensjonell løsning, hvor man legger nye rør, vil man nødvendigvis grave under nivået der kulturlagene ligger. Dette innebærer at gravingen må skje med tilstrekkelig aktsomhet, og arkeologisk tilsyn. Ved en konvensjonell løsning kan dermed de helhetlige verdifulle kulturlagene gå tapt, ved at omkringliggende kulturlag blir tilført oksygen, lys etc.

Ved å etablere infiltrasjonssandfang, vil man sikre infiltrasjon lokalt rundt kummene, men da kulturlagene har dårlig infiltrasjonsevne og ingenting holder igjen grunnvannsstrømmen, vil det kunne ha liten effekt på grunnvannstanden.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering anlegges selve overvannsledningen grunt, med minst mulig berøring av kulturlagene. Ved etablering av et permeabelt dekke i Øvre Korskirkeallmenningen og et langsgående dreneringssystem, vil dette til en viss grad bidra til infiltrasjon og fordrøyning, og dermed også til en viss grad opprettholdelse av grunnvannstanden.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» må løsningen etableres etter at massene er fjernet ned, til og med de øverste humusholdige lagene for å forbedre infiltrasjonsevnen i grunnen. Dermed berører man de kulturlagene der nedbrytningen er i gang, før man bygger opp med grøftestengsler i bentonitt, lettklinker og masser med god infiltrasjons-/fordrøyningsevne.

Ved å bygge opp «Laksetrapp-løsningen», sikrer man at overvannet fordrøyes i grunnen og at grunnvannstanden opprettholdes og kan reguleres.

**Alternativ 5,** Ved utblokking må man ned på nivå med den eksisterende ledningen for å etablere en innføring- og trekkegrop. I tillegg må det graves ned på hver av anbringene/tilkoblingene. Dette innebærer de fleste steder å grave dypere enn kulturlagene, og må skje med tilstrekkelig aktsomhet. Under selve utblokkingen utvides selve ledningssonen betraktelig, noe som komprimerer massene rundt og kan føre til omrøringer og forstyrrelser i massene, herunder kulturlagene. Ettersom systemet er operativt vil det heller ikke bidra positivt til å opprettholde grunnvannstanden, da systemet vil føre vannet ut av området.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	75 p.
Lettseparering	50 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	25 p.
Utblokking	100 p.

Tabell 13 - Befolkningens behov for å opprettholde fortids-/kulturminner

#### 6.3.4 Tekniske indikatorer

##### **Tilpasningsdyktighet ovenfor nye krav til rensing av overvann:**

Ved en normalsituasjon vil 0-alternativet kunne håndtere nye krav til rensing av overvannet, da det i dag føres med spillvannet til renseanlegg. Ved de større nedbørshendelsene fører derimot mengdene overvann til at avløpsvann går i overløp ut i Vågen.



For de resterende alternativene etableres renseløsningene, INNOLET-G eller D-Rainclean, som begge har en viss tilpasningsdyktighet ovenfor nye krav til rensing av overvann. 0-alternativet vurderes dermed som dårligst, de andre scorer likt.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	75 p.
Lettseparering	75 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	75 p.
Utblokking	75 p.

Tabell 14 - Tilpasningsdyktighet ovenfor nye krav til rensing av overvann

### **Tilpasning til eksisterende infrastruktur:**

Under vurdering av de ulike alternativene opp mot tilpasning til eksisterende infrastruktur, har vi satt disse opp mot dagens situasjon med dagens eksisterende system. Grunnen til dette er at planene for videre separering nedstrøms fremdeles er uklare ved dette tidspunktet, da det skal skje i forbindelse med utbygging av bybanen, se Vedlegg 6 Vågsbunnen VA-anlegg.

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet gjør man ingen tilpasninger utover slik systemet er i dag. Ved utbedring og separering av oppstrøms og eventuelt nedstrøms avløp-fellesledninger, vil ikke dagens system være særlig godt tilpasset. Ettersom en del av overvannet i dag føres i avløp-fellesledningen, føres alt til rensenanlegget som resulterer i mindre kapasitet på både rensenanlegget og selve ledningsnett.

**Alternativ 2,** Ved konvensjonell løsning er det god mulighet for tilpasning av systemet, til det eksisterende og kommende. I Øvre Korskirkeallmenningen kan systemet kobles på ved eksisterende påkobling i Kong Oscars gate, mens i Nedre Korskirkeallmenningen kan ny ledning kobles på eksisterende «Laksetrapp-løsning» i bunnen, eller kobles tilbake på avløp-fellesledningen med mulighet for påkobling til fremtidig separert nedstrøms system. Dette vil derimot ikke utgjøre en umiddelbar bedring fra dagens system.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering, vil de nye overvannsledningene i stor grad kunne tilpasses eksisterende infrastruktur.

I Øvre Korskirkeallmenningen vil systemet kunne kobles på Kong Oscars gate, og føres ut med overvannsledningen.

I Nedre Korskirkeallmenningen, vil man også her kunne koble seg på infiltrasjonsanlegget eller den eksisterende avløp- fellesledningen, med mulighet for senere påkobling nedstrøms på separert anlegg.

**Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning».** I Øvre Korskirkeallmenningen vil man kunne koble på anlegget ved overvannsledningen i Kong Oscars gate eller nedstrøms anlegg ved å føre en ledning gjennom Kong Oscars gate som kobles på øverst i det nye systemet i Nedre Korskirkeallmenningen. I den forbindelse forutsettes det at det kan legges en grunn overvannsledning på tvers av Kong Oscars gate.

I nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen er det eksisterende systemet prosjektert slik at man skal kunne koble seg på oppstrøms anlegg. Dermed vil man kunne etablere, koble på og ende opp med ett stort helhetlig system.

*Alternativ 4* er med andre ord meget tilpasningsdyktig til det eksisterende systemet.

**Alternativ 5,** Ved utblokking med inntrekking av to rør får man et nytt overvannsrør og separat spillvannsrør. Man vil da kunne gjøre en av to ting:

1. I Øvre Korskirkeallmenningen kan den nye overvannsledningen kobles på overvannsledningen i Kong Oscars gate. I Nedre Korskirkeallmenningen vil systemet måtte kobles på avløp- fellesledningen mellom Sparebanksgaten og Hollendergaten for videre utløp til en fremtidig separering.
2. Det andre alternativet er at man ikke kobler seg på i Kong Oscars gate og fører alt ned i Nedre Korskirkeallmenningen, før man her kobler seg på avløp- fellesledningen.

*Begge alternativene gir liten umiddelbar gevinst, sammenlignet med 0-alternativet.*

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	75 p.
Lettseparering	75 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	25 p.
Utblokking	100 p.

*Tabell 15 - Tilpasning til eksisterende infrastruktur*

### **Fornyelsesrate/Antatt levetid:**

*For konvensjonell løsning, antas en levetid på 150 år. For 0-alternativet beregner vi 150 år fra året ledningene ble installert i 2011, dvs. 140 års levetid. For resterende løsninger antas*

det en levetid på 100 år. Ledningene med 100 års levetid, får 100 p. De andre med lengre levetid får 100 p., minus hvor mange prosent bedre de er.

Alternativ	Dim. levetid for ledninger generelt	Antatt levetid	Poeng
0-alternativet	100 år	140 år (anlagt 2011)	72 p.
Konvensjonell løsning	100 år	150 år	67 p.
Lettseparering	100 år	100 år	100 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	100 år	100 år	100 p.
Utblokking	100 år	100 år	100 p.

Tabell 16 - Forventet levetid

### Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden:

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet opprettholdes dagens situasjon med for lavt grunnvannsnivå og forvitring av kulturlagene i grunnen. På lang sikt er ikke denne løsningen holdbar, og vil resultere i større setningsskader i området.

**Alternativ 2,** Ved å anlegge en konvensjonell løsning med infiltrasjonssandfang og et permeabelt dekke, infiltreres noe overvann til grunnen, men da det ikke «demmes opp» og holdes igjen, og massene i grunnen har lav infiltrasjonsevne, vil i beste fall grunnvannstanden opprettholdes.

**Alternativ 3,** Ved en lettseparering infiltreres noe av overvannet via drensledninger rundt ledningen og gjennom det permeable dekket. Ettersom grunnen da har lav infiltrasjonsevne, vil i beste fall løsningen bidra til å opprettholde grunnvannstanden.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» føres alt overvannet fra de mindre og moderat store nedbørshendelsene ned i grunnen, og infiltreres og fordrøyes. Ved denne løsningen kan grunnvannstanden på området heves og reguleres.

**Alternativ 5,** Ved utblokking av eksisterende avløp- fellesledning med inntrekking av egen overvannsledning, føres også her større mengder overvann ut av området, som kan bidra til en ytterligere senkning av grunnvannstanden og setninger i området.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	75 p.
Lettseparering	50 p.

Separering med «Laksetrapp-løsning»	25 p.
Utblokking	100 p.

Tabell 17 – Påvirkning av grunnvannstanden

### 6.3.5 Arkeologiske indikatorer

#### Påvirkning på kulturlag (herunder grunnvannsnivå):

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet står grunnvannstanden for lavt, noe som medfører videre nedbrytning av kulturlagene i grunnen og ytterligere setninger i området.

**Alternativ 2,** Ved å anlegge en konvensjonell løsning føres de større nedbørsmengdene mer effektivt ut fra området. På samme tid vil et permeabelt dekke og infiltrasjonssandfang kunne stå for noe infiltrasjon, men da grunnen har lav infiltrasjonsevne vil ikke løsningen bidra til særlig heving av grunnvannstanden, og derav ikke til bevaring av kulturlagene.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering infiltreres noe av overvannet via drensledninger/drensløsning rundt ledningen og gjennom permeable dekker. Da grunnen har en meget lav infiltrasjonsevne og man ikke vil kunne skifte ut massene under og rundt ledningene med masser med bedre infiltrasjonsevne, vil ikke denne løsningen bidra i noen stor grad til heving av grunnvannsnivået og derav ikke til bevaring av kulturlagene.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» føres alt overvannet fra de mindre og moderat store nedbørshendelsene ned i grunnen, på samme tid som vannet blir holdt igjen ved bentonittdemningene. Ved denne løsningen kan grunnvannstanden på området heves og reguleres om ønskelig, og vil bidra til å bevare kulturlagene.

**Alternativ 5,** Ved utblokking av eksisterende avløp- fellesledning med inntrekking av egen overvannsledning, føres større mengder overvann ut av området enn ved dagens situasjon, som kan bidra til en ytterligere senkning av grunnvannstanden og nedbrytning av kulturlagene.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	100 p.
Konvensjonell løsning	75 p.
Lettseparering	75 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	25 p.
Utblokking	100 p.

Tabell 18 – Påvirkning på kulturlag

### **Graving og omrøring av masser i anleggsfasen:**

**Alternativ 1,** Ved 0-alternativet vil det ikke bli gjort endringer på dagens system og dermed ingen ytterligere omrøringer i massene.

**Alternativ 2,** Ved konvensjonell graving må man grave dypere enn selve kulturlagene, som vil innebære større omrøringer av massene i selve anleggsfasen.

**Alternativ 3,** Ved lettseparering vil gravingen primært foregå over kulturlagene, men noe omrøring vil forekomme.

**Alternativ 4,** Ved separering med «Laksetrapp-løsning» vil gravingen også her foregå over kulturlagene, men under gjenfylling vil det fylles opp med lettklinker og en lettere overbygning for å skåne kulturlagene.

**Alternativ 5,** Ved utblokking utvides ledningssonen og det vil skje en viss komprimering og omrøring i de omkringliggende massene. Det må på samme tid graves opp ved anboringer/påkoblinger og graves trekke- og innføringsgrop. Dersom det i tillegg må anlegges en separat konvensjonell/grunn overvannsløsning på den ene siden i Øvre Korskirkeallmenningen, vil omrøringen av massene bli omfattende.

Alternativ	Poeng
0-alternativet	25 p.
Konvensjonell løsning	100 p.
Lettseparering	50 p.
Separering med «Laksetrapp-løsning»	25 p.
Utblokking	100 p.

Tabell 19 - Påvirkning på kulturlag

## 6.4 Oppsummering av poengsetting

Indikatorer	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Klimagassutslipp CO <sub>2</sub>	25 p.	100 p.	98 p.	98 p.	27 p.
Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet	100 p.	50 p.	50 p.	50 p.	50 p.
Installasjonskostnader	25 p.	100 p.	75 p.	57 p.	25 p.
Driftskostnader	100 p.	17 p.	20 p.	39 p.	13 p.
Livsløpskostnader	100 p.	26 p.	30 p.	46 p.	15 p.
Belastning på beboere i anleggsfasen	75 p.	100 p.	75 p.	75 p.	50 p.
Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner	100 p.	75 p.	50 p.	25 p.	100 p.
Tilpasning til nye krav for rensing av overvann	100 p.	75 p.	75 p.	75 p.	75 p.
Tilpasning til eksisterende infrastruktur	100 p.	75 p.	75 p.	25 p.	100 p.
Antatt levetid /Fornyingsrate	72 p.	67 p.	100 p.	100 p.	100 p.
Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden	100 p.	75 p.	50 p.	25 p.	100 p.
Påvirkning på kulturlag	100 p.	75 p.	75 p.	25 p.	100 p.
Graving og omrøring i masser i anleggsfasen	25 p.	100 p.	50 p.	25 p.	100 p.

Tabell 20 - Oppsummering av poengsettingen

## 6.5 Vekting av indikatorene

Før man kan rangere de ulike alternativene må de ulike indikatorene vektas. Det er ønskelig å gjennomføre en mest mulig objektiv vekting, og vi har derfor benyttet oss av «panelmetoden». Denne metoden går ut på at flere ulike fagpersoner uttaler seg om hvordan de synes indikatorene skal vektas.



Vekting		Vekt %
<b>Miljø-indikator</b> 20 %	Klimagassutslipp CO <sub>2</sub> i byggefasen	10 %
	Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet	10 %
<b>Økonomiske indikatorer</b> 15 %	Installasjonskostnader	5 %
	Driftskostnader	5 %
	Livsløpskostnader	5 %
<b>Sosiale indikatorer</b> 15 %	Belastning på beboere i anleggsfasen	7,5 %
	Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner	7,5 %
<b>Tekniske indikatorer</b> 25 %	Tilpasning til nye krav for rensing av overvann	5%
	Tilpasning til eksisterende infrastruktur	5 %
	Antatt levetid/fornyingsrate	5 %
	Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden	10 %
<b>Arkeologiske indikatorer</b> 25 %	Påvirkning på kulturlagene	15 %
	Graving og omrøring i masser i anleggsfasen	10 %
		100 %

Tabell 21 – Vekting

*Ideelt sett bør det også ses på politikernes vurdering av indikatorene, da disse til slutt skal fatte vedtaket på løsningen som er valgt. For å sikre vår objektivitet, gjennomføres det en sensitivitetsanalyse. Da de ulike alternativene viser et større sprik når det kommer til investeringskostnad og driftskostnader, har vi valgt å sette opp en vekting hvor det settes langt større fokus på økonomi og tekniske indikatorer. Grunnen til at dette utføres er for å kontrollere hvor ulikt resultatet ville blitt, enn ved vektingen fra fagpersoner.*

Vekting med fokus på økonomi og tekniske indikatorer		Vekt %
<b>Miljø-indikator</b> 10 %	Klimagassutslipp CO <sub>2</sub> i byggefasen	5 %
	Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet	5 %
<b>Økonomiske indikatorer</b> 40 %	Installasjonskostnader	15 %
	Driftskostnader	15 %
	Livsløpskostnader	10 %
<b>Sosiale indikatorer</b> 10 %	Belastning på beboere i anleggsfasen	5 %
	Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner	5 %
<b>Tekniske indikatorer</b> 30 %	Tilpasning til nye krav for rensing av overvann	7,5 %
	Tilpasning til eksisterende infrastruktur	7,5 %
	Antatt levetid/fornyingsrate	7,5 %
	Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden	7,5 %
<b>Arkeologiske indikatorer</b> 10 %	Påvirkning på kulturlagene	5 %
	Graving og omrøring i masser i anleggsfasen	5 %
		100 %

Tabell 22 - Vekting med fokus på økonomi og tekniske indikatorer

## 7 Resultat og Drøfting

### 7.1 Resultatet av analysen

Indikator	Vekt %	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Klimagassutslipp CO <sub>2</sub> i byggefasen	10 %	2,5	10	9,8	9,8	2,7
Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet	10 %	10	5	5	5	5
Installasjonskostnader	5 %	1,25	5	3,75	2,85	1,25
Driftskostnader	5 %	5	0,85	1	1,95	0,65
Livsløpskostnader	5 %	5	1,3	1,5	2,3	0,75
Belastning på beboere i anleggsfasen	7,5 %	5,625	7,5	5,625	5,625	3,75
Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner	7,5 %	7,5	5,625	3,75	1,875	7,5
Tilpasning til nye krav for rensing av overvann	5%	5	3,75	3,75	3,75	3,75
Tilpasning til eksisterende infrastruktur	5 %	5	3,75	3,75	1,25	5
Antatt levetid/fornyingsrate	5 %	3,6	3,35	5	5	5
Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden	10 %	10	7,5	5	2,5	10
Påvirkning på kulturlagene	15 %	15	11,25	11,25	3,75	15
Graving og omrøring i masser i anleggsfasen	10 %	2,5	10	5	2,5	10
SUM	100%	77,975	74.875	64,175	48,15	70,35

Tabell 23 -Resultatet av bærekraftsanalysen etter vekting

Vi ser ved resultatet at analysen i tabell 23 viser at *Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning»* gir den laveste belastningen, og kommer dermed ut som det mest bærekraftige alternativet.

Ser av *tabell 24* resultat med alternativ vektning, der fokuset har vært på de **økonomiske og tekniske indikatorene**.

Indikator	Vekt	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Klimagassutslipp CO <sub>2</sub> i byggefasen	5 %	1,25	5	4,9	4,9	1,35
Antatt utslipp av forurensninger i bruk, sammenlignet med 0-alternativet	5 %	5	2,5	2,5	2,5	2,5
Installasjonskostnader	15 %	3,75	15	11,25	8,55	3,75
Driftskostnader	15 %	15	2,55	3	5,85	1,95
Livsløpskostnader	10 %	10	2,6	3	4,6	1,5
Belastning på beboere i anleggsfasen	5 %	3,75	5	3,75	3,75	2,5
Befolkningens behov for å opprettholde fortidsminner	5 %	5	3,75	2,5	1,25	5
Tilpasning til nye krav for rensing av overvann	7,5%	7,5	5,625	5,625	5,625	5,625
Tilpasning til eksisterende infrastruktur	7,5 %	7,5	5,625	5,625	1,875	7,5
Antatt levetid/fornyingsrate	7,5 %	5,4	5,025	7,5	7,5	7,5
Hvor godt opprettholdes grunnvannstanden	7,5 %	7,5	5,625	3,75	1,875	7,5
Påvirkning på kulturlagene	5 %	5	3,75	3,75	1,25	5
Graving og omrøring i masser i anleggsfasen	5 %	1,25	5	2,5	1,25	5
SUM	100%	77,9	67,05	59,65	50,775	56,675

Tabell 24 - Resultatet av analysen etter «kost/nytte»-vektning

Resultatet av analysen, med hovedvekt på de økonomiske- og tekniske indikatorene, viser at *Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning»*, også her kommer ut som det mest bærekraftige.

### Oppsummert resultat:

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Sum ved «fagpersonenes» vekting	77,975	74,875	64,175	48,15	70,35
Vekting med fokus på «nytte/kost» - Økonomi og tekniske indikatorer	77,9	67,05	59,65	50,775	56,675

Tabell 25 - Oppsummert resultat av analysen med begge vektingene

## 7.2 Drøfting av resultatet

Resultatet av analysen etter vekting tilsier at *Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning»* kommer ut med færrest poeng. Dette alternativet er dermed vurdert til å gi minst belastning, og kan med andre ord regnes som den minst belastende og mest bærekraftige løsningen.

*Alternativ 4*, kommer best ut ved begge vektingene, også ved vekting av «kost/nytte», med relativt god margin. Vi skal her se nærmere på hva som har vært utslagsgivende for gitt resultat, og hva som har kunnet påvirke utfallet av resultatet.

*Alternativ 4* er i aller høyeste grad basert på eksisterende anlegg i Nedre Korskirkeallmenningen, som ble prosjektert og etablert for å kunne svare på alle områdets utfordringer, og bidra til å heve og regulere grunnvannsnivået, for å på best mulig måte bevare kulturlagene og forhindre setninger på området.

De mest utslagsgivende indikatorene fokuserer nemlig på bevaring av kulturlagene og heving/opprettholdelse av grunnvannstand både i og etter anleggsfasen. Dette kommer av de fremtidige materielle kostnadene som kan oppstå dersom grunnvannssenkningen ikke håndteres tilstrekkelig. For å kontrollere analysens objektivitet ble det utført en sensitivitetsanalyse der det undersøkes hvor følsom analysen er for endringer i vektingen. Her er hovedvekten lagt på økonomi, med 45 % vekt fordelt på *investeringskostnad*, *driftskostnader* og *livsløpskostnader*. Ved gitt vekting kommer også *Alternativ 4* best ut.

En faktor som kan være utslagsgivende er selve 0-alternativet. Ved at 0-alternativet kommer såpass dårlig ut i drifts- og livsløpskostnadene, blir differansen mellom de andre alternativene mindre. Dersom 0-alternativet tas ut av disse beregningene, kommer *Alternativ 5 Utblokking*, best ut i «kost/nytte»-vektingen, tett etterfulgt av «Laksetrapp-løsningen».

Ses det nærmere på indikatorene som er mest utslagsgivende for resultatet, vil man kunne observere at de *arkeologiske indikatorene*, *befolkningens behov for å opprettholde*

*fortidsminner, tilpasning til eksisterende infrastruktur og hvor godt opprettholdes grunnvannstanden, avgjør analysens resultat.*

Utover dette, er «Laksetrapp-løsningen» er en lite utprøvd metode, utover anlegget i Nedre Korskirkeallmenningen. For å opparbeide seg konkrete tall og erfaringer fra anlegget, har NIKU satt opp miljøbrønner for å overvåke grunnvannstand og dets påvirkninger på kulturlagene (Dunlop, 2016).

Ved etablering av tilsvarende system oppstrøms, må miljøovervåkningsprogrammet videreføres. Utviklingene i grunnvannstand, vannkvaliteten og setninger må med jevnlig mellomrom kontrolleres og eventuelt justeres. Ved anlegget nedstrøms, må det kontrolleres hvor vidt oppstrøms system påvirker kapasitet/tilførsel, og det må i tillegg kontrolleres at det tilføres nok vann til hele systemet, til at det skal kunne opptre etter sin hensikt.

### **Hva kan gjøres for at dette alternativet skal bli enda bedre?**

*Alternativ 4, Separering med «Laksetrapp-løsning», er i stor grad basert på det eksisterende anlegget i bunnen av Nedre Korskirkeallmenningen og legges opp på samme måte, men det foreslås en forenkling etter anbefaling i en faglig vurdering gitt av Hans de Beer i NGU. Her foreslås det å etablere to langsgående drensrør av større dimensjon, fremfor slik det er lagt opp i nedre del av Nedre Korskirkeallmenningen, med snirklete drensledninger med 90 graders vinkler (de Beer, 2015). Dette vil medføre et enklere vedlikeholdsarbeid og mindre fare for at sedimenter kan komme til å tette systemet.*

En ulempe som tas opp i de Beers faglige vurdering, er at heving av grunnvannstanden vil kunne resultere i mer inntrenging av vann i kjellere og at behovet for grunnvannspumpene da blir større enn noen gang, noe som på sikt vil være lite bærekraftig (de Beer, 2015).

I forbindelse med anlegget i Nedre Korskirkeallmenningen har Multiconsult i rapporten *Heving av grunnvannsnivåer. Risikoer*, foreslått avbøtende tiltak i form av miljøspunt inn mot kjellerne. Denne har som hensikt å senke tilstrømningen av vann mot kjellere ved økt grunnvannsnivå, og skal hindre inntrenging i kjellerne (Multiconsult, 2015). Denne løsningen foreslås gjennomført ved etablering av et slikt anlegg oppstrøms.

Tiltak som kunne vært vurdert for å forbedre løsningen ytterligere, ville vært regnbed, grønne tak og regntønner, se *kapittel 4.7.7 Alternativer som ikke fungerer like godt i Vågsbunnen*.

Ved bruk av PDB (permeabelt dekke), se *kapittel 4.7.3 Belegningsstein som håndterer overvann*, kunne man bygd opp overbygningen slik at man i tillegg til å kunne tilføre vann fra sandfang, kunne tilført vann fra hele dekket. Dette hadde til en viss grad ført til økt



fordrøynings- og infiltrasjonsevne. En ulempe ved bruk av permeabelt dekke er at rensegraden ville blitt noe lavere, da det ikke hadde gått igjennom en filterløsning/sandfangskum.

*Alternativ 4*, som kom best ut i bærekraftsanalysen, samsvarer med alle leddene i treleddsstrategien, da den vil fange opp og infiltrere alle *mindre nedbør*, forsinke og fordrøye nedbørshendelser inntil 20 års gjentakintervall. Ved en ekstrem nedbørshendelse vil vannet renne av på overflaten, delvis avskjæres og føres ned Kong Oscars gate. De overskytende mengdene vil føres ned Nedre Korskirkeallmenningen til lavpunktet ved Vågsallmenningen, før det eventuelt renner over veien og ut i Vågen.

I forbindelse med rensing, vil man kunne implementere den tenkte løsningen for rensing av overvann, i kum. Grunnet filterets størrelse kan det bli nødvendig med dypere kummer enn det som er etablert ved det eksisterende anlegget. Årsaken til dette er dybden selve filteret krever for å fungere optimalt. Dette kan innebære at man må ned i kulturlagene ved etableringen av selve kummen. Før en eventuell utførelse, må det gjøres en faglig vurdering, hvor det ses på konsekvensene av urensset overvann ned i infiltrasjonsanlegget, opp mot en eventuell utgraving av kulturlagene.

#### **Alternative løsninger som ble vurdert:**

Under vurdering av de ulike løsningene ble det i tidlig fase sett på hvordan utfordringene ble løst i Kong Oscars gate, der enkelte partier av overvannsledningen består av ett slisset rør som skal sørge for infiltrasjon. Det er også her bygget opp med bentonittplugg og grøftestengsler (Multiconsult, 2016b).

Etter vurdering ville ikke denne løsningen blitt like helhetlig, da det vil være høyere vannføring i røret og gjerne ikke like stor grad av infiltrasjon, som *Alternativ 4*, ettersom gjennomsnittlig fall i Korskirkeallmenningen er stort. Det ville også bydd på utfordringer knyttet til fordelingen av overvannet rundt i massene, da Korskirkeallmenningen har et betydelig tverrsnitt. *Alternativ 4* er dermed vurdert som bedre, og løsningen benyttet i Kong Oscars gate ble ikke tatt med i bærekraftsanalysen.

#### **Bærekraftsanalysens svakheter:**

Bærekraftsanalysen er basert på fem ulike indikatorer: miljømessige, sosiale, økonomiske, tekniske og arkeologiske. Ved valg av spesifikke indikatorer er det vanskelig å finne «nøytrale nok» indikatorer ettersom *Alternativ 4* er prosjektert og etablert for å kunne ta hensyn til områdets utfordringer. Dette har resultert i at løsningen i mange tilfeller scorer godt.

Ved utførelse av analysen er de ulike alternativene veid opp og vurdert av gruppen. For å sikre vår objektivitet, har vektingen blitt utarbeidet i samråd med ulike fagpersoner i Bergen kommune og NGU som har kommet med innspill. I tillegg har vi gjort en sensitivitetsanalyse, hvor indikatorene er vektet etter «kost/nytte»-prinsippet, med fokus på økonomiske- og tekniske indikatorer. Målet med å utføre denne var å kontrollere robustheten til resultatet. Sensitivitetsanalysen viste at selv ved å endre vektingen drastisk, forble resultatet det samme.

## 8. Oppsummering/konklusjon

I et område som Vågsbunnen og spesielt i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen, er måten man håndterer overvann på spesielt viktig for å ivareta sikkerhet for helse, miljø og infrastruktur, på samme tid som grunnvannstanden skal opprettholdes, og skader på kulturlag i grunnen skal avverges.

For å kunne velge en slik løsning for overvannshåndtering kom vi opp med følgende problemstilling:

### ***Hvilke løsninger kan benyttes for å sikre bærekraftig overvannshåndtering i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen?***

Ved å utføre en bærekraftsanalyse, og under hele prosessen tilpasse, forbedre og tilføre kvaliteter til de ulike løsningene, ser man ikke bare på det økonomiske eller hvorvidt systemet vil ha kapasitet til å kunne håndtere overvannet. Ved å i tillegg ta hensyn til andre tekniske, sosiale, miljømessige og arkeologiske indikatorer, tar man stilling til flere perspektiv. På denne måten mener vi at vi har kommet frem til at den beste og minst belastende løsningen er *Alternativ 4 Separering med «Laksetrapp-løsning»*.

For å hjelpe å besvare problemstillingen, ble følgende underproblemstillinger satt opp:

### ***Hvordan kan overvannet fordrøyres og infiltreres for å sikre grunnvannstanden?***

Ved etablering av en «Laksetrapp-løsning», *Alternativ 4*, vil man sikre både effektiv fordrøyning og infiltrasjon av overvannet. Overvannet fordrøyres i kammer, avgrenset av bentonittplugg og grøftestengsler, noe som bidrar til å kunne heve, og til en viss grad regulere grunnvannstanden.

### ***Kan det benyttes NoDig (gravefrie metoder)?***

Etter utført dimensjonering og bærekraftsanalyse kan det konkluderes med at det vil være lite gunstig å kun satse på utblokking eller andre gravefrie metoder i Øvre- og Nedre Korskirkeallmenningen. Dette kommer av begrensningene som settes med tanke på infiltrasjon og fordrøyning av overvannet ved utblokking. På samme tid vil en utblokking i seg selv ikke være tilstrekkelig i Øvre Korskirkeallmenningen, da avrenningen fordeles på begge sider av veien og man kun kan utblokke den ene. Dermed kan det måtte gjøres andre tiltak på den andre siden av veien.

### ***Hvordan kan man rense det forurensede overvannet?***

Ved å etablere foreslått løsning med et filter i hver av kummene, vil man på en effektiv måte kunne rense overvannet, og dermed hindre en videre forurensning av grunnvannet.

Noe som kan ha vært utslagsgivende for resultatet av analysen, er at denne løsningen er utviklet spesifikt for bykjernen i Bergen, for å på best mulig måte heve grunnvannsnivået og ivareta kulturlagene i grunnen.

Under vektingen av de ulike alternativene var det de arkeologiske, og tekniske indikatorene det ble lagt størst vekt på. Dette var et valg som ble tatt da man ved å heve grunnvannstanden, vil opprettholde kulturlagene og unngå de større setningene man vil risikere å kunne få dersom det ikke gjøres tiltak.

Utover vektingen av indikatorene, er det gjort en sensitivitetsanalyse, der vektingen er gjort etter «kost/nytte»-prinsippet, hvor de tekniske og økonomiske indikatorene er vektlagt. I sensitivitetsanalysen kom også *Alternativ 4* best ut.

**Som forslag til videre arbeid**, bør det ses nærmere på flomveiene og gjøres en eventuell utbedring ved Vågsallmenningen, for å klarere definere en flomvei.

Ved etablering av valgt løsning oppstrøms, bør det også her etableres miljøbrønner for overvåkning av grunnvannstandens utvikling og setningsutviklinger, før og etter anleggsfase.

## Referanseliste:

Aas, H. N., Killingmo, E. Og Busk, V. (2016) *Smart ledningsfornyelse – Bruk av NoDig-metoder*. Rapport nr. 221. Oslo: Norsk Vann

Ali M. Ali (2020) *Notat Vågsbunnen – Teknisk forprosjekt – Prosjektbeskrivelse*. Asplan Viak, Upublisert.

Andersson, E. (2017) *Retningslinjer for separering*. Tilgjengelig fra:

<https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/02/7.-Andersson.pdf> (Hentet 20. April 2021)

Asplan Viak. (2010) *NoDig-kalkulatoren*. Tilgjengelig fra: <http://NoDig.avinet.no/> (Hentet 21. April 2021)

Bergen kommune. (2005) *RETNINGSLINJER FOR OVERVANNSHÅNDTERING I BERGEN KOMMUNE*. Tilgjengelig fra: <https://www.bergen.kommune.no/> (Hentet 21. Februar 2021)

Bergen kommune (2020) *Fakta om Bergen, Klima*. Tilgjengelig fra:

[https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/fakta-om-bergen/klima/klima?fbclid=IwAR0zbISv4CmJ6iUHwrFFfLMmnX8f7elwCmRQ\\_FmJ0BWssA6oOStrbC52RIo](https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/fakta-om-bergen/klima/klima?fbclid=IwAR0zbISv4CmJ6iUHwrFFfLMmnX8f7elwCmRQ_FmJ0BWssA6oOStrbC52RIo) (Hentet 16. Mai 2021)

Bergen kommune. (2021) *Kulturmiljøet Vågsbunnen*. Tilgjengelig fra:

<https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/kulturminner-i-bergen/kulturmiljoer-i-bergen/kulturmiljoet-vagsbunnen> (Hentet 5. Mai 2021)

Byggeindustrien. (2017) *Store kostnader ved arkeologiske utgravinger*. Tilgjengelig fra:

<https://www.bygg.no/article/1329267> (Hentet 19. April 2021)

Båsum boring. (2019) *Stor interesse for utblokking*. Tilgjengelig fra: <https://basum.no/>

(Hentet 16. April 2021)

- Dahl, O. m.fl. (1987) *Vår felles framtid*. (u.s.): Tiden Norsk forlag. Tilgjengelig fra:  
[https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2007080601018?page=259](https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2007080601018?page=259)  
(hentet 26.04.2021)
- de Beer, H. (2015) *Faglig vurdering av foreslåtte tiltak knyttet for å regulere grunnvannsnivået i Nedre Korskirkeallmenningen*, Norges Geologiske Undersøkelse. Upublisert.
- Dunlop, A.R (2016) *Miljøovervåkningsplan, Vågsbunnen*. Rapport nr. 170/2016. Trondheim: Norsk institutt for kulturminneforskning, NIKU. Tilgjengelig fra:  
[https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/2429628/Miljoovervaking\\_NIKU%20oppdragsrapport%20170\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/2429628/Miljoovervaking_NIKU%20oppdragsrapport%20170_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet 15.05.21)
- Ekanger, A. (2017) Millimeter frå tidenes drittivêr-år i Bergen, *NRK – Norsk rikskringkasting*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/vestland/millimeter-fra-ny-regnrekord-i-bergen-1.13841406> (Hentet 12. Mai 2021)
- Endresen, S. (2019) *Infiltrasjon av overvann*. Rapport nr. 92. VA-/miljø-blad. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/> (Hentet: 29. Mars 2021)
- FHI. (2020) *Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i mat*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.fhi.no/nettpub/fremmedstoffer-i-mat/ulike-fremmedstoffer-i-mat/polysykliske-aromatiske-hydrokarboner-pah-i-mat/> (Hentet: 15. Mai 2021)
- FN – Sambandet. (2021) *FN's bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/> (Hentet 29. Mars 2021)
- Hansen. A (Asplan Viak) (2010) *NoDig: Miljø- og kostnadseffektiv ledningsfornyelse*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/> (Hentet: 23. Mars 2021)
- Hansen A., Hansen G. H., Hanserud O. S., Jakobsen G. og Sørsdal N. (2010) *NoDig versus åpen grøft*. Tilgjengelig fra: <http://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1448877382/nodig-klimaregnskaprapport-nodig-vs-apen-groft.pdf> (Hentet: 21. April 2021)



- Haugård P.Å.S., Lindholm O.G., Nilsen V. og Kvitsjøen J. (2019) Metode for valg av kostnadseffektive overvannstiltak i et endret klima. Vannforeningen, VANN 04, s.279-292. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2020/01/Haug%C3%A5rd.pdf>
- Heggstad, R. og Rosvold, K. A. (2019) Nedbørsfelt, i *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet: 9. April 2021)
- Hongve, D. (2021) Infiltrasjon (hydrologi), i *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet: 15. Mars 2021)
- Karlberg, I. og Jerkø, S. (2009) *Veileder i utbygging for arkeologer og i arkeologi for byggebransjen*. (ACES). Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2424152/ACES-Veileder-skbar%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 29. Mars 2021)
- Kulturminnesøk (u.å.) *Middelalderbygrunn, Bergen/Byanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.kulturminnesok.no/minne/?queryString=https%3A%2F%2Fdata.kulturminne.no%2Faskeladden%2Flokalitet%2F89049&fbclid=IwAR38or7yollPVA6OLBRnDdXhiztJfLrL6nhPezQ9tNcHBV6N5bKIM5CTyE> (Hentet 14. Mai 2021)
- Kunduraci, M. (2016) *Analyse av LOD-tiltak*. Masteroppgave. Norges miljø- og biovitenskaplige universitet. Tilgjengelig fra: [https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2402450/Kunduraci\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2402450/Kunduraci_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet: 8. April 2021)
- Leca (2017) *Leca grønne tak*. Tilgjengelig fra: <https://leca.no/sites/default/files/2017-02/Leca%20Gr%C3%B8nne%20Tak%20Brosjyre%20ORIGINAL%202017.pdf?fbclid=IwAR3w9Yhq5s44Foa3PUngdBcjhDHWrTew2fYEHijf5s7N7jBtAisB5guPqUk> (Hentet 15. Mai 2021)

- Lindholm, O. (1982) *Overvann – kilde til forurensning av grunnvann?* Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1982\\_31940.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1982_31940.pdf) (Hentet 29. Mars 2021)
- Lindholm, O. (2005) *Hva er bærekraft og hvordan kan man sammenligne bærekraften i ulike systemer?* Ås: UMB
- Lindholm, O. (2018) *Håndtering av overvann LOD*. Rapport nr. 125. VA-/Miljø-blad. Tilgjengelig fra: <https://www.va-blad.no/> (Hentet: 29. Mars 2021)
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Jacobsen, G., Sægrov, S., Åstebøl, S. O., Aaby, L. (2008) *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Rapport nr. 162. Hamar: Norsk Vann
- Lindholm, O., Haraldsen, S. (2013) *Miljøgifter i overvann fra tette flater, renseanlegg og overløp – Case Indre Oslofjord*. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013\\_875971.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_875971.pdf) (Hentet 30. Mars 2021)
- Lindholm, O., Nilsen, V., Kvitsjøen, J., Haugård, P. (2019) Metode for valg av kostnadseffektive overvannstiltak i et endret klima. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2020/01/Haug%C3%A5rd.pdf> (Hentet 31. Mars 2021)
- Mainmark. (2020) *Primus Line*. (2020) Tilgjengelig fra: <https://mainmark.com/> (Hentet 28. April 2021)
- Meld. St. nr. 33 (2012-2013). *Klimatilpasning i Norge*.
- MFT. (2012) *Fordrøyning av overvann*. Rapport nr. 104. VA-/Miljø-blad. Tilgjengelig fra: <https://www.tonsberg.kommune.no/f/p1/ibc165ee7-fa76-4346-a7c4-39f6a0d55948/va-miljoblad-nr-104-fordroyning-av-overvann.pdf> (Hentet: 29. Mars 2021)

MFT. (2018) *Håndtering av overvann*. Rapport nr. 125. VA-/Miljø-blad. Tilgjengelig fra:  
<https://www.tonsberg.kommune.no/f/p1/id620b641-8a7a-40f2-9bdc-d41fb0bfac33/va-miljoblad-nr-125-handtering-av-overvann-lod.pdf> (Hentet 16.05.2021)

Miljødirektoratet. (2019) *Veileder: Klimatilpasning i vann og avløpssektoren*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/klimatilpasning/klimatilpasning-i-sektorer/vann-og-avlop/> (Hentet: 13. Mai 2021)

Miljødirektoratet. (2020) *Overvann*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/overvann/>  
(Hentet: 5. Mai 2021)

Moe, T. A. (2013) *Regnbyen Bergen*, NRK – Norsk rikskringkasting. Tilgjengelig fra:  
<https://www.nrk.no/vestland/regnbyen-bergen-1.11324407> (Hentet: 16. Mai 2021)

Multiconsult. (2012a) *613883-RIG01 Kong Oscars gate og Vågsbunnen Opprustning av gater og byrom*. Rapport nr. 613883-RIG01. Bergen: Multiconsult. Tilgjengelig fra:  
<https://www.mercell.com/> (Hentet 12. April 2021)

Multiconsult. (2012b) *Bryggen i Bergen Grunnvannshåndtering – Regnbed*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.multiconsult.no/assets/04\\_134-Bryggen-i-Bergen\\_Grunnvannsh%C3%A5ndtering\\_ny.pdf](https://www.multiconsult.no/assets/04_134-Bryggen-i-Bergen_Grunnvannsh%C3%A5ndtering_ny.pdf) (Hentet 16. Mai 2021)

Multiconsult. (2014a) *Lengdesnitt Drens- og infiltrasjonsdetaljer Snitt 9*. Multiconsult.  
Upublisert

Multiconsult. (2014b) *Nedre Korskirkeallmenningen Plantegning Drens- og Infiltrasjonsløsning, Tegningsnr. GH100*. Multiconsult, Upublisert.

Multiconsult. (2015) *Nedre Korskirkeallmenningen Heving av grunnvannsnivåer. Risikovurderinger 613103-RIG-NOT-005*. Multiconsult, Upublisert.

- Multiconsult (2016a) *Dimensjonerings skjema for overvannsledninger – RIVA-BER-01*.  
Multiconsult, Upublisert.
- Multiconsult. (2016b) *Kong Oscars gate – Del 1 Nordre parsell, infiltrasjonsanlegg, Overvannshåndtering 613883-1-RIVA-NOT-01*. Multiconsult, Upublisert.
- Multiconsult. (2017a) *Nedre Korskirkeallmenningen Infiltrasjonsanlegg. Forvaltning drift og vedlikeholdsplan – FDV-plan for infiltrasjonsanlegget 613103-RIG-NOT-010*.  
Multiconsult, Upublisert.
- Multiconsult. (2017b) *Nedre Korskirkeallmenningen NKA A1 613103-RIVA-NOT-001\_Grunnvannspumpe*. Multiconsult, Bergen: Multiconsult. Upublisert.
- Møller-Pedersen, P. (2017) *Lett og grunn separering av vei- og takvann*. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/> (Hentet 21. April 2021)
- Nesse, E. (2019) *Tiltak, forurenset grunn*. Tilgjengelig fra <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-vestland/hoyringar/slettebakken-deponi/tiltaksplan-slettebakken-avskjarende-grofter.pdf> (Hentet 15.Mai.2021)
- NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi. (2020). *Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner etablert i Dronning Eufemias gt*. Nr. 96. Oslo: Norsk institutt for bioøkonomi. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/> (Hentet: 22. April 2021)
- NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi. (2016). *Miljøovervåking fra miljøbrønner etablert i Skostredet (VB MB01), Bergen*. Nr. 99. Bergen: Norsk institutt for bioøkonomi. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/> (Hentet: 14. Mai 2021)
- NIKU, Norsk institutt for kulturminneforskning ((u.å.)a). *Stor spenning rundt ny arkeologisk utgravning i Bergen*. Tilgjengelig fra: <https://www.niku.no/2017/11/stor-spenning-rundt-arkeologisk-utgravning-bergen/> (Hentet: 14. Mai 2021)

- NIKU, Norsk institutt for kulturminneforskning ((u.å.)b). *Utgravningene i Vågsbunnen*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.niku.no/prosjekter/utgravningene-i-vagsbunnen/> (Hentet: 14. Mai 2021)
- Norges geologiske undersøkelser – NGU (2005) *Spredning av miljøgifter fra tette flater i Bergen*. Rapport nr.: 2005.051. Trondheim: NGU
- Norges geologiske undersøkelser – NGU (2019) *Setningsskader*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/> (Hentet: 12. April 2021)
- Norges geologiske undersøkelser – NGU (2020) *Grunnvann i byen*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/> (Hentet: 12. April 2021)
- Norconsult (2012). *Kulturlag i middelalderbyen Bergen*. Tilgjengelig fra: <https://miljoloftet.no/globalassets/bybanen-til-asane/konsekvensutredning---vedleggsnotater/kulturlag.pdf> (Hentet: 14. Mai 2021)
- Nordeide, T. (1996) *Lokal håndtering av overvann i byer og tettsteder*. Prosjektrapport 1996. Oslo: Byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefbok.no/book/index/301> (Hentet: 15. Mars 2021)
- Norsk gjenvinning (2019) – *Avfall med PCB*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/farlig-avfall/avfall-med-pcb/> (Hentet: 8. April 2021)
- Norsk Vann (2017) *Vannbransjens arbeid med bærekraft*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskvann.no/index.php/10-nyheter/1590-vannbransjens-arbeid-med-baerekraft> (Hentet 26. Mars 2021)
- Norsk Vann. (2020) *Veiledning til utblokking til høring*. Tilgjengelig fra: <https://norskvann.no/> (Hentet 5. April 2021)
- NOU 2015: 16. *Overvann i byer og tettsteder*.

- Odland, T. (2021) *Gravefrie løsninger – NoDig – Raskt, Enkelt, Bærekraftig og økonomisk*. Tilgjengelig fra: <https://www.ncc.no/> (Hentet 23. Mars 2021)
- Olerud, K., Tjernshaugen, A., Andersen, G. (2021) Bærekraftig utvikling, i *SNL*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet: 15. Mai 2021)
- Olimb. (2019) *NoDig: Smart fornyelse av vann og avløp uten graving*. Tilgjengelig fra: <https://olimb.no/> (Hentet: 23. Mars 2021)
- Olimb. (2021) *Rørfornyelse av spillvannsledninger, overvannsledninger og fellesledninger i offentlig VA-nett*. Tilgjengelig fra: <https://olimb.no/> (Hentet 3. Mai 2021)
- Oslo kommune. (2016a) *Areal tilrettelagt for oversvømmelse*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2016b) *Belegningsstein som håndterer overvann*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2016c) *Grønne tak for flomdemping*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 25. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2016d) *Regnbed for lokal flomdemping*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2016e) *Regnhøsting for vanning i hager*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)

- Oslo kommune. (2016f) *Utforming av overvannshåndtering på vei*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2016g) *Vadi – Byens grønne vannveier*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 26. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2018a) *Flomdemping i små nedbørsfelt – Frakobling av taknedløp*. Blågrønne overvannsløsninger. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/> (Hentet: 23. Mars 2021)
- Oslo kommune. (2018b) *Frakobling av taknedløp*. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13335072-1565352872/Tjenester%20og%20tilbud/Plan%2C%20bygg%20og%20eiendom/Byggesaksveiledere%2C%20normer%20og%20skjemaer/Overvann%20-%20frakobling%20taknedl%C3%B8p.pdf> (Hentet 26. Mars 2021)
- Riksantikvaren (u.å.). *Forvaltning av middelalderbyene*. Tilgjengelig fra: <https://www.riksantikvaren.no/veileder/forvaltning-av-middelalderbyene/> (Hentet: 22. April 2021)
- Ræstad, C. (2015) *Håndtering av overvann fra byene og fra urbane veger*. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2015\\_924558.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2015_924558.pdf) (Hentet: 30. Mars 2021)
- Samferdsel & infrastruktur (2019) *Grunnvannet påvirker mer enn mange tror*. Tilgjengelig fra: <https://www.samferdselinfra.no/> (Hentet: 12. April 2021)
- Sirnes, E., Stoltz, G., Og Nilsen, H. R. (2021) Nytte-kostnadsanalyse, i *Store norske leksikon – SNL*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet: 18. Mai 2021)
- Skagen, H. (2014) *Fv. 263 KONG OSCARS GATE – URBANHYDROLOGISK RAPPORT OG 3D MODELLERING*. Rapport nr.: 176640-1. Oslo: SWECO



Skjæveland, ((u.å.)a) *Qmax: Dimensjonering/kapasitetsberegning*. Tilgjengelig fra:

<https://www.stormaqua.no/> (Hentet 28. April 2021)

Skjæveland, ((u.å.)b) *Qmax Storm Basal*. Tilgjengelig fra: <https://www.stormaqua.no/> (Hentet 29. April 2021)

Statens vegvesen. (2007) *Rensing av overvann i byområder – kompakte renseløsninger*.

Tilgjengelig fra:

[https://www.vegvesen.no/\\_attachment/61712/binary/14711?fast\\_title=Rensing+av+overvann+i+byomr%C3%A5der+-+Kompakte+rensel%C3%B8sninger.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/61712/binary/14711?fast_title=Rensing+av+overvann+i+byomr%C3%A5der+-+Kompakte+rensel%C3%B8sninger.pdf) (Hentet: 31. Mars 2021)

Statens vegvesen (2020) *Håndbok V240 - Vannhåndtering – Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering*. Tilgjengelig fra:

[https://www.vegvesen.no/\\_attachment/2988797/binary/1371938?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V240+Vannh%C3%A5ndtering+-+Flomberegninger+og+hydraulisk+dimensjonering.pdf](https://www.vegvesen.no/_attachment/2988797/binary/1371938?fast_title=H%C3%A5ndbok+V240+Vannh%C3%A5ndtering+-+Flomberegninger+og+hydraulisk+dimensjonering.pdf) (Hentet 29. April 2021)

Stavanger kommune. (2017) *Fremmedvannsreduksjon og separering*. Tilgjengelig fra:

<https://www.stavanger.kommune.no/> (Hentet 5. Mai 2021)

Stavseth, M. R. (2020) Sensitivitetsanalyser – hvor robust er resultatet?, *Tidsskriftet Den norske legeforening*, 8, 26.05.20. doi: 10.4045/tidsskr.20.0099

Storm Aqua, (2021) *Hva er fordrøyning?*. Tilgjengelig fra:

<https://www.stormaqua.no/stormaqua/document.aspx?docid=10632> (Hentet 26. April 2021)

Svedal, M. B. (Asplan Viak) (2016) *NoDig! Hva? Hvorfor? Hvordan?*. Tilgjengelig fra:

<https://docplayer.me/11351182-NoDig-hva-hvorfor-hvordan-martina-bergh-svedahl-va-ingenior-og-gruppeleder-vann-og-miljo-asplan-viak-i-drammen.html> (Hentet: 23. Mars 2021)

- Søderholm, J. (2019) *Tre gravefrie veier til ny vannledning*. Tilgjengelig fra: <https://anleggsmaskinen.no/> (Hentet 28. April 2021)
- Thorsnæs, G og Thune, N.A (2020). Bergen, i *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Bergen> (Hentet 16.05.2021)
- Tollan, A. (2020) Grunnvann, i *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet: 12. April 2021)
- Tranøy, Knut Erik. (2019) Metode, i *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/> (Hentet 8. April 2021)
- VA-systemer ((u.å.)a). *D-Rainclean*. Tilgjengelig fra: [https://www.va-systemer.no/produkter-1/d-raintank-1?fbclid=IwAR0Yj5SdSwJPO\\_ja16vfy5mkP5-WC\\_16mtdb7pXFvjGbs6m4WGD2u9\\_Bxq8](https://www.va-systemer.no/produkter-1/d-raintank-1?fbclid=IwAR0Yj5SdSwJPO_ja16vfy5mkP5-WC_16mtdb7pXFvjGbs6m4WGD2u9_Bxq8) (Hentet 27. April 2021)
- VA-systemer ((u.å.)b). *INNOLET-G*. Tilgjengelig fra: [https://www.va-systemer.no/produkter1/innolet?fbclid=IwAR22ATzd1jC2bd472BtclPXE2M5HttMM\\_e9xelhZz9qD7mMF9KXj\\_6gFiiZk](https://www.va-systemer.no/produkter1/innolet?fbclid=IwAR22ATzd1jC2bd472BtclPXE2M5HttMM_e9xelhZz9qD7mMF9KXj_6gFiiZk) (Hentet 27. April 2021)
- Wang, P. (2019) *Overvann – Hvordan kan vi løse utfordringene?*. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/> (Hentet: 29. Mars 2021)
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk: 2. utgave*. Norsk Vann

## Vedlegg

Vedlegg 1: Bilder fra befaring

Vedlegg 2 – Beregning av driftskostnader

Vedlegg 3 – Beregning av dimensjonerende avrenning

Vedlegg 4 – Dimensjonering/kapasitetsvurdering av de ulike løsningene

Vedlegg 5 – Målinger av miljøgifter

Vedlegg 6 – VA-anlegg - Temakart (separert/ikke separert)

Vedlegg 7 – Temakart, avrenningsretning av hovedeksisterende OV, AF-system

Vedlegg 8 – Skisser av de ulike alternativene,

- 1- 0-Alternativet.pdf
- 2- Skisse-Konvensjonell-løsning.pdf
- 3- Skisse-Lettseparering.pdf
- 4- Skisse-«Laksetrapp-løsning».pdf
- 5- Skisse-Utblokking.pdf

Vedlegg 9 – Lengdesnitt drens og infiltrasjonsdetaljer 613103-01-GH105 revZ

Vedlegg 10 – Plantegning drens og infiltrasjonsdetaljer 613103-01-GH100  
revZ